BURKINA FASO
Unité - Progrès - Justice

Programme d'Approvisionnement en Eau
et d'Assainissement (PAEA)



SYNTHESE ET VALORISATION DES ETUDES SUR LES RESSOURCES EN EAU

RAPPORT DE DIAGNOSTIC ET D'OPTIMISATION DES RESEAUX DE SUIVI PIEZOMETRIQUE ET DE QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

RÉFÉRENCE : RT2.1 VERSION VF – OCTOBRE 2023

SHER GROUPE ARTELIA

ARTELIA

LA BANQUE MONDIALE
BIRD • IDA | GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE

Synthèse et valorisation des études sur les ressources en eau au profit du PAEA
Axe 2 : Améliorer le suivi quantitatif et qualitatif des ressources en eau
Résultat 2.1. L'étude d'optimisation du réseau piézométrique et du réseau de qualité des eaux souterraines est réalisée.
- Activité 2.1.1. Diagnostic des réseaux actuels de suivi piézométrique et de suivi de la qualité des eaux souterraines - Activité 2.1.2. Optimisation des réseaux actuels de suivi piézométrique et de suivi de la qualité des eaux souterraines - Activité 2.1.3. Prescriptions techniques pour l'équipement du réseau piézométrique national et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines - Activité 2.1.4. Prescriptions techniques pour la réalisation de 20 piézomètres additionnels au profit du RPN

RAPPORT DE DIAGNOSTIC ET D'OPTIMISATION DES RESEAUX DE SUIVI PIEZOMETRIQUE ET DE QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

Réf : RT.2.1	Version : VF	Date : 25/10/2023
Préparé par : DEROUANE Johan, DETRY Geoffroy, YENOU Lazare, SAURET Elie, BANDRE Stéphane, KONE Tidiani	Vérifié par : DEROUANE Johan	

Table des matières

A. Introduction ---- 1

A.1. Cadre de l'intervention ---- 1
A.1.1. Contexte ---- 1
A.1.2. Le PAEA et l'étude SEVERE ---- 2

A.2. Cadre thématique et phasage des activités du Résultat 2.1 ---- 3

B. Methodologie et lignes directices de l'etude ---- 4

B.1. Méthodologie ---- 4
B.1.1. Diagnostic des réseaux de suivi ---- 4
B.1.2. Optimisation du réseau de suivi piézométrique national et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines ---- 6
B.1.3. Prescriptions techniques et budgétisation ---- 6
B.1.4. Contrôle de la réalisation d'une vingtaine de piézomètres ---- 7

B.2. Lignes directrices de l'étude ---- 8
B.2.1. Documents-guides de référence ---- 8
B.2.2. Définition et typologie des réseaux de suivi ---- 8
B.2.3. Indicateurs et recommandations ---- 9
B.2.3.1. Suivi de la piézométrie ---- 9
B.2.3.2. Suivi de la qualité des eaux souterraines ---- 10
B.2.4. Evaluation de l'homogénéité et optimisation de la distribution spatiale des sites de suivi des eaux souterraines ---- 12

C. Les ressources en eau souterraine au Burkina Faso ---- 13

C.1. Aperçu du contexte hydrogéologique du Burkina Faso ---- 13
C.1.1. Contexte géologique et hydrogéologique général ---- 13
C.1.2. Le bassin sédimentaire Occidental (Taoudéni) ---- 14
C.1.3. Le bassin sédimentaire Nord ---- 17
C.1.4. Le bassin sédimentaire de l'Est ---- 18
C.1.5. Les aquifères de socle ---- 19

C.2. Exploitation des eaux souterraines pour l'AEP ---- 19

PARTIE 1 : DIAGNOSTIC DES RESEAUX DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES ---- 22

D. Diagnostic des réseaux de suivi quantitatif ---- 22

D.1. Réseau piézométrique national (RPN - DGRE) ---- 22
D.1.1. Historique du RPN ---- 22
D.1.2. Le réseau Piézométrique National (RPN) actuel ---- 24
D.1.2.1. Collecte des jeux de données dans le cadre de l'étude SEVERE ---- 24
D.1.2.2. Nombre et répartition spatiale des points de mesure du RPN ---- 26
D.1.2.3. Acquisition des données et équipements des piézomètres ---- 48
D.1.2.4. Outils de gestion et de capitalisation des données ---- 50
D.1.2.5. Exploitation et valorisation des données ---- 55
D.1.2.6. Etat des piézomètres du RPN ---- 55
D.1.2.7. Etat des informations disponibles sur les caractéristiques techniques du RPN ---- 55
D.1.2.8. Analyse des chroniques piézométriques ---- 56

D.2. Réseaux piézométriques secondaires et spécifiques ---- 62
D.2.1. Le réseau piézométrique de l'ONEA ---- 62

D.2.2. Le réseau piézométrique de l'AEM ---- 65
D.2.3. Le réseau piézométrique de VREO ---- 70
D.2.1. Les piézomètres réalisés dans le cadre du PADI ---- 73
D.3. Aperçu de l'évolution temporelle des niveaux de nappe et des tendances ---- 74
D.4. Conclusions sur le diagnostic des réseaux de suivi piézométrique ---- 82
E. Diagnostic des réseaux de suivi de la qualité des eaux souterraines ---- 84
E.1. Réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines (RNSQES -DGRE) ---- 84
E.1.1. Historique du RNSQES ---- 84
E.1.2. Situation actuelle du RNSQES ---- 86
E.1.2.1. Collecte des jeux de données dans le cadre de l'étude SEVERE ---- 86
E.1.2.2. Critères techniques retenus en 2018 pour l'optimisation du RNSQES ---- 88
E.1.2.3. Nombre et répartition spatiale des points de mesure ---- 89
E.1.2.4. Paramètres physico-chimiques et biologiques retenus dans le cadre du suivi de la qualité des eaux souterraines ---- 107
E.1.2.5. Acquisition des données sur le terrain ---- 109
E.1.2.6. Analyses en laboratoire ---- 109
E.1.2.7. Modalités d'encodage et de stockage des données ---- 110
E.1.2.8. Exploitation et diffusion des données ---- 111
E.1.2.9. Analyse des données disponibles ---- 112
E.1.3. Conclusions sur le diagnostic du RNSQES ---- 115
E.2. Autres suivis de la qualité des eaux souterraines ---- 116
E.3. Aperçu de l'évolution temporelle de la qualité des eaux souterraines ---- 116
F. Diagnostic des capacités nationales en termes de suivi des eaux souterraines ---- 117
F.1. Cadre légal et institutionnel ---- 117
F.1.1. Au niveau international ---- 117
F.1.2. Au niveau national et déconcentré ---- 118
F.1.3. Mise en place des UCDIEau ---- 125
F.1.3.1. Historique de la gestion des réseaux de suivi : les brigades hydrologiques ---- 125
F.1.3.2. Situation actuelle et prévisionnelle des UCDIEau ---- 125
F.2. Cadre budgétaire ---- 127
F.2.1. Financement des activités de suivi des ressources en eau ---- 127
F.2.2. Evaluation des couts relatifs au suivi piézométrique et au suivi de la qualité des eaux ---- 128
F.2.2.1. Estimation du cout annuel du suivi piézométrique du RPN basée sur les dépenses (2021) ---- 128
F.2.2.2. Estimation du cout annuel de fonctionnement du réseau de suivi de la qualité des eaux brutes ---- 129
F.2.2.3. Estimation du coût annuel des investissements nécessaires pour maintenir le niveau du plateau technique du laboratoire DGRE ---- 130
F.3. Ressources humaines ---- 130
G. Synthèse des forces et faiblesses des réseaux de suivi actuels des eaux souterraines ---- 131
G.1. Réseaux de suivi piézométrique ---- 131
G.1.1. Le réseau piézométrique national ---- 131
G.1.2. Les réseaux piézométriques secondaires ---- 134
G.2. Réseau de suivi de la qualité de l'eau souterraine ---- 136
PARTIE 2 : OPTIMISATION DES RESEAUX DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES ---- 138
H. Optimisation du réseau piézométrique national ---- 138
H.1. Détermination des sites du RPN optimisé ---- 138

H.1.1. Critères pour la sélection des sites du RPN optimisé ---138
H.1.2. Identification et distribution spatiale des sites du RPN optimisé ---140
H.1.3. Optimisation du RPN selon les zones géologiques et les formations hydrogéologiques ---144
H.1.3.1. Zones de socle cristallin et métamorphique ---144
H.1.3.2. Zones Sédimentaires ---146
H.1.4. Distribution par bassins-versants nationaux du RPN optimisé ---153
H.1.5. Distribution par Régions du RPN optimisé ---154
H.1.6. Distribution par UCDIEAU du RPN optimisé ---155
H.1.7. Distribution du RPN optimisé en relation avec l'exploitation des aquifères ---156
H.2. Réalisation de nouveaux piézomètres et réhabilitation de piézomètres existants au profit du RPN optimisé ---157
H.2.1. Réalisation de nouveaux piézomètres ---157
H.2.2. Réhabilitation de piézomètres existants ajoutés au RPN optimisé ---159
H.3. Equipement des piézomètres du RPN optimisé ---159
H.4. Priorisation pour l'optimisation du RPN ---160
I. Optimisation du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines ---161
I.1. Détermination des sites du RNSQES optimisé ---161
I.1.1. Critères pour la sélection des sites du RNSQES optimisé ---161
I.1.2. Identification et distribution spatiale des sites du RNSQES optimisé ---162
I.1.3. Optimisation du RNSQES selon les zones géologiques et les formations hydrogéologiques ---165
I.1.3.1. Zones de socle cristallin et métamorphique ---165
I.1.3.2. Zones sédimentaires ---167
I.1.4. Distribution par bassins-versants nationaux du RNSQES optimisé ---172
I.1.5. Distribution par Régions du RNSQES optimisé ---173
I.1.6. Distribution par UCDIEAU du RNSQES optimisé ---174
I.1.7. Distribution du RNSQES optimisé en relation avec l'exploitation des aquifères ---175
I.2. Paramètres à analyser et fréquence des campagnes de suivi ---176
I.3. Equipement pour le suivi de la qualité des eaux souterraines ---178
I.3.1. Equipement pour le prélèvement des eaux souterraines ---178
I.3.2. Equipement pour les mesures physico-chimiques in-situ ---180
I.3.3. Equipement mobile pour les analyses chimiques spécifiques ---180
J. Optimisation des reseaux secondaires ---181
J.1. Réseau de suivi piézométrique de l'AEM ---181
J.1.1. Zone du bassin du Kou ---182
J.1.1.1. Zone de Bobo Dioulasso ---182
J.1.1.2. Ensemble du bassin du Kou ---183
J.1.2. Zone de l'espace de compétence de l'AEM ---183
J.2. Réseaux de suivi de l'ONEA ---185
J.2.1. Réseau de suivi piézométrique ---185
J.2.2. Suivi de la qualité des eaux brutes ---185
K. Optimisation de la gestion et de la capitalisation des données des reseaux de suivi des eaux souterraines ---185
K.1. Méthodologie d'optimisation ---186
K.2. Ajustement et enrichissement des jeux de données bruts ---190
K.2.1. Ajustements des données du RPN ---190
K.2.2. Ajustements réalisés sur les données des autres réseaux piézométriques ---192
K.2.3. Ajustements réalisés sur les données du RNSQES ---193

K.2.4. Interopérabilités des réseaux de suivi ---- 199
K.2.5. Valorisation des jeux de données d'origine ---- 199
K.2.6. Conclusion sur le traitement des données brutes ---- 200
K.3. Création d'une base de données relationnelle « BD-Réseaux » ---- 200
K.3.1. Méthodologie de modélisation ---- 200
K.3.2. Formalisme ---- 201
K.3.3. Modèle de données (prototype) ---- 203
K.3.4. Conclusion sur la création de la BD-Réseaux ---- 207
K.4. Optimisation des produits dérivés ---- 207
K.5. Optimisation des flux et des échanges de données ---- 208
K.6. Optimisation de l'infrastructure technique ---- 211
K.7. Optimisation de l'interopérabilité ---- 215
K.8. Optimisation de la capitalisation des données pour l'analyse des tendances ---- 217
K.8.1. Evaluation de la tendance piézométrique au point d'eau ---- 217
K.8.2. Evaluation de la tendance de qualité au point d'eau ---- 218
L. Couts estimatifs de l'opérationalisation et du suivi des réseau optimisés ---- 220
L.1. Travaux et équipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés ---- 220
L.2. Fonctionnement et maintenance ---- 220
M. Renforcement des capacités nationales de suivi des eaux souterraines ---- 221
M.1. Renforcement des capacités en ressources humaines ---- 221
M.1.1. Personnel de la DEIE – SHGEO et SIPEAU ---- 221
M.1.2. Personnel des DREA / UCDIEAU ---- 221
M.1.3. Personnel du SQE (laboratoire de la DGRE) : ---- 222
M.2. Renforcement des capacités par la formation ---- 222
M.3. Renforcement des capacités institutionnelles ---- 223
M.4. Renforcement de capacités en moyens matériels ---- 224
N. Plan d'action ---- 224
O. Conclusions et recommandations ---- 226
P. Références ---- 229
Q. Annexes ---- 232
Q.1. Liste et caractéristiques des sites du RPN ---- 233
Q.2. Liste et caractéristiques des piézomètres du RPN ---- 237
Q.3. Liste et caractéristiques des piézomètres du RPS de l'ONEA ---- 242
Q.4. Proposition de sites piézométriques pour le RPS-AEM ---- 249
Q.5. Liste et caractéristiques des piézomètres du réseau de l'AEM ---- 250
Q.6. Liste et caractéristiques des piézomètres du programme VREO ---- 256
Q.7. Liste et caractéristiques des ouvrages de suivi du RNSQES ---- 260
Q.8. Statistiques de suivi des piézomètres du RPN ---- 264
Q.9. Statistiques de suivi des stations du RNSQES ---- 267
Q.10. Liste des paramètres retenus pour le suivi national de la qualité des eaux souterraines (optimisation 2018) ---- 272
Q.11. Liste des paramètres analytiques du laboratoire DGRE (selon état des lieux 2019 du laboratoire DGRE) ---- 273

Q.12. Organigramme du Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement ----------275
Q.13. Nettoyage des chroniques piézométriques ----------277
Q.14. Liste des sites proposés pour le RPN actualisé ----------278
Q.15. Liste des nouveaux piézomètres à réaliser dans le cadre de l'optimisation du RPN ----------281
Q.16. Spécifications techniques pour la réalisation des piézomètres (extrait du DAO) ----------282
Q.17. Liste des piézomètres existants ajoutés au RPN, soumis à examen/réhabilitation ----------288
Q.18. Spécifications techniques pour l'acquisition de sondes automatiques de pression (extrait du DAO) --------289
Q.19. Liste des sites proposés pour le RNSQES actualisé ----------297
Q.20. Directives OMS de qualité pour l'eau de boisson ----------299
Q.21. Normes UE de qualité des eaux destinées à la consommation humaine ----------303
Annexes en volumes séparés ----------311
Q.22. Graphiques des chroniques piézométriques du RPN et du réseau AEM ----------311
Q.23. Tableaux des résultats d'analyses 2012-2022 du RNSQES ----------311
Q.24. DAO pour l'acquisition et l'installation de 80 sondes automatiques de pression au profit du PAEA ----------311
Q.25. DAO pour la réalisation de 20 piézomètres au profit du PAEA ----------311

Liste des illustrations

Figure 1 : Logigramme de l'axe 2....2
Figure 2 : Densité minimale pour le suivi d'un réseau piézométrique homogène....9
Figure 3 : Fréquence minimale pour le suivi d'un réseau piézométrique homogène....10
Figure 4 : Densité minimale pour le suivi d'un réseau de qualité des eaux souterraines....11
Figure 5 : Exemple de décomposition de Voronoï (gauche) et de triangulation de Delaunay (droite)....12
Figure 6 : Log stratigraphique du Sédimentaire de l'Ouest du Burkina Faso (ARTELIA-SHER, adapté de Ouédraogo C. 2008)....15
Figure 7 : Evolution du nombre de piézomètres du RPN....24
Figure 8 : Extrait d'une chronique piézométrique brute....25
Figure 9 : Piézomètre à tubages multiples (Nango Foulcé F8)....27
Figure 10 : Nombre de tubes par ouvrages fonctionnels du RPN....27
Figure 11 : Nombre d'ouvrages fonctionnels par nombre de sites piézométriques....29
Figure 12 : Nombre de points de mesure fonctionnels par sites piézométriques....29
Figure 13 : Distribution des piézomètres de la zone de socle par type de lithologie/géologie....33
Figure 14 : Statistiques régionales du RPN....42
Figure 15 : Statistiques du RPN fonctionnel par BV. National....44
Figure 16 : Statistiques du RPN fonctionnel par zone climatique....44
Figure 17 : Sonde piézométrique manuelle à ruban gradué....48
Figure 18 : Sonde de pression et sonde barométrique HERON....49
Figure 19 : Modèle de données de la BD-Piezo....51
Figure 20 : Formulaire de saisie d'une station piézométrique....54
Figure 21 : Distribution des points de mesures du RPN par classe de profondeur....56
Figure 22 : Distribution des points de mesures du RPN par classe de nombre de mesures....57
Figure 23 : Nombre de mesures piézométriques par année de chronique....58
Figure 24 : Nombre de points de mesures par année de chronique....59
Figure 25 : Chronique piézométrique des points de mesure Tibou F1 et Katchari 2....59
Figure 26 : Distribution des sites opérationnels en fonction de la première prise de mesures....60
Figure 27 : Répartition des Centres ONEA en fonction du nombre de piézomètres....64
Figure 28 : Nombre de mesures piézométriques et points de mesures par année de chronique....68
Figure 29 : Nombre de visites annuelles réalisées par l'AEM (2018-2021)....68
Figure 30 : Chronique piézométrique et pluviométrique du site RPN de Arbinda (ouvrage unique – 1 tube)75
Figure 31 : Chronique piézométrique et pluviométrique du site RPN de Niangoloko (2 ouvrages distincts) .76

Figure 32 : Chronique piézométrique et pluviométrique du site RPN de Boussé (piézomètre SE5 à double tubage superficiel/profond) 77

Figure 33 : Courbes de régression et de tendance (a) linéaire croissante (b) linéaire décroissante (c) polynomiale (d) absence de tendance des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères des métasédiments 79

Figure 34: Courbe de régression et de tendance de diminution linéaire des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères du sédimentaire de l'Est 80

Figure 35: Courbes de régression et de tendance (a) linéaire pseudo constant (b) d'absence de tendance (c) et linéaire croissante des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères du sédimentaire Ouest 80

Figure 36: Exemples de courbes de régression et de tendance (a) linéaire décroissante b) absence de tendance des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères du sédimentaire Nord 81

Figure 37: Courbes de régression et de tendance (a) linéaire croissante (b) linéaire décroissante (c) exponentielle décroissante d) polynomiale croissante e) polynomiale sans tendance f) sans tendance des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères 82

Figure 38 : Statistiques régionales du RNSQES 101

Figure 39 : Statistiques du RNSQES par BV. National 103

Figure 40 : Statistiques du RNSQES par zones climatiques 104

Figure 41 : Evolution du nombre de paramètres physico-chimiques par années de suivi 108

Figure 42 : Structure du fichier de saisie des mesures SQES 111

Figure 43 : Nombre de stations du RNSQES par années de suivi 112

Figure 44 : Nombre de stations du RNSQES en fonction du nombre de campagnes d'échantillonnage (période 2020-2022) 114

Figure 45 : Evolution de la conductivité électrique des points de mesure Basseko F2 et Niangoloko F2 117

Figure 46 : Analyse FFOM du RPN 133

Figure 47 : Analyse FFOM des RPS 135

Figure 48. Analyse FFMO du RNSQES 137

Figure 49 : Dispositif-type pour l'acquisition automatique et la transmission de données de niveau de nappe 160

Figure 50 : Prélèvement à l'aide d'une pompe MP1 179

Figure 51 : Multimètre portable et sondes associées 180

Figure 52 : Spectrophotomètre portable 181

Figure 53 : Méthodologie de reprise des données relatives aux réseaux de suivi 187

Figure 54 : Système de codification des points de mesure et ouvrages du RPN 191

Figure 55 : Système de codification des ouvrages du RNSQES 196

Figure 56 : Structure non normalisée du fichier de suivi RNSQES 197

Figure 57 : Normalisation des chroniques de mesure 198

Figure 58 : Modèle de données de la BD-Réseaux.....206
Figure 59 : Interactions autour de la BD Réseaux.....209
Figure 60 : Gestion décentralisée et synchronisation des réseaux de suivi.....210
Figure 61 : Alimentation de la BD-Réseaux à partir de sondes télétransmettrices.....211
Figure 62 : Evaluation de la tendance piézométrique au point d'eau.....218
Figure 63 : Evaluation de la tendance de qualité au point d'eau.....219

Liste des cartes

Carte 1 : Carte géologique simplifiée du Burkina Faso (SHER-ARTELIA, 2021) 13
Carte 2: Carte des ensembles hydrogéologiques du Burkina Faso 14
Carte 3 : Carte des centres ONEA et volumes prélevés associés (SHER-ARTELIA, 2021) 21
Carte 4 : Carte de population dans les villes et par commune (densité) (SHER-ARTELIA, 2021) 21
Carte 5 : Répartition des sites piézométriques du RPN 28
Carte 6 : Zonage de concentration des sites piézométriques (polygones de Voronoï/Thiessen) 30
Carte 7 : Répartition des sites opérationnels dans le socle cristallin et métamoprhique 32
Carte 8 : Zonage de concentration des sites opérationnels en zone de socle 34
Carte 9 : Distribution spatiale des ouvrages opérationnels dans le Sédimentaire Nord 36
Carte 10 : Répartition des ouvrages opérationnels dans le Sédimentaire Est 37
Carte 11 : Distribution spatiale des ouvrages opérationnels du RPN dans le Sédimentaire Ouest 39
Carte 12 : Zonage de concentration des sites opérationnels dans le Sédimentaire Ouest 40
Carte 13 : Répartition des sites opérationnels par Régions 42
Carte 14 : Répartition des sites opérationnels par BV. National 43
Carte 15 : Distribution spatiale des sites fonctionnels du RPN par zone climatique 45
Carte 16 : Répartition des sites opérationnels selon les foyers de population 46
Carte 17 : Répartition des sites opérationnels par centre ONEA 46
Carte 18 : Répartition des ouvrages fonctionnels munis de sondes automatiques 50
Carte 19 : Distribution spatiale des sites opérationnels et nombre de mesures associées 61
Carte 20 : Distribution spatiale des sites opérationnels et date associée de première mesure 62
Carte 21 : Distribution spatiales des piézomètres de l'ONEA 64
Carte 22 : Distribution spatiale des piézomètres de l'AEM 69
Carte 23 : Distribution spatiale des piézomètres de VREO 72
Carte 24 : Distribution spatiale des ouvrages du RNSQES 90
Carte 25 : Carte de concentration des ouvrages du RNSQES 91
Carte 26 : Répartition des stations du RNSQES dans le socle cristallin et métamoprhique 92
Carte 27 : Zonage de concentration des sites du RNSQES dans la zone de socle 93
Carte 28 : Distribution spatiale des ouvrages du RNSQES dans le Sédimentaire Nord 95
Carte 29 : Répartition des ouvrages du RNSQES dans le Sédimentaire Est 96
Carte 30 : Distribution spatiale des ouvrages du RNSQES dans le Sédimentaire Ouest 98
Carte 31 : Zonage de concentration des sites du RNSQES dans le Sédimentaire Ouest 99
Carte 32 : Distribution spatiale des stations du RNSQES par Régions 101

Carte 33 : Répartition des stations du RNSQES par BV. National....102
Carte 34 : Distribution spatiale des sites du RNSQES par zone climatique....104
Carte 35 : répartition des sites du RNSQES selon les foyers de population....105
Carte 36 : Répartition des sites du RNSQES selon les centres ONEA....106
Carte 37 : Distribution des sites du RNSQES par nombre de campagnes de suivi....114
Carte 38 : Carte des Régions & espaces de compétence des DREA....120
Carte 39 : Espaces de gestion des Agences de l'Eau....124
Carte 40 : Espace d'intervention des UCDIEau....126
Carte 41 : Répartition des sites piézométriques proposés pour le RPN optimisé....141
Carte 42 : Zonage de concentration des sites du RPN optimisé (polygones de Voronoï/Thiessen)....143
Carte 43 : Répartition du RPN optimisé dans le socle cristallin et métamorphique....145
Carte 44 : Zonage de concentration du RPN optimisé en zone de socle (polygones de Voronoï/Thiessen)....146
Carte 45 : Distribution spatiale du RPN optimisé dans le sédimentaire Ouest....148
Carte 46 : Zonage de concentration du RPN optimisé dans le sédimentaire Ouest (polygones de Voronoï/Thiessen)....149
Carte 47 : Distribution du RPN optimisé : zoom sur la zone de Bobo Dioulasso....150
Carte 48 : Distribution spatiale du RPN optimisé dans le sédimentaire Nord....151
Carte 49 : Répartition du RPN optimisé dans le sédimentaire Est....153
Carte 50 : Répartition du RPN optimisé par BV nationaux....154
Carte 51 : répartition du RPN optimisé par Régions....155
Carte 52 : Répartition du RPN optimisé par UCDIEAU....156
Carte 53 : Distribution du RPN optimisé p/r aux centres ONEA exploitant les eaux souterraines....157
Carte 54 : Localisation des ouvrages (piézomètres) à réaliser pour l'optimisation du RPN....158
Carte 55 : Répartition des sites proposés pour le RNSQES optimisé....162
Carte 56 : Zonage de concentration des sites du RNSQES optimisé (polygones de Voronoï/Thiessen)....164
Carte 57 : Répartition du RNSQES dans le socle cristallin et métamorphique....166
Carte 58 : Zonage de concentration du RNSQES optimisé en zone de socle (polygones de Voronoï/Thiessen)....167
Carte 59 : Distribution spatiale du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Ouest....169
Carte 60 : Zonage de concentration du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Ouest (polygones de Voronoï/Thiessen)....170
Carte 61 : Distribution spatiale du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Nord....171
Carte 62 : Répartition du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Est....172
Carte 63 : Répartition du RNSQES optimisé par BV nationaux....173

Carte 64 : Répartition du RNSQES optimisé par Régions 174
Carte 65 : Répartition du RNSQES optimisé par UCDIEAU 175
Carte 66 : Répartition du RNSQES optimisé par rapport aux centres ONEA exploitant les eaux souterraines 176
Carte 67 : Piézomètres fonctionnels du réseau AEM et ouvrages intégrés au RPN optimisé 182
Carte 68 : Réseau piézométrique proposé par le SRE/AEM pour le bassin versant du Kou (SRE/AEM, mars 2022).....183
Carte 69 : Sites proposés pour les stations piézométriques pour le réseau secondaire AEM (BERASE, 2017) 184
Carte 70 : RNSQES suivi par la DEIE depuis 2012 (56 stations) 195

Liste des tableaux

Tableau 1 : Questionnaire adressé à la DEIE 5
Tableau 2 : Paramètres recommandés pour l'état chimique des réseaux de suivi ESO 12
Tableau 3 : Synthèse des jeux de données brutes du RPN 26
Tableau 4: Caractéristiques du RPN actuel 26
Tableau 5: Densité de sites piézométriques au Burkina Faso 30
Tableau 6 : Répartition et densité des sites par zones géologiques 31
Tableau 7 – Répartition et densité du RPN dans le socle cristallin et métamorphique 32
Tableau 8 : Répartition et densité du RPN dans les zones sédimentaires du Burkina Faso 35
Tableau 9 – Répartition et densité du RPN dans le sédimentaire Nord 35
Tableau 10 – Répartition et densité du RPN dans le sédimentaire Est 36
Tableau 11 – Statistiques du RPN dans le sédimentaire Ouest 37
Tableau 12 – Répartition et densité du RPN dans le sédimentaire Ouest 38
Tableau 13 : Répartition et densité du RPN par Régions 41
Tableau 14 – Classes de densités des sites par Régions 41
Tableau 15 – Densité des sites par BV. National 43
Tableau 16: Analyse des tables piézométriques de la BD-Piezo 53
Tableau 17 : Statistiques de suivi du RPN par points de mesure 57
Tableau 18 : Statistiques du RPN en fonction du nombre de mesures 57
Tableau 19 : Inventaire des piézomètres du RPS-AEM 67
Tableau 20 : Répartition des piézomètres de VREO 71
Tableau 21 : Liste et localisation des piézomètres réalisés dans le cadre du PADI 73
Tableau 22 : Caractéristiques des piézomètres du PADI 74
Tableau 23 : Récapitulatif des résultats d'interpolations et des tendances d'évolution des niveaux statiques des chroniques piézométriques des 108 ouvrages du RPN 78
Tableau 24 : Comparaison des jeux de données RNSQES collectés 87
Tableau 25: Synthèse des jeux de données brutes du RNSQES 88
Tableau 26 : Situation actuelle du RNSQES 89
Tableau 27 : Répartition et densité des sites par zones géologiques 92
Tableau 28 : Répartition et densité du RNSQES dans le socle cristallin et métamorphique 93
Tableau 29 : Répartition et densité du RNSQES dans les zones sédimentaires du Burkina Faso 94
Tableau 30 : Répartition et densité du RNSQES dans le sédimentaire Nord 94
Tableau 31 : Répartition et densité du RNSQES dans le Sédimentaire Est 95

Tableau 32 : Répartition et densité du RNSQES dans le Sédimentaire de l'Ouest.....97
Tableau 33 : répartition et densité du RNSQES par Régions.....100
Tableau 34 – Classes de densités des stations du RNSQES par Régions.....100
Tableau 35 – Densité des sites par BV. Nationaux.....102
Tableau 36 : Paramètres effectivement mesurés depuis 2012 lors du suivi de la qualité des eaux souterraines 108
Tableau 37 : Principaux équipements du laboratoire DGRE.....110
Tableau 38 : Nombre de stations du RNSQES par campagnes.....112
Tableau 39 : Statistiques de suivi du RNSQES par stations.....113
Tableau 40 : Statistiques globales du RNSQES par années.....115
Tableau 41 : Structures intervenant dans le suivi et l'évaluation des ressources en eau.....121
Tableau 42 : Appuis financiers des partenaires au secteur de l'eau.....127
Tableau 43 : Financements octroyés au laboratoire de la DGRE.....128
Tableau 44 : Synthèse des dépenses annuelles pour le suivi hydrométrique et piézométrique (trois régions) 129
Tableau 45 : Cout annuel de fonctionnement du réseau de suivi de la qualité des eaux brutes.....129
Tableau 46 : Coût annuel des investissements nécessaires pour maintenir le niveau du plateau technique 130
Tableau 47 : Situation du personnel de suivi des ressources en eau au niveau de la DGRE et des DREA.....131
Tableau 48 : Distribution des sites selon leur statut.....141
Tableau 49: Densité de sites du RPN optimisé au Burkina Faso.....142
Tableau 50 : Répartition et densité des sites par zones géologiques.....144
Tableau 51 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le socle cristallin et métamorphique.....144
Tableau 52 : Répartition et densité du RPN optimisé dans les zones sédimentaires du Burkina Faso.....146
Tableau 53 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le sédimentaire Ouest.....147
Tableau 54 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le sédimentaire Nord.....150
Tableau 55 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le sédimentaire Est.....152
Tableau 56 : Densité des sites du RPN optimisé par BV nationaux.....153
Tableau 57 : Répartition et densité du RPN optimisé par Régions.....154
Tableau 58 : Répartition et densité du RPN optimisé par UCDIEAU.....155
Tableau 59 : Distribution des sites du RNSQES optimisé selon leur statut.....163
Tableau 60 : Densité de sites du RNSQES optimisé au Burkina Faso.....163
Tableau 61 : Répartition et densité des sites du RNSQES optimisé par zones géologiques.....165
Tableau 62 : répartition et densité du RNSQES optimisé dans le socle cristallin et métamorphique.....165

Tableau 63 : Répartition et densité du RNSQES optimisé dans les zones sédimentaires du Burkina Faso ...167
Tableau 64 : Répartition et densité du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Ouest.....168
Tableau 65 : répartition et densité du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Nord 170
Tableau 66 : répartition et densité du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Est 171
Tableau 67 : Densité des sites du RNSQES optimisé par BV nationaux 172
Tableau 68 : Répartition et densité du RNSQES optimisé par Régions.....173
Tableau 69 : Répartition et densité du RNSQES optimisé par UCDIEAU.....174
Tableau 70 : Liste des paramètres physicio-chimiques recommandés dans le cadre du RNSQES 177
Tableau 71 : Stations disposant d'une chronique de mesure de qualité sans faire partie du RNSQES.....195
Tableau 72 : Valeurs extrêmes dans les chroniques SQES (ex. Basseko F2 – Sodium) 198
Tableau 73 : Piézomètres du RNSQES isolés du RPN 199
Tableau 74 : Formalise de la BD-Réseaux.....202
Tableau 75 : Exemple de formalise de la BD-Réseaux 202
Tableau 76 : Jeux de données de référence pour le modèle de la BD-Réseaux 203
Tableau 77 : Cout estimatif d'investissements pour la mise en place des réseaux RPN et RNSQES optimisés 220
Tableau 78 : Cout annuel estimatif de fonctionnement et de maintenance du RPN et du RNSQES.....221
Tableau 79 : Plan d'action pour l'optimisation des réseaux de suivi RPN et RNSQES 224

Liste des abréviations

ABN :	Autorité du Bassin du Niger
ABV :	Autorité du Bassin de la Volta
Ad. R-Squarre :	Coefficient d'Ajustement ou de corrélation R2
AE :	Agence de l'Eau
AEM :	Agence de l'eau du Mouhoun
AEP :	Approvisionnement en Eau Potable
AFD :	Agence Française de Développement
AIEA :	Agence internationale de l'énergie atomique
ASDI :	Agence suédoise de coopération internationale au développement
BD-OMES :	Base des Données des Ouvrages de Mobilisation des Eaux Souterraines
BD-Piezo :	Base de données piézométrique
BERAC :	Bureau d'Etudes et de Recherches Action sur l'Environnement et le Développement
BERASE :	Bureau d'Etudes et de recherche appliquée en Science de l'Eau et de l'Environnement
BF :	Burkina Faso
BM :	Banque Mondiale
BNDT :	Base Nationale de Données Topographiques
BOAD :	Banque Ouest Africaine de Développement
BRGM :	Bureau Régional de la Géologie Minière
BUMIGEB :	Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso
BV :	Bassin Versant
CCRE :	Centre de Coordination des Ressources en Eau
CE :	Commission Européenne
CEDEAO :	Communauté économique des états de l'Afrique de l'Ouest
FCFA :	Franc de la Communauté financière Africaine
CIEH :	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CILSS :	Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CT :	Continental Terminal
DAF :	Direction des Affaires Financières
DAO :	Dossier d'Appel d'Offre
DD :	Développement Durable
DEIE :	Direction d'Etudes et d'Information sur l'Eau
DIEPA :	Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement
DGIH :	Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
DGM :	Direction Générale de la Météorologie
DGRE :	Direction Générale des Ressources en Eau
DGIRH :	Direction Générale de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques
DIH :	Direction de l'Inventaire Hydraulique

DIRH :	Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques
DMS :	Degrés Minutes Secondes
DN :	Diamètre Nominal
DPFH :	Direction des Puits, Forages et Hydrologie
DR :	Domaine de Résultats
DREA :	Direction Régionale de l'Eau et Assainissement
ORP :	Potentiel d'oxydoréduction
DRSOB :	Direction de la Règlementation et du Suivi des Organismes de Bassins Transfrontaliers
DSI :	Direction des systèmes d'information
ERES :	Etude des Ressources en Eau Souterraine de la zone sédimentaire de la Région de Bobo-Dioulasso
ESO :	Eau Souterraines
ETL :	Extract Transform, Load
EIER :	École d'Ingénieurs de l'Equipement Rural
ETSHER :	Ecole des Techniciens Supérieurs en Hydraulique et Equipement Rural - Actuel 2iE
FCFA :	Franc de la Communauté Financière Africaine
FFOM :	Forces Faiblesses Opportunités Menaces
FORACO :	Société de forage d'eau française
GFB :	Grès de Fo-Bandiagara
GFG :	Grès Fins Glauconieux
GFR :	Grès Fins Roses
GGQ :	Grès à Granules de Quartz
GI :	Grès Inférieurs
GIRE :	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GKS :	Grès de Kawara-Sindou
IDS :	Infrastructure de données spatiales
IFDC :	International Fertilizer Development Center
IGB :	Institut Géographique du Burkina
INO :	Inventaire National des Ouvrages
IOTA :	Installations, Ouvrages, Travaux et Activités
LDO :	Luminescence Dissolved Oxygen
LNAE :	Laboratoire National d'Analyse des Eaux
MARHASA :	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire
MCA :	Millénium challenge account
MEA :	Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
MEEA :	Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement
MEE-DGH :	Ministère de l'Environnement et de l'Eau - Direction Générale de l'Hydraulique
MES :	Matières en Suspension
MPD :	Modèle Physique de Données

NE :	Nord-Est
NS :	Niveau statique
ODD :	Objectifs du Développement Durable
OMM :	Organisation Météorologique Mondiale
ONEA :	Office National de l'Eau et l'Assainissement
ONPF :	Office National des Puits et Forages
PADI :	Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation
PADSEA-II :	Programme d'Appui au Développement du Secteur Eau et Assainissement – Phase II
PAEA :	Programme d'Approvisionnement en Eau et Assainissement
PAGIRE :	Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PESO :	Projet Eaux Souterraines (WBI, Belgique)
PHI/UNESCO :	Programme Hydrologique international UNESCO
PMH :	Pompe à Motricité Humaine
PN-AEPA :	Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement
PNAH :	Programme National des Aménagements Hydrauliques
PNDES :	Programme National de Développement Economique et Social
PNGIRE :	Programme National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement
PPS :	Programme de Pilotage et de Soutien
PSORN :	Projet de Soutien à l'Optimisation des Réseaux Nationaux de suivi des ressources en eau
PVC :	PolyChlorure de Vinyle
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitation
RNQ :	Réseau National Qualité
RNSQES :	Réseau national de suivi de la qualité de l'eau souterraine
RPN :	Réseau Piézométrique National
RPS-AEM :	Réseau Piézométrique secondaire de l'Agence de l'Eau du Mouhoun
RPS-ONEA :	Réseau Piézométrique secondaire de l'ONEA
SAGE :	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SAC1 :	Formation des Argilites et Carbonates de Guena-Souroukoundinga
SAC2 :	Formation de Samandeni-Kiébani
SDAGE :	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eau
SEVERE :	Synthèse et valorisation des études sur les ressources en eau
SGBD :	Système de gestion de base de données
SH :	Service Hydrologie
SHGeo :	Service d'Hydrogéologie
SI :	Système d'Information
SIPEau :	Service de l'information, des Etudes et de la Promotion de Recherche sur l'Eau
SIG :	Système d'Information Géographique

SMRES :	Suivi-Monitoring des Ressources en Eau Souterraine
SNIEau :	Système National d'Information sur l'Eau
SOGREAH :	Société Grenobloise d'Etudes et d'Aménagements Hydrauliques
SP :	Secrétariat Permanent
SPE :	Service de la Police de l'Eau
SP-GIRE :	Secrétariat Permanent pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
SQ :	Formation des Siltstones et Quartzites de Fo
SQE :	Service Qualité des Eaux
SREIH :	Services de Ressource en Eau et Infrastructures Hydrauliques
ST-GIRE :	Secrétariat Technique pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
SWOT :	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
UCDIEAU :	Unités de Collecte et de Diffusion de l'Information sur l'Eau
UE :	Union Européenne
UGP :	Unité de Gestion du Projet
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
VREO :	Valorisation des Ressources en Eau de l'Ouest
WASCAL:	West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use

A. INTRODUCTION

A.1. Cadre de l'intervention

A.1.1. Contexte

Le Burkina Faso est un pays sahélien enclavé dont les ressources en eau sont déficitaires. Ce déficit résulte de conditions climatiques extrêmes et d'une grande variabilité, auxquelles s'ajoutent une expansion démographique importante et une croissance économique peu maitrisée. Les réalités liées au changement climatique contribuent à accentuer ce déficit en eau, causant de graves pénuries puisque l'eau intervient dans pratiquement tous les secteurs de développement du pays.

Ces défis majeurs ont entrainé l'établissement de politiques nationales, qui se matérialisent actuellement par 5 programmes majeurs :

- Le Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable 2016-2030 (PN-AEP). Il s'agit d'un programme sectoriel qui fait suite au Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement à l'horizon 2015 (PN-AEPA, 2006-2015) ;
- Le Programme National D'Assainissement des Eaux Usées et Excréta 2016-2030 (PN-AEUE). Il s'agit également d'un programme sectoriel basé sur les recommandations du PN-AEPA ;
- Le Programme National pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau 2016-2030 (PN-GIRE). Ce programme fait suite au Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau du Burkina Faso (PAGIRE) qui couvrait la période 2003-2015. Le PAGIRE matérialisait la "*Loi d'orientation relative à la gestion de l'Eau*", adoptée en février 2001 ;
- Le Programme National des Aménagements Hydrauliques à l'horizon 2030 (PN-AH) ;
- Le Programme de Pilotage et de Soutien (PPS).

Un constat communément partagé par les différents Programmes et Plans d'Action est que la prise de décision fondée sur des données factuelles, y compris pour l'allocation des ressources en eau entre les autres usagers et l'approvisionnement en eau, est entravée par une connaissance insuffisante et surtout peu fiable de la quantité des ressources en eau et de leur localisation, particulièrement au niveau des eaux souterraines.

Le PN-AEP, au travers de son objectif OO1-A2, souligne que *« La connaissance du potentiel des ressources utilisables pour l'eau potable sera améliorée* » (MEA, 2016a) tandis que le PN-GIRE avance deux actions « *Action 5 – Développement du SNIEAU* » et « *Action 6 – Amélioration des connaissances sur les ressources en eau* » pour palier à la problématique (MEA, 2016b). C'est la même préoccupation qui avait également conduit à l'institutionnalisation, par Décret, de la fourniture d'informations sur les travaux de réalisation et de réhabilitation des ouvrages hydrauliques (Procédure IOTA, BKF, 2005).

Or, il est certain que « *on ne peut bien gérer que ce que l'on connait bien. Tout cadre de gestion intégrée des ressources en eau doit prioritairement se fonder sur l'évaluation et le suivi de ces ressources, en quantité et en qualité* » (BM, 2017).

C'est face à cette situation que le Gouvernement du Burkina Faso a mis en place, avec l'appui de la Banque Mondiale, le **Programme d'Approvisionnement en Eau et d'Assainissement** (PAEA).

A.1.2. Le PAEA et l'étude SEVERE

L'objectif général du PAEA est donc d'améliorer l'accès aux services d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement dans des zones ciblées du Burkina Faso. Le PAEA comprend **quatre Domaines de Résultats (DR)**, à savoir :

- 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 ;**
- DR T. Renforcement du capital humain.

Afin d'accompagner les agences d'exécution du DR3 - à savoir le ST-GIRE et la DGRE du MEA - dans la réalisation de leurs principales activités, le PAEA a prévu une étude visant à **« la synthèse et la valorisation des études sur les ressources en eau au Burkina** » (ci-après SEVERE). L'objectif de la SEVERE est i) de capitaliser les résultats des études et travaux menés dans le cadre du DR3 du PAEA ainsi que les résultats des études et travaux existants, et ii) de réaliser, sur cette base, différentes activités visant à concourir à une meilleure évaluation des ressources en eau, au développement d'un modèle de gestion des aquifères, à la réalisation de cartes hydrogéologiques et au développement d'outils pour une meilleure gestion des données (SHER-ARTELIA, 2021).

L'étude SEVERE base son approche méthodologique en 4 axes génériques. Parmi ceux-ci, l'**Axe 2** travaille spécifiquement sur « ***l'amélioration du suivi quantitatif et qualitatif des ressources en eau du Burkina Faso*** » et vise à atteindre le résultat :

- R.2.1 – L'étude d'optimisation du réseau piézométrique et du réseau de qualité des eaux souterraines est réalisée.

Le logigramme dans lequel s'inscrit l'axe 2 est repris à la figure suivante.

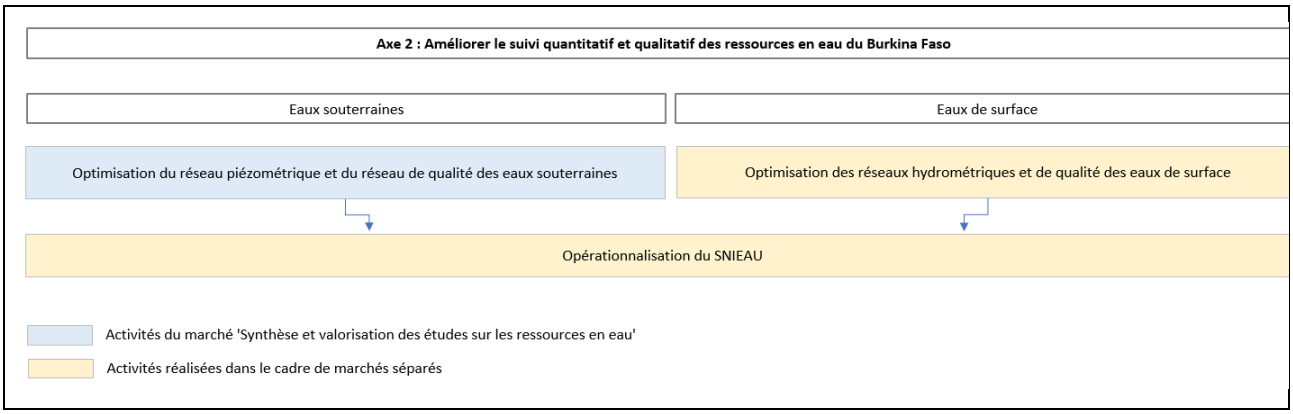


Figure 1 : Logigramme de l'axe 2

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre du résultat R2.1 « **L'étude d'optimisation du réseau piézométrique et du réseau de qualité des eaux souterraines est réalisée** ».

Il est à noter que l'étude d'optimisation des réseaux hydrométrique et de suivi de la qualité des eaux de surface ne fait pas partie des prestations du groupement ARTELIA-SHER et est donc réalisée en dehors du cadre de l'étude SEVERE.

A.2. Cadre thématique et phasage des activités du Résultat 2.1

La mise en place et l'opérationnalisation d'un réseau de suivi des ressources en eau souterraine, tant du point de vue quantitatif (suivi des niveaux de nappe) que qualitatif (suivi de la qualité des nappes), constitue une action indispensable et majeure dans la gestion durable des ressources en eau souterraines à l'échelle nationale.

La surveillance des ressources en eaux souterraines est d'autant plus importante lorsqu'on se situe, comme c'est le cas au Burkina Faso, dans un contexte critique caractérisé par une augmentation constante des besoins, par une situation hydro-climatique peu favorable et fragilisée par les changements climatiques, et par un contexte hydrogéologique offrant des potentialités relativement limitées sur une grande partie du territoire (zone de socle). De surcroit, l'augmentation des activités anthropiques liée au développement socio-économique du pays accroit le risque de contamination des ressources en eau souterraines qui, pour la plupart, sont particulièrement vulnérables face aux pollutions tant domestiques qu'agricoles et industrielles.

A ce jour, le Burkina Faso dispose d'un réseau de suivi piézométrique national primaire, ainsi que d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines. Une optimisation de ces deux réseaux s'avère indispensable, afin d'atteindre les objectifs de gestion durable et de protection des ressources en eau souterraine du pays. Cette optimisation concernera tant l'ajout de points d'observation afin d'atteindre une densité et une homogénéité suffisantes, que la fréquence de mesures, l'équipement des stations (sondes automatiques et télétransmission), les paramètres à mesurer, et enfin la gestion des données issues de ces réseaux.

Le présent résultat vise spécifiquement à atteindre cet objectif d'optimisation du suivi des eaux souterraines. Au sein du PAEA, il s'inscrit de manière complémentaire par rapport à l'étude (faisant l'objet d'un marché distinct) d'optimisation des réseaux hydrométriques et de qualité des eaux de surface du Burkina Faso.

Le R.2.1 comporte deux phases générales, exclusivement en lien avec le suivi des eaux souterraines :

- (1) Le diagnostic des réseaux de suivi piézométrique et de la qualité des eaux souterraines (QES) du Burkina Faso. Cette activité vise à établir un état des lieux des réseaux de suivi actuels des eaux souterraines, portant notamment sur l'identification et la composition des réseaux (nombre de points, densité, distribution géographique, etc.), sur les caractéristiques et l'équipement des ouvrages de suivi, sur les paramètres mesurés et sur l'historique des mesures, sur la qualité des données issues de ces réseaux, sur les procédures de collecte – saisie – validation – analyse – exploitation et diffusion des données, et enfin sur les modalités de gestion de ces réseaux de suivi. L'état des lieux vise ainsi à identifier les forces et faiblesses des réseaux de suivi actuels, et à formuler des recommandations pour leur amélioration.
- (2) L'élaboration de propositions pour l'optimisation du réseau piézométrique national (RPN) et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines (RNSQES). Cette activité vise à formuler des propositions d'amélioration de ces deux réseaux de suivi, tant sur le plan technique qu'organisationnel, reposant sur les conclusions de l'état des lieux réalisé en première phase. Ces propositions visent le renforcement des infrastructures de réseaux et des équipements (nombre de points, type d'équipement, etc.), ainsi que le renforcement des ressources humaines, matérielles et financières associées à la gestion de ces réseaux de suivi.

Ces activités balisent le phasage de l'étude qui se déroule en continuum.

B. METHODOLOGIE ET LIGNES DIRECTICES DE L'ETUDE

B.1. Méthodologie

Le Résultat R2.1, dont le présent rapport fait l'objet, concerne le diagnostic et l'optimisation des réseaux de suivi des eaux souterraines. Il se décline en activités A2.1.1 à A2.1.4.

L'activité A.2.1.1 (diagnostic des réseaux) permet de se représenter les deux réseaux de suivi concernés. Suite à cela, l'information collectée a été contrôlée et capitalisée. Sur cette base, les tâches relatives à l'Activité A.2.1.2 (optimisation du réseau piézométrique national et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines) ont été menées.

A la suite de la phase d'optimisation, des prescriptions techniques pour l'équipement des réseaux de suivi des eaux souterraines ont été établies. Il s'agit de l'activité A.2.1.3.

Le contrôle des 20 piézomètres additionnels prévus dans le cadre du PAEA s'inscrit au niveau du Résultat R2.2 ; cette activité fera donc l'objet d'un rapport distinct ultérieur, qui sera livré au terme de la réalisation de ces ouvrages et qui reprendra les données et résultats issus de ces ouvrages. On notera toutefois que le DAO relatif aux travaux d'exécution de ces 20 piézomètres a été préparé durant la phase actuelle, et fait dès lors partie du présent rapport : il s'agit de l'activité A.2.1.4.

Résultat	**Activité**
R2.1	**A.2.1.1**. Diagnostic des réseaux de suivi des eaux souterraines **A.2.1.2**. Optimisation du réseau piézométrique national et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines **A.2.1.3**. Prescriptions techniques pour l'équipement du réseau piézométrique national et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines **A.2.1.4**. Prescriptions techniques pour la réalisation de 20 piézomètres additionnels au profit du RPN
R2.2	**A.2.2.1**. Contrôle des travaux d'exécution des 20 piézomètres additionnels **A.2.2.2**. Synthèse des données et résultats relatifs aux 20 piézomètres additionnels

B.1.1. Diagnostic des réseaux de suivi

La première phase de l'étude consiste en la réalisation de l'état des lieux (diagnostic) des réseaux de suivi piézométrique et de la qualité des eaux souterraines actuels. Elle repose principalement sur les tâches suivantes :

- Compilation et sélection des documents guides internationaux établissant les lignes directrices pour la mise en place de réseaux de suivi des eaux souterraines ;
- Collecte des données, informations et documents auprès des structures détentrices de l'information et gestionnaires des réseaux de suivi concernés (DGRE DEIE, DREA, UCDIEAU, PAGIRE, Agences de l'Eau, ONEA, projets et programmes, etc.) ;
- Entretiens et séances de travail avec les structures gestionnaires des réseaux de suivi ;
- Exploitation, analyse et capitalisation des données, informations et documents collectés : évaluation des réseaux et analyse des données, synthèse des données et information ;
- Intégration des métadonnées descriptives des réseaux et des données de suivi (piézométrie et qualité de l'eau) dans la base de données BD-OMES. Constitution de produits dérivés de capitalisation à partir de ces données (statistiques, graphiques d'évolution temporelle, agrégation

par zones climatiques et par contextes géologiques, etc.) ;

- Rédaction du diagnostic (état des lieux) des réseaux de suivi des eaux souterraines, incluant les recommandations formulées pour une optimisation en support à la deuxième phase de l'étude.

Le diagnostic approfondi porte sur les éléments suivants : le nombre de points d'observation, leur répartition spatiale, leur densité, l'homogénéité de la distribution géographique, le niveau de représentativité par rapport aux zones géographiques particulières (telles que forte exploitation, densité d'activités à risque), les paramètres mesurés, la fréquence des mesures, les équipements de mesures, les protocoles opératoires d'acquisition des données, les protocoles de transmission des données, l'historique des données et la continuité des séries de données, la cohérence des données (anomalies), la typologie du réseau (patrimonial, d'impact), le stockage des données, la validation des données, l'analyse des données, le partage et la diffusion des données, les institutions en charge de l'acquisition et de la gestion des données ainsi que leurs capacités en ressources humaines, matérielles et financières.

Certaines phases du diagnostic reposent sur une comparaison de la situation actuelle du réseau de suivi par rapport à différentes normes et recommandations internationales relatives à l'optimisation de réseaux de suivi des eaux souterraines.

Au niveau méthodologie, le Groupement a rencontré la DEIE, gestionnaire des réseaux de suivi nationaux, en début de projet pour disposer d'un état des lieux des connaissances et réaliser la collecte de données en lien avec les réseaux piézométriques et de qualité des eaux souterraines (rencontre du 20/01/2021). A cette occasion, le Consultant avait élaboré un questionnaire destiné à orienter les échanges. Il se composait de 9 questions génériques, applicables tant au RPN qu'au RNSQES (cf. Tableau 1). Les réponses à ce questionnaire sont rapportées et analysées dans les sections relatives au diagnostic (D.1 et E.1).

Tableau 1 : Questionnaire adressé à la DEIE

# question	Questions
1	Quelles sont les données de base collectées par la DEIE/DGRE ?
2	Quels types de données sont livrés par la DEIE/DGRE aux structures demandeuses ?
3	Quelles sont les fréquences de mesure des données ?
4	Quelles sont les fréquences de collecte des données ?
5	Quels sont les systèmes de stockage des données et informations ?
6	Quels sont les mécanismes de validation des données ?
7	Quels sont les systèmes de diffusion ?
8	Quels sont les difficultés rencontrées dans le système de production /diffusion des données ?
9	Quelles sont les perspectives en termes d'amélioration du système de collecte et de diffusion ?

B.1.2. Optimisation du réseau de suivi piézométrique national et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines

Sur base du diagnostic approfondi réalisé en phase de diagnostic, une optimisation du réseau de suivi piézométrique national et du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines est proposée.

L'optimisation porte sur la prise en compte de l'ensemble des recommandations formulées lors du diagnostic, lesquelles sont basées sur les normes et recommandations des principaux documents-guides internationaux (OMM, UE, etc.). Des priorités ont été établies, afin de concilier la planification de l'optimisation du réseau avec les éventuelles contraintes budgétaires.

L'optimisation des deux réseaux est proposée sur la base des connaissances des aquifères (localisation, géométrie, lithologie, piézométrie etc.). Les résultats du PAEA, notamment l'identification des zones aquifères favorables du socle cristallin ainsi que l'amélioration des connaissances sur les aquifères sédimentaires, ont été capitalisés pour définir des zones homogènes à suivre et proposer de nouveaux sites de suivi. Une attention particulière est portée aux aquifères du sédimentaire, et particulièrement la zone ouest du Burkina Faso compte tenu de son intense exploitation et des enjeux socio-économiques directement dépendants des ressources en eau souterraine.

L'optimisation du nombre et la distribution spatiale des stations à prévoir selon ces critères pour les réseaux implique :

- Une sélection de stations pertinentes parmi les stations existantes au Burkina Faso (l'ensemble des stations existantes pouvant au final être retenu) ;
- La réalisation d'ouvrages de surveillance (piézomètres) supplémentaires ;
- Le cas échéant, la récupération de piézomètres existants réalisés dans le cadre d'autres projets ;
- Eventuellement, la réhabilitation de forages existants (non exploités) à récupérer aux fins de surveillance.

L'optimisation du réseau de suivi piézométrique national porte également sur l'équipement à prévoir au niveau des stations de mesures (piézomètres). Des propositions sont énoncées pour doter les stations de sondes de mesures automatiques, avec dataloggers et systèmes de télétransmission vers les bases de données réceptrices.

La proposition d'optimisation des deux réseaux intègre l'organisation opérationnelle des prises de mesures manuelles, que ce soit pour la calibration et le contrôle des sondes automatiques ou pour le prélèvement d'échantillons d'eau pour analyse en laboratoire. A ce sujet, une liste de composants chimiques à intégrer au réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines a été établie, ainsi qu'un protocole d'échantillonnage/transport/analyse. Les fréquences de mesures manuelles et d'échantillonnage sont également définies.

On notera que, pour des raisons de calendrier de mise en œuvre du PAEA DR3 et en concertation avec l'UGP du PAEA, la présente phase d'optimisation des réseaux de suivi des eaux souterraines précède la finalisation d'une série d'activités du PAEA qui pourraient apporter des résultats utiles à l'optimisation. On citera notamment à ce titre les activités relatives au sédimentaire de l'ouest (géophysique, réalisation des forages profonds, modélisation géologique et hydrogéologique, caractérisation hydrogéologique) et relatives au socle (géophysique, implantation de forages productifs et essais associés). Une actualisation de l'optimisation pourrait dès lors s'avérer pertinente, au terme de la mise en œuvre de ces activités.

B.1.3. Prescriptions techniques et budgétisation

Des prescriptions techniques sont établies pour l'équipement des ouvrages faisant partie des deux réseaux

de suivi étudiés.

Pour ce qui concerne le suivi de la piézométrie, il s'agit de prescriptions relatives aux sondes automatiques de mesure de pression et aux dispositifs associés (télétransmission, stockage, interface de gestion et de visualisation des données, etc.). Une proposition de DAO est élaborée pour l'acquisition de ces équipements.

Pour ce qui concerne le suivi de la qualité des eaux souterraines, il s'agit de prescriptions relatives à des sondes multi-paramètres pour mesures in-situ de la qualité physico-chimique des eaux souterraines à réaliser périodiquement, en particulier lors des campagnes d'échantillonnage.

Les prescriptions techniques relatives à ces équipements, de même que la proposition de DAO associée, sont reprises dans le présent rapport.

Une estimation budgétaire est également réalisée, tant pour l'ajout de points de surveillance que pour l'équipement des stations et la gestion du réseau dans son ensemble.

B.1.4. Contrôle de la réalisation d'une vingtaine de piézomètres

La réalisation d'une vingtaine de piézomètres, contribuant à l'optimisation des réseaux de surveillances des eaux souterraines, est prévue dans le cadre du PAEA.

L'étude de localisation de ces 20 piézomètres sera réalisée au sein du R.2.1, en concertation avec la DGRE et l'UGP, sur base des résultats de la phase d'optimisation. Elle tiendra compte de priorités établies par rapport à des zones peu couvertes ou à enjeu particulier, et des éventuelles restrictions liées à la situation sécuritaire.

L'ensemble des spécifications techniques relatives aux travaux de réalisation et l'acquisition des équipements pour ces nouveaux piézomètres font partie du présent rapport.

L'implantation et le contrôle de l'exécution de ces piézomètres seront réalisés dans le cadre de l'Etude SEVERE, avec la collaboration de l'équipe de contrôleurs de forage du Groupement. Ces activités seront couvertes par le Résultat R.2.2.

L'équipe de contrôleurs de forages du Groupement sera mobilisée, pour assurer en continu le suivi de l'exécution de toutes les opérations prévues dans le(s) marché(s) de forage relatif à l'exécution de ces 20 piézomètres. Une collaboration étroite sera dès lors initiée, et poursuivie durant toute la durée d'exécution des travaux de forage, entre l'équipe d'hydrogéologues contrôleurs de forages et les entreprises en charge de l'exécution.

Dans le cadre du Résultat R2.2, des rapports de contrôle des travaux de forage seront produits pour chaque ouvrage, incluant :

- Le journal d'exécution des opérations de forage (avancement, décisions prises, problèmes rencontrés, etc.)
- Le descriptif lithologique (terrains traversés) et technique (paramètres de foration, équipement, etc.)
- La réalisation de logs de forages reprenant les informations lithologiques, hydrogéologiques (dont venues d'eau) et techniques (dont l'équipement du forage).
- L'interprétation des essais de pompage (méthode CIEH).
- Un rapport final sera établi en fin de travaux de forages, reprenant l'ensemble des informations relatives à ces travaux et aux opérations y associées.

Le présent rapport, rédigé au terme de la phase d'optimisation des réseaux de suivi et préalablement à la réalisation des travaux de forage des piézomètres, ne reprend donc pas ces éléments.

B.2. Lignes directrices de l'étude

B.2.1. Documents-guides de référence

Les lignes directrices qui seront utilisées pour le diagnostic des réseaux de suivi piézométrique et de qualité des eaux souterraines seront établies sur base de documents de référence relatifs à la mise en place et à l'optimisation de réseaux de suivi des eaux souterraines. La bibliographie comprend les ouvrages suivants :

- Recommandations de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) issues du Guide des pratiques hydrologiques, OMM N°168, édition 2012 ;
- Guide pour la détermination des indicateurs piézométriques en vue d'une gestion quantitative de la ressource, BRGM, déc. 2011 ;
- Documents de guidance n°07 et n°15 « Guidance on groundwater monitoring » de la Commission Européenne (2007) relatif à la Directive-Cadre européenne sur l'eau ;
- Guidelines on monitoring and assessment of transboundary groundwaters, UN/EC Task Force on Monitoring, mars 2000;
- The European Environment Agency's Monitoring and Information Network for Inland Water Resources: Technical Guidelines for Implementation (Technical report n° 7), EUROWATERNET 1998;
- Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France, 2003 ;
- Principes et méthodologie d'adaptation du réseau de surveillance des eaux souterraines en Région wallonne de Belgique, SPW 2008 ;
- Méthode de détermination par système aquifère des niveaux de surveillance de la piézométrie et de la qualité des eaux souterraines, BRGM 1997 ;
- Recommandations issues de « l'état des lieux de la situation hydrométéorologique du bassin de la Volta, bilan diagnostic des systèmes de suivi existants et recommandations pour une optimisation », ABV 2010 ;
- Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage, fascicule de documentation FD X 31 615, AFNOR (2000).
- Guide de l'évaluation de l'état des eaux souterraines, Ministère de la transition écologique et solidaire, France, juillet 2019.

B.2.2. Définition et typologie des réseaux de suivi

Conformément aux documents-guides de référence sur le plan international portant sur les réseaux de surveillance, trois grandes catégories de réseaux peuvent être distinguées et prises en compte pour établir une typologie :

- Le **réseau homogène** : points d'observation non directement influencés par les captages et répartis uniformément sur l'entièreté des aquifères ;
- Le **réseau d'impact** : points d'observation situés dans la zone d'influence des captages importants et permettant d'observer l'incidence de ceux-ci ;
- Le **réseau spécifique** : stations additionnelles consacrées à la surveillance de phénomènes ou de sites particuliers (zones surexploitées, zones à risque particulier, etc.).

Cette typologie sera utilisée tant pour le diagnostic que pour l'optimisation des réseaux de suivi.

De manière générale, sur le plan international, la gestion des réseaux homogènes relève des autorités en charge de la gestion des ressources en eau (en l'occurrence la DGRE du MEEA au Burkina Faso), tandis que la gestion des réseaux d'impact relève principalement des exploitants des principaux captages (en l'occurrence l'ONEA au Burkina Faso, pour ce qui concerne l'eau potable). Les réseaux spécifiques, quant à eux, sont dépendants de l'identification préalable de zones localisées à fortes pressions quantitatives ou qualitatives, et/ou de constats de dégradations locales significatives de l'état quantitatif ou qualitatif de la nappe.

B.2.3. Indicateurs et recommandations

Les documents-guides de référence reprennent une série de recommandations relatives à la mise en place et à l'optimisation de réseaux de suivi des eaux souterraines. Ces recommandations portent principalement sur la densité minimale de points de mesure à considérer, sur la fréquence minimale de mesure, ainsi que sur les paramètres à analyser et sur les méthodes de prélèvement et d'échantillonnage (pour le suivi de la qualité).

Les sections ci-après synthétisent les principales recommandations issues de la bibliographie. Ces recommandations servent de base pour le diagnostic des réseaux actuels de suivi des eaux souterraines du Burkina Faso. On notera toutefois qu'elles ne constituent en aucun cas un objectif visé d'optimisation des réseaux de suivi. En effet, la démarche d'optimisation s'appuiera résolument sur une volonté de pragmatisme et sur des perspectives réalistes d'opérationnalisation effective des réseaux, tenant compte des moyens humains, matériels et budgétaires qui pourront être mobilisés.

B.2.3.1. Suivi de la piézométrie

Le **Guide des pratiques hydrologiques de l'OMM** (1996) recommande une distance maximale de 40 km entre points d'observation, pour le réseau homogène de suivi de la piézométrie. Cette distance correspond à une densité de 1/1.600 km². Aucune recommandation n'est formulée quant à la fréquence de mesures.

Le **Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France** (2003) recommande les densités minimales suivantes pour le réseau homogène de suivi de la piézométrie.

Type de la masse d'eau				*Densité minimale (nb/km²)*
SEDIMENTAIRE	Libre(s) et captif dissociés	Libre	Karst	1/500
			Non karst	1/500
		Captif		1/3000
	Libre(s) et captif associés	Captif dominant		1/3000
		Libre dominant		1/500
ALLUVIONS				1/500
SOCLE				1/7000
EDIFICE VOLCANIQUE				1/7000
INTENSEMENT PLISSE				1/7000

Figure 2 : Densité minimale pour le suivi d'un réseau piézométrique homogène

La fréquence minimale recommandée pour le suivi de la piézométrie (réseau homogène) est reprise dans la Figure 3.

Type de la masse d'eau				*Pression ?*	*Fréquence minimale*
SEDIMENTAIRE	Libre(s) et captif dissociés	Libre	Karst	Oui	1/j
				Non	1/semaine
			Non karst	Oui	1/semaine
				Non	1/15j
		Captif		Oui	1/mois
				Non	2/an*
	Libre(s) et captif associés	Captif dominant		Oui	1/mois
				Non	2/an*
		Libre dominant		Oui	1/semaine
				Non	1/15j
ALLUVIONS				Oui	1/semaine
				Non	1/15j
SOCLE				Oui	1/semaine
				Non	1/15j
EDIFICE VOLCANIQUE				Oui	1/semaine
				Non	1/15j
INTENSEMENT PLISSE				Oui	1/semaine
				Non	1/15j
IMPERMEABLE LOCALEMENT AQUIFERE*				Oui	1/semaine
				Non	1/15j

Figure 3 : Fréquence minimale pour le suivi d'un réseau piézométrique homogène

B.2.3.2. Suivi de la qualité des eaux souterraines

Le **Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France** (2003) recommande les densités minimales suivantes pour le suivi de la qualité des eaux souterraines.

Type de la masse d'eau				*Densité minimale (nb points/km²)*
SEDIMENTAIRE	Libre(s) et captif dissociés	Libre	Karst	1/500
			Non karst	1/500
		Captif		1/3000
	Libre(s) et captif associés	Captif dominant		1/3000
		Libre dominant		1/500
ALLUVIONS				1/500
SOCLE				1/3500
EDIFICE VOLCANIQUE				1/3500
INTENSEMENT PLISSE				1/3500

Figure 4 : Densité minimale pour le suivi d'un réseau de qualité des eaux souterraines

La fréquence minimale recommandée est de 1 à 2 campagnes d'analyse par an, pour les principaux paramètres.

Les paramètres recommandés pour la surveillance de l'état chimique sont les paramètres physico-chimiques in situ, les éléments majeurs, les MES, les matières organiques oxydables, la silice, les composés azotés (NO_3, NH_4) et certains micropolluants organiques (phytosanitaires). Ils sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Paramètres recommandés pour l'état chimique des réseaux de suivi ESO

Physico-chimie in situ	Température, conductivité, pH, Eh, Oxygène dissous
Elements majeurs	HCO_3^-, CO_3^{2-}, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{2+}, K^+
Matières organiques oxydables	Oxydabilité en $KMnO_4$ à chaud en milieu acide
	Carbone Organique Dissous (COD)
Matières en suspension	Turbidité, Fer total, Manganèse total
Minéralisation et salinité	Dureté totale, Sio_2,
Composés azotés	NO_3^-, NH_4^+
Phytosanitaires et environnement rural	Famille de triazines (+ métabolites) Famille des urées substituées

B.2.4. Evaluation de l'homogénéité et optimisation de la distribution spatiale des sites de suivi des eaux souterraines

L'évaluation de l'homogénéité des réseaux de suivi des eaux souterraines, et l'optimisation de la distribution spatiale des sites de suivi, sont réalisées en utilisant les méthodes de Voronoï (ou encore décomposition de Voronoï, partition de Voronoï ou tessellation de Dirichlet).

Les diagrammes de Voronoï sont utilisés en météorologie et en gestion des réseaux de suivi pour analyser des données de distributions spatiales, Ils sont également appelés **polygones de Thiessen** du nom du météorologiste américain Alfred H. Thiessen.

En mathématiques, un diagramme de Voronoï est un pavage (découpage) du plan en cellules (régions adjacentes) à partir d'un ensemble de points appelés « germes ». Chaque cellule enferme un seul germe, et entoure l'ensemble des points du plan plus proches de ce germe que d'aucun autre. La cellule représente en quelque sorte la « zone d'influence » du germe. Elle est de forme polygonale. Elle est dénommée polygone de Voronoï ou polygone de Thiessen (BOSSER, 2011).

Les cellules doivent satisfaire les critères des triangles de Delaunay. Tous les emplacements d'une zone sont plus proches de l'objet qu'elle entoure que de n'importe quel autre objet de l'ensemble. Les diagrammes de Voronoï sont souvent utilisés pour délimiter les zones d'influence autour des entités géographiques.

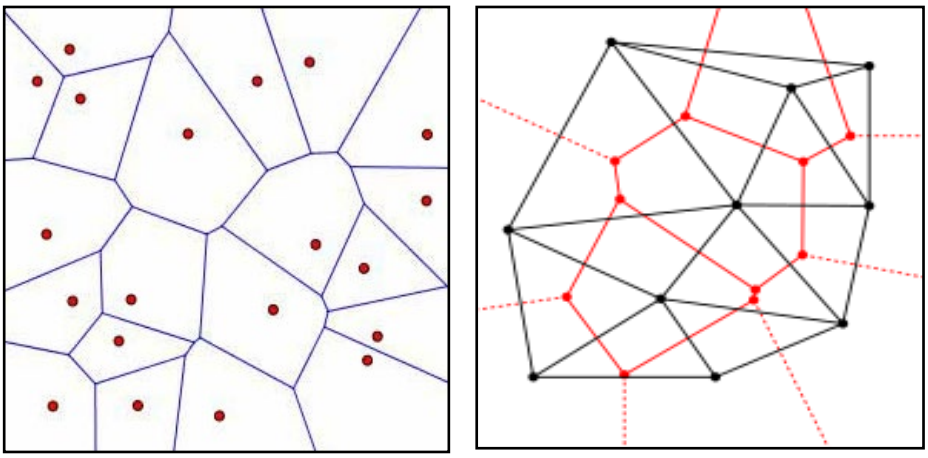


Figure 5 : Exemple de décomposition de Voronoï (gauche) et de triangulation de Delaunay (droite)

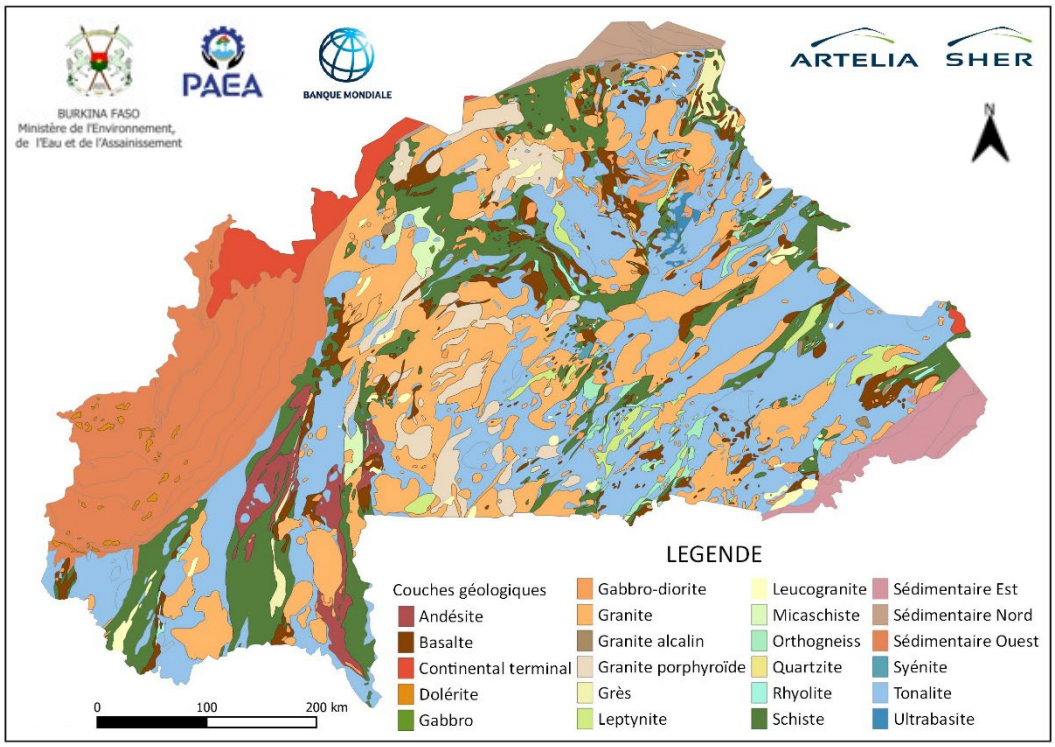
C. LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE AU BURKINA FASO

C.1. Aperçu du contexte hydrogéologique du Burkina Faso

C.1.1. Contexte géologique et hydrogéologique général

La géologie du Burkina Faso se partage entre (i) les terrains cristallins (socle) de la dorsale de Man-Léo (autrefois appelé bouclier Eburnéen) qui occupent une partie centrale de près de 225 000 km^2 soit environ 80% de la superficie du pays, (ii) l'extrémité Sud-Ouest du bassin sédimentaire ancien du Taoudéni, qui est représentée dans le pays par le bassin sédimentaire occidental qui s'étend entre Banfora et la plaine du Gondo, mais aussi au Nord par la bordure Sud du bassin du Gourma qui en est la continuation, et enfin (iii) le bassin sédimentaire ancien des Volta à l'Est et au Sud-Est.

La carte ci-dessous illustre la géologie simplifiée du Burkina Faso.



Carte 1 : Carte géologique simplifiée du Burkina Faso (SHER-ARTELIA, 2021)

Ces ensembles géologiques définissent deux grands types d'aquifères qui déterminent très largement la disponibilité des ressources en eau souterraine : les aquifères de socle, et les aquifères du sédimentaire.

Ces deux types d'aquifères se décomposent en quatre grands ensembles rencontrés au Burkina Faso. Ils se déclinent comme suit :

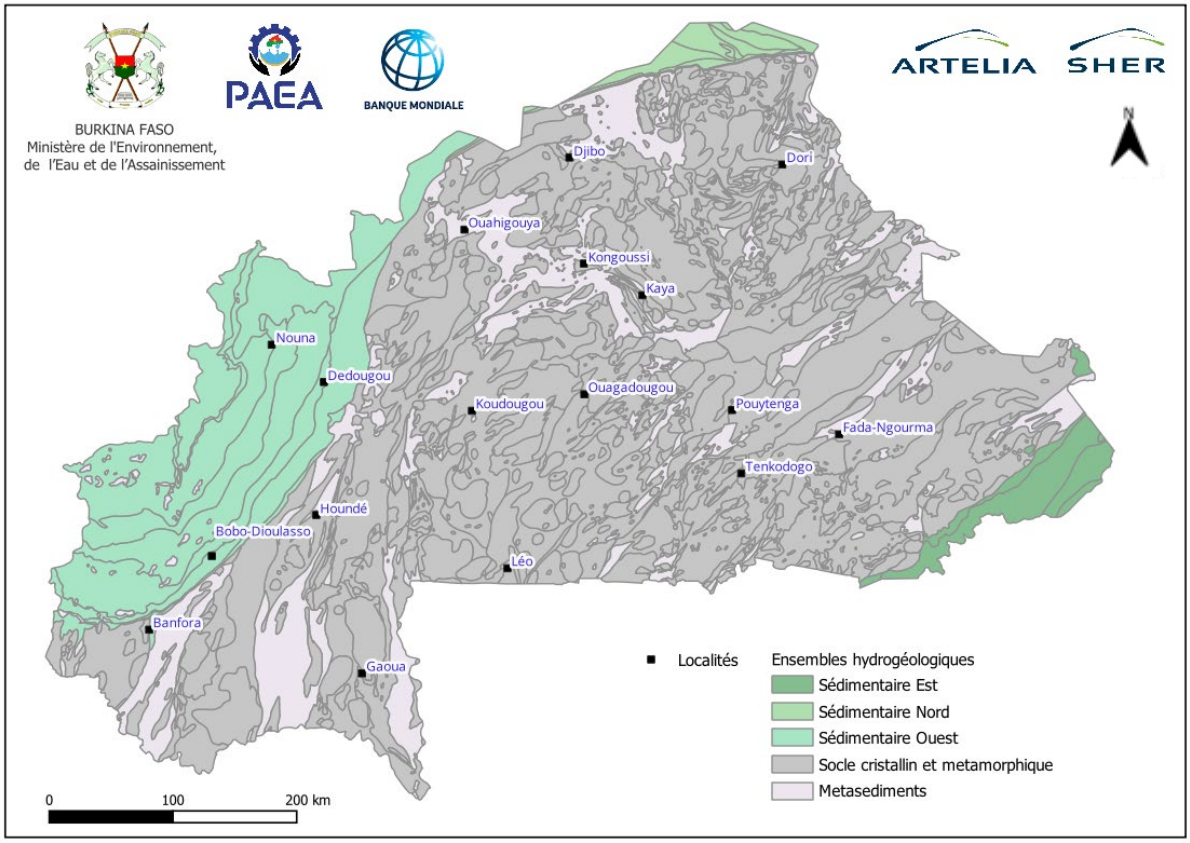
i) dans la partie occidentale du pays, un ensemble d'aquifères sédimentaires essentiellement gréseux appartenant au bassin du Taoudéni ; ils sont contenus dans des formations anciennes de l'Infracambrien qui se retrouvent également au Mali, et dans celles plus récentes du Continental Terminal, le tout couvrant un peu moins de 20% du pays ;

ii) au Nord, la suite des formations sédimentaires infracambriennes de la bordure SE du Gondo mais surtout celles de la bordure Sud du Gourma, dont des formations calcaires et karstifiées très productives, l'ensemble appartenant à la marge sud-orientale du bassin du Taoudéni ;

iii) à l'Est, à la frontière avec le Bénin et le Ghana, l'aquifère essentiellement gréseux du bassin sédimentaire ancien Voltaïen ;

iv) sur approximativement 80% de la superficie du pays, des aquifères de type fissuré, discontinus, correspondant à des formations cristallines ou volcano-sédimentaires métamorphisées.

La carte ci-après illustre les grands ensembles hydrogéologiques du Burkina Faso.



Carte 2: Carte des ensembles hydrogéologiques du Burkina Faso

C.1.2. Le bassin sédimentaire Occidental (Taoudéni)

C'est le bassin sédimentaire le plus important du Burkina Faso. Sa superficie est estimée à 45.000 km², l'estimation étant variable selon les documents consultés. Il correspond à l'extrémité sud-orientale du bassin du Taoudéni, au contact de la dorsale du craton granitique de Léo, qui constitue près des 80% restants du pays.

Au Burkina Faso, le bassin sédimentaire de Taoudéni présente une altitude comprise entre 240 et 790 mètres. Les plus hauts reliefs sont localisés à l'extrême Sud-Ouest du bassin, tandis que la zone la plus basse correspond à la plaine du Sourou localisée au Nord du bassin sédimentaire occidental, dans la partie amont de la plaine du Gondo.

Dans la partie burkinabé du bassin, neuf formations sont reconnues de la base au sommet (Ouedraogo, 1998): les Grès Inférieurs (GI), les Grès de Kawara-Sindou (GKS), les Grès Fins Glauconieux (GFG), les Grès à Granules de Quartz (GGQ), les Siltstones, Argilites et Carbonates de Guena-Souroukoundinga (SAC1), les Grès Fins Roses (GFR), les Siltstones, Argilites et Carbonates de Samandeni-Kiébani (SAC2 ou "Schistes de Toun"), les Siltstones et Quartzites de Fo (SQ, ou "Grès de Koutiala") et enfin les Grès de Fo-Bandiagara (GFB).

Ces différentes formations, à dominante gréseuse, s'empilent les unes sur les autres en couches affectées

d'un léger pendage vers le Nord-Ouest (2° à 3° environ) provoquant leur enfoncement d'environ 35 m par km. Elles s'épaississent généralement vers l'Ouest, si bien que cela pourrait amener le GKS (un des termes de la base des formations) à se trouver à près de 4000 m de profondeur vers la frontière malienne. Mais bien qu'aucun forage n'ait atteint le socle à cet endroit, cette profondeur paraît excessive et il est possible que le pendage s'atténue vers le nord-ouest, conduisant à évaluer l'épaisseur du bassin à plutôt 2000 m.

Actuellement, la falaise de Banfora est considérée comme représentant la limite méridionale et orientale entre le domaine sédimentaire et le domaine cristallin. Toutefois un forage à Nyanouaré au sud de Toussiana a prouvé l'existence de grès au sud de la falaise.

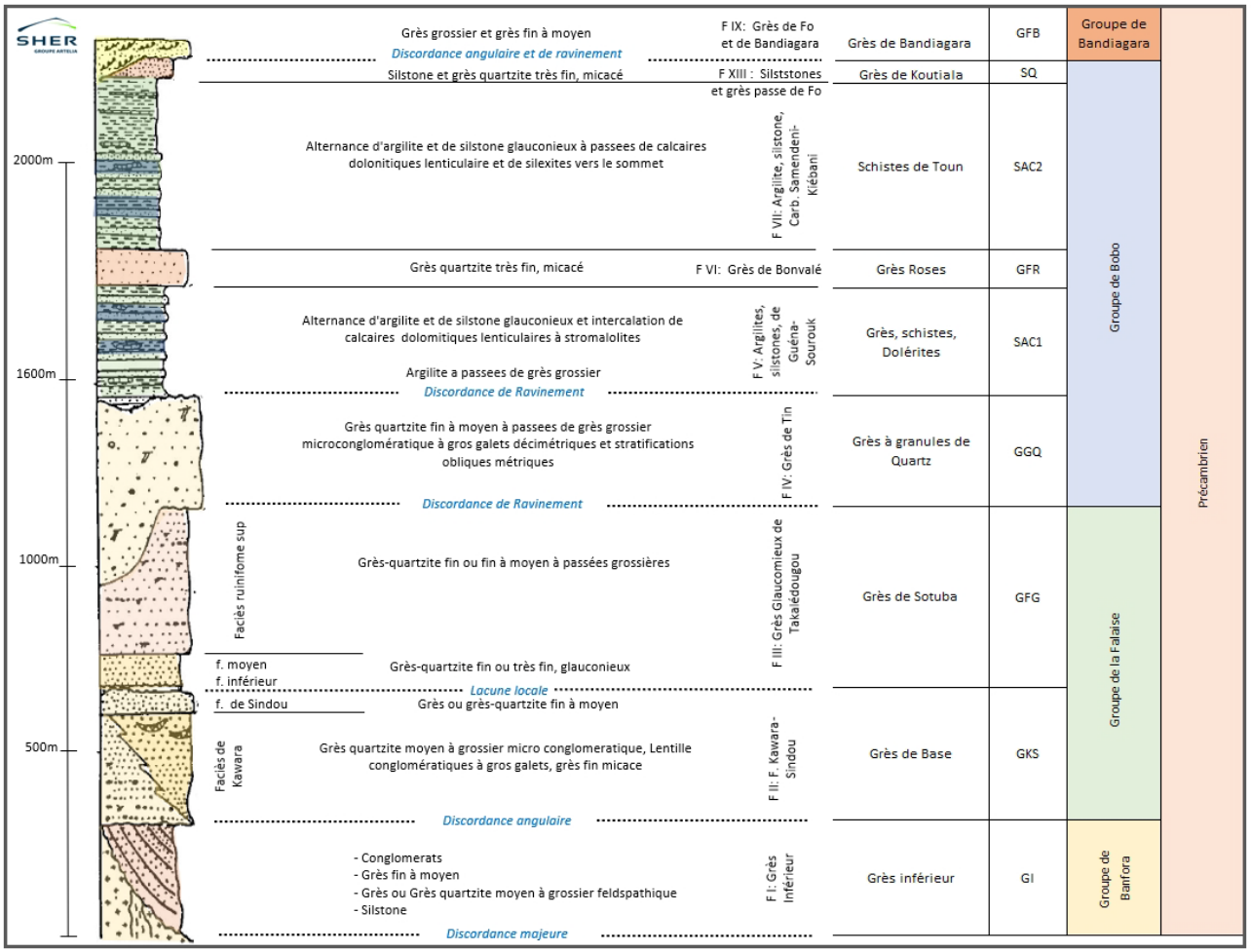


Figure 6 : Log stratigraphique du Sédimentaire de l'Ouest du Burkina Faso (ARTELIA-SHER, adapté de Ouédraogo C. 2008)

Les neuf formations aquifères rencontrées sont les suivantes :

Les Grès Inférieurs (GI). Reposant sur le socle granitique ou sur des schistes peu perméables, ils constituent le terme de base du bassin sédimentaire, mais on ne les trouve qu'au pied de la falaise de Banfora, sur une distance de 10 à 15 km de part et d'autre de la ville. L'écoulement de cet aquifère se fait en direction du socle. Cette formation appartient au Groupe de Banfora, et elle est constituée de grès plus ou moins grossiers, à passées silteuses. Sa puissance est de l'ordre de 300 m. Elle n'existe pas dans le bassin du Kou.

L'aquifère des Grès de Kawara Sindou (GKS). Ces grès, plus récents, représentent le premier terme du Groupe de la Falaise, d'une puissance de l'ordre de 800 m. L'épaisseur du GKS varie de 60 à 350 m , et, selon SOGREAH (1994) cette formation repose (comme les GI) soit sur des schistes très peu perméables, soit par

endroits directement sur les formations du socle. Très diaclasée, elle présente dans le paysage un aspect ruiniforme. L'aquifère est composé essentiellement de grès, mais le toit de la nappe est constitué par des formations très peu perméables. La valeur de la transmissivité est de 10-3 m2/s et les coefficients d'emmagasinement calculés varient de 3,8 x 10-3 à 1,5 x 10-4, caractérisant une nappe captive. Le niveau statique est de l'ordre de 10 m. Les analyses isotopiques montrent une eau relativement ancienne (500 ans).

L'aquifère des Grès Fins Glauconieux (GFG) ou Grès de Sotuba. Constituant le second et dernier terme du Groupe de la Falaise, ils forment par endroits le sommet de la falaise en une bande d'environ 10 km de large. De nombreuses sources jalonnent la falaise. Cet aquifère (C. OUEDRAOGO, 1983 et 2007) débute par une alternance de grès grossier conglomératique glauconieux, mais il est surtout formé de minces niveaux de grès très fin silteux rougeâtre ou verdâtre. Son sommet et sa base sont constitués de couches argileuses quasi imperméables, ce qui rend la nappe captive. La formation est très étendue et sa nappe est très utilisée par les industries de la ville de Bobo. Son épaisseur varie de 160 à 500 m. Un test effectué sur un forage de la Brakina (Bobo-Dioulasso), débitant 40 à 70m3/h a indiqué une transmissivité de 7.10-4m²/s. Cet aquifère est menacé de pollution. Les coefficients d'emmagasinement, faibles, y sont de l'ordre de 6,3 x 10-6. La profondeur du niveau statique varie de 6 à 16 m.

L'aquifère des Grès à Granules de Quartz (GGQ). C'est le premier terme de la série du Groupe de Bobo. L'aquifère est composé de grès quartzites fins à moyens avec des passées de grès grossiers à gros galets, et son épaisseur varie de 300 à 600 m. Les analyses chimiques faites dans cet aquifère sur les eaux des sources de Nasso conduisent à penser qu'il contient deux nappes. Des diagraphies ont effectivement montré la présence à certains endroits d'une couche argileuse de 15 m d'épaisseur. Cet aquifère serait lui-même séparé de l'aquifère GFG sous-jacent par une couche d'argile ou de grès imperméables plus ou moins continue. Cet aquifère donne lieu à de nombreuses sources (la Koba, Diolé, Diéri…). Il est très perméable, mais son toit, constitué des niveaux quasi-imperméables de la base du SAC1, explique la présence de nombreuses sources et leur important débit. Un essai de pompage de longue durée réalisé sur le forage F3 (320m3/h) a fourni une transmissivité de 6.10-2 m²/s et un coefficient d'emmagasinement de 5,5.10-4. Les coefficients d'emmagasinements calculés varient de 3,68 x 10-2 à 2,92 x 10-5.

Ces trois derniers aquifères sont très productifs.

L'aquifère des Silstones Argilites et Carbonates de Guéna Souroukoudinga (SAC1). Au contact de l'aquifère des sources de Nasso, cette formation, qui constitue une nappe puissante, est composée de grès rouges très grossiers et glauconieux qui forment l'aquifère principal, mais aussi de niveaux de grès quartzites très fins et arkosiques. Son toit est formé d'une épaisse couche de calcaires dolomitisés très peu perméable et non karstifiés, alors que son mur est constitué d'une série d'argiles rouges ou jaunes plus ou moins épaisses (de plus de 100 m à quelques dizaines de m) qui semble disparaître au voisinage des sources où les failles mettent en contact hydraulique le SAC1 et GGQ. Son épaisseur pourrait dépasser 300 m, avec une moyenne de l'ordre de 90m. Par endroits il forme des collines protégées de l'érosion par des couches de dolérites. Ses caractéristiques hydrodynamiques sont très variables, mais peuvent être très bonnes, bien que leur calcul provienne d'essais de pompage courts et donc peu fiables, effectués sur des forages à faible débit. Les débits obtenus à la foration sont de l'ordre de 40 m3/h. La transmissivité varie entre 5,6.10-4 à 1,1.10-2 m²/s. Le niveau statique est de l'ordre de 12 m.

L'aquifère des Grès Fins Roses (GFR). De faible extension, cet aquifère est constitué de grès quartzites très fins, micacés et glauconieux, généralement de couleur rose. Il contient une nappe peu épaisse, avec des niveaux statiques très peu profonds, de l'ordre de 11 m. Cette nappe est captée par les puits traditionnels villageois dans les départements de Bama et de Sakaby.

Les Siltstones, Argilites et Carbonates de Samandeni-Kiébani (SAC2 ou "Schistes de Toun"). Les schistes de

Toun sont formés d'une alternance irrégulière d'argilites et de siltstones intercalés de bancs carbonatés et gréseux. L'épaisseur totale de cette formation est estimée à 450 mètres, et son niveau statique est de l'ordre de 10 mètres sous le sol. Les transmissivités sont de l'ordre de 2 à 3 x 10-4 m2/s.

Les Siltstones et Quartzites de la passe de Fo (SQ, ou "Grès de Koutiala"). Dernier terme de la série du Groupe de Bobo, les grès de Koutiala (et de Fo-Bandiagara) affleurent en une zone ovale, d'axe grossièrement Nord- Sud, dans la région de Fo. En forage, les grès de Koutiala et de Fo-Bandiagara montrent les mêmes faciès gréseux, assez difficiles à individualiser. Ils sont formés de grès fins à très fins pour les premiers (avec présence de siltstones), et moyens à conglomératiques pour les seconds. L'épaisseur cumulée ne dépasserait pas 100 mètres. La formation des grès de Koutiala se trouve à un niveau piézométrique plus bas par rapport à l'ensemble de la série sédimentaire (à l'exception des GI). L'écoulement général de la nappe aquifère se ferait donc dans deux sens opposés avec les grès de Koutiala comme exutoire.

Les Grès de Fo/Bandiagara (GFB). Unique terme de la série du Groupe de Bandiagara au Burkina Faso, ce niveau est constitué de grès très grossiers conglomératiques, d'environ 50 m d'épaisseur. Leur transmissivité est médiocre et n'atteindrait pas 10-4 m2/s. Mais au Mali, la série de Bandiagara dépasserait 2000 m d'épaisseur.

Outre ces 9 formations, on retrouve également **le Continental Terminal (CT)**. Formation fluvio-lacustre datant du Néogène, le CT forme une nappe de grande extension au Burkina, son épaisseur varie de 10-30 m à 100 m. C'est une formation argilo-sableuse plus ou moins bariolée, souvent rubéfiée, discordante et transgressive sur le Précambrien inférieur. Le niveau statique y est généralement plus profond que dans les aquifères gréseux sous-jacents (autour de 25 m), et le niveau piézométrique est plus bas (autour de 250 mètres d'altitude). Cette nappe, médiocre, est exploitée par les villages à l'aide de puits traditionnels, ou de forages à faible débit.

C.1.3. Le bassin sédimentaire Nord

Il correspond au bassin hydrographique du Béli, affluent du Gourouol, lui-même affluent du Niger. Ce bassin est en réalité une succession de petites cuvettes endoréiques jalonnées par des mares ne communiquant pas toujours entre elles, qui représentent les points bas de nombreux bassins fermés. Ses écoulements sont très limités.

L'aquifère est en réalité le prolongement vers l'Est de la base inférieure de la zone sédimentaire occidentale du Burkina, décrite précédemment : en effet une partie des terrains infracambriens gréseux de la base du bassin sédimentaire occidental, que l'on retrouve en profondeur sous la plaine d'effondrement du Gondo et à sa périphérie, se prolongent vers le NE le long du secteur frontalier avec le Mali.

C'est notamment le cas des « Grès de Base » (ou Grès de Kawara Sindou – GKS), qui recommencent à affleurer au Nord de la localité de Bahn à proximité du 14ème parallèle et du méridien 2°40, et se poursuivent ensuite jusqu'à la frontière avec le Niger, alors qu'à l'Ouest, dans le secteur du Gondo burkinabé, depuis la localité de Tou vers celles de Bani, Dionouga et le Nord de Djibo, ils sont recouverts par les terrains argilo-gréseux peu productifs du Continental Terminal.

Au niveau de la Région du Sahel, au Sud du Gourma malien, dans le secteur de la vallée du Béli et des mares de Féto Maraboulé, apparaissent des affleurements de calcaires dolomitiques à stromatolithes qui possèdent probablement un potentiel aquifère intéressant. On y note en surface la présence de paléo-dolines (qui pourraient être d'anciens griffons de sources).

Datée du précambrien supérieur au cambro-ordovicien, la série géologique sédimentaire comprend de la base au sommet :

- En discordance sur le socle éruptif et métamorphique, des grès quartzitiques et des conglomérats de base (équivalent du GKS de la série sédimentaire occidentale), d'une puissance d'environ 100 m ;
- Une épaisse série de schistes argileux à intercalation gréso-quartzitiques (**formation de Massi**) ;
- Des niveaux carbonatés et dolomitiques parfois karstiques (**Séries d'Irma et de Oualo-Sarnyéré**, Groupe d'Ydouban) très semblables à ceux identifiés sous la plaine du Gondo, et dont ils constituent le prolongement vers l'Est. Situés au sein d'une épaisse série schisteuse qui s'épaissit d'Est en Ouest, ces carbonates à stromatolithes (dolomies claires et calcaires noirs) peuvent fournir de très gros débits, et présentent en surface des formes de dissolution karstique. Dans la série d'Irma a été réalisé le forage Christine situé à Tin-Arkachen (département de Tin-Akoff) à une quarantaine de kms d'Oursi et à 15 km de la frontière malienne, dans la province de l'Oudalan. La coupe de ce forage montre deux cavernes karstiques de 1,3 et 1,5m de hauteur, situées à des profondeurs de 90 et 100 m. Réalisé en 1971, il était initialement exploité à 120 m3/h, en alimentant 4 mares artificielles utilisées pour l'élevage. En 1992 un second forage a été réalisé à proximité. Le Groupe d'Ydouban peut atteindre 7000 m d'épaisseur dans le Gouma malien.
- La **formation du Béli**, comprenant des argiles, des schistes argileux et des grès, d'une épaisseur très variable, de 50 à 1500 m, et très tectonisés, les séries d'Irma et du Béli pouvant atteindre 2000 m d'épaisseur ;
- La **formation de Firgoun** faite de grès-quartzite et de conglomérat.
- Et enfin les formations récentes, dites du "Gondo": grés ferrugineux, schistes argileux tendres, et argiles sableuses, attribuées au Continental Terminal, mais peu productives. Les points d'eau y ont des niveaux d'eau avec un NS de l'ordre de 30 mètres.

C.1.4. Le bassin sédimentaire de l'Est

Le troisième domaine sédimentaire du pays occupe une frange étroite de 20 à 50 km de large à l'Est du Burkina Faso, longeant la frontière du Bénin. Il fait partie de ce qu'on nomme le Bassin sédimentaire des Volta (ou ''bassin voltaïen''), essentiellement développé au Togo et surtout au Ghana. Il correspond à une partie du bassin de la Pandjari, affluent du Nakambé.

Le bassin sédimentaire des Volta, d'une superficie totale d'environ 150.000 km², couvre aujourd'hui partiellement le Togo, le Ghana, le Bénin, le Burkina-Faso et le sud-ouest du Niger. Son épaisseur double d'Ouest en Est, atteignant 7000 m d'épaisseur à proximité du méridien 0° au Ghana.

Au Burkina Faso la série sédimentaire est incomplète et comprend le groupe du mont Boumbouaka, et le groupe de la Pendjari. Plus à l'Est, les chevauchant, on trouve les faciès métamorphiques et plissés des quartzites de l'Atacora et les faciès plissés du niveau inférieur du Buem, qui ne semblent pas comporter d'aquifère intéressant.

Au Burkina Faso, la partie aquifère probablement la plus intéressante se situe au Nord-Ouest d'un escarpement gréseux, qui marque la limite avec les terrains plissés et métamorphiques moins favorables de l'Atacorien et du Buem qui sont situés plus au SE.

La formation supérieure du Groupe du Mont Boumbouaka recouvre directement le socle birrimien dans les massifs de Madjoari et de Gobnangou, puis, surmontant cette formation, on trouve vers le Sud-Est le Groupe de la Pendjari qui comprend à sa base plusieurs niveaux glaciaires. La sédimentation est étalée dans le temps depuis le début du Néoprotérozoïque (environ 1000 Ma), jusqu'à un probable Cambrien.

Groupe du Mont Boumbouaka. D'après la carte géologique du Burkina au 1/1000 000, le sédimentaire du

groupe du mont Boumbouaka est essentiellement composé de grès-quartzites fins à moyens, rarement grossiers, généralement feldspathiques ou kaoliniques, à rares paillettes de muscovite. Bien lités en bancs décimétriques à métriques, ces grès-quartzites montrent de nombreux ripple marks, des stratifications obliques en gouttières métriques à décamétriques et localement des fantômes de cristaux de gypse.

Groupe de la Pendjari. Le Groupe de la Pendjari est discordant soit sur le Groupe du Mont Boumbouaka au niveau des massifs de Gobnangou et de Madjoari, soit directement sur le socle. Il regroupe trois formations concordantes et comprend de bas en haut : tillite continentale et calcaires dolomitiques à barytine ; silexites argileuses, siltstones argileux et phospharénites ; shales, siltstones et grès.

C.1.5. Les aquifères de socle

Les aquifères du socle sont de type discontinu, associés aux systèmes de fracturations qui les recoupent. Leurs caractéristiques hydrauliques sont alors liées à la densité et la géométrie des fractures. Généralement, la conductivité hydraulique d'un réseau de fissures diminue en profondeur sous l'effet de la charge lithostatique des terrains sus-jacents. Les niveaux altérés au-dessus du socle constituent un aquifère continu à porosité matricielle. Ces altérites partiellement saturées sont en liaison hydraulique avec les aquifères fissurés discontinus. Ils agissent comme réservoir hydraulique garantissant généralement la pérennité des ouvrages captant les aquifères du socle sous-jacent. On distingue :

- Les aquifères du socle cristallophyllien constitué essentiellement des terrains volcano – sédimentaires des sillons birimiens. L'altération de ces formations étant très argileuse, les zones productives sont pour l'essentiel des fractures, les zones d'écrasement tectonique et les filons.
- Dans le socle cristallin constitué principalement des granitoïdes, outre les fractures et les filons, les arènes grenues de la partie altérée sont productives et par conséquent captés par les forages.

Les aquifères de socle correspondent à 225.000 km² de la superficie du Burkina Faso, c'est-à-dire à environ 82% du pays. On les trouve dans toutes les régions du Burkina Faso, mais le Bassin du Nakambé n'a pas d'autres types d'aquifères. Ces aquifères de socle sont prédominants dans les espaces de compétence des Agences du Gourma et du Liptako.

On distingue deux types de systèmes aquifères en zone de socle :

- Système aquifère superficiel constitué généralement par la cuirasse latéritique et l'horizon alluvionnaire sous-jacent résultant des processus d'altération et d'érosion des roches de couverture et du bedrock (facteurs géomorphologiques) ;
- Un système aquifère profond lié à la tectonique caractérisée par la présence d'un horizon fissuré surmontant la roche saine, et d'une arène grenue sus-jacente résultant des processus d'altération de la roche mère (Savadogo, 1984).

Dans la quasi-totalité de la zone de socle, le socle est couvert d'environ 10 à 30 m d'altération. Les débits varient de 0. 5 à 5 m³/h en moyenne.

C.2. Exploitation des eaux souterraines pour l'AEP

Compte tenu du contexte hydro-climatique rencontré au Burkina Faso, les eaux souterraines contribuent très majoritairement à l'alimentation en eau potable des populations, par comparaison aux eaux de surface. La gestion et l'exploitation durable des ressources en eau souterraine du pays constituent donc un enjeu stratégique majeur, justifiant l'importance de la mise en place de réseaux de suivi performants.

Ainsi, l'usage de l'eau pour la consommation humaine au Burkina Faso est assuré à plus de 75% par les eaux

souterraines, ce qui témoigne de l'importance de cette ressource.

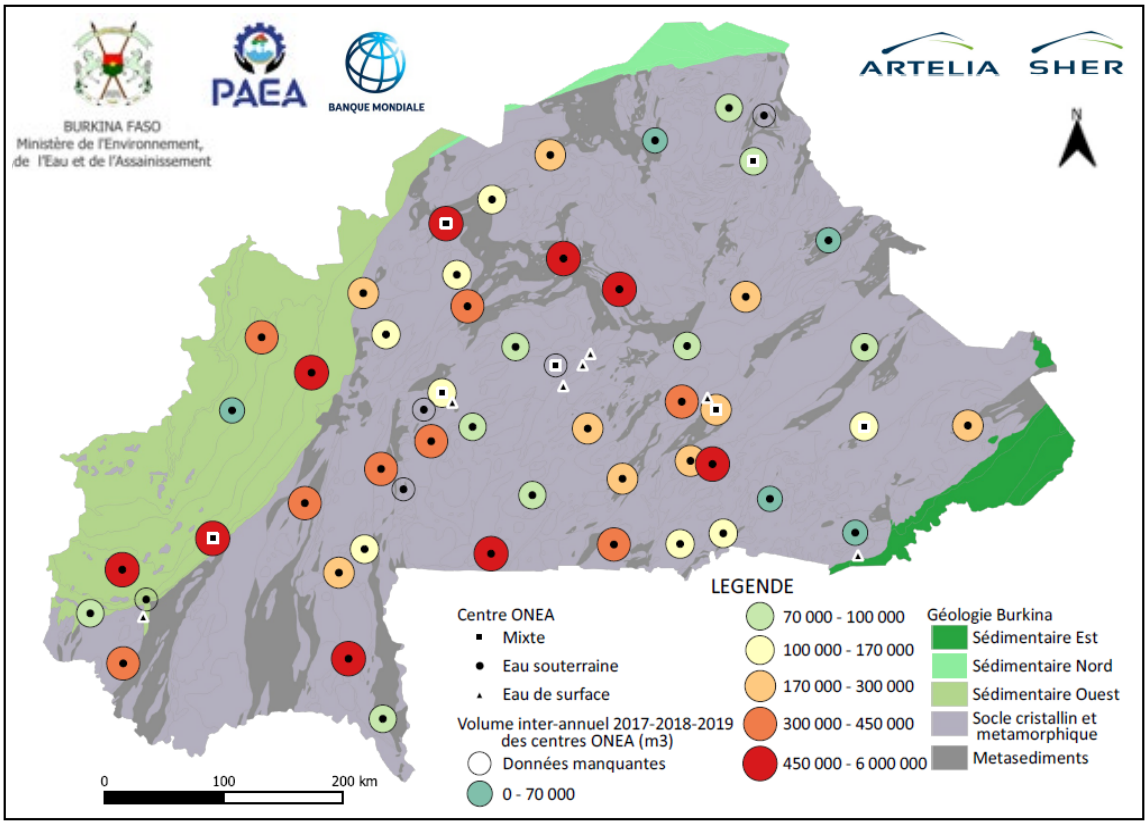
Les estimations des prélèvements en eaux souterraines pour l'AEP au Burkina Faso avoisinent les 200 millions m³/an pour l'année 2020. Ces prélèvements correspondent (i) à l'AEP en milieu rural à partir de forages, de puits équipés de pompes et de puits modernes, (ii) aux systèmes AEP/AEPS, et (iii) aux sites de production de l'ONEA à partir de forages.

La très grande majorité des ouvrages répertoriés dans la BD-OMES contribuent à l'AEP en milieu rural. Il s'agit essentiellement de forages à destination de l'hydraulique villageoise. Par ailleurs, on récence 704 forages pour l'AEP en milieu urbain exploités par l'ONEA au travers de ces différents centres.

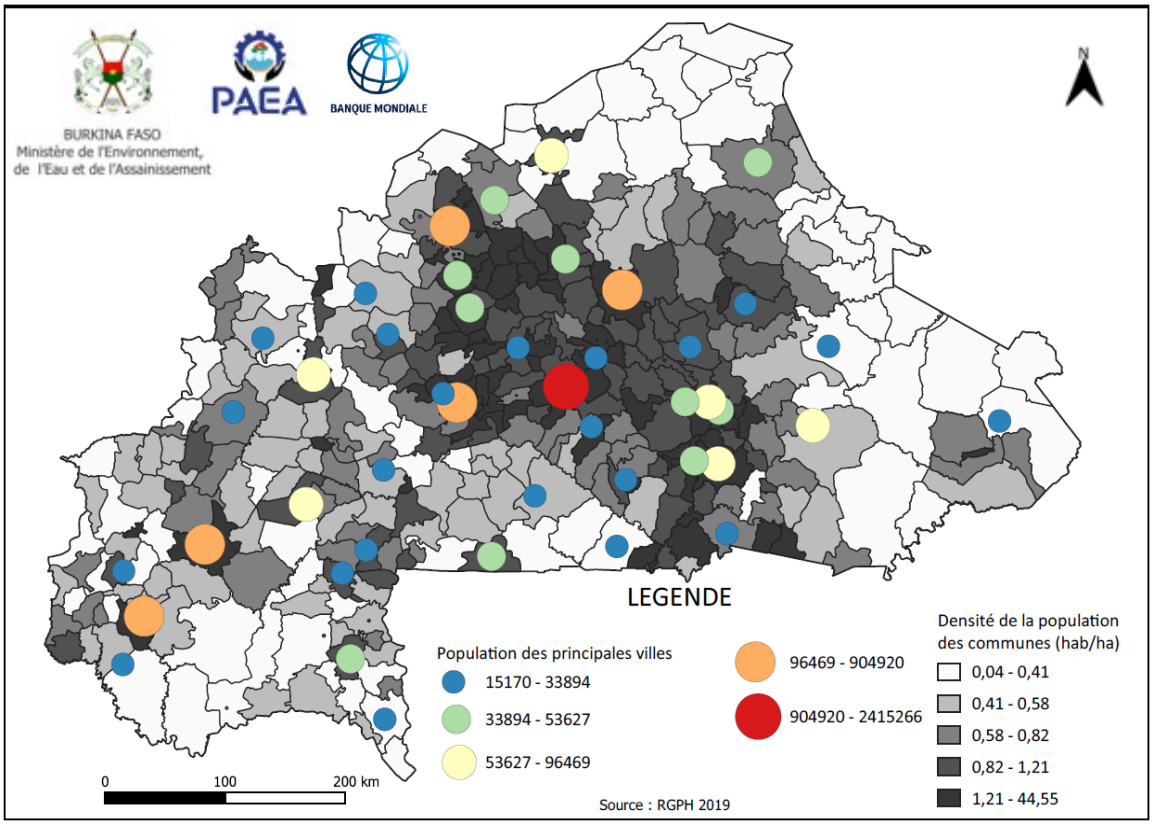
Le diagnostic et l'optimisation des réseaux de suivi des eaux souterraines ont été réalisés en tenant compte des pressions quantitatives que constituent les prélèvements dans les aquifères. La localisation et la répartition géographique des principaux prélèvements proviennent en grande majorité des forages de l'AEP urbain de l'ONEA. La capitalisation de ces derniers permet (i) d'apprécier l'adéquation des réseaux de suivi avec ces ouvrages et (ii) d'orienter les propositions pour ce qui concerne la consolidation d'un réseau d'impact.

La

illustre la répartition spatiale des centres ONEA alimentés (ou partiellement alimentés, lorsqu'il s'agit de centres mixtes) par forages, ainsi que la moyenne annuelle des volumes d'eau souterraine prélevés par centre entre 2018 et 2021. D'autre part, la Carte 4**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre la densité de population par commune, ainsi que la population totale des principales villes du pays. Les données sont issues du RGPH de 2019. Ces illustrations permettent d'apprécier, à l'échelle nationale, la répartition spatiale de la demande en eau souterraine pour l'AEP. La demande en eau souterraine pour l'AEP à l'horizon 2030 est estimée à environ 330 millions m³.



Carte 3 : Carte des centres ONEA et volumes prélevés associés (SHER-ARTELIA, 2021)



Carte 4 : Carte de population dans les villes et par commune (densité) (SHER-ARTELIA, 2021)

PARTIE 1 : DIAGNOSTIC DES RESEAUX DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES

D. DIAGNOSTIC DES RESEAUX DE SUIVI QUANTITATIF

Ce chapitre compile les analyses des réseaux de suivi quantitatif des eaux souterraines au Burkina Faso. Les réseaux concernés sont le réseau piézométrique national de la DGRE (RPN - réseau homogène) et les réseaux piézométriques secondaires, à savoir le réseau piézométrique d'impact de l'ONEA (RPS-ONEA) et le réseau piézométrique de l'Agence de l'Eau du Mouhoun (RPS-AEM). On citera également les piézomètres réalisés dans le cadre du Programme VREO, bien que ceux-ci ne constituent pas un réseau de suivi actif.

Le diagnostic s'est porté sur l'historique et la description des différents réseaux, leur évaluation au regard des indicateurs et des lignes directrices des principaux documents-guides, les équipements et matériels, les modalités opérationnelles (collecte, saisie, stockage, contrôle, exploitation) et enfin les aspects budgétaires.

D.1. Réseau piézométrique national (RPN - DGRE)

D.1.1. Historique du RPN

Le suivi de l'évolution du niveau des nappes souterraines du Burkina Faso a débuté en 1978 avec la réalisation du premier piézomètre par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH). Ce suivi avait essentiellement pour objet i) la recherche sur les aquifères souterrains, ii) l'étude des fluctuations naturelles des nappes et iii) le suivi des effets de leur exploitation (KONE, 1989). En 1989, la littérature fait état d'un réseau composé de **26 sites reprenant chacun un ouvrage** à vocation purement piézométrique. Il s'agit de 11 piézomètres installés dans le cadre du projet « Etude des ressources en eau des milieux fissurés » et comportant chacune 2 ou 3 tubes et 15 piézomètres réalisés dans le cadre du projet « Volta Noire » (BRGM, 1988).

A l'époque, le Burkina Faso faisait office de précurseur dans la sous-région pour avoir conçu une base de données informatisée pour le stockage et le traitement des données. Néanmoins, le suivi se réalisait de de façon dispersée et de façon non coordonnée. En général, les piézomètres découlent de projets spécifiques, qui en assurait le suivi durant leur mandat avant de céder le suivi à des services étatiques.

En 1992, l'exécution du projet Bilan d'Eau (1987-1993) a permis de mettre en place un RPN intégrant les points d'eau les plus intéressants à suivre. Cet RPN permettait i) d'évaluer les réserves en eau souterraine et ii) de suivre les mécanismes de recharge et de décharge des nappes. Il était censé couvrir l'ensemble des zones climatiques, géomorphologiques, et les types d'aquifères du pays. Il comptait **68 piézomètres répartis sur 25 sites** (MEE-DGH, 2001). En majorité, les sites suivis étaient similaires à ceux retenus antérieurement, même si le projet « Bilan d'eau » en a réalisé certains ayant servi par la suite à l'étude de sous-bassins versants (Tougou, Kazanga, Dingasso et Barsalogho). La plupart des piézomètres ne comportent qu'un seul tube mais quelques-uns, en l'occurrence ceux installés par les projets « Bilan d'Eau » et « Milieux fissurés », sont restés multiples, c'est-à-dire qu'ils sont composés de plusieurs tubes dans le même ouvrage, captant des aquifères différents (DHI, 2008).

Les critères de sélection des piézomètres du RPN étaient principalement : (i) le contexte géologique et hydrogéologique, (ii) le climat, (iii) la géomorphologie et (iv) la longueur et la pertinence des séries de mesures pour les anciens piézomètres sélectionnés.

Les sources de données restaient diverses et gérées sous différentes formes. Toutefois, la DGIRH pouvait compter sur la base de données BEWACO (Bilan d'Eau iWACO) pour stocker et traiter l'information.

En 1996, la sollicitation intensive des nappes d'eaux souterraines pour les besoins divers (AEP, élevage, agriculture, industrie, etc.) essentiellement liés à la pression démographique, a poussé les autorités à accorder un intérêt particulier au suivi des ressources en eau dans son ensemble. C'est dans ce sens qu'a été initié le « projet de soutien à l'optimisation des réseaux nationaux de suivi des ressources en eau » (PSORN, 1996-1999). Il fait l'état des lieux du réseau piézométrique et a contribué à la mise à jour des données dans BEWACO. Un inventaire de BEWACO réalisé en octobre 2000 indique que le fichier des données piézométriques concerne 476 points de mesures (dont 142 points sur 50 sites spécifique au Nakanbé) et un total de 85.947 mesures en deux périodes (1982-1984 et 1994-1996) (DANIDA, 2000). Néanmoins, la littérature s'accorde sur le fait qu'**en 2003, le RPN était toujours composé de 68 ouvrages répartis en 25 sites**.

Pour la période 1987-2003, Le constat général issu de la littérature fait état d'un RPN peu développé au regard du nombre de formations hydrogéologiques. Les unités aquifères sédimentaires en particulier sont très insuffisamment couvertes pour assurer une bonne connaissance de leurs réserves et de leur exploitabilité (MEE-DGH, 2001). Le suivi est assuré par des brigades basées à Ouagadougou au niveau de la Direction de l'Hydrologie mais n'est pas rigoureux : les points de repère varient et les piézomètres ne sont pas maintenus. De ce fait, les données sont lacunaires et peu fiables. Des erreurs de prises de mesures et de saisie sont notamment rencontrées.

En 2002, dans le cadre du programme GIRE, les données piézométriques de BEWACO ont été migrées dans une application MS.Access. L'analyse révèle un taux de données inexploitables de 56% (36 piézomètres) et 28% de données lacunaires (19 piézomètres).

En 2004, le RPN a été élargi avec le rattachement de 9 piézomètres du réseau secondaire de la Boucle du Mouhoun puis par 2 autres piézomètres du réseau secondaire de l'Est. **Le RPN comptait alors 79 piézomètres, répartis en 36 sites**. A partir de 2004, le suivi est réalisé au niveau régional. Cette initiative donnera plus tard naissance aux UCDIEau.

En 2008, une mission d'assistance à la DGRE pour le suivi piézométrique a été réalisée (DHI, 2008). Cette intervention était planifiée dans le cadre de l'appui au PAGIRE-Phase I (2003-2009) et a été réalisée au travers du « Programme d'Appui au Développement du Secteur Eau et Assainissement – Phase II » (PADSEA-II). Le plan d'action de cette mission visait l'amélioration du RPN mais également des tâches techniques, comme la conception et l'implémentation d'une nouvelle base de données piézométrique couplée à un SIG.

La mission a réalisé un diagnostic complet, avec visite de chaque piézomètre sur le terrain. Il ressort notamment que pour la quasi-totalité des piézomètres, les coordonnées indiquées dans les bases de données étaient très peu précises (erreur de 1 à 5 kilomètres sur le terrain). La collecte et le stockage des données dans la base de données sont également très déficients depuis 2000.

Les travaux de réalisation des nouveaux piézomètres ont été conduits entre 2008 et 2010. 46 piézomètres répartis en 23 sites sur les bassins versants du Niger et du Nakanbé sont venus enrichir le RPN. **Ce dernier comptait donc 125 piézomètres répartis en 59 sites**.

En 2009, une nouvelle base de données SIG « BD-Piezo » a été mise en place à la DGRE. Elle est implémentée sous MS.Access. Cette base de données a été collectée et est diagnostiquée dans le présent rapport.

La seconde phase du PAGIRE (2010-2015) entendait consolider le réseau piézométrique (MAHRA, 2009). De même, l'Action 3.1 de la composante « Appui opérationnel 2016-2020 » du programme GIRE (2016-2030) prévoyait l'extension du RPN (MEAHA, 2014). Cette volonté d'optimisation se rencontre en fait dans la plupart des documents de référence établis entre 2011 et 2020. Néanmoins, en mars 2016, le RPN n'était plus composé que de 93 piézomètres fonctionnels (BM-WPP, 2017).

En 2018, un atelier s'est tenu à Ouagadougou pour la définition d'un réseau piézométrique optimisé. Des critères techniques ont été fixés pour faciliter le choix des nouveaux sites piézométriques. On retrouve le climat, l'occupation du sol, la géologie, les aquifères, la profondeur de la nappe, la pérennité, la productivité, le sens d'écoulement de la nappe, etc.). Sur cette base, 34 nouveaux piézomètres ont pu être identifiés (DEIE, 2018).

A l'heure actuelle, et suivant les jeux de données collectés dans le cadre du présent programme, le réseau piézométrique national est composé de **92 piézomètres, dont 88 sont fonctionnels** (DEIE, 2020). Ils sont répartis au sein de **54 sites (51 fonctionnels)**. Le RPN compte sur **108 points de mesure (tubages) dont 103 sont opérationnels**. La section [D.1.2.6 - Etat des piézomètres du RPN] détaille plus précisément la notion d'ouvrage à tubage multiple.

La figure ci-après illustre l'évolution du nombre de piézomètres fonctionnels au sein du réseau piézométrique national.

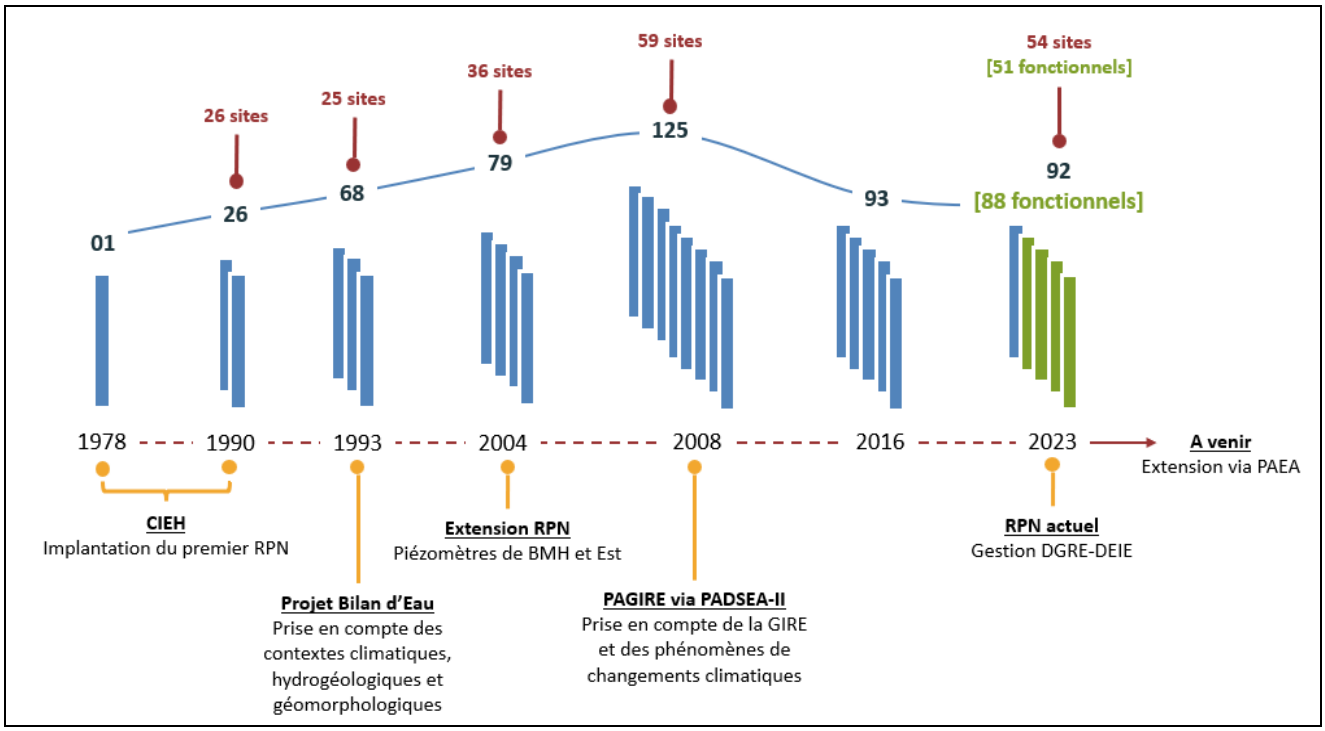


Figure 7 : Evolution du nombre de piézomètres du RPN

D.1.2. Le réseau Piézométrique National (RPN) actuel

D.1.2.1. Collecte des jeux de données dans le cadre de l'étude SEVERE

La connaissance du RPN actuel passe par une collecte et une analyse précise des jeux de données détenus par les institutions de référence ainsi que par une compréhension du système de gestion de l'information. Le traitement des informations permet de présenter le réseau tel qu'existant et fait en sorte que les acteurs impliqués disposent d'une base commune de connaissance.

La structure gestionnaire du RPN est La **Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau** (MEEA-DGRE-DEIE) et plus spécifiquement son service d'Hydrogéologie (SHGeo). Elle est chargée de centraliser les informations relatives au réseau piézométrique et de mettre à jour les bases de données correspondantes. Partant, elle contribue à la création, à l'actualisation et à la diffusion de statistiques, de rapports et des produits dérivés en la matière.

Plusieurs entretiens ont été réalisés depuis 2021 auprès de la DEIE afin de disposer des données relatives au RPN. Deux jeux de données étaient attendus :

- i) Les points de mesure du RPN (tubages), clairement identifiés avec les coordonnées, les caractéristiques techniques et fonctionnelles et les équipements.
- ii) Les chroniques de mesures piézométriques avec la date de mesure, l'identifiant du point de mesure et la hauteur mesurée.

Les données brutes relatives au réseau piézométrique national (points de mesure et sites) ont été transmises par la DEIE en début de mission (19/02/2021) puis le 11/05/2021. Le format d'échange est systématiquement MS.Excel.

La DEIE a également transmis les données relatives aux chroniques de mesures. Il s'agit d'un ensemble de fichiers MS.Excel où un fichier correspond à un point de mesure spécifique. Il y a donc autant de fichiers que de points suivis. D'une manière générale, le nom des fichiers est sans équivoque et indique clairement le point de mesure correspondant. Néanmoins, le Groupement avait insisté auprès de la DEIE afin de disposer d'un fichier unique reprenant l'ensemble des chroniques, toutes stations confondues (26/05/2021). Ce fichier n'ayant pu être fourni, le Groupement a réalisé la reprise sur base des fichiers individuels.

Les fichiers de chronique sont tous structurés de la même manière avec trois colonnes respectivement pour le nom du point de mesure (en toute lettre), la date de prise de mesure et la mesure en mètre (cf.*Figure 8*). L'altitude de référence et les coordonnées Latitude/Longitude en DMS du point de mesure sont également indiquées.

Les données de chronique sous MS.Excel ont été transmises en deux temps : i) Mi-mai 2021 pour les chroniques allant jusqu'au 31/12/2020 et ii) Mi-juillet 2023 pour les chroniques de 2021 et 2022. Il faut également signaler la mise à disposition d'une chronique supplémentaire s'étalant du 16/08/2017 au 07/07/2019 pour un point de mesure initialement implémenté par le CIEH. La DEIE a confirmé que ce point correspondait au piézomètre de Ouagadougou. Certaines chroniques isolées arrivent ponctuellement pour des mesures effectuées en 2023.

B	C	D
Nom_piezo	Date(jj/mm/aa)	Niveau statique(m)
Arbinda	08/07/2020	39,17
Arbinda	04/07/2020	39,15
Arbinda	01/07/2020	39,13
Arbinda	29/06/2020	39,12
Arbinda	11/07/2020	39,09

Figure 8 : Extrait d'une chronique piézométrique brute

Le *Tableau 3* liste les jeux de données collectés.

Tableau 3 : Synthèse des jeux de données brutes du RPN

Donnée Source	Nom du jeu de données	Format	Date de collecte	Num. Enreg.
Caractéristiques techniques des piézomètres	Données_caractéristiques_piézo.xlsx	MS.Excel	19/02/2021	108
Points de mesure équipés de sonde automatique	Récapitulatif des sondes automatiques installées sur le RPN_1.xlsx	MS.Excel	23/06/2021	108
Sites piézométriques	53_site_piezo.xlsx	MS.Excel	23/06/2021	53
Chroniques piézométriques <=2020	109 fichiers nommés selon la référence du point de mesure (ex. Bittou_SE3.xls)	MS.Excel	11/05/2021	103.841
Chroniques piézométriques du piézomètre de Ouagadougou	Piezo CIEH.xlsx	MS.Excel	10/08/2023	94
Chroniques piézométriques [2021-2022]	Même logique que les chroniques antérieures. Les fichiers sont regroupés par région	MS.Excel	15/07/2023	13.667
Chroniques piézométriques > 07/2022	Données_mensuelle_Bassinko_CIEH_Silmissin-1.xlsx	MS.Excel	22/08/2023	218

De plus, le Groupement a extrait le tableau [*Liste des 88 piézomètres du réseau national*] de l'annexe 1 du rapport « Synthèse du suivi des ressources en eau » (DEIE, 2020) sous format MS.Excel. Il contient 103 enregistrements correspondant aux points de mesure fonctionnels du RPN. Ce tableau apport une plus-value dans la mesure où il identifie clairement quel point de mesure correspond à quel ouvrage piézométrique.

Les jeux de données brutes ont été analysés, structurés et capitalisés. Ces traitements sont détaillés dans la section relative à l'optimisation des données (cf. K.2.1)

D.1.2.2. Nombre et répartition spatiale des points de mesure du RPN

D.1.2.2.1. Situation générale et distribution spatiale du RPN

Les caractéristiques des différents niveaux du RPN actuel ont pu être dégagées, après traitement des différentes données collectées dans le cadre de l'étude SEVERE. Le Tableau 4 en reprend les principales statistiques.

Tableau 4: Caractéristiques du RPN actuel

RPN	Nombre de sites	Nombre de piézomètres	Nombre de points de mesures (tubages)
Total	54	92	108
Fonctionnel	51	88	103

En général, les piézomètres du réseau national ne comportent qu'un seul tube par ouvrage hormis quelques-uns qui sont des piézomètres multiples, c'est-à-dire qu'au niveau du même ouvrage sont installés différents tubages captant des aquifères différents (aquifères d'altérations et du socle en général) séparés entre eux par des isolants imperméables. C'est ainsi que l'on rencontre des piézomètres doubles ou triples.

La Figure 9 ci-après illustre un piézomètre à tubages multiples (triplon).



Figure 9 : Piézomètre à tubages multiples (Nango Foulcé F8)

Le niveau hiérarchique le plus fin du RPN est le point de mesure, c'est-à-dire un tubage donnant accès à une mesure de niveau de nappe. C'est à ce niveau qu'est réalisée la spatialisation.

Le RPN compte 108 points de mesures dont 103 sont fonctionnels, ce qui est conforme à l'Annexe 1 du rapport « Synthèse du suivi des ressources en eau » (DEIE, 2020). Les 5 points de mesure non fonctionnels sont ceux de Fada, Gorom, Kouadifagou (F1 et F2) et Katchari-1. Les 4 premiers ne présentent effectivement plus de mesures piézométriques depuis 2015. Ce n'est pas le cas de Katchari-1 qui a fait l'objet d'un suivi récent (2020). Cependant, il a été confirmé comme non fonctionnel par la DEIE.

La figure ci-après montre que la majorité des ouvrages fonctionnels sont à tubage unique. Le seul ouvrage fonctionnel à triple tubage est celui de Nango Foulcé F8, avec les points de mesures F8/1, F8/2 et F8/3

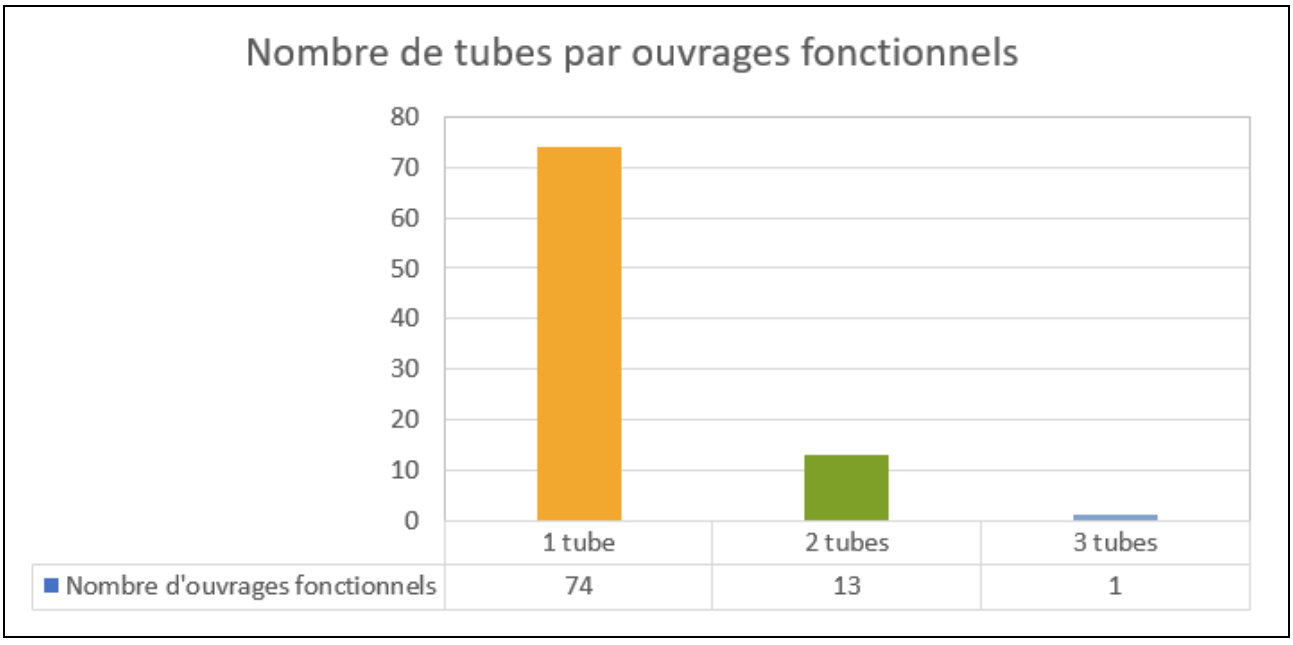


Figure 10 : Nombre de tubes par ouvrages fonctionnels du RPN

Le niveau supérieur au point de mesure est l'ouvrage (piézomètre). Le nombre d'ouvrages s'obtient en comptant le nombre de points de mesure localisés au même endroit (jeux de coordonnées égaux). Le RPN est composé de 92 ouvrages, dont 88 sont fonctionnels. Cela coïncide avec le chiffre avancé par la DEIE dans

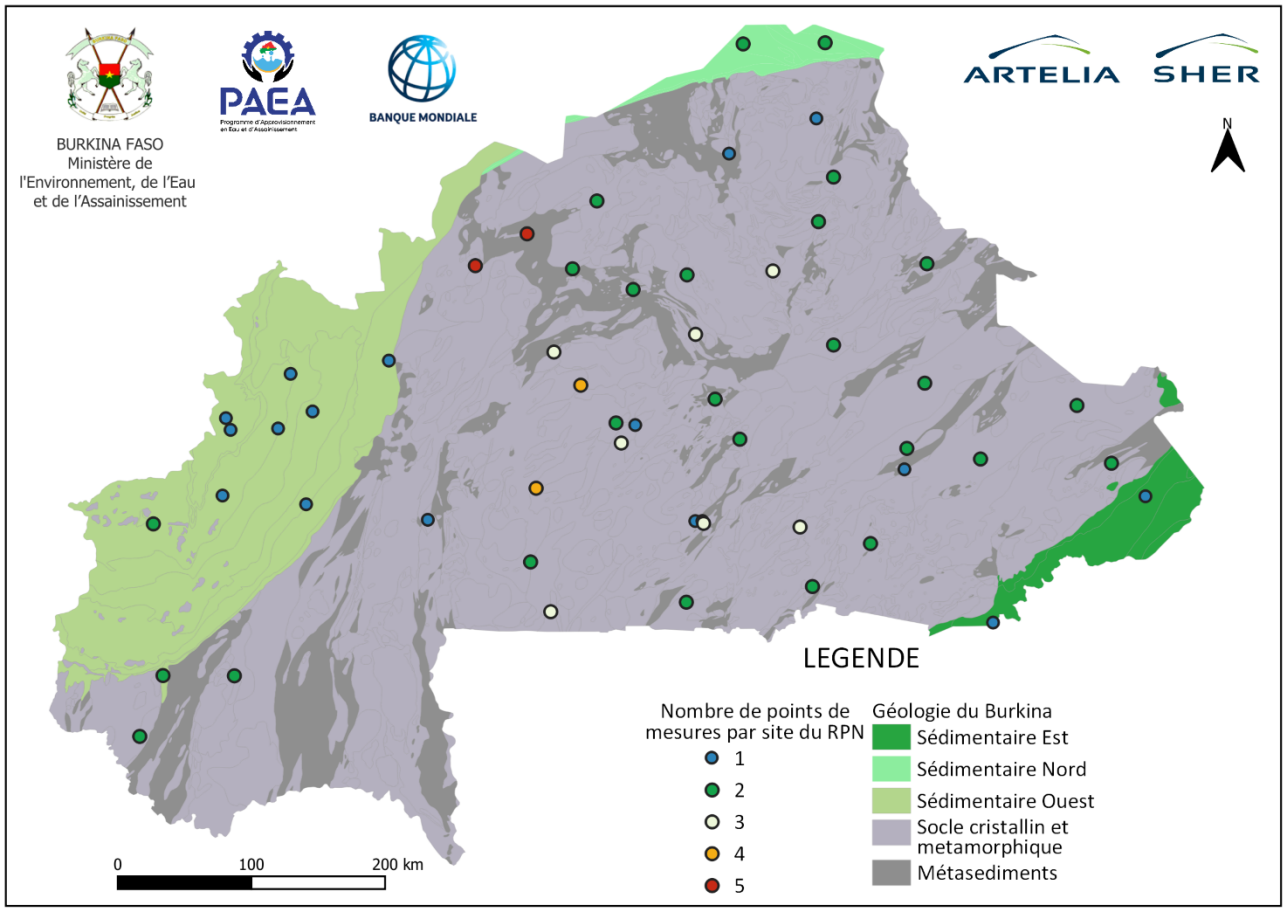
le rapport « Synthèse du suivi des ressources en eau » (DEIE, 2020) ainsi que dans son annexe. Par corollaire avec les points de mesure, les ouvrages non-fonctionnels sont ceux de Fada, Gorom-Gorom et Kouadifagou (F1 et F2). Le point de mesure non-fonctionnel de Katchari-1 est un des deux tubes de l'ouvrage de Katchari dont le second tube (Katchari-2) reste fonctionnel.

Enfin, les 92 piézomètres (108 points de mesure) sont répartis au sein de 54 sites piézométriques. Un site piézométrique regroupe un ensemble d'ouvrages (au moins un et parfois plusieurs) considérés comme proches. Dans le cas du RPN, la notion de proximité est matérialisée au travers de la localité. La localité regroupant un ou plusieurs ouvrages est considérée comme un site. Le fichier source brute transmis par la DEIE comporte 53 sites piézométriques. Il a été constaté que le site de Kazanga est absent de ce jeu de données mais figure dans la liste générée à partir des ouvrages. Spatialement, les sites sont localisés au même endroit qu'un de leur ouvrage d'appartenance. Si le site comporte plusieurs ouvrages, l'ouvrage retenue est le plus proche du centre du village.

Les 3 sites non fonctionnels sont en lien avec les ouvrages. Ce sont ceux de Fada, Gorom-Gorom et Kouadifagou.

La Carte 5Carte 5 illustre la distribution spatiale des sites du RPN, ainsi que le nombre de points de mesure par site, au sein du territoire national.

La liste des 54 sites de suivi piézométrique est reprise en annexe Q.1 et celle des 92 ouvrages en annexe Q.2.



Carte 5 : Répartition des sites piézométriques du RPN

La Figure 11 illustre le nombre d'ouvrages fonctionnels par nombre de sites piézométriques.

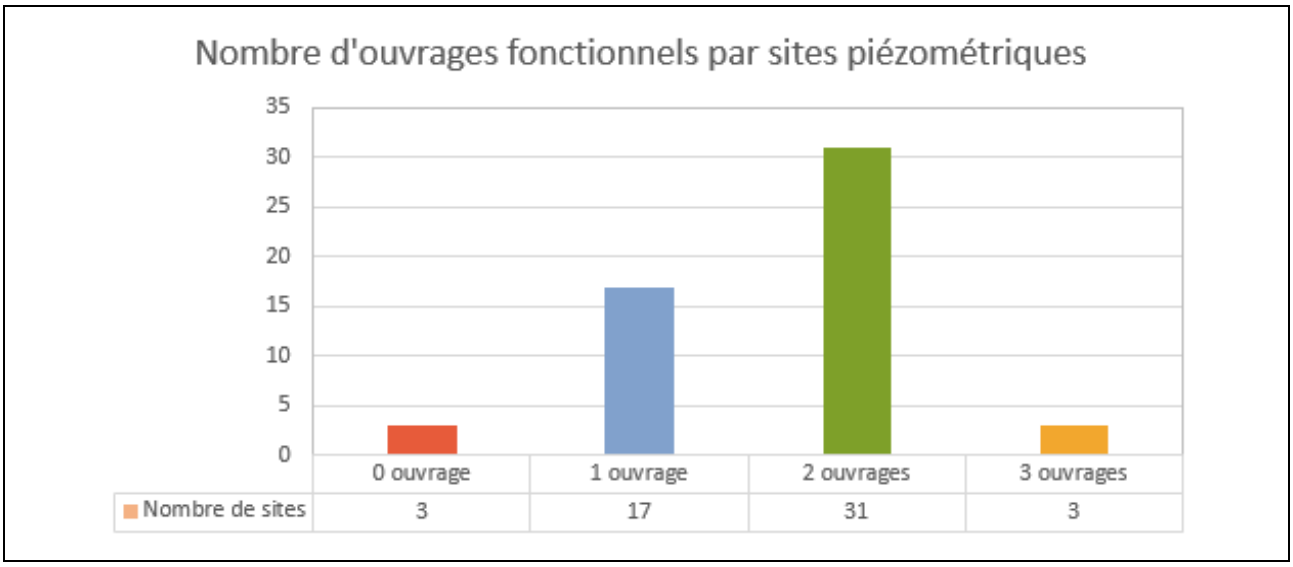


Figure 11 : Nombre d'ouvrages fonctionnels par nombre de sites piézométriques

La figure ci-après illustre le nombre de points de mesure fonctionnels par site piézométrique.

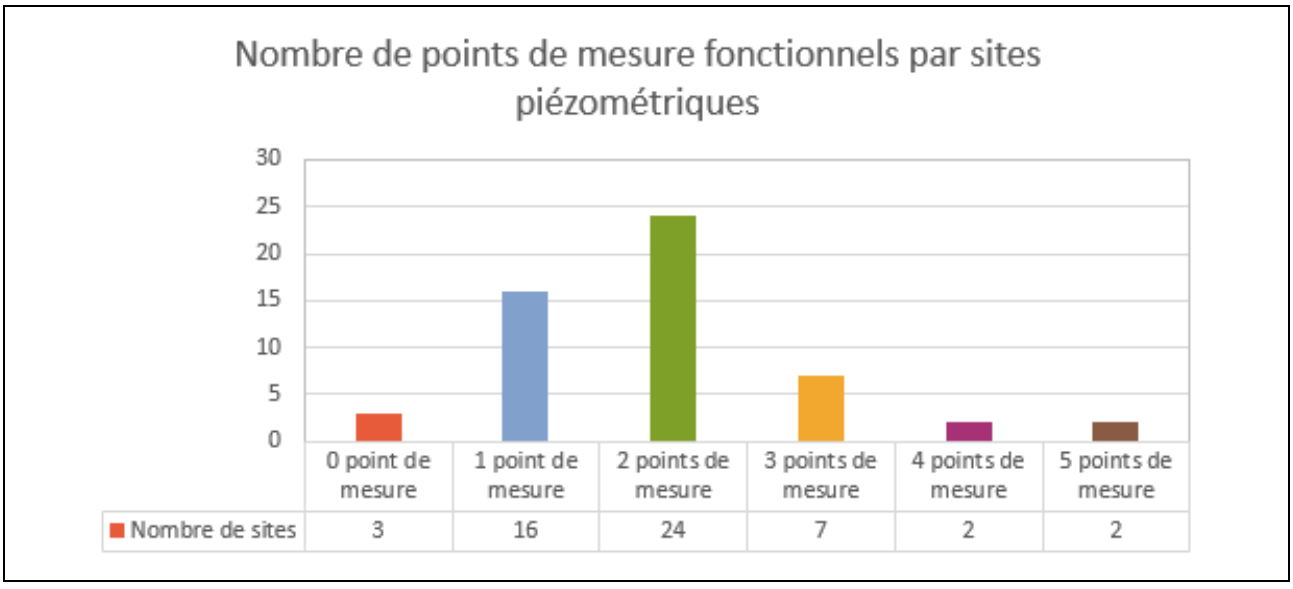


Figure 12 : Nombre de points de mesure fonctionnels par sites piézométriques

Ces illustrations traduisent que 70% des sites opérationnels comportent au-minimum deux points de mesures, issus d'ouvrages distincts, et/ou de tubages multiples au sein d'un même ouvrage. Les piézomètres apparaissent dès lors très concentrés au niveau de certains sites au détriment d'autres contextes non suffisamment ou pas du tout couverts. Si la multiplication de piézomètres sur un seul site n'est pas mauvaise en soit, cela répond beaucoup plus à un dispositif d'étude spécifique qu'à un dispositif de suivi de l'évolution de la nappe à long terme alors même qu'il existe encore des lacunes du point de vue de la couverture du pays.

Les statistiques qui suivent sont basées sur le nombre de sites. Il en sera de même pour les autres statistiques de densité reprises dans les sections suivantes.

A l'échelle nationale, le Burkina Faso présente une densité moyenne de 1 site par 5.374 km² (cf. Tableau 5),

soit une valeur significativement inférieure aux recommandations de densité minimale des documents-guides de référence.

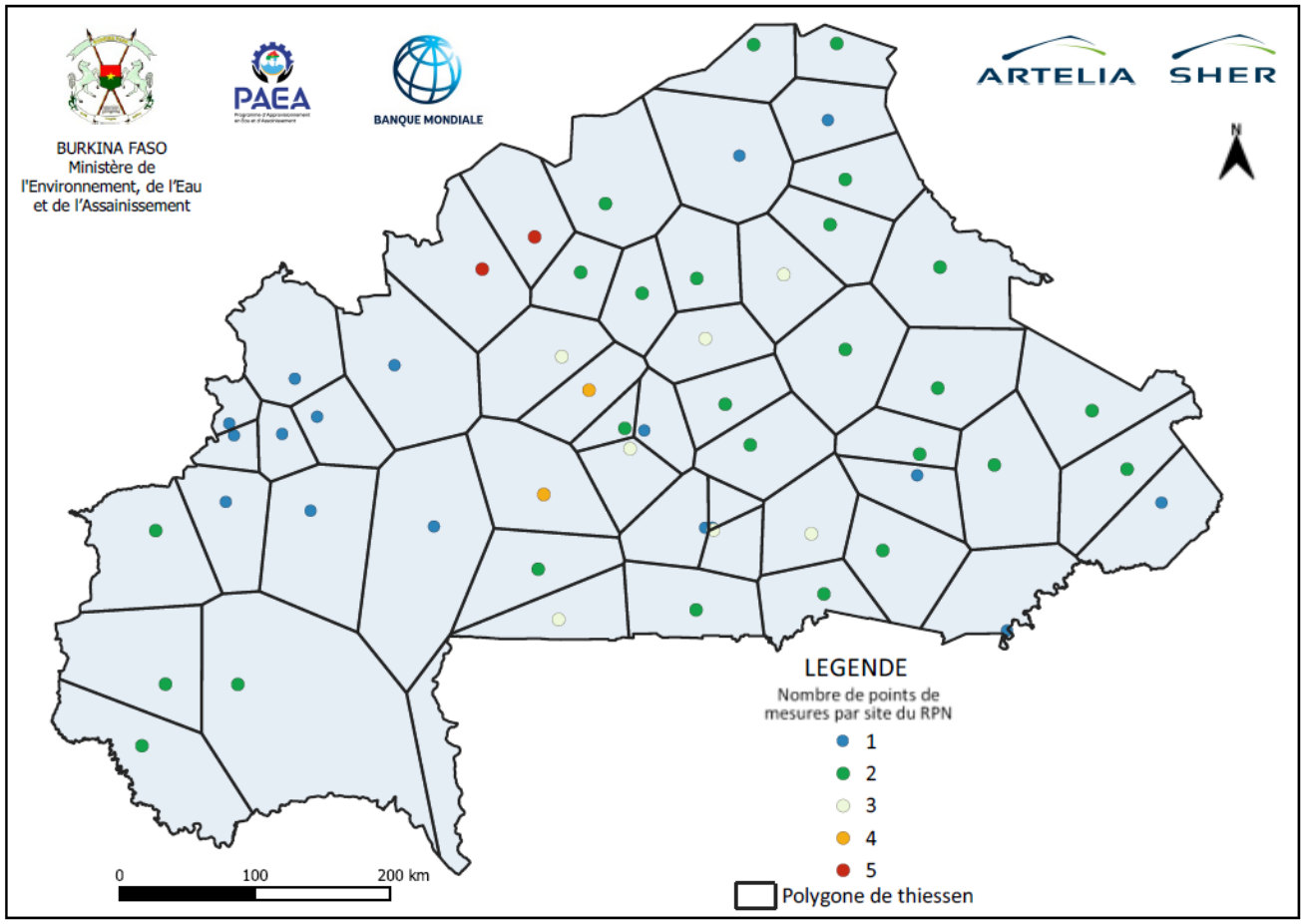
Tableau 5: Densité de sites piézométriques au Burkina Faso

Zone géographique	Superficie (km²)	Nombre sites RPN opérationnels	Densité (km²/sites)	Nombre de points de mesure opérationnels
Total Burkina Faso	274.054	51	5.374	103

Au-delà de cette évaluation de densité, l'analyse de la distribution spatiale des sites permet d'évaluer le degré d'homogénéité du réseau et d'identifier les zones les plus faiblement couvertes. La

Carte 6 illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites à l'échelle nationale.

Une faible densité de points est clairement observée dans la partie sud-ouest du pays, caractérisée par des polygones de plus grande taille pouvant atteindre 10.000 à 20.000 km². A l'inverse, la distribution spatiale montre des sites très rapprochés caractérisés par des distances pouvant ne pas dépasser quelques kilomètres.



Carte 6 : Zonage de concentration des sites piézométriques (polygones de Voronoï/Thiessen)

Une analyse de la répartition des sites et des ouvrages fonctionnels du RPN a été menée suivant différents zonages géographiques : géologiques et hydrogéologique, administratif, climatique et exploitation des aquifères. Les résultats sont présentés dans les sections suivantes.

D.1.2.2.2. Distribution par zones géologiques et formations hydrogéologiques

Pour des raisons évidentes de représentativité des statistiques spatialisées, les calculs de densité spatiale sont effectués à partir du nombre de sites piézométriques opérationnels.

D'une manière générale, toutes les zones géologiques sont couvertes.

Le Tableau 6 montre la répartition des sites opérationnels par zones géologiques et la densité de sites correspondant.

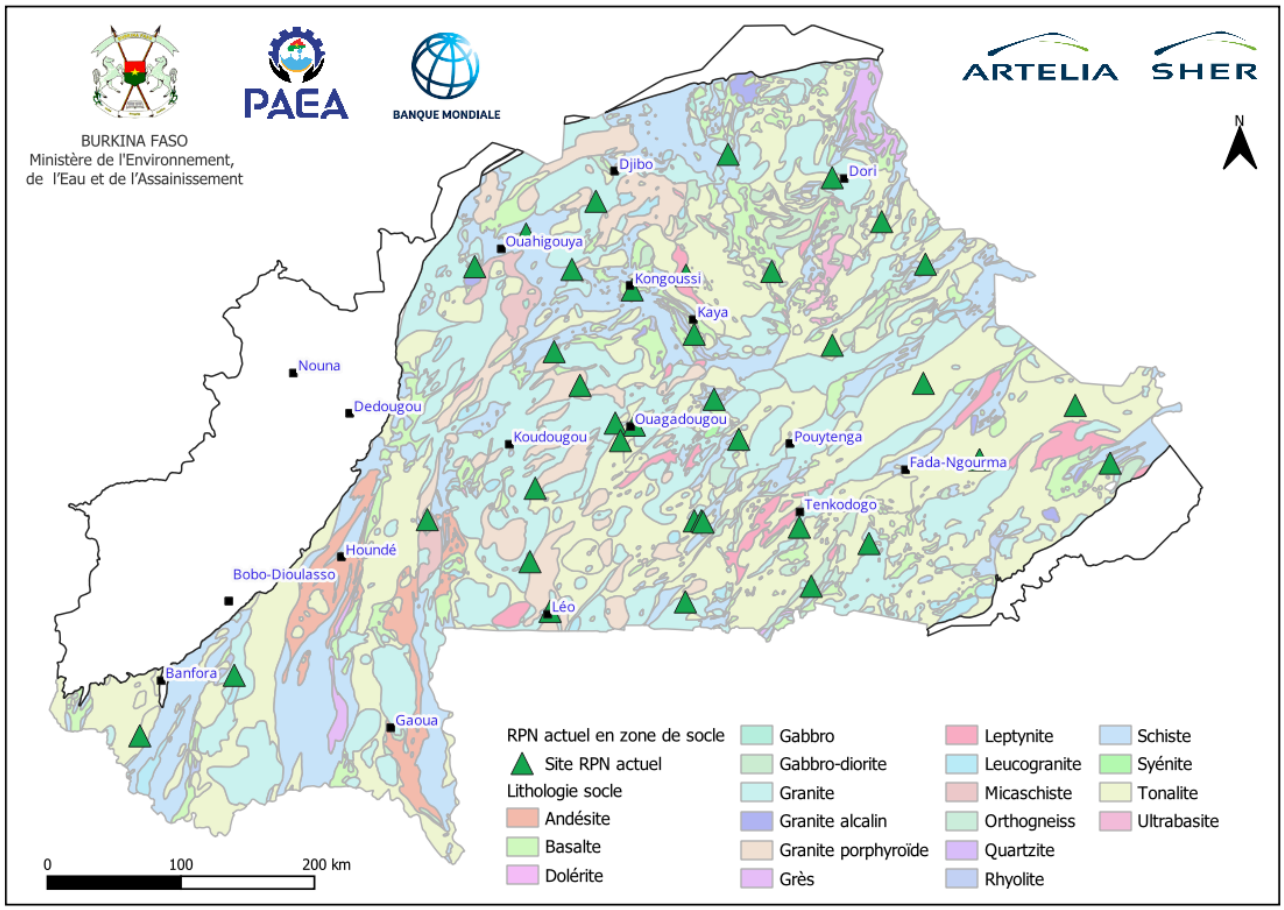
Tableau 6 : Répartition et densité des sites par zones géologiques

Zones géologiques	Superficie (km²)	Num. Sites opérationnels	Densité (km²/sites)	Nombre points de mesure opérationnels
A. Sédimentaire				
Sédimentaire Nord	4.026	2	2.013	4
Sédimentaire Est	6.546	2	3.273	2
Sédimentaire Ouest	42.345	10	4.235	12
Total Sédimentaire	**52.917**	**14**	**3.780**	**17**
B. Socle et métasédiments				
Socle cristallin et métamorphique	185.693	30	6.190	68
Métasédiments	35.444	7	5.063	17
Total Socle et métasédiments	**221.138**	**37**	**5.977**	**85**

Zones de socle cristallin et métamorphique

La zone du socle cristallin et métamorphique (incluant les métasédiments) dénombre 37 sites opérationnels totalisant 71 ouvrages et 85 points de mesure. Près de 85% des sites opérationnels de cette zone géologique présentent plusieurs ouvrages distincts.

Par rapport à l'ensemble du RPN, les sites répertoriés en zone de socle représentent 73% du nombre total de sites piézométriques du RPN. En termes de points de mesure (tubages), ils représentent 83% du nombre total de points de mesures (tubages) du RPN à l'échelle nationale.



Carte 7 : Répartition des sites opérationnels dans le socle cristallin et métamoprhique

La densité moyenne est de l'ordre de 1 site opérationnel par 6.000 km², soit une valeur inférieure à la recommandation de l'OMM (1/1.600 km²), mais relativement conforme aux recommandations plus spécifiques (1/7.000 km²) formulées pour les zones de socle dans le Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France (2003).

Tableau 7 – Répartition et densité du RPN dans le socle cristallin et métamorphique

Zone géologique	Superficie (km²)	Nombre sites opérationnels	Densité (km²/sites)	Nombre points de mesure opérationnels
Socle cristallin et métamorphique	185.693	30	6.190	68
Métasédiments	35.444	7	5.063	17
Total Socle et métasédiments	**221.138**	**37**	**5.977**	**85**

La plupart des ouvrages (68) sont localisés dans le socle cristallin et métamorphique, tandis que 17 sont localisés dans les métasédiments.

Une analyse statistique et spatiale liée à un niveau de description géologique (lithologique) plus fin que les deux catégories 'Socle cristallin et métamorphique' et 'métasédiments' ne s'avère pas pertinente pour la zone de socle, étant donné qu'à chaque variation de lithologie ne correspond pas une unité hydrogéologique ni un aquifère distinct. Toutefois, à titre strictement indicatif, la figure ci-après détaille le nombre de piézomètres par type de lithologie de la zone du socle.

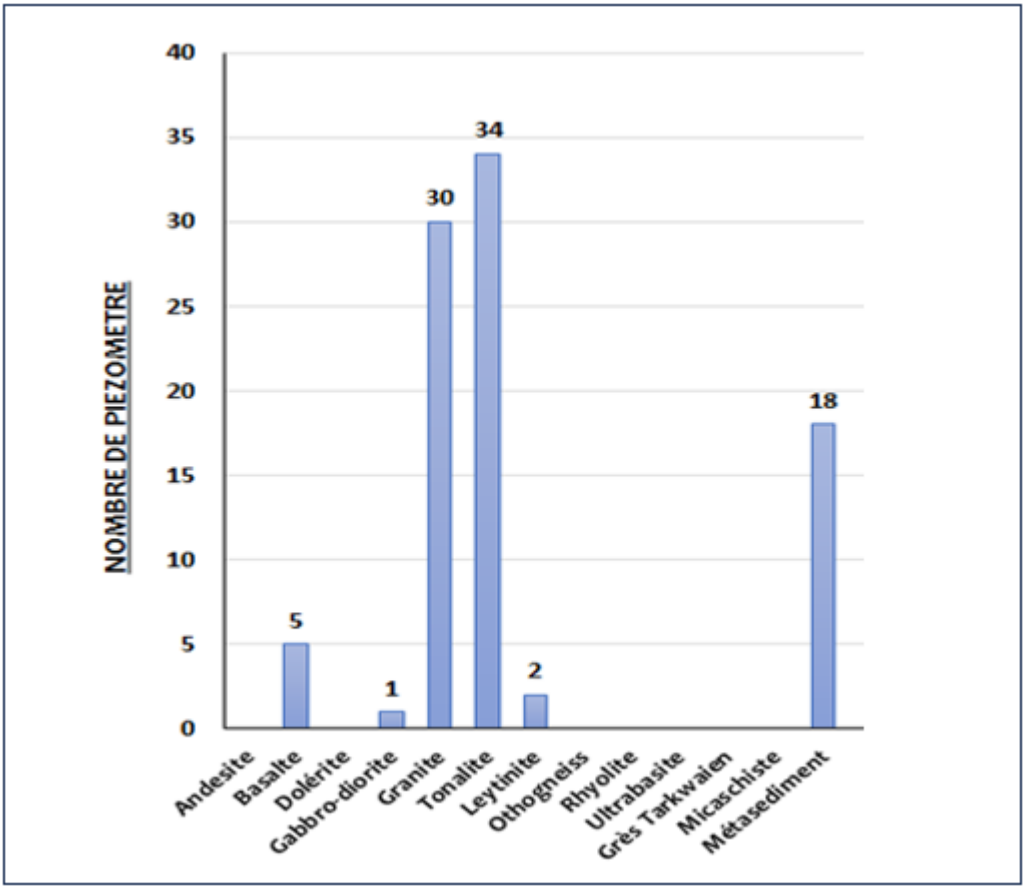
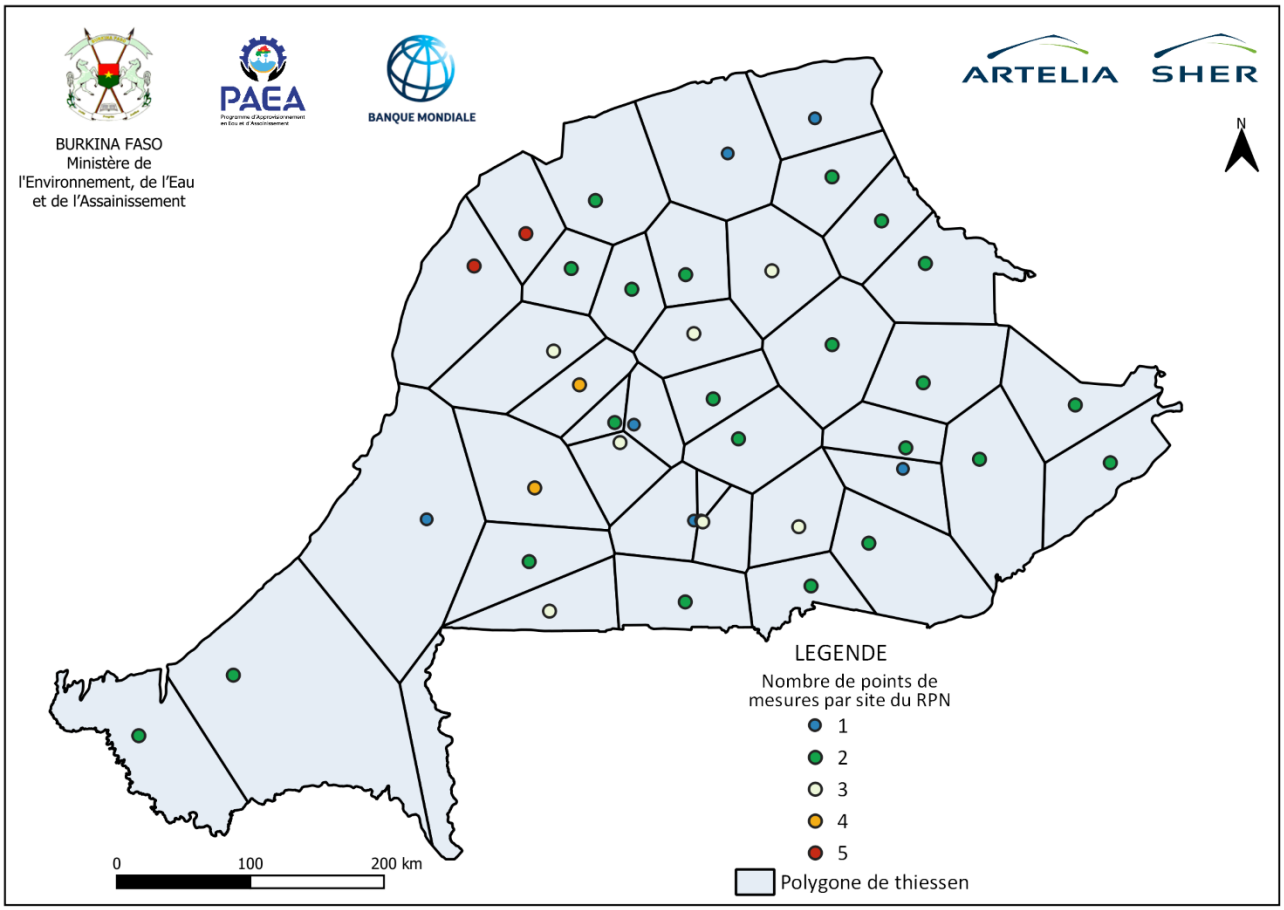


Figure 13 : Distribution des piézomètres de la zone de socle par type de lithologie/géologie

La

Carte 8 suivante illustre quant à elle la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites localisés dans la zone de socle. A cette échelle, une faible densité de points dans la partie sud-ouest de la zone est observée, avec des polygones pouvant atteindre jusqu'à 20.000 km² au niveau du site de Sideradougou. A l'inverse, la partie nord se caractérise par des sites très rapprochés où la distance inter-polygone ne dépasse pas quelques kilomètres.

L'optimisation du réseau recommande d'améliorer la densité de sites dans les zones trop faiblement couvertes, et d'augmenter l'homogénéité du réseau.



Carte 8 : Zonage de concentration des sites opérationnels en zone de socle

Zones Sédimentaires

La zone du sédimentaire (Nord, Est et Ouest) dénombre 14 sites opérationnels totalisant 17 ouvrages et 18 points de mesure.

Par rapport à l'ensemble du RPN, les sites répertoriés en zone sédimentaire représentent 27% du nombre total de sites piézométriques du RPN. En termes de points de mesure (tubages), ils représentent 17% du nombre total de points de mesures (tubages) du RPN à l'échelle nationale.

Les zones sédimentaires sont globalement caractérisées par une densité moyenne globale de 1 site opérationnel par 3.780 km². Cette valeur est significativement inférieure aux recommandations de densité minimale des documents-guides de référence, dont notamment les valeurs de 1/1.600 km² de l'OMM et de 1/500 km² pour les aquifères libres en terrain sédimentaire reprises dans le Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France (2003).

Tableau 8 : Répartition et densité du RPN dans les zones sédimentaires du Burkina Faso

Zone géologique	Superficie (km²)	Num. Sites opérationnels	Densité (km²/sites)	Nombre points de mesure opérationnels
A. Sédimentaire				
Sédimentaire Nord	4.026	2	2.013	4
Sédimentaire Est	6.546	2	3.273	2
Sédimentaire Ouest	42.345	10	4.235	12
Total Sédimentaire	**52.917**	**14**	**3.780**	**18**

Par rapport à l'ensemble du sédimentaire au Burkina Faso, les sites opérationnels localisés dans le sédimentaire de l'ouest représentent 71% du total des sites du RPN implantés dans des terrains sédimentaires.

Une analyse plus détaillée de la situation du réseau piézométrique national par zone sédimentaire est reprise ci-après.

Zone du sédimentaire Nord

La répartition par formations hydrogéologiques du sédimentaire Nord, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 9 – Répartition et densité du RPN dans le sédimentaire Nord

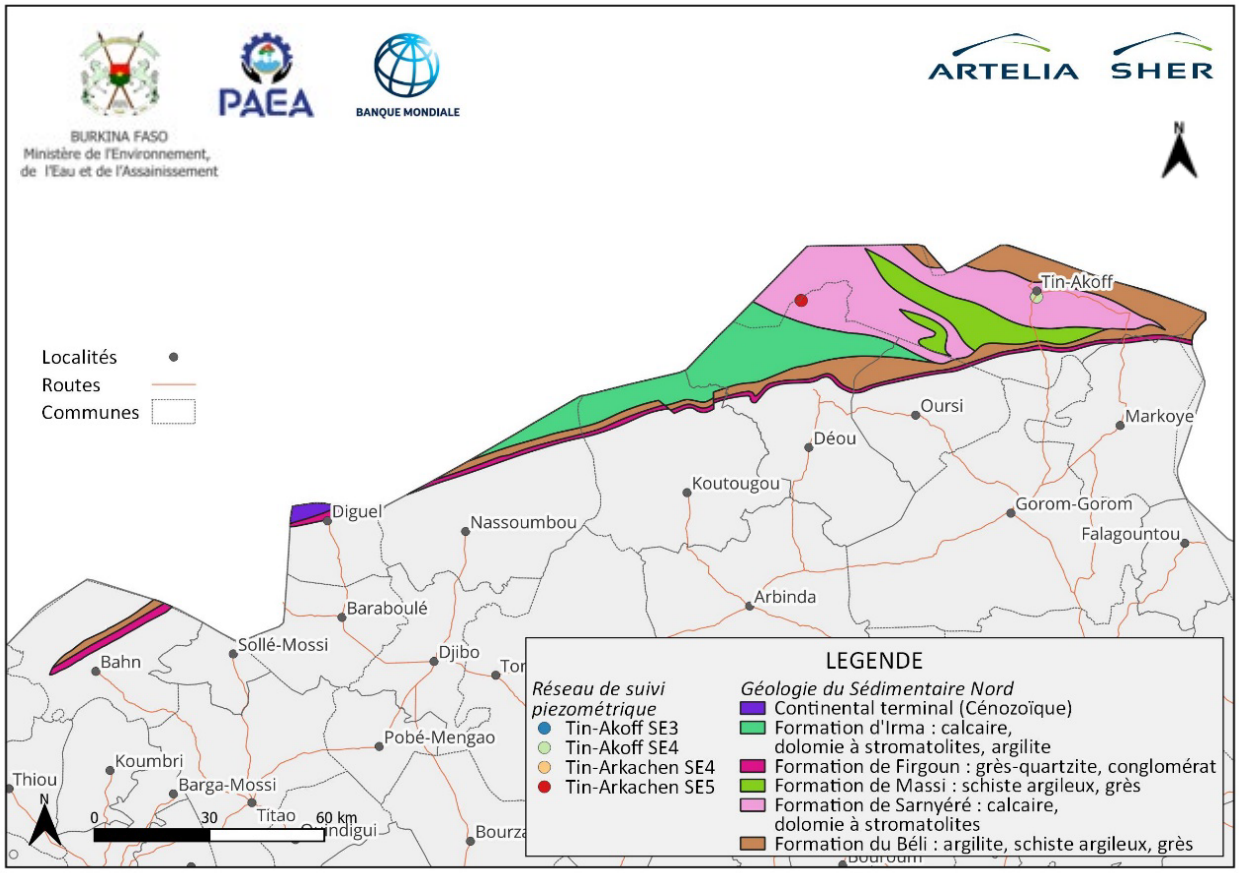
Contexte hydrogéologique Sédimentaire Nord	Superficie (km²)	Nombre sites opérationnels	Densité (km²/sites)	Nombre points de mesure opérationnels
Formation du Béli	951	0	/	0
Formation de Sarnyéré	1.481	2	740	4
Formation de Massi	355	0	/	0
Formation de Firgoun	187	0	/	0
Formation d'Irma	955	0	/	0
Continental Terminal	97	0	/	0
Total Sédimentaire Nord	**4.026**	**2**	**2.013**	**4**

Seuls deux sites opérationnels couvrent le sédimentaire Nord : Tin-Akoff et Tin-Arkachen, constitués chacun de 2 ouvrages et de deux points de mesure fonctionnels. Sur chacun des sites, les piézomètres sont distants d'une centaine de mètres seulement.

La superficie du sédimentaire Nord est de 4.026 km², si bien que la densité est de 1 site opérationnel pour 2.013 km², inférieure aux recommandations minimales des documents-guides de référence. Les deux sites se situent au niveau de la formation hydrogéologique de Sarnyéré, tandis que les autres formations du Sédimentaire Nord ne disposent d'aucun piézomètre.

Il est dès lors recommandé de consolider le réseau de suivi piézométrique dans cette zone, par l'ajout de sites additionnels de suivi. En complément à la formation de Sarnyéré, la formation d'Irma doit être privilégiée, laquelle présente de bonnes potentialités aquifères rencontrées dans ses couches carbonatées.

La Carte 9 illustre la localisation des piézomètres du Sédimentaire Nord.



Carte 9 : Distribution spatiale des ouvrages opérationnels dans le Sédimentaire Nord

Zone du sédimentaire Est

La répartition par formations hydrogéologiques du sédimentaire Est, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 10 – Répartition et densité du RPN dans le sédimentaire Est

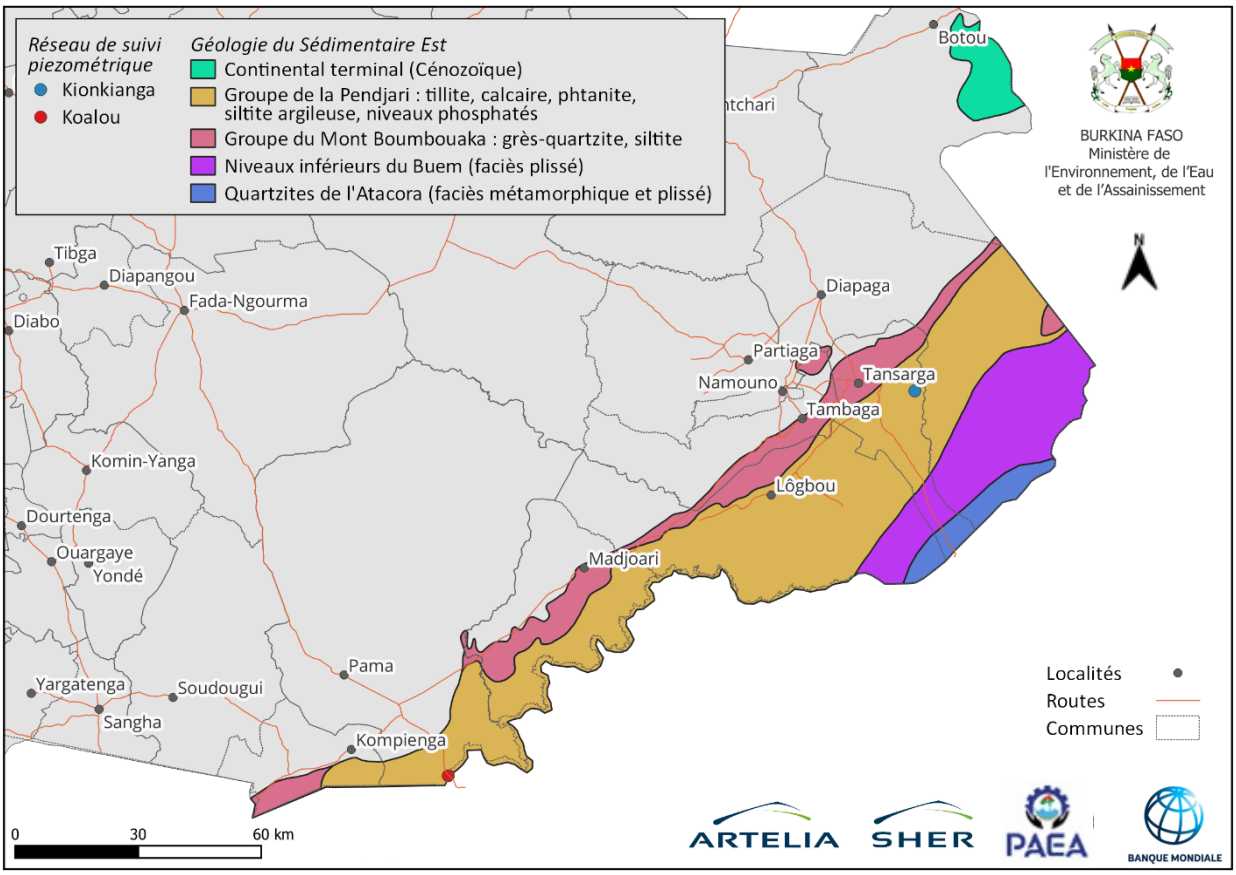
Contexte hydrogéologique Sédimentaire Est	Superficie (km²)	Nombre sites opérationnels	Densité (km²/sites)	Nombre points de mesure opérationnels
Niveaux inférieurs du Buem	1.163	0	/	0
Quartzites de l'Atacora	248	0	/	0
Groupe de la Pendjari	3.786	2	1.893	2
Groupe du Mont Boumbouaka	1.089	0	/	0
Continental Terminal	261	0	/	0
Total Sédimentaire Est	**6.546**	**2**	**3.273**	**2**

Seuls deux sites opérationnels couvrent le sédimentaire Est : Kionkianga et Koalou, constitués chacun de 1 ouvrage et de 1 point de mesure fonctionnel.

La superficie du sédimentaire Est est de 6.546 km², si bien que la densité est de 1 site opérationnel pour 3.273 km², inférieure aux recommandations minimales des documents-guides de référence. Les deux sites se situent au niveau de la formation hydrogéologique de la Pendjari, tandis que les autres formations du Sédimentaire Est ne disposent d'aucun piézomètre.

Il est dès lors recommandé de consolider le réseau de suivi piézométrique dans cette zone, par l'ajout de sites additionnels de suivi. Les formations présentant les potentialités aquifères les plus favorables doivent être privilégiées, à savoir les formations du Mont Boumbouaka et de la Pendjari. On visera prioritairement la formation de la Pendjari, compte tenu du contexte topographique et hydrogéologique particulier de la formation du Mont Boumbouaka caractérisés par la présence de nombreuses sources à l'émergence. Les formation plissées et métamorphiques du Buem et de l'Atacora, moins productives et très peu exploitées, ne sont pas jugées prioritaires dans le cadre d'une optimisation pragmatique du RPN.

La Carte 10 illustre la localisation des piézomètres du Sédimentaire de l'Est.



Carte 10 : Répartition des ouvrages opérationnels dans le Sédimentaire Est

Zone du sédimentaire Ouest

Le Sédimentaire Ouest compte 10 sites fonctionnels de suivi piézométriques, composés de 11 ouvrages et de 12 points de mesure. La grande majorité des sites sont donc composés d'un seul ouvrage et d'un tube unique. Tous les ouvrages du Sédimentaire de l'Ouest sont fonctionnels.

Tableau 11 – Statistiques du RPN dans le sédimentaire Ouest

Bondokuy (1 ouvrage – 1 tube)	Kouka (1 ouvrage – 1 tube)
Dingasso (1 ouvrage – 2 tubes)	Nafona (2 ouvrages – 1 tube chacun)
Gassan (1 ouvrage – 1 tube)	Nouna (1 ouvrage – 1 tube)
Gombio (1 ouvrage – 1 tube)	Tansila (1 ouvrage – 1 tube)
Kossoba (1 ouvrage – 1 tube)	Toungo (1 ouvrage – 1 tube)

La superficie du Sédimentaire de l'Ouest est de 42.345 km². Dès lors, la densité est de 1 site opérationnel

pour 4.235 km², significativement inférieure aux recommandations minimales des documents-guides de référence.

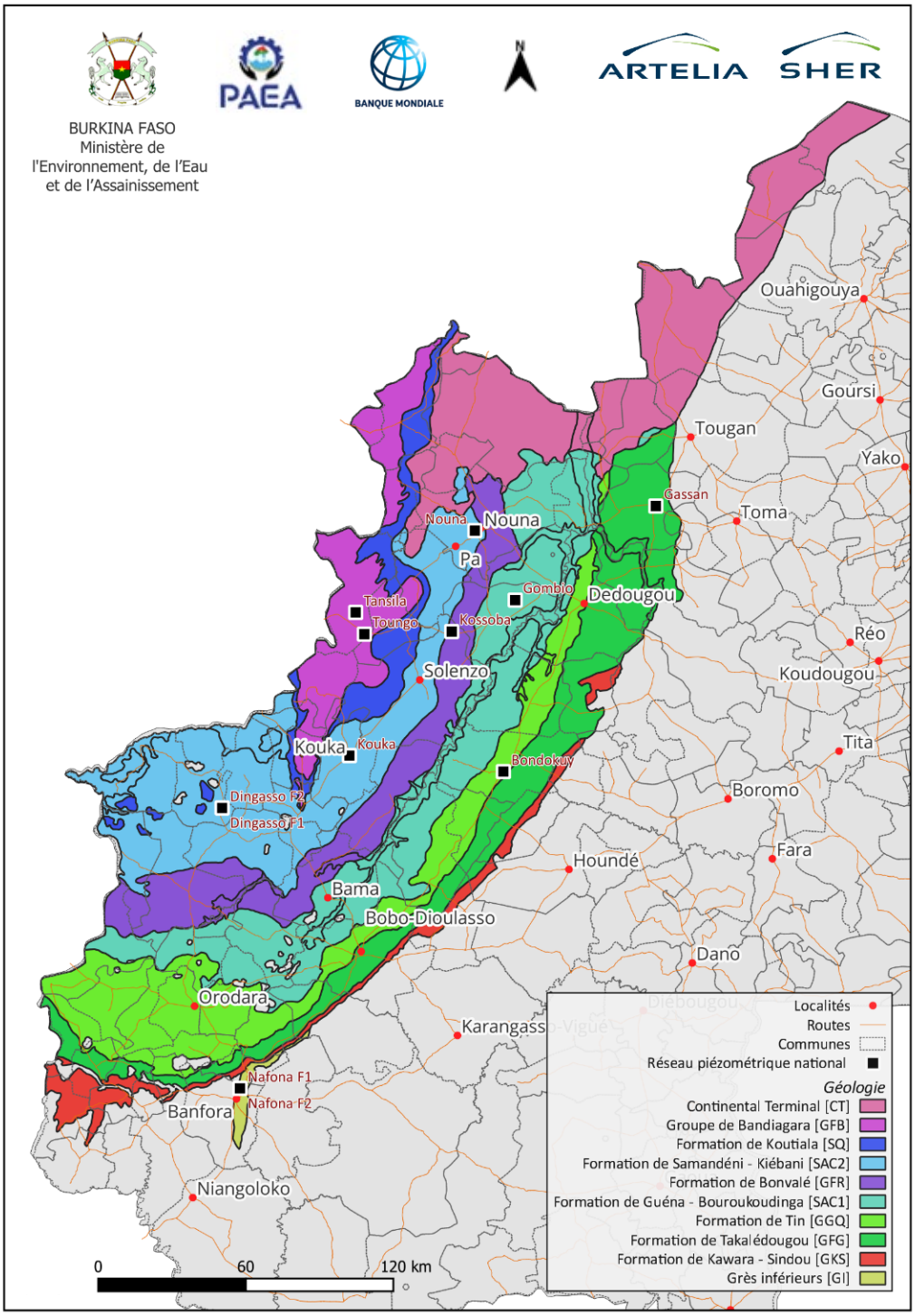
La répartition par formations hydrogéologiques du sédimentaire Ouest, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le Tableau 12.

La répartition des sites est relativement inégale entre formations hydrogéologiques, avec 4 sites sur la seule formation de Samandeni-Kiébani (SAC2). On notera à ce titre que 4 formations hydrogéologiques sur les 10 (soit 40%) ne disposent d'aucun site de suivi intégré au RPN. En termes de superficie cumulée, cela représente plus de 13.000 km² de formations hydrogéologiques ne présentant aucun ouvrage de suivi intégré au RPN.

De manière globale il y a extrêmement peu de sites de suivi dans la moitié Sud de la zone (Hauts Bassins et Cascades), toutefois comme on le verra plus loin cette zone est concernée par le réseau de suivi de l'AEM. De même, il faut constater l'absence de site de suivi dans le Continental Terminal, au nord de la zone en direction de la plaine du Gondo.

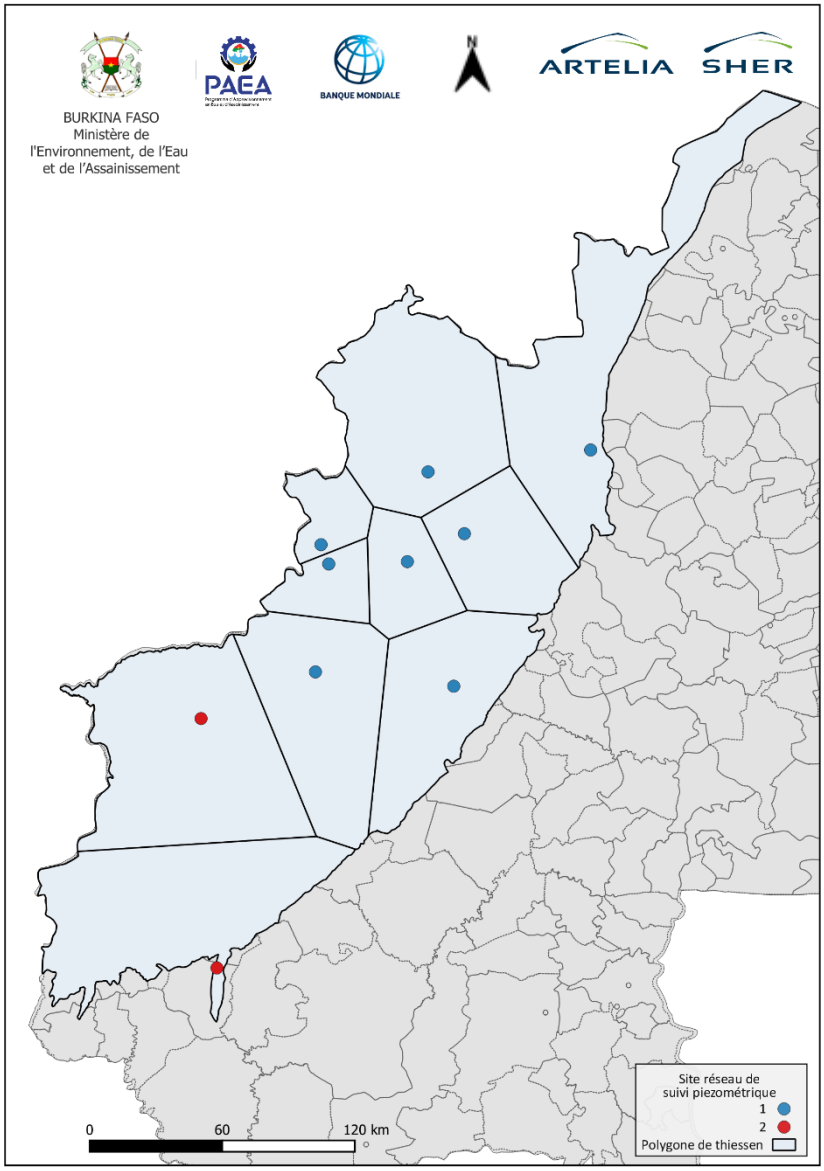
Tableau 12 – Répartition et densité du RPN dans le sédimentaire Ouest

Contexte hydrogéologique Sédimentaire Ouest	**Superficie (km²)**	**Nombre sites**	**Densité (km²/sites)**	**Nombre points de mesure opérationnels**
Formation de Guéna - Bouroukoudinga	6.887	1	6.887	1
Formation de Koutiala	1.042	0	/	0
Formation de Bonvalé	4.190	0	/	0
Formation de Kawara - Sindou	1.042	0	/	0
Formation de Takalédougou	6.270	1	6.270	1
Formation de Tin	5.241	1	5.241	1
Formation de Samandéni - Kiébani	7.389	4	1.847	5
Grès inférieurs	178	1	178	2
Groupe de Bandiagara	3.058	2	1.529	2
Continental Terminal	7.048	0	/	0
Total Sédimentaire Ouest	**42.345**	**10**	**4.235**	**12**



Carte 11 : Distribution spatiale des ouvrages opérationnels du RPN dans le Sédimentaire Ouest

La figure ci-après illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites localisés dans le Sédimentaire de l'Ouest. A cette échelle, une faible densité de points dans la partie sud-ouest de la zone est observée, avec des polygones pouvant atteindre jusqu'à 20.000 km² au niveau du site de Dingasso.



Carte 12 : Zonage de concentration des sites opérationnels dans le Sédimentaire Ouest

Compte tenu de la très faible densité actuelle de sites de suivi, de leur répartition spatiale très inégale (faible homogénéité), de la forte exploitation des aquifères du sédimentaire de l'Ouest, et enfin des potentialités aquifères très favorables de cette zone, il est recommandé de consolider significativement le réseau de suivi piézométrique dans cette zone, par l'ajout de sites additionnels de suivi. Le nombre actuel de sites, et leur distribution spatiale, sont en effet peu en adéquation avec les enjeux stratégiques de cette zone pour ce qui concerne l'exploitation et la préservation des ressources en eau souterraine ainsi que le développement socio-économique qui en dépend. Comme on le verra plus loin, une valorisation de certains ouvrages existants (pouvant faire partie du réseau de suivi piézométrique actuel de l'AEM et/ou des piézomètres forés dans le cadre du programme VREO) pourra être envisagée prioritairement et préférentiellement par rapport à la réalisation de forages additionnels.

D.1.2.2.3. Distribution par entités administratives

La répartition des sites du RPN par Région permet d'observer une situation très déficitaire au niveau des régions du Sud-Ouest (absence de site de suivi) et des Hauts-Bassins (1/25.000 km²). Viennent ensuite les Cascades, le Centre-Ouest et l'Est avec des densités inférieures à 1/6.000 km² (cf. Tableau 13)

A l'inverse, les régions du Centre, de Plateau-Central et du Centre-Sud bénéficient des densités les plus élevées, comprises entre 1/1.000 et 1/3.000 km².

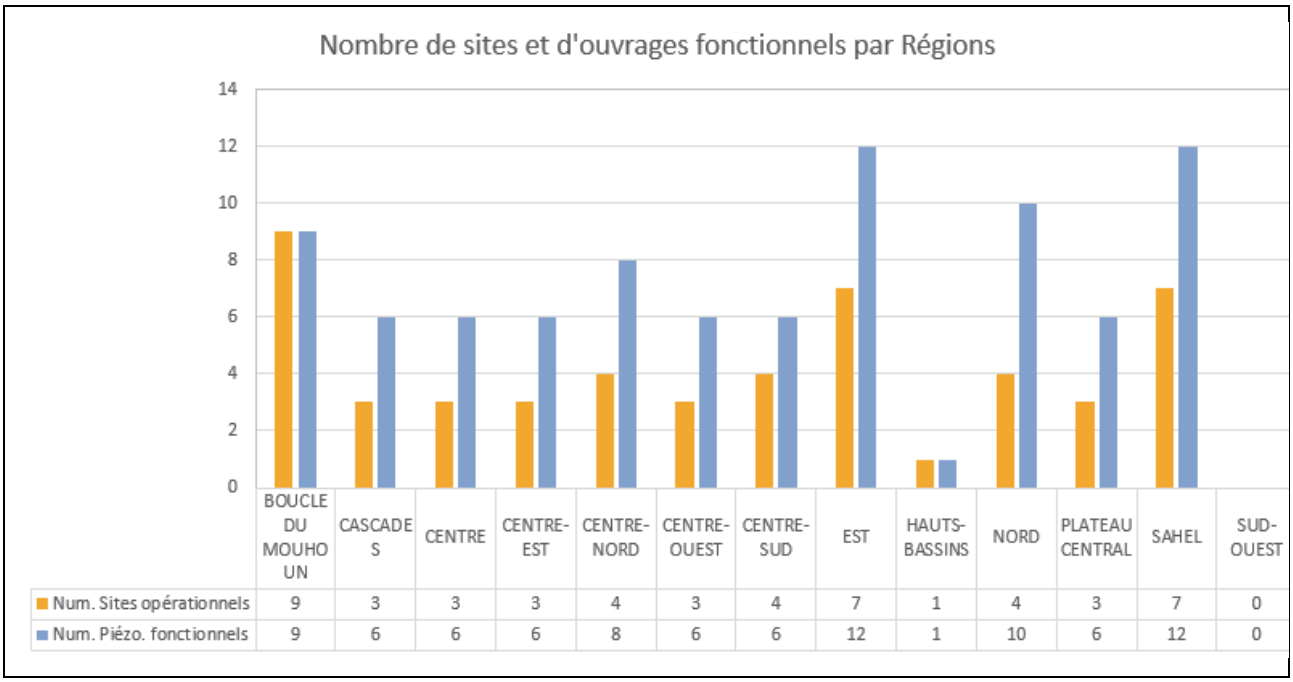
Tableau 13 : Répartition et densité du RPN par Régions

Région	Superficie (km²)	Nombre sites opérationnels	Densité (km²/sites)	Nombre points de mesure opérationnels
Cascades	18.285	3	6.095	6
Mouhoun	34.466	9	3.830	9
Nord	16.486	4	4.122	15
Plateau Central	8.593	3	2.864	8
Centre	2.988	3	996	6
Centre Sud	11.586	4	2.897	7
Centre-Est	14.492	3	4.831	7
Est	47.649	7	6.807	12
Centre-Nord	19.740	4	4.935	10
Centre-Ouest	21.707	3	7.236	9
Sahel	35.366	7	5.052	12
Hauts-Bassins	25.337	1	25.337	2
Sud-Ouest	16.513	0	.	0
Total BKF	**274.054**	**51**	**5.357**	**103**

Tableau 14 – Classes de densités des sites par Régions

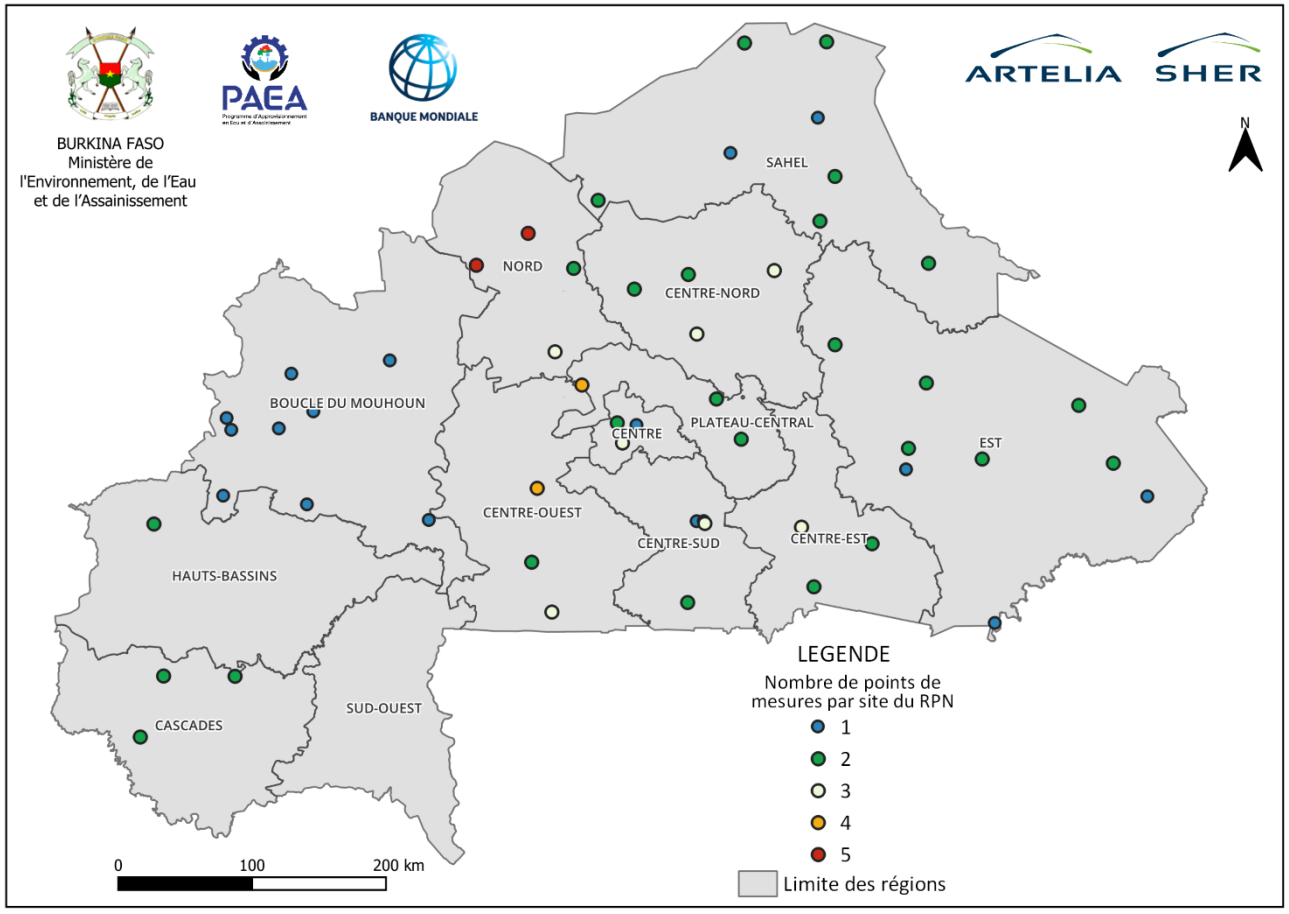
Classes de densité (km²/site opérationnel)	Régions	Num. Régions
De 1 à 1.000	CENTRE	1
De 1.001 à 3.000	PLATEAU-CENTRAL / CENTRE-SUD	2
De 3.001 à 6.000	BOUCLE DU MOUHOUN / NORD / CENTRE-EST / CENTRE-NORD / SAHEL	5
De 6.001 à 10.000	CASCADES / EST / CENTRE-OUEST	3
>10.000	HAUTS-BASSINS	1
Pas de suivi	SUD-OUEST	1

Les Figure 14 et la Carte 13 illustrent la répartition des sites piézométriques opérationnels par Régions.



	BOUCLE DU MOUHOUN	CASCADES	CENTRE	CENTRE-EST	CENTRE-NORD	CENTRE-OUEST	CENTRE-SUD	EST	HAUTS-BASSINS	NORD	PLATEAU CENTRAL	SAHEL	SUD-OUEST
Num. Sites opérationnels	9	3	3	3	4	3	4	7	1	4	3	7	0
Num. Piézo. fonctionnels	9	6	6	6	8	6	6	12	1	10	6	12	0

Figure 14 : Statistiques régionales du RPN



Carte 13 : Répartition des sites opérationnels par Régions

D.1.2.2.4. Distribution par bassins-versants nationaux

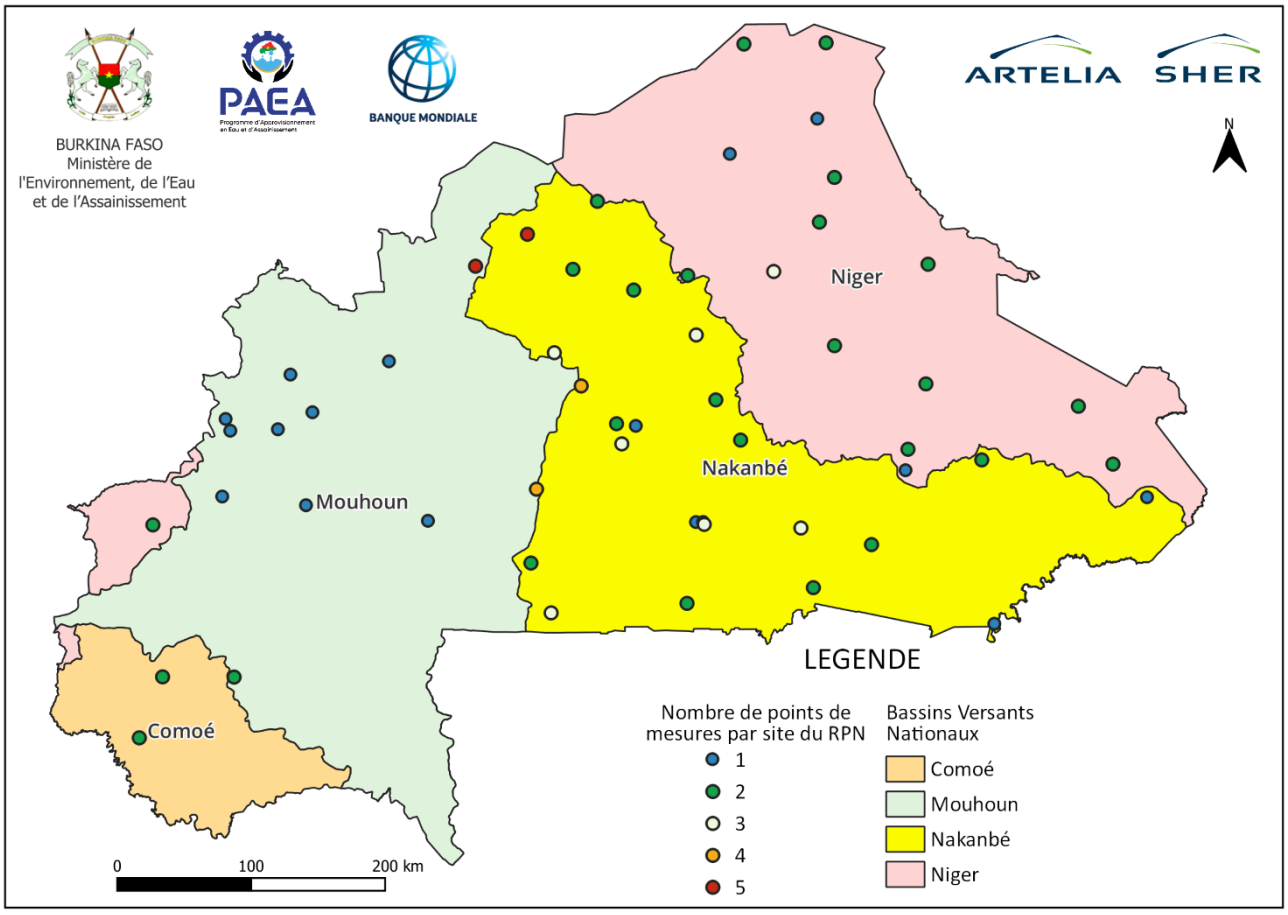
La distribution des sites opérationnels du RPN par bassins hydrographiques nationaux montre que tous les bassins versants sont couverts, avec néanmoins une situation très déficitaire au niveau du bassin-versant du Mouhoun (cf. Tableau 15), et avec de surcroit une distribution spatiale peu homogène des sites dans ce bassin, la totalité des sites étant localisés dans sa moitié nord.

La majorité des sites sont concentrés dans les bassins versants du Nakanbé et du Niger. En effet, ces deux bassins versants avaient bénéficié de la densification réalisée en 2008, ce qui a permis d'améliorer la densité du réseau dans ces BV.

La Carte 14Carte 12 : Zonage de concentration des sites opérationnels dans le Sédimentaire Ouest et la Figure 15 illustrent la répartition des sites piézométriques opérationnels par BV. National.

Tableau 15 – Densité des sites par BV. National

Bassin Versant National	Superficie (km²)	Nombre sites opérationnels	Densité (km²/sites opérationnels)
Comoé	17.552	3	5.851
Mouhoun	91.386	10	9.139
Nakanbé	81.436	24	3.393
Niger	82.835	14	5.917
Total BKF	**273.209**	**51**	**5.357**



Carte 14 : Répartition des sites opérationnels par BV. National

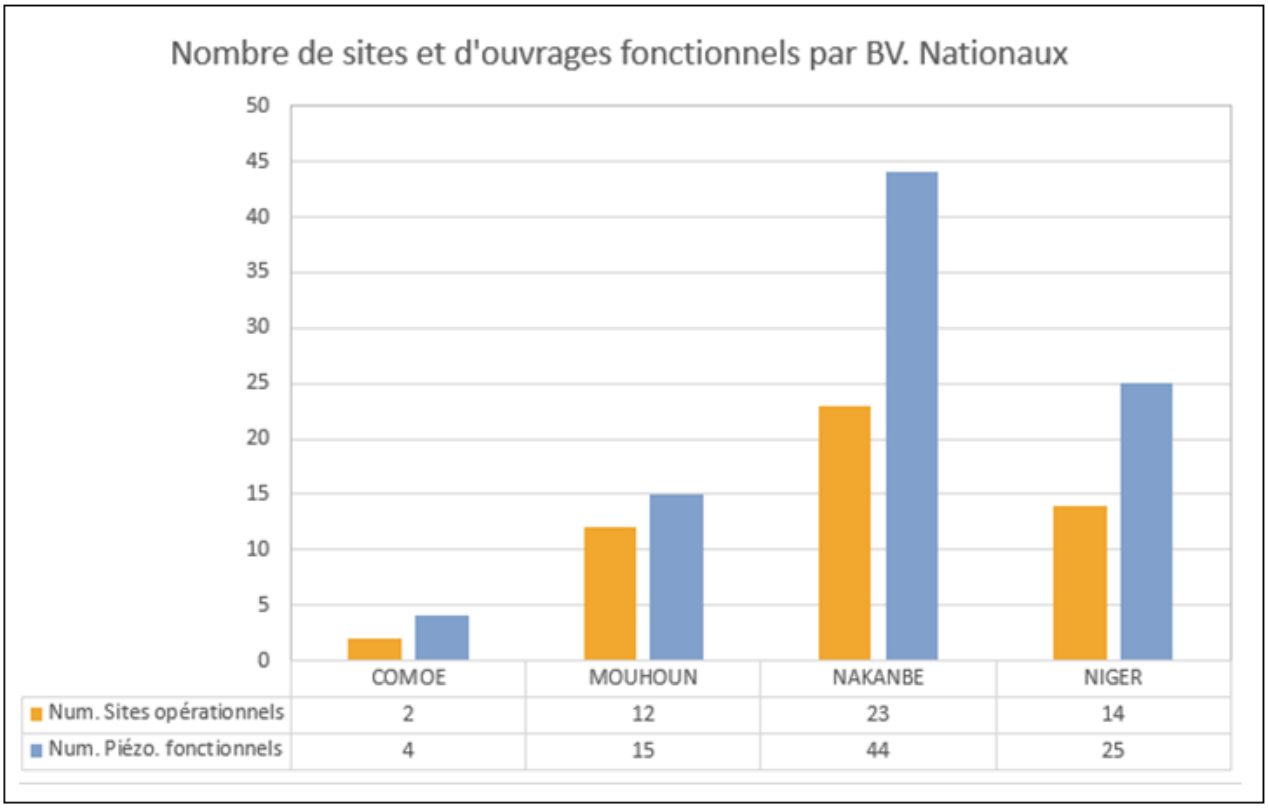


Figure 15 : Statistiques du RPN fonctionnel par BV. National

D.1.2.2.5. Distribution par zones climatiques

La distribution des sites opérationnels prend en compte toutes les zones climatiques (Figure 16 et la Carte 15). On observe une majorité de sites présents dans la zone soudano-sahélienne.

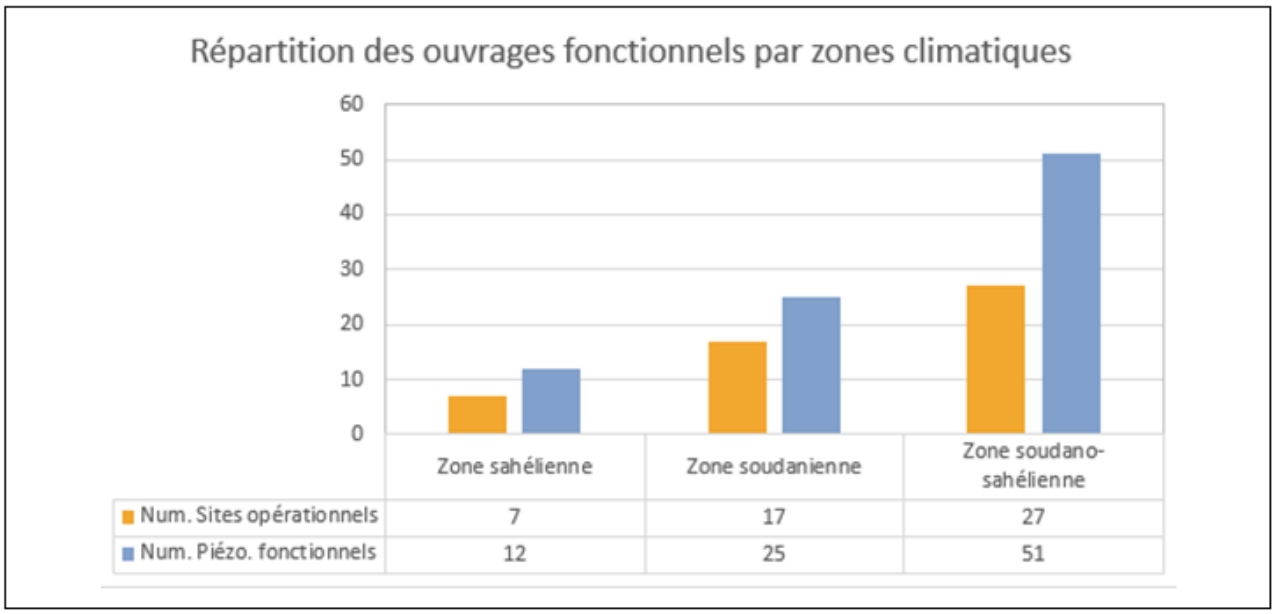
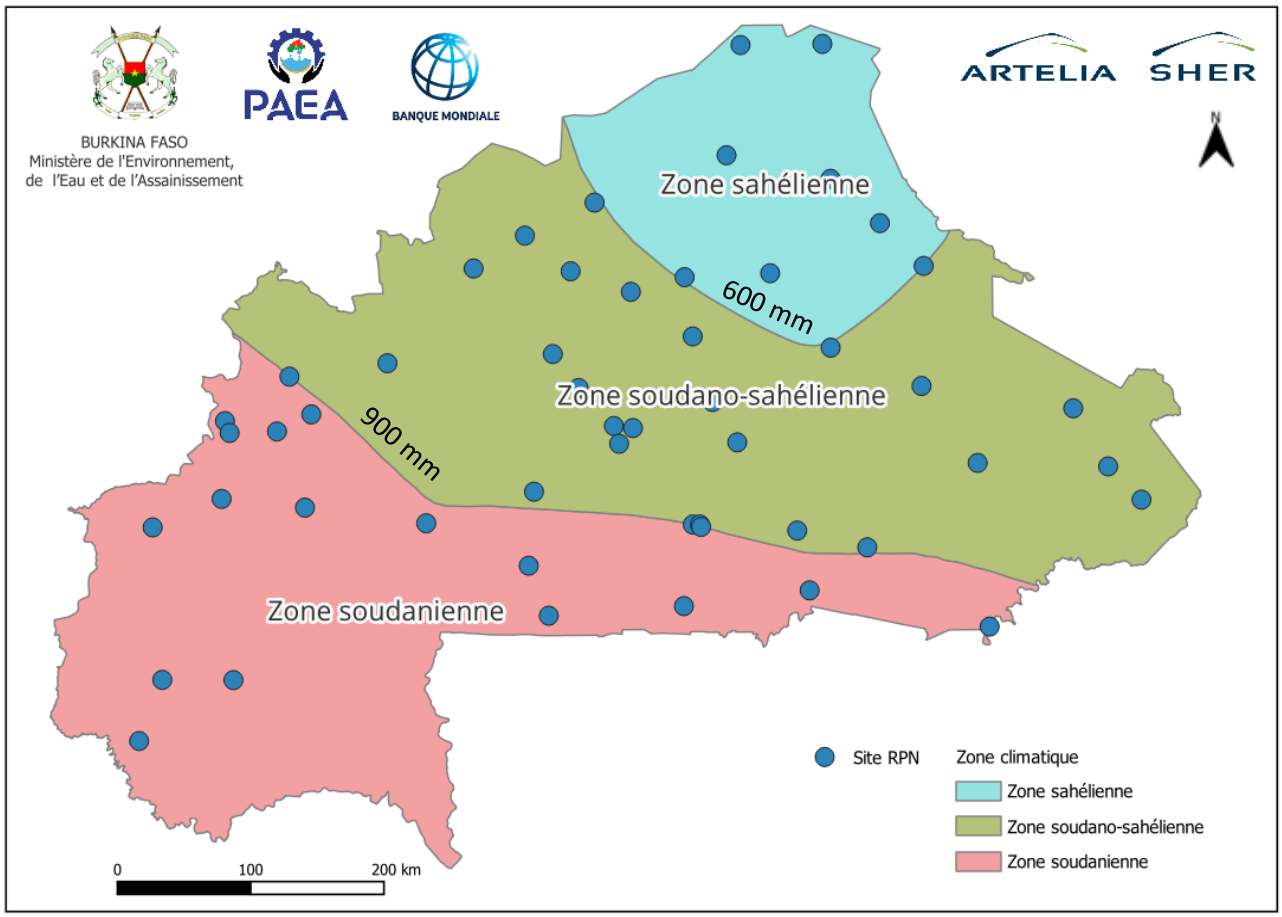


Figure 16 : Statistiques du RPN fonctionnel par zone climatique



Carte 15 : Distribution spatiale des sites fonctionnels du RPN par zone climatique

D.1.2.2.6. Distribution en relation avec l'exploitation des aquifères

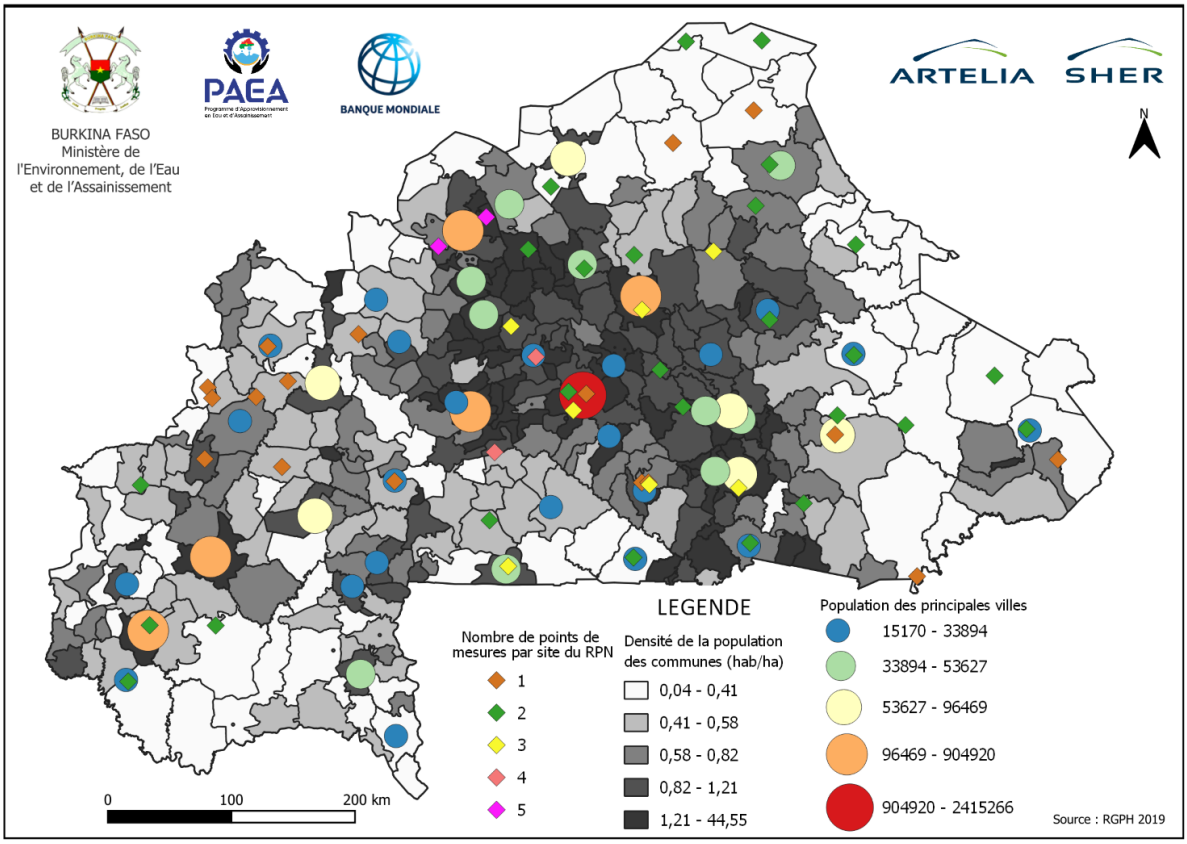
Bien qu'il s'agisse d'un réseau de suivi homogène (patrimonial) et non d'un réseau d'impact, il parait utile d'évaluer la distribution spatiale des sites du RPN au regard de l'exploitation des aquifères.

Dans cette optique, les Carte 16 et Carte 17 illustrent la répartition spatiale des sites opérationnels du RPN en comparaison avec (i) la densité d'habitants par commune et la population des principales villes (> 15.000 habitants selon RGPH 2019), (ii) les prélèvements en eaux souterraines de l'ONEA à partir de forages pour l'AEP.

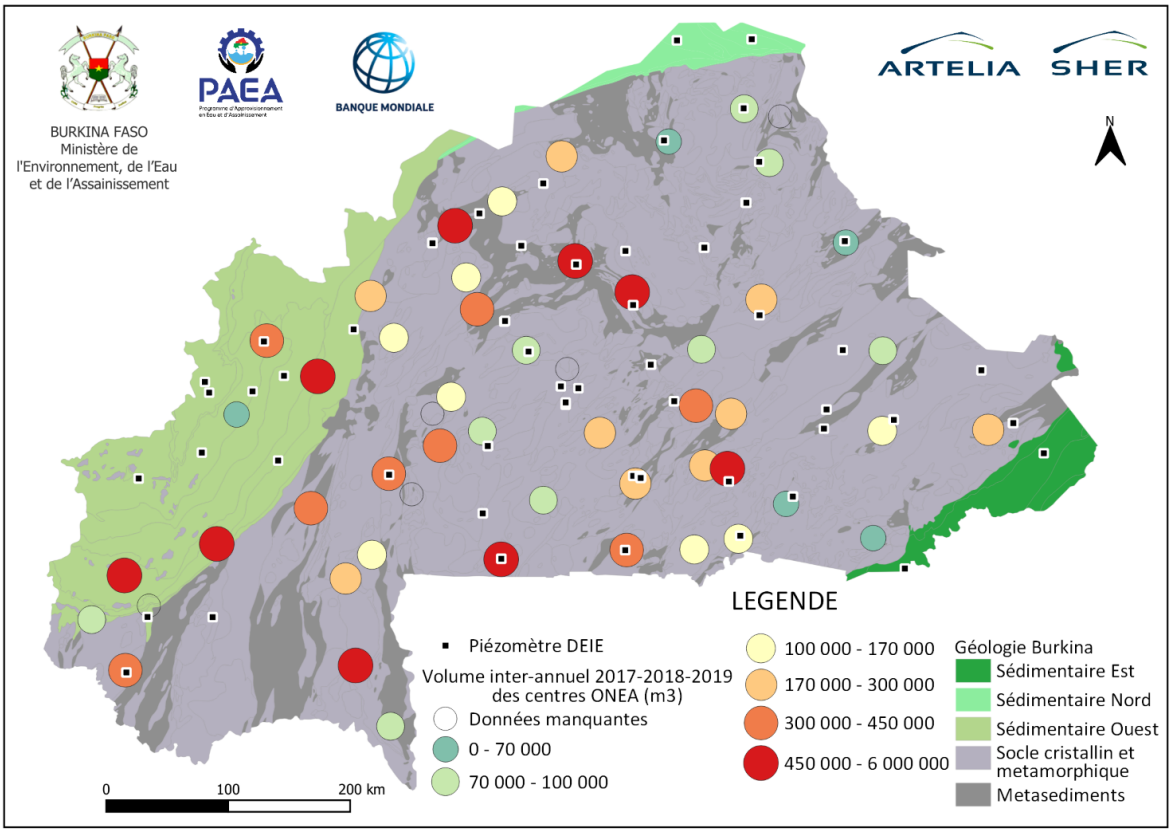
En ce qui concerne la distribution spatiale de la population, l'adéquation du RPN est relativement bonne, à l'exception des zones de l'axe Orodara-Bobo Dioulasso-Boromo et de l'axe Diébougou-Gaoua-Batié.

En ce qui concerne la distribution spatiale des centres ONEA exploitant les eaux souterraines, l'adéquation du RPN est relativement bonne, à l'exception notamment des zones jouxtant les centres de Orodara, de Bobo Dioulasso, de Boromo, de Dano, de Diébougou, de Gaoua et de Batié.

Il faut toutefois insister sur le fait que le RPN n'a pas vocation à constituer un réseau d'impact, et ne doit donc pas être optimisé dans un objectif de surveillance directe de l'impact des prélèvements sur le niveau des nappes.



Carte 16 : Répartition des sites opérationnels selon les foyers de population



Carte 17 : Répartition des sites opérationnels par centre ONEA

D.1.2.2.7. Conclusions sur la densité et la distribution spatiale des sites du RPN

Les analyses spatiales ont montré une densité de sites piézométriques significativement inférieure aux recommandations des documents-guides internationaux de référence, et un degré d'homogénéité peu optimal.

Des écarts très importants sont constatés entre Régions, notamment au niveau des Hauts-Bassins, des Cascades et du Sud-Ouest. La partie Sud-Ouest du pays, et plus précisément du sédimentaire de l'Ouest présente un déficit important en matière d'infrastructure de suivi intégrée au RPN actuel.

La densité en zone sédimentaire est de 1/4.000 km² environ, ce qui est inférieur aux normes de l'OMM et du Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France. En outre, plusieurs formations hydrogéologiques ne sont pas couvertes par des piézomètres.

La zone du sédimentaire de l'Ouest en particulier ne comporte que 10 sites opérationnel, ce qui est très faible au regard des potentialités aquifères de cette zone, de son exploitation actuelle et future, et des enjeux socio-économiques liés aux ressources en eau souterraine. Un renforcement de la densité de sites s'avère dès lors prioritaire dans cette zone.

La densité en zone de socle est de 1/6.000 km^2 environ, ce qui est inférieur aux normes de l'OMM (1/1.600 km²) mais qui est proche des recommandations spécifiques pour ce type de zone (1/7.000 km^2 - Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France).

Pour symboliser la concentration des sites opérationnels dans un zonage donné, le Groupement s'est tourné vers la méthode de tessellation. Les produits cartographiques qui dérivent de cette méthode permettent de disposer d'un point de vue concret sur les zones d'influence de chaque piézomètre, et sur l'homgénéité du réseau au regard des différentes zonations étudiées.

Le RPN est réparti de manière inégale car certains piézomètres sont multiples et d'autres sont séparés d'une faible distance, sans que cela ne soit toujours justifié d'un point de vue hydrogéologique. C'est particulièrement le cas des sites de Bindé, Kazanga et Ouda (Centre-Sud) rassemblant 4 ouvrages qui se trouvent séparés de moins de 6 Km.

L'optimisation du réseau s'articulera donc sur une amélioration de la densité de sites dans les zones trop faiblement couvertes, et sur une amélioration de l'homogénéité du réseau vis-à-vis des différents zonages géographiques considérés (géologie et hydrogéologie, bassins hydrographiques, entités administratives et de gestion, exploitation des aquifères, zones climatiques). On rappellera que l'optimisation ne vise pas l'atteinte des recommandations formulées dans les documents-guides de référence, lesquelles peuvent paraitre excessives au regard de la situation rencontrée au Burkina Faso. L'optimisation visée se veut *in fine* pragmatique, l'objectif étant de pouvoir mettre en œuvre les propositions de renforcement et de disposer d'un réseau optimisé opérationnel performant.

D.1.2.3. Acquisition des données et équipements des piézomètres

D.1.2.3.1. Mesures manuelles

Le suivi du réseau piézométrique est assuré par les cinq Unités de Collecte et de Diffusion de l'Information sur l'Eau (UCDIEau) fonctionnelles relevant de cinq Directions Régionales (Nord, Boucle du Mouhoun, Hauts Bassins, Centre Est et Sahel).

La prise de mesure piézométrique se réalise de manière manuelle à l'aide de sondes piézométriques (sondes électriques à ruban gradué). Cela suppose une visite physique de chaque ouvrage du réseau.

Concrètement, un observateur local (personne habitant à proximité de l'ouvrage) a été recruté et formé. Il réalise des prises de mesure à une fréquence de minimum deux mesures par semaine, pour un total moyen d'environ 10 mesures par mois. Les niveaux d'eau mesurés sont consignés sur des carnets de lecture.

La fréquence annoncée est en adéquation avec les recommandations des documents-guides de référence (une à deux mesures par semaine selon les normes).

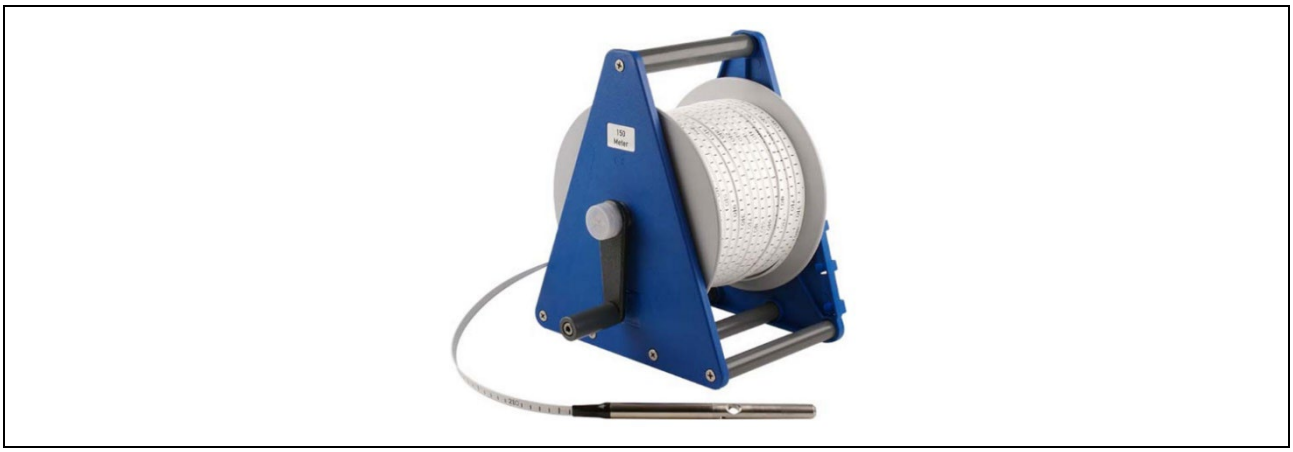


Figure 17 : Sonde piézométrique manuelle à ruban gradué

Des visites sur site de l'UCDIEAU sont programmées une fois par mois en saison pluvieuse et tous les deux à trois mois en saison sèche. Les carnets de lecture sont récupérés à cette occasion. Néanmoins, selon le questionnaire transmis à la DEIE, il apparait que les sorties des UCDIEau sur le terrain sont irrégulières.

Les UCDIEAU photocopient souvent les fiches de données qui sont archivées au niveau de leur DREA d'appartenance. Les UCDIEAU se chargent de transmettre les données au niveau central. Cela peut être sous différentes formes : carnet de lecture original (si la DREA ne dispose pas de photocopieur, ni ne réalise la saisie), photocopies et/ou fichier informatique (MS.Excel) si la DREA saisit l'information numériquement.

La DEIE récupère les données transmises par les UCDIEAU et procède à l'encodage de l'information transmise sous forme papier. Selon la DEIE, les données sont capitalisées dans une base de données. A l'analyse, il s'agirait plutôt d'une série de fichiers MS.Excel (voir ci-après). D'une manière générale, la DEIE note un manque de contrôle des lectures effectuées par les lecteurs et procède à certaines corrections mais sans protocole de qualité rigoureux.

Deux fois par an, la DEIE organise des missions qui ont pour but la supervision de la collecte des données et la maintenance des équipements.

L'ensemble du flux est très simple et peu automatisé. Il est relativement indépendant de toute technologie (réseau électrique et internet) mais la succession d'interventions manuelles présente un risque d'erreurs ou d'incohérences : mauvaise lecture des valeurs sur la sonde graduée, erreur de saisie manuscrite du code du

point mesuré et/ou des valeurs mesurées dans le carnet de terrain, erreur d'encodage lors de la saisie numérique, perte de données (mauvaise transmission des carnets, mauvaise qualité des photocopies, etc.), etc. De plus, la disponibilité des données dépend entièrement de visites sur le terrain, ce qui n'est pas l'idéal pour la constitution de séries temporelles continues.

D.1.2.3.2. Mesures par sondes automatiques

Depuis 2017, la DEIE s'est engagée dans une série d'actions visant à renforcer le RPN. Dans ce cadre, 110 sondes automatiques de mesures de pression de marque HERON ont été acquises (50 en 2018 et 60 en 2019). Il s'agit de sondes non compensées. En complément, 35 sondes barométriques ont été acquises pour la mesure de compensation barométrique. La fréquence de mesures automatique de ces sondes automatiques est de 24 heures.

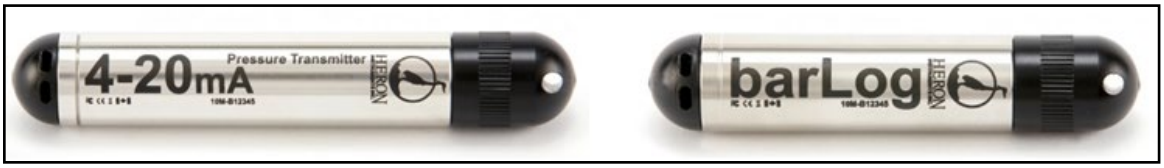


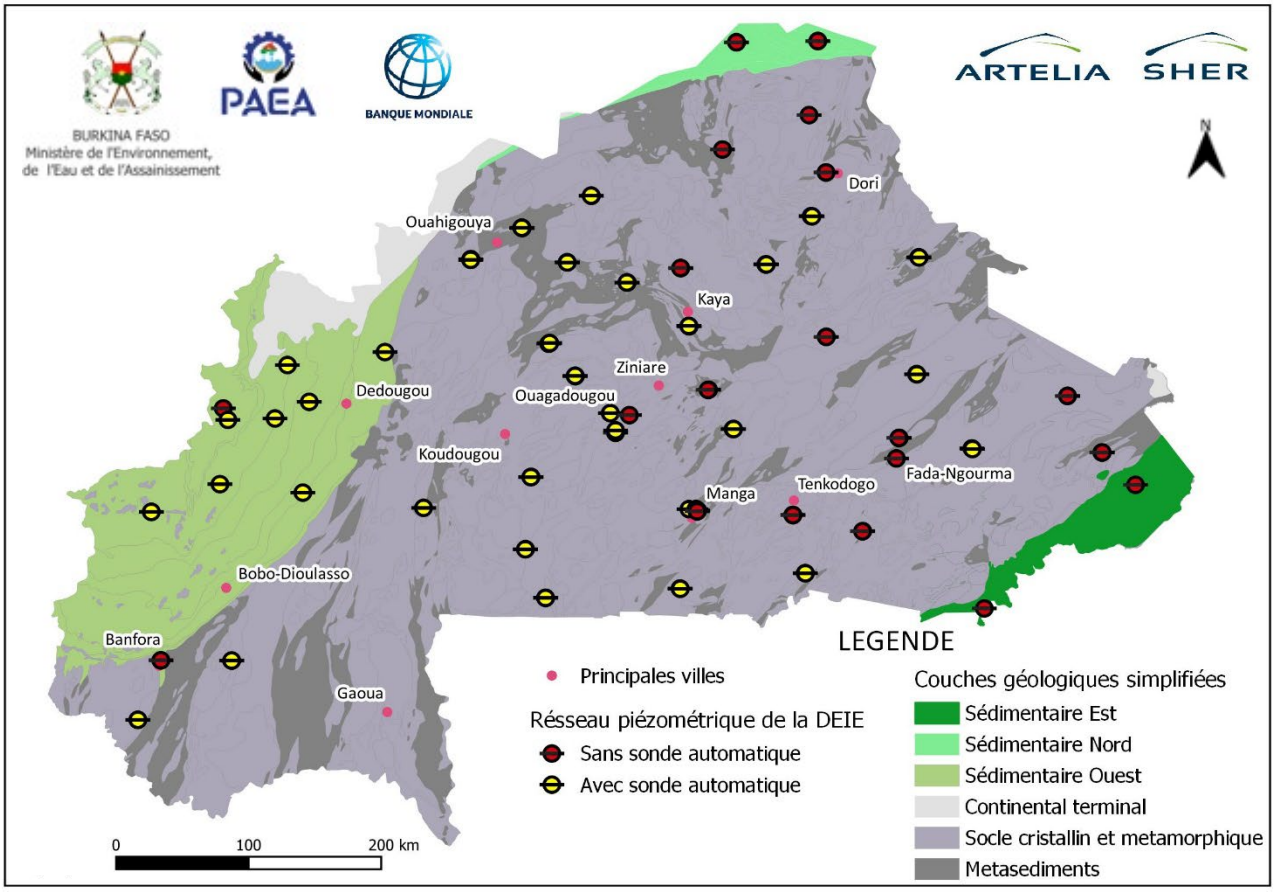
Figure 18 : Sonde de pression et sonde barométrique HERON

Les sondes automatiques de mesures de pression ne sont pas équipées d'un système de télétransmission. Les observateurs locaux, ou les agents des UCDIEau, ne sont donc pas dispensés de visites sur le terrain. Les données sont stockées sur le DataLogger de la sonde et sont récupérées sur site à intervalle régulier (en général chaque trimestre) via USB. Les enregistrements sont alors transférés sous format .CSV ou MS.Excel sur un poste de travail.

Actuellement, **69 points de mesures sur les 103 fonctionnels** sont équipés de sonde automatique. Les points de mesure constitutifs d'un même ouvrage ne sont pas forcément tous équipés de sondes. Par exemple, l'ouvrage de Tafogo S2 est composé de deux points de mesure dont l'un est équipé de sonde et l'autre pas. La même situation est constatée au niveau d'un des ouvrages de Ouda. A des fins statistiques, le Groupement a estimé qu'un ouvrage équipé de sonde correspondait à un ouvrage dont au moins un tube dispose de l'équipement.

Dès lors, **56 ouvrages fonctionnels, répartis en 38 sites**, sont équipés de sondes automatiques. La

Carte 18Carte 18 illustre la répartition des ouvrages munis de sondes automatiques de pression au sein du RPN.



Carte 18 : Répartition des ouvrages fonctionnels munis de sondes automatiques

A ce jour, la programmation des sondes HERON, de même que la récupération des données (formats de sortie, compensations, etc.), sont problématiques et ne permettent pas l'exploitation des données piézométriques issues de ces sondes. La DEIE a souligné ces difficultés dans le questionnaire d'enquête élaboré par le Groupement. Dès lors, seules les mesures manuelles sont exploitables et capitalisées.

En 2021, une dizaine de sondes automatiques de pression DIVER, également non-compensées, sont venues compléter les équipements. Elles ont été récemment installées au niveau d'une série d'ouvrages du RPN, en combinaison avec 5 BARO-DIVER pour assurer la compensation barométrique.

D.1.2.4. Outils de gestion et de capitalisation des données

D.1.2.4.1. Base de données piézométrique

En termes de capitalisation de l'information, la DEIE dispose d'une base de données MS.Access dénommée « BD-Piezo ». Un applicatif de gestion SIG-PIEZO permettant de l'alimenter.

L'ensemble du système (applicatif et base de données) a été développé en 2008-2009 via le programme PADSEA-II et est opérationnel depuis 2010. Il a pour objectif le suivi des stations piézométriques et pluviométriques. L'analyse diagnostic a été menée tant sur l'aspect base de données qu'applicatif.

La « BD-Piezo » a été remise au Groupement par la DEIE en août 2021. Le nom du fichier est [**BD-PIEZO_15fev13.mdb**], ce qui laisse à penser que le contenu est obsolète. L'analyse s'est donc focalisée sur la structure.

La « BD-Piezo » est implémentée sous MS.Access. Son modèle est très simple car elle ne contient que 15 tables (cf Figure 19). Les tables ne sont pas liées entre elles, alors que certaines relations paraissent évidentes (ex. Mesures piézométriques Vs Piézomètre). Ces relations sont gérées depuis les interfaces graphique au travers de menu déroulant mais le modèle sous-jacent n'est pas contraint. La base de données ne peut donc pas être séparée de l'applicatif sous peine d'introduire de trop nombreuses incohérences.

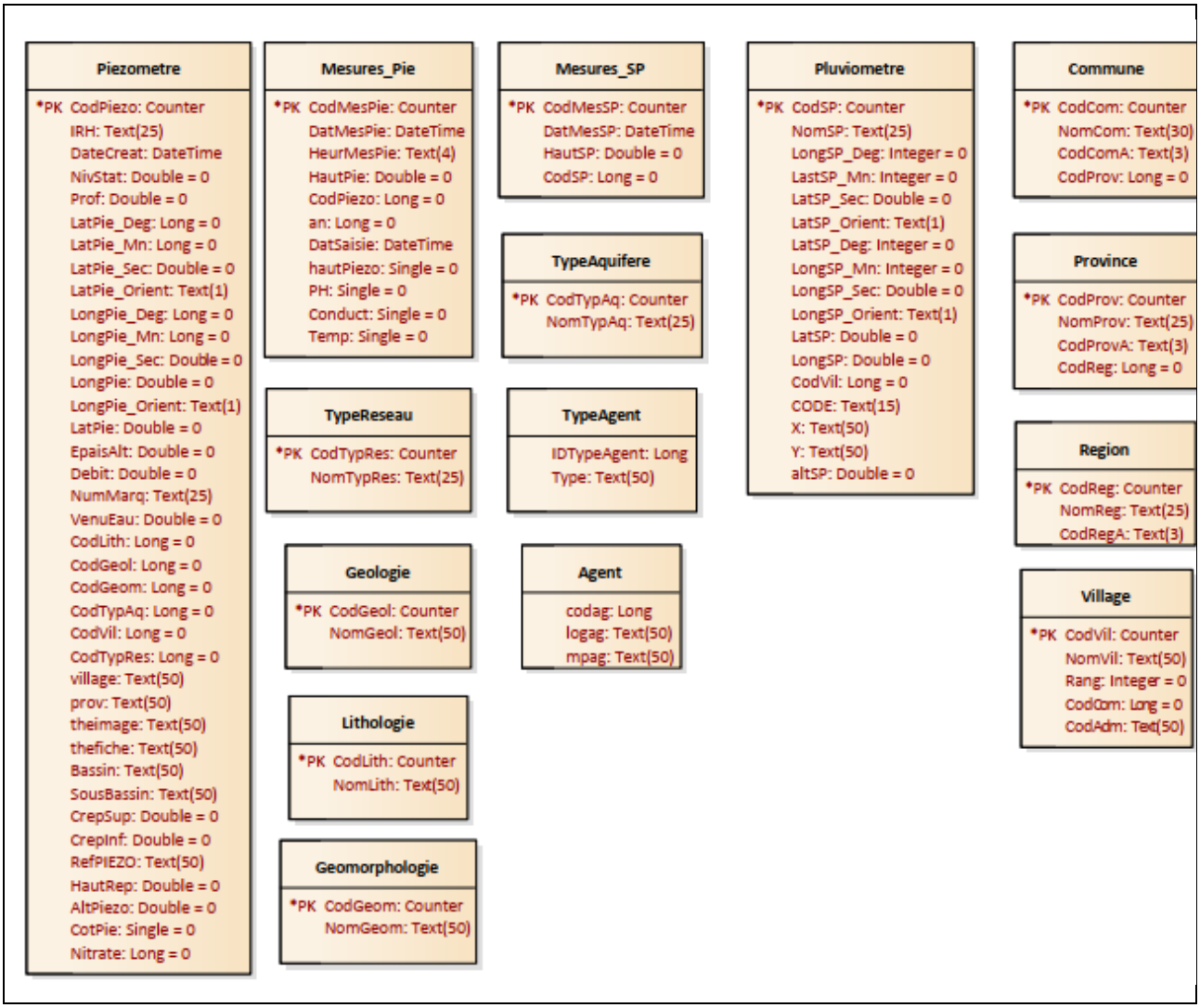


Figure 19 : Modèle de données de la BD-Piezo

Les tables de la BD-Piezo sont :

- Les **stations piezométriques** [Piezometre]. Table élémentaire dans le modèle. Elle reprend les points de mesure piézométriques avec les caractéristiques spatiales (coordonnées en différents systèmes, code des entités administratives d'appartenance), techniques (profondeur, niveau statique, date de création, venues d'eau, etc.) et hydrogéologiques. Des attributs sont manquants, notamment le fait de ne pas renseigner la présence de sondes ou encore le caractère fonctionnel ou non du piézomètre. Le suivi du RPN ne peut donc être totalement renseigné.
- Les **mesures piézométriques** [Mesures_SP]. Table reprenant les mesures piézométriques, en lien avec les points de mesure (via le champ CodPiezo), même si la relation n'est pas implémentée. La clé primaire de la table est un incrément. On retrouve les dates de mesures et de saisie et bien sur la hauteur mesurée.

- Les **types de réseau piézométrique** [TypeReseau]. Table de domaine en lien avec les points de mesure (via le champ CodTypRes), même si la relation n'est pas implémentée
- Les **pluviomètres** [Pluviometre] et la table des **mesures associée** [Mesures_SP],
- Les tables contenant des **données ancillaires en lien avec l'hydrogéologie** : [Geologie] / [Geomorphologie] / [TypeAquifere] et [Lithologie].
- Les tables contenant des **données ancillaires en lien avec les unités administratives et localisation** : [Region] / [Province] / [Commune] et [village].
- Les données relatives aux techniciens [Agent] et [TypeAgent].

Suite à l'analyse de la structure, il faut retenir que la « BD-Piezo » est un modèle simple et direct comportant des failles essentiellement au niveau des relations et de l'implémentation de règles de gestion évidentes. La clé primaire de la table [Piezometre] est un incrément, ce qui n'est pas pertinent car il devient extrêmement compliqué de savoir à quel point de mesure se rapporte un enregistrement. Cela suppose que le gestionnaire de la base de données doive réaliser une combinaison entre le village et la référence du piézomètre mais, même dans ce cas, des doublons apparaissent. Dès lors, un utilisateur ne peut savoir à quel point de mesure se rapport une chronique lorsqu'il s'agit par exemple d'un ouvrage à tubes multiples. Il ne peut pas non plus disposer d'une vue précise du degré fonctionnel du RPN.

Il aurait été judicieux de créer une codification unique et thématique pour désigner chaque point de mesure. En outre, il est étonnant de retrouver des attributs de type [village] ou [prov] avec respectivement le nom des villages et des provinces. Ces informations devraient venir de la séquence de tables [village]-[commune]-[province] et être traduite dans une requête.

Le modèle ne permet pas d'avoir une vue globale du RPN en ce sens qu'il n'introduit pas de notions de site ou d'ouvrage. La table [Piezometre] représente les points de mesure en lien avec les chroniques. Pour déterminer les sites et les ouvrages, il faut analyser le contenu de la table visuellement.

Le modèle ne permet pas de gérer certaines caractéristiques du réseau, comme les équipements. Etant donné qu'il est lié à une application Windev, la structure est peu évolutive car il faudrait reprogrammer les formulaires en cas de modification du modèle.

En termes de contenu, les tables thématiques de la BD-Piezo ont été analysées en considérant toutefois que la base de données ne contient pas de données récentes. Il a été considéré que le contenu est valide jusqu'au 01/01/2013. Le Tableau 16 dresse une vue générale des tables analysées.

Tableau 16: Analyse des tables piézométriques de la BD-Piezo

Table	Num. enregistrements	Cohérence
Stations piezométriques [Piezometre]	144	Des attributs tels que la profondeur, la venue d'eau ou le niveau statique présentent des valeurs = 0. Il est difficile de savoir si cela traduit l'absence de données ou si une mesure a été réalisée. D'autres informations sont lacunaires. La précision des coordonnées laisse à désirer. En spatialisation la table, de nombreux points tombent hors du territoire national.
Mesures piézométriques [Mesures_SP]	54.781	La table des mesures piézométriques reprend une chronique s'étalant de 1978 à 2012 (deux données en 2013), ce qui confirme la date de validité de la BD-Piezo fournie au Groupement. Certains enregistrements n'ont pas de date mais sont quand même conservés. D'autres ont été mal saisis (date erronée) mais les corrections n'ont pas été apportées. Quelques enregistrements (319) présentent une valeur de niveau statique = 0. D'autres valeurs sont incohérentes, notamment dans les paramètres physico-chimiques (pH, température) Certaines stations sont bien fournies en données (2.488 enregistrements entre 1986 et 2012 pour le piézomètre de Fada N'Gourma, maintenant non fonctionnel) et d'autres très peu (32 et 56 enregistrements respectivement pour un des deux piézomètres de Koadifagou et un de Nango Yarcé). A noter que seules 129 stations sur les 144 présentent dans la table des stations présentent des mesures de niveau statique.

En conclusion, les données piézométriques contenues dans la « BD-Piezo » ne permettent pas de valoriser le RPN fonctionnel. Certaines stations présentent un nombre d'observations intéressant pour la période concernée (1986-2012) mais le nombre de données lacunaires avoisine quand même les 1.300 observations (en tenant compte de 10 mesures par mois, comme annoncé). La majorité des stations de la « BD-Piezo » présente des séries temporelles très partielles (50% des stations avec plus de 70% de données manquantes pour la période considérée sur base de la première et dernière date de mesure). Il apparait clairement que la qualité du contenu de la base de données n'est pas évaluée, du moins jusqu'en 2013. Cela a été confirmé par la DEIE á travers le questionnaire d'enquête. Elle signale qu'il n'y a pas de mécanisme de validation en tant que tel mais les erreurs sont corrigées au moment de leur détection. Les anciens agents, plus expérimentés, contribuent à cette validation visuelle.

Ces éléments avaient déjà été mis en évidence lors de « L'étude diagnostique de la base de données SIG/Piézométrique » réalisées en 2018 (MILLOGO, 2018).

D.1.2.4.2. Applicatif SIG-Piézo

L'architecture du système SIG-Piézo est du type client-serveur. Elle utilise une interface applicative de type client lourd développée sous WINDEV 9 et la BD MS.Access côté serveur. L'ensemble est installé sur un poste fixe au sein de la DEIE. Le système ne permet pas l'ouverture de sessions multi-utilisateurs. De ce fait, un seul agent de la DEIE est considéré comme gestionnaire de la « BD-Piezo ».

L'applicatif permet d'effectuer les opérations de gestion quotidiennes requises par une base de données : (i) Editer (ajout, suppression, mise à jour) les informations relatives aux stations piézométriques, aux mesures piézométriques, aux informations de base, etc., (ii) consulter et visualiser les données sur les stations

piézométriques et (iii) exporter et importer des données (PADSEA-II, 2007).

Les saisies se réalisent via des formulaires basiques.

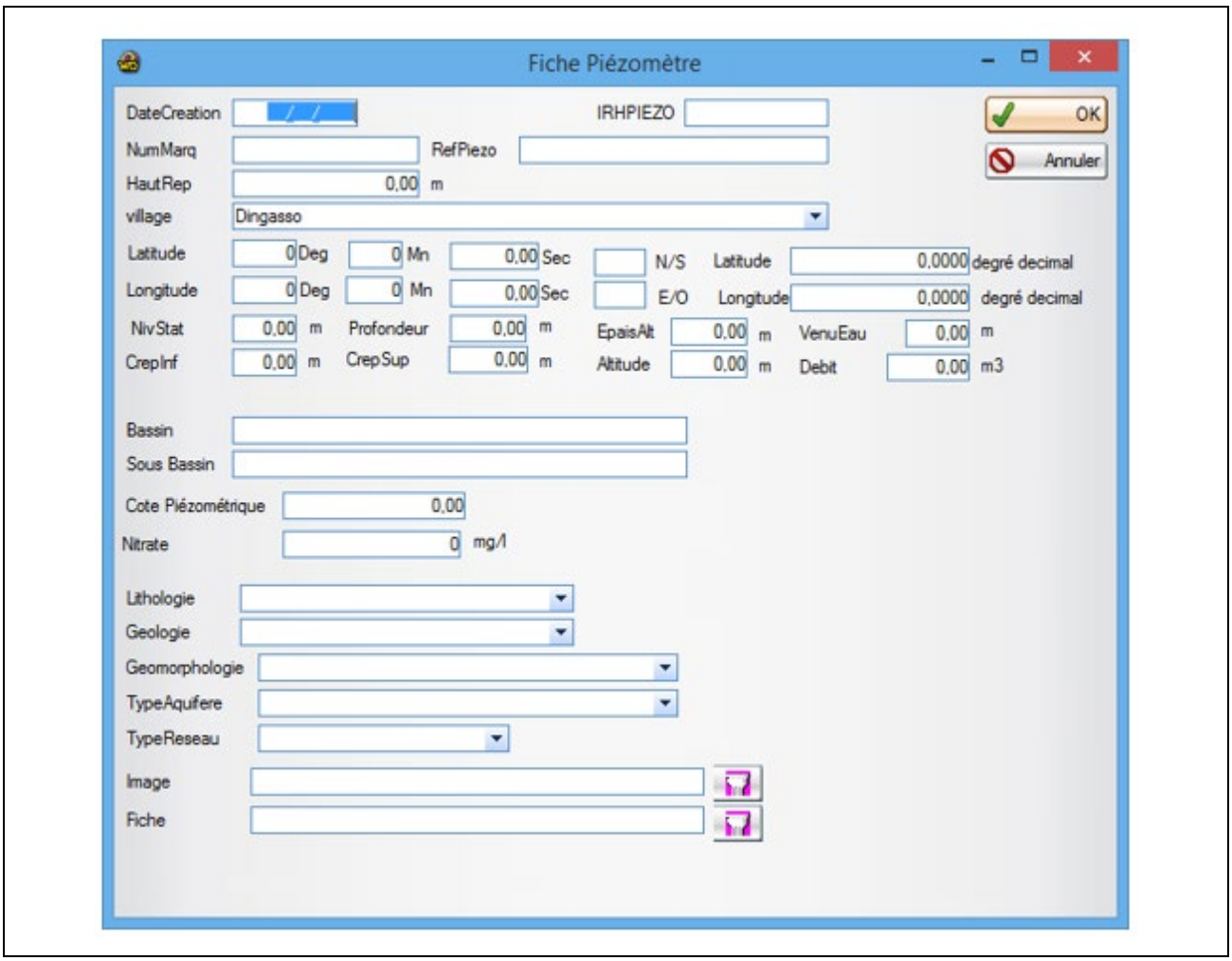


Figure 20 : Formulaire de saisie d'une station piézométrique

En outre, l'application dispose d'une fonctionnalité SIG (menu « SIG-Piezo »), qui parait attractive et constituait une véritable plus-value lors de la mise en place du produit. Le menu « SIG-Piezo » permettrait en théorie de lancer l'application bureautique ArcView 3.2 (aujourd'hui totalement obsolète). Une liste de cartes préétablies étaient consultables en fonction des données encodées dans la base de données. Dans les faits, ce module ne fonctionne pas.

Lors des entretiens réalisés avec les agents de la DEIE, il apparait que de nombreux modules ne fonctionnent pas depuis un certain temps ou ne sont pas en adéquation par rapport aux besoins. Outre les fonctionnalités SIG, le module d'import-export ne fonctionne pas, il n'y a aucun module de qualité et il n'est pas possible d'effectuer des requêtes spécifiques via l'interface graphique. De plus, il existe des incompatibilités entre les versions de MS.Office installées sur le poste de travail qui accueille le système.

En conclusion, l'application SIG-Piezo n'est pas exploitée pleinement. Les techniciens préfèrent réaliser leur traitement via MS.Excel, ou ArcGIS/QGIS lorsqu'il s'agit d'analyses spatiales.

Des propositions de corrections de contenu et d'amélioration du système SIG-Piezo avaient été énoncées en marge de l'étude diagnostique menée en 2018 (MILLOGO, 2018). Au niveau du contenu, il s'agissait notamment d'éliminer les doublons et les données inutiles, d'identifier les incohérences et contraindre le

modèle (voire le restructurer totalement). Au niveau de l'architecture, une proposition basée sur une infrastructure 3-tiers avait été avancée, avec notamment l'utilisation du SGBD PostgreSQL/PostGIS et une application développée sous Leaflet. Ces propositions n'ont pas connu de suite opérationnelle.

D.1.2.5. Exploitation et valorisation des données

En termes d'exploitation et de valorisation des données, la DEIE produit des rapports périodiques (trimestriels et annuels) et réalise des rapports de synthèse du suivi des ressources en eau (dernière version en 2019). Il n'y a pas de production systématique de produits dérivés (ex. cartographiques). La diffusion ouverte des données ou de résultats dérivés n'est pas planifiée, si ce n'est dans le cadre de la future opérationnalisation du SNIEAU. En dehors de ces éléments, les données sont fournies à la demande.

D.1.2.6. Etat des piézomètres du RPN

De façon générale, les ouvrages du RPN ne sont pas dans un état optimal. Certains piézomètres sont bouchés, voire détruits, soit par manque de protection ou par actes de vandalisme. Cette raison explique la diminution du nombre de sites et de piézomètres actuellement suivis, par rapport à la situation de 2008.

L'état physique des piézomètres fonctionnels est globalement satisfaisant. Une amélioration de leur protection physique et des opérations d'entretien semblent néanmoins recommandées, pour assurer une gestion durable du réseau.

Certains piézomètres à tubage multiple ont été réalisés sans isolement efficace des niveaux interceptés. Par conséquent, il n'est pas toujours possible de distinguer quel type de nappe est suivi. A cet effet, les archives ne permettent pas de retrouver les caractéristiques de certains piézomètres, lesquelles archives sont pourtant capitales pour l'analyse de la pertinence de leur suivi. En pratique, moins d'un tiers des ouvrages du RPN bénéficient de fiches de forages archivées (avec logs techniques et lithologiques). La DEIE confirme les difficultés rencontrées pour obtenir les informations techniques des forages et puits auprès des projets.

D.1.2.7. Etat des informations disponibles sur les caractéristiques techniques du RPN

Les caractéristiques techniques des points de mesure sont issues d'un jeu de données brutes transmis par la DEIE. Les données renseignées sont i) la profondeur totale forée, ii) l'épaisseur d'altération, iii) les profondeurs de venue d'eau et iv) les niveaux statiques.

Des caractéristiques intrinsèques de chaque point de mesures sont également connues, telles que i) l'altitude et ii) la date de réalisation des travaux. Via croisement spatial, il est également possible de déterminer l'appartenance de chaque point de mesure aux différents zonages (dont notamment les unités hydrogéologiques).

D'une manière générale, on constate :

- Une très bonne complétude des informations des villages et des coordonnées. Chaque point de mesure est localisé au sein du territoire national, à proximité du village indiqué. De même, l'altitude est renseignée pour pratiquement tous les points de mesure (les altitudes manquantes concernent 9 points et ont pu être évaluées dans le cadre de l'étude SEVERE, par croisement SIG avec le MNT SRTM30). Les dates de réalisation sont globalement indiquées (4 enregistrements manquants).
- Les profondeurs totales forées sont bien complétées (1 enregistrement manquant). Ce n'est pas le cas des autres paramètres, même si une majorité des points de mesure disposent d'une épaisseur d'altération.

- Les profondeurs de venue d'eau sont spécifiées pour une minorité d'ouvrages (30%).

Pour les ouvrages à niveaux multiples, les profondeurs crépinées des niveaux respectifs ne sont pas connues. Cette lacune est évidemment très pénalisante, dans la mesure où la collecte de données distinctes sur les différents tubages d'un même ouvrage ne peut être interprétée de manière approfondie.

Des fiches de forages (dont logs techniques et lithologiques) sont disponibles pour 28% seulement des sites du réseau national.

Hormis pour les ouvrages pour lesquels une fiche de forage est disponible, Il n'y a généralement aucune information concernant les développements, les essais de pompage et les analyses physico-chimiques.

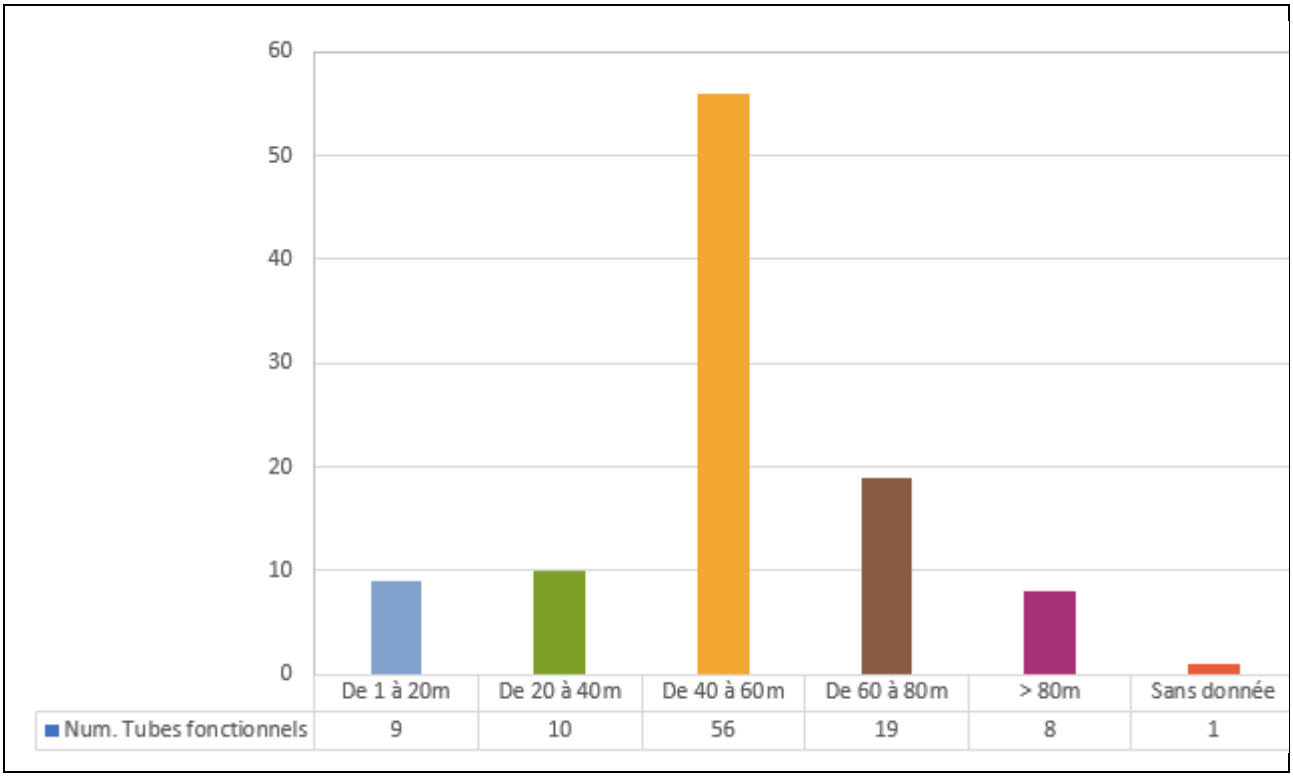


Figure 21 : Distribution des points de mesures du RPN par classe de profondeur

D.1.2.8. Analyse des chroniques piézométriques

Comme indiqué dans la section D.1.2.1, les chroniques piézométriques ont été collectées et nettoyées. La présente section se consacre à leur analyse.

Les chroniques de mesures se réalisent au niveau des points de mesure du RPN. En unifiant toutes les mesures de hauteur, la série temporelle disponible sur le RPN s'étend du 06/04/1978 au 01/06/2023, soit environ 45 ans. Néanmoins, cela ne signifie pas que tous les points de mesures disposent de mesures piézométriques pour chaque année.

Une fois nettoyée, la chronique du RPN reprend 117.171 mesures de niveau statique, dont 110.896 (95%) se rapportent à des points de mesures toujours fonctionnels. De ce point de vue, le RPN peut être considéré comme particulièrement consistant, avec un historique de plus de 40 années de mesures et un nombre de mesures significatif.

Les Tableau 17 et Tableau 18 reprennent les principales caractéristiques en lien avec les chroniques de mesures.

Tableau 17 : Statistiques de suivi du RPN par points de mesure

Statistiques	Nombre de stations
Total des points de mesure du RPN	108
Total des points de mesure fonctionnels du RPN	103
Nombre de points de mesure fonctionnels du RPN suivis au moins une fois entre 1978 et 2022	103
Nombre de points de mesure fonctionnels du RPN qui n'ont jamais été suivies entre 1978 et 2022	0
Nombre de points de mesure fonctionnels du RPN suivies au moins une fois entre 2017 et 2022	103

Tableau 18 : Statistiques du RPN en fonction du nombre de mesures

RPN	Point de mesure	Nombre de mesures
Le moins de mesures	Tin-Arkachen SE5 (Sahel)	167
Le plus de mesures	Tibou F1 (Nord)	3.228
Le plus de mesures sur une année	Fada N'Gourma (non fonctionnel) Katchari 2 (premier fonctionnel) Toutes stations confondues	363 (en 1989) 339 (en 1990) 8.128 (2021)
Le moins de mesures sur une année	61 ouvrages avec une seule mesure par an (années diverses)	
	Toutes stations confondues	8 (2002)

La *Figure 22* illustre la distribution des points de mesures fonctionnels par classes de nombre de mesures. Ce graphique montre que tous les points de mesure fonctionnels disposent d'au moins 100 mesures de niveau statique.

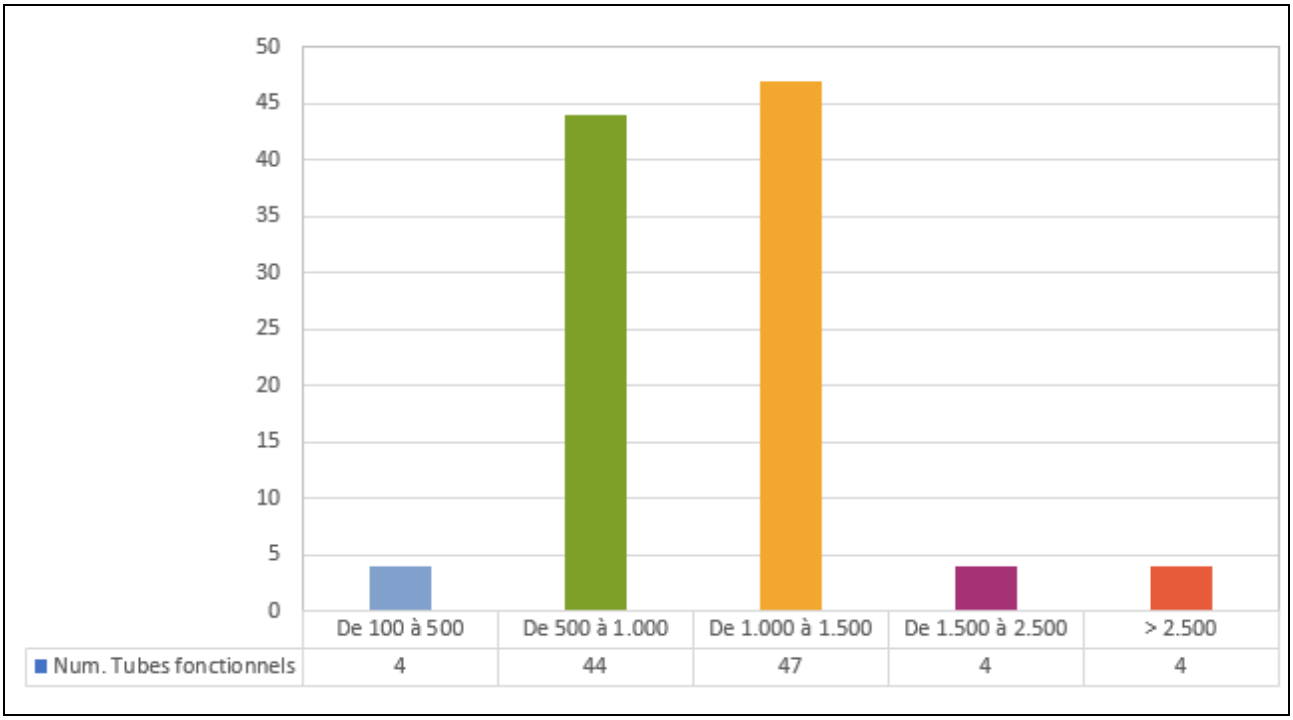


Figure 22 : Distribution des points de mesures du RPN par classe de nombre de mesures

Aucun point de mesure ne dispose de mesures de hauteur pour toutes les années de la série temporelle. Par contre, il y a des mesures disponibles pour toutes les années, même si le nombre est fluctuant, particulièrement en 2002 qui ne compte que 8 mesures (minimum de la série), réparties sur 7 points de mesures.

Plus généralement, la période de 1997 à 2004 est relativement pauvre en relevés. La DEIE attribue cela à l'indisponibilité des ressources (humaines, financières et matérielles) (DEIE, 2020).

La Figure 23 illustre le nombre de mesures piézométriques réalisées par année de la chronique. Les densifications du RPN apparaissent clairement, d'abord à partir de 2004 puis fortement à partir de 2008. Avant 2004, le nombre de mesures est limité, même si on peut voir l'influence du projet « Bilan d'Eau » (1986-1996). Depuis une dizaine d'années, le nombre de points mesurés est globalement en hausse constante.

L'analyse peut être complétée avec l'évolution du nombre de points de mesure (tubes) échantillonnés chaque année (cf. Figure 24Figure 24). Les deux courbes suivent approximativement la même tendance. Les données de l'année 2022 sont encore partielles et n'ont pas encore été intégrées à l'analyse.

Les mesures réalisées entre 1978 et 1985 sont toutes effectuées sur l'ouvrage de Ouagadougou, mis en place par le CIEH. Durant cette période, 347 mesures ont été effectuées. Le RPN a ensuite été densifié et le nombre d'ouvrages étudiés a augmenté.

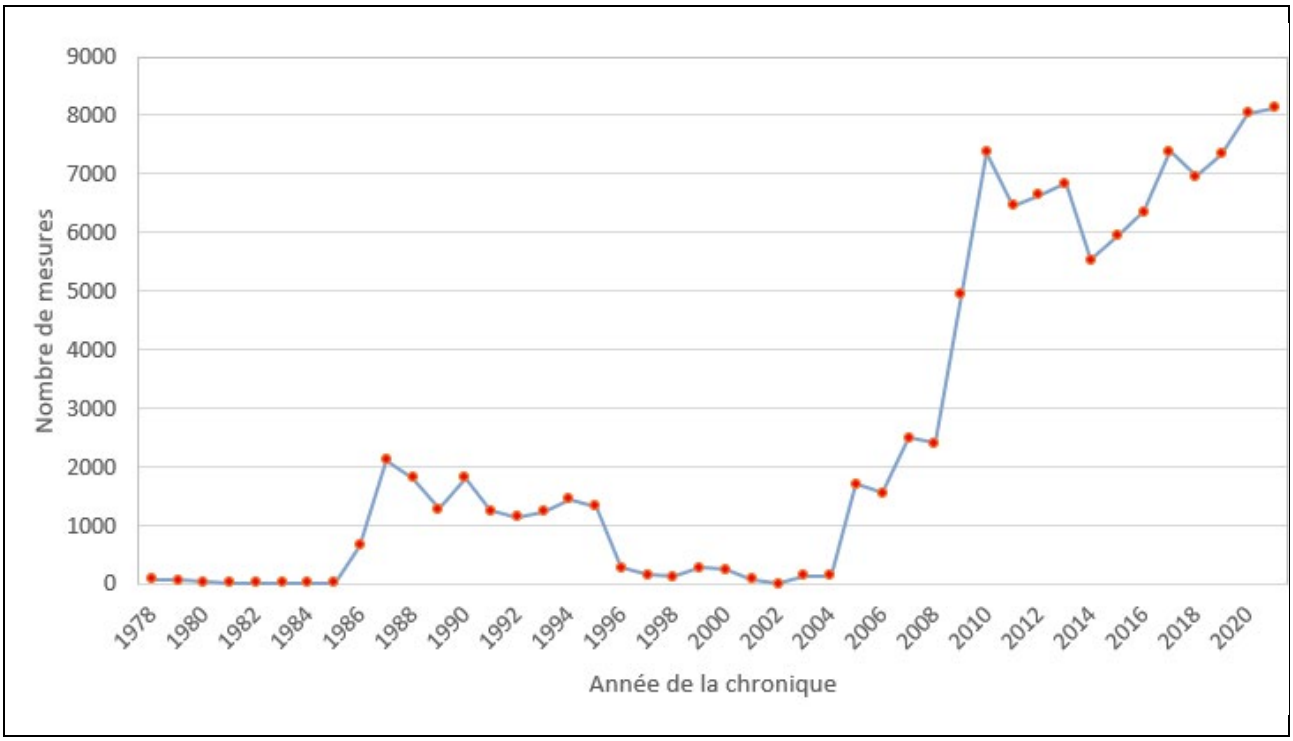


Figure 23 : Nombre de mesures piézométriques par année de chronique

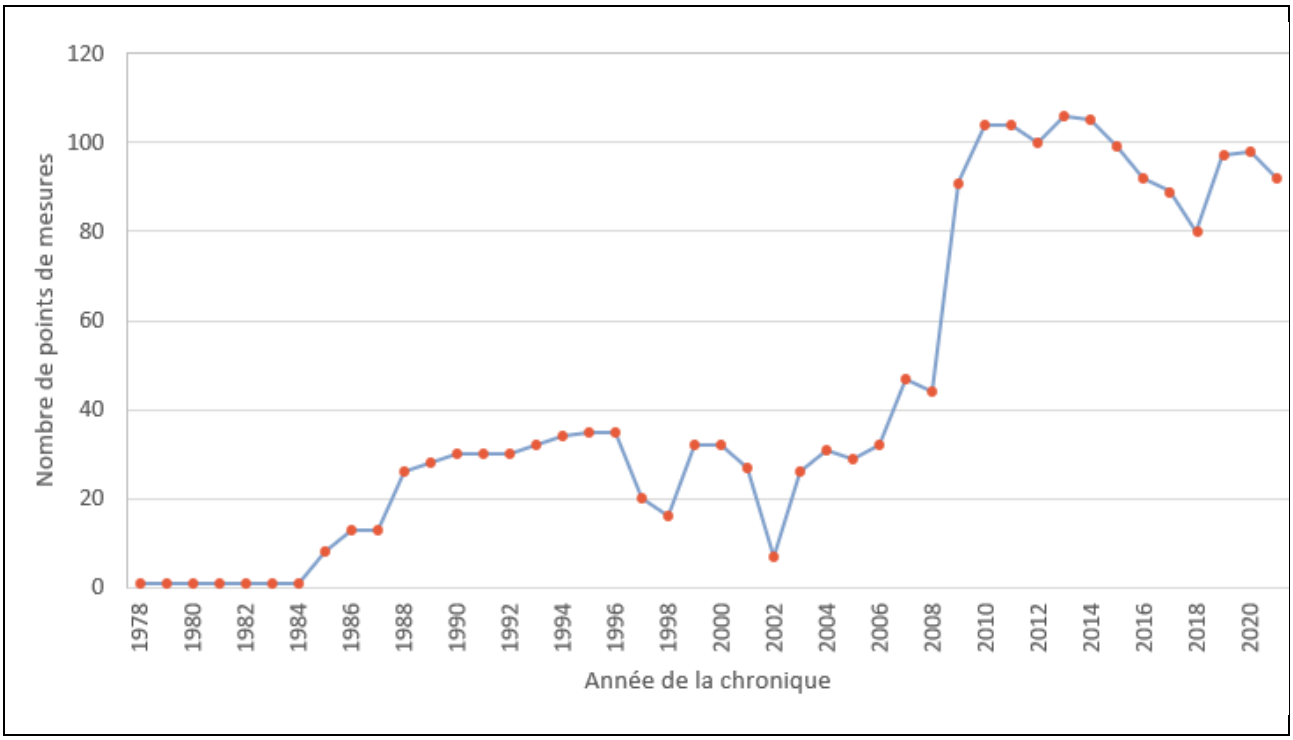


Figure 24 : Nombre de points de mesures par année de chronique

Les points de mesure de Basseko F2, Katchari 2, Silmissin F1 et Tibou F1 disposent d'un nombre important de mesures, particulièrement Tibou F1 (3.228 mesures). Pourtant, en analysant le nombre d'échantillons par année de chronique pour les stations de Tibou F1 et Katchari 2, on constate que plusieurs années sont très peu fournies, voire non représentée (cf. Figure 25Figure 25). Dans ce contexte, c'est l'ouvrage de Tibou F1 qui présente la série la plus complète, tant en termes d'années (depuis 1985, seule l'année 1997 est absente) qu'au niveau du nombre d'observations par année.

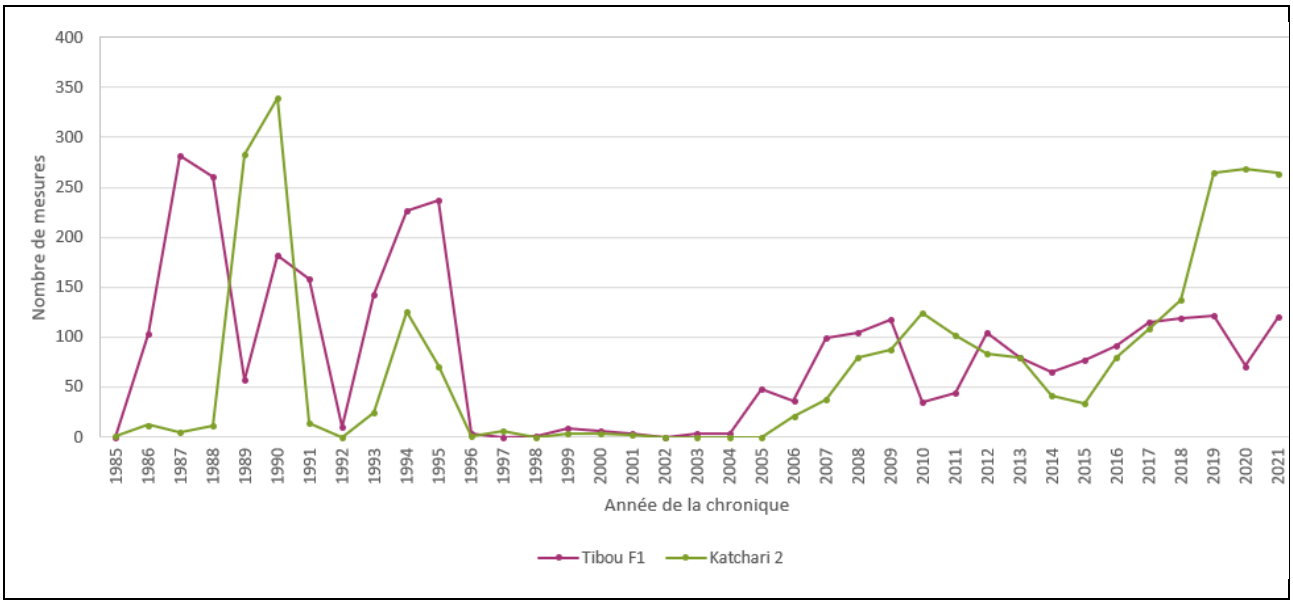


Figure 25 : Chronique piézométrique des points de mesure Tibou F1 et Katchari 2

Les mesures de niveau statique ont été ramenées au niveau des sites piézométriques opérationnels. La Figure

26 illustre la distribution des sites selon des classes basée sur la date de mesure la plus ancienne pour le site considéré. Cela permet de déterminer la complétude théorique des séries temporelles. Il faut néanmoins nuancer l'interprétation à l'aide de la Figure 23 qui montrait un faible volume de mesures entre 1997 et 2004. Néanmoins, il faut constater que de nombreux piézomètres ont vu leur activité de suivi démarrer entre 2005 et 2010, principalement après le renforcement de 2008.

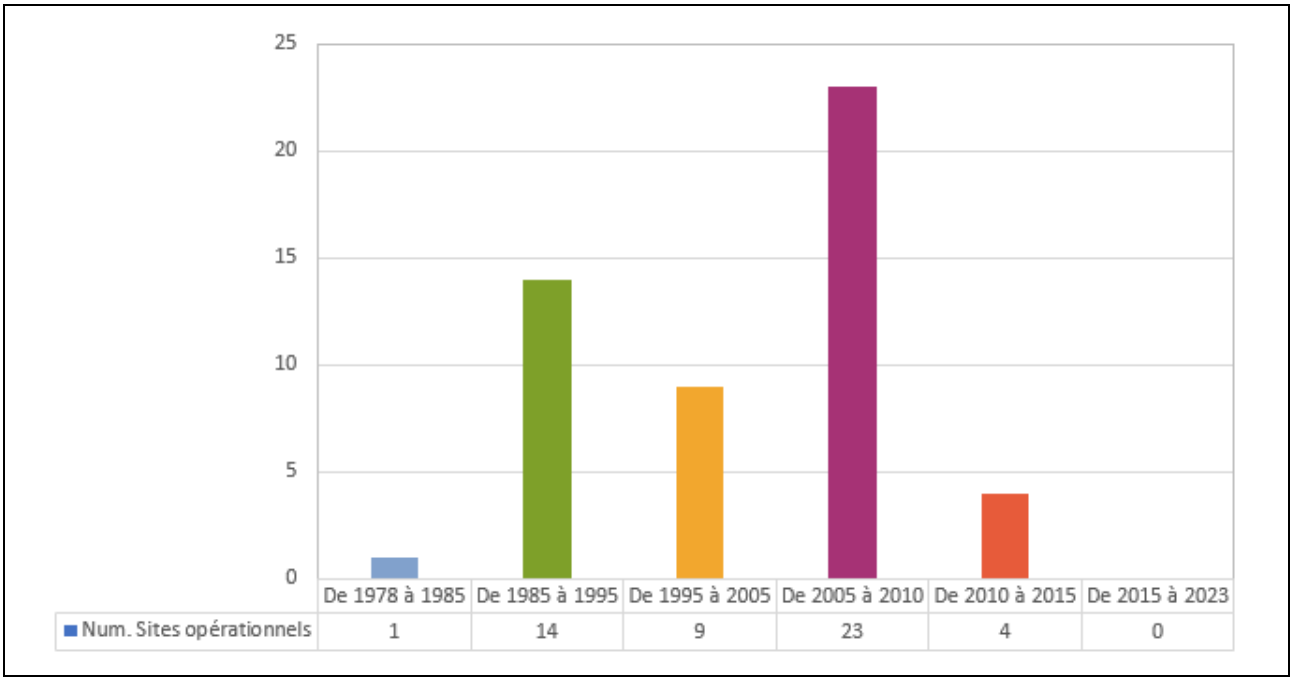


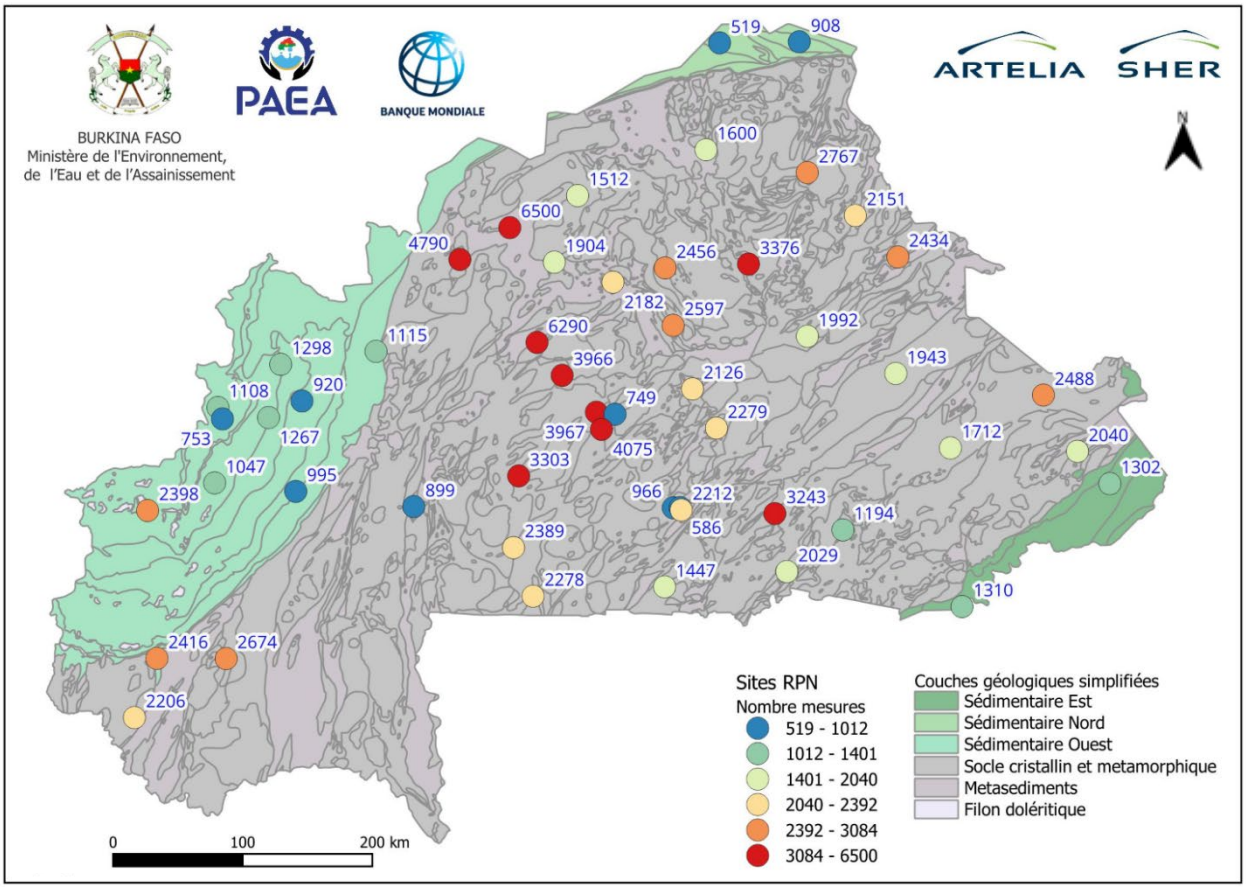
Figure 26 : Distribution des sites opérationnels en fonction de la première prise de mesures

La Carte 19

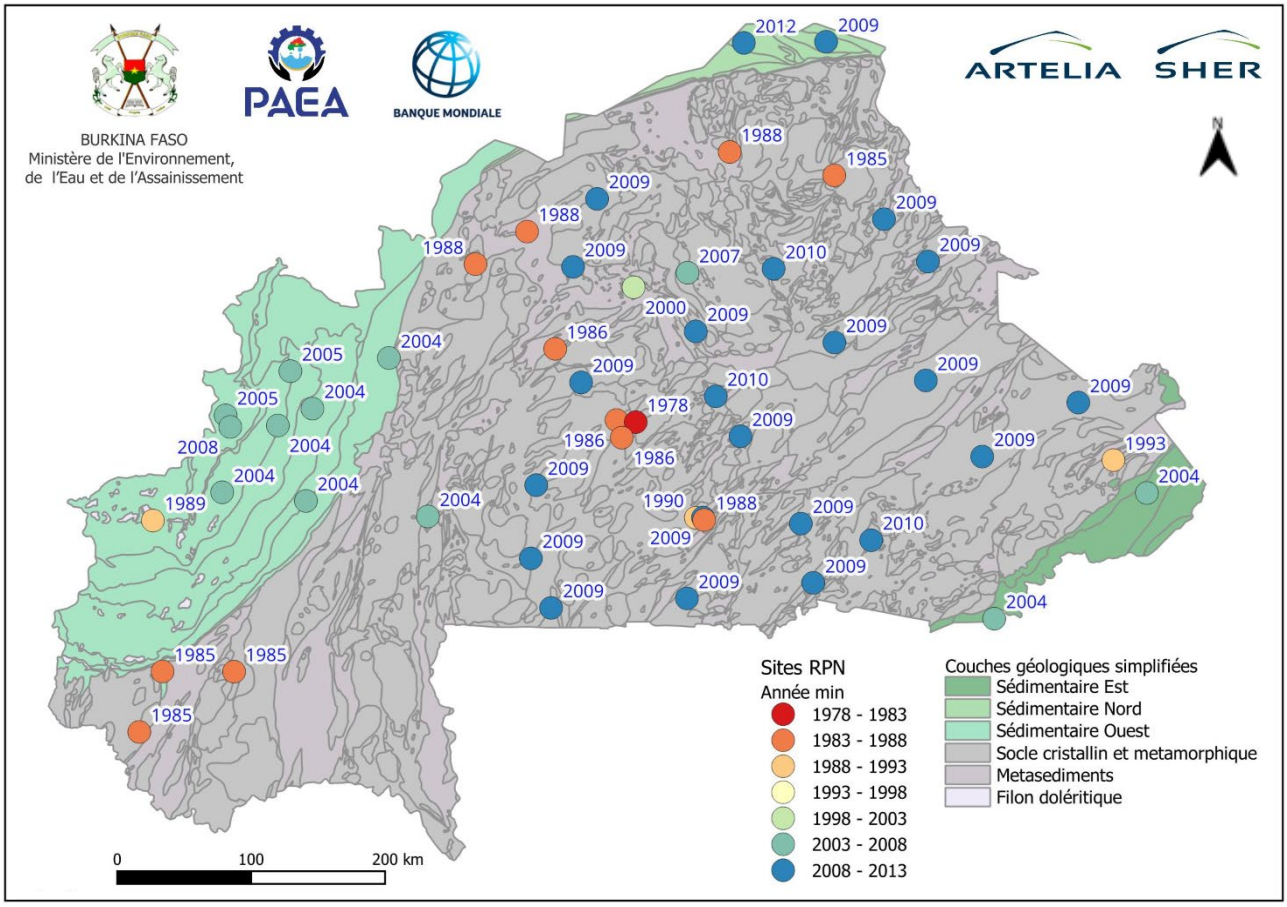
Carte 19 représente la distribution spatiale des sites opérationnels en fonction du nombre de mesures, toutes années confondues. Les sites de Nango Foulcé, Tibou et Tougou, tous dans la Région du Nord, présentent les volumes les plus élevés. Cela s'explique par le fait que ces sites sont composés de nombreux ouvrages, dont certains multiples. D'une certaine manière, cette carte traduit le manque d'homogénéité du réseau et l'effort important qui est mis en œuvre pour collecter des données au sein des mêmes contextes.

Enfin, la

Carte 20 illustre la date de première mesure de niveau de nappe réalisée sur chacun des sites piézométriques opérationnels du RPN.



Carte 19 : Distribution spatiale des sites opérationnels et nombre de mesures associées



Carte 20 : Distribution spatiale des sites opérationnels et date associée de première mesure

D.2. Réseaux piézométriques secondaires et spécifiques

En marge du RPN, le suivi des ressources en eaux souterraines au Burkina Faso est également assuré au travers de réseaux secondaires et spécifiques. Parmi ceux-ci, se trouvent :

- i) le réseau de suivi piézométrique de l'ONEA (RPS-ONEA). Il s'agit d'un réseau d'impact associé aux centres ONEA exploitant les eaux souterraines pour l'AEP ;
- ii) le réseau de suivi piézométrique de l'Agence de l'Eau du Mouhoun (RPS-AEM). Il s'agit d'un réseau secondaire constitué de piézomètres réalisés par différents projets actifs entre 1992 et 2016 au sein de l'espace de compétence de l'Agence ;
- iii) les piézomètres réalisés dans la partie sud-ouest du pays dans le cadre du Programme VREO (2006-2008). Il ne s'agit cependant pas d'un réseau de suivi actif. Ces ouvrages pourront, le cas échéant, être valorisés dans le cadre de l'optimisation du RPN ;
- Iv) les piézomètres réalisés dans le cadre du Programme PADI (2011-2016). Il ne s'agit pas d'un réseau de suivi actif, mais plutôt d'ouvrages de suivi réalisés au niveau de certaines zones d'étude couvertes par le programme PADI et utilisés à des fins de recherche appliquée dans ce cadre.

D.2.1. Le réseau piézométrique de l'ONEA

Le réseau piézométrique secondaire de l'ONEA est un réseau d'impact établi dans le but de suivre les fluctuations et le comportement des nappes soumises à exploitation. En effet, le suivi de l'exploitation des nappes n'est actuellement pas piloté au niveau national. Ce suivi est assuré par l'ONEA au travers de ses

centres d'exploitation des eaux souterraines.

Le réseau piézométrique de l'ONEA a été établi en 1988 avec la réalisation d'une vingtaine de captages pour alimenter en eau potable certains centres secondaires du pays (BRGM, 1988). En 2000, la bibliographique fait état d'un réseau réparti sur 29 villes secondaires avec un total de 149 points de mesure (DANIDA, 2000). L'analyse diagnostique menée en 2008 recense 88 piézomètres sans préciser le nombre de points de mesure et en spécifiant qu'ils ne sont pas tous fonctionnels (DHI, 2008). En outre, il faut signaler que la majorité des forages AEP exploités par l'ONEA font l'objet de mesures de suivi des niveaux de nappe dans le forage d'exploitation.

Les données[1] relatives aux piézomètres de l'ONEA ont été transmises sur demande du Groupement le 14/05/2021 par le Service de « Demande et Ressources en Eau » (ONEA-SDRE). Le format d'échange est MS.Excel.

A l'heure actuelle, le réseau comprend 87 piézomètres, répartis en 28 centres opérationnels. La grande majorité des piézomètres sont identifiés par une désignation (excepté 2 ouvrages). Il s'agit d'un code constitué de l'abréviation du centre ONEA d'appartenance et d'un code numérique qui, dans certains cas, tient compte de la date de réalisation. Cette codification n'est ni consistante, ni unique. De nombreux piézomètres présentent par exemple un code de type SE3. Il n'est donc pas aisé de retrouver un piézomètre uniquement sur cette base.

Au niveau de la spatialisation des ouvrages, 15 piézomètres (soit 17% du jeu de données) ne disposent pas de coordonnées et ne sont donc pas localisés. Il s'agit notamment des piézomètres situés au niveau du Barrage de Goïnré. Néanmoins, chaque piézomètre ONEA est rattaché à son centre opérationnel et à la zone de compétence de l'ONEA correspondante. La Figure 27 illustre la distribution des centres ONEA en fonction du nombre de piézomètres.

La Carte 21 représente la distribution spatiale des piézomètres ONEA au sein du territoire national. La carte reprend également les centres ONEA avec une symbologie appliquée sur les volumes prélevés interannuels pour la période 2017-2019.

[1] Fichier source [Forages_ONEA-2021.xlsx »] (Feuille « Caractéristiques piézométriques »).

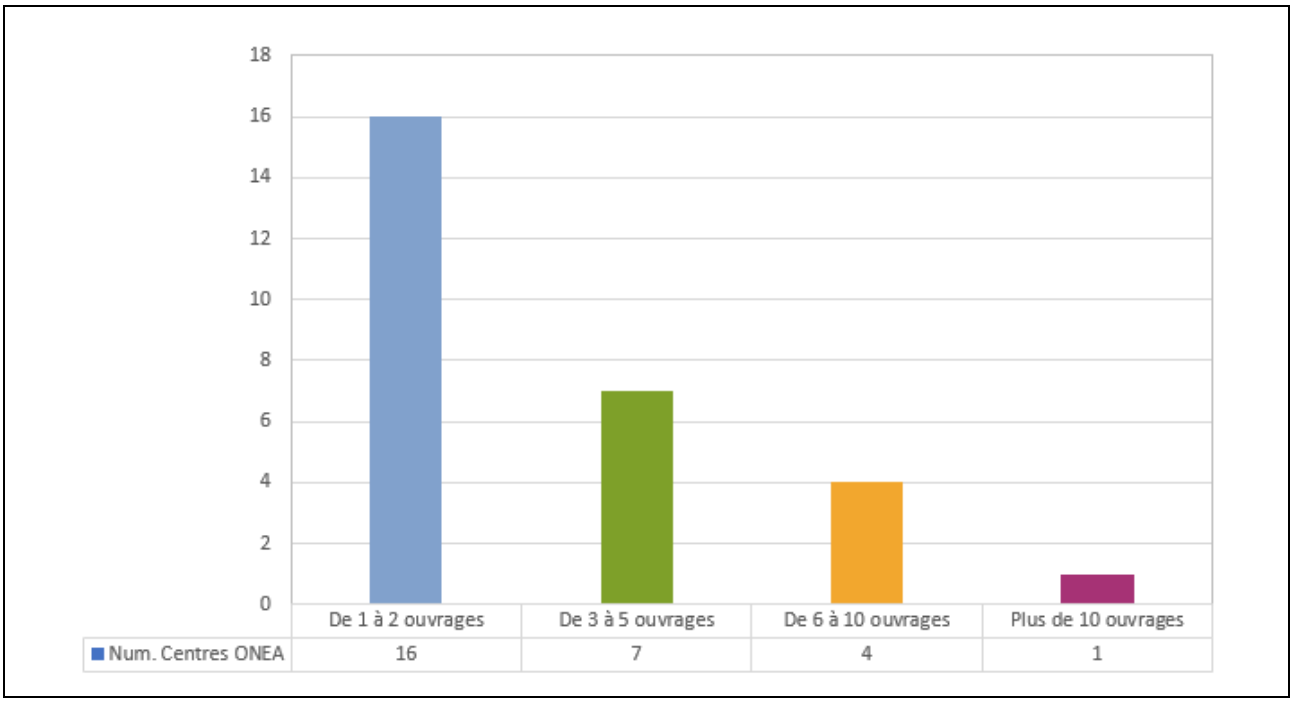
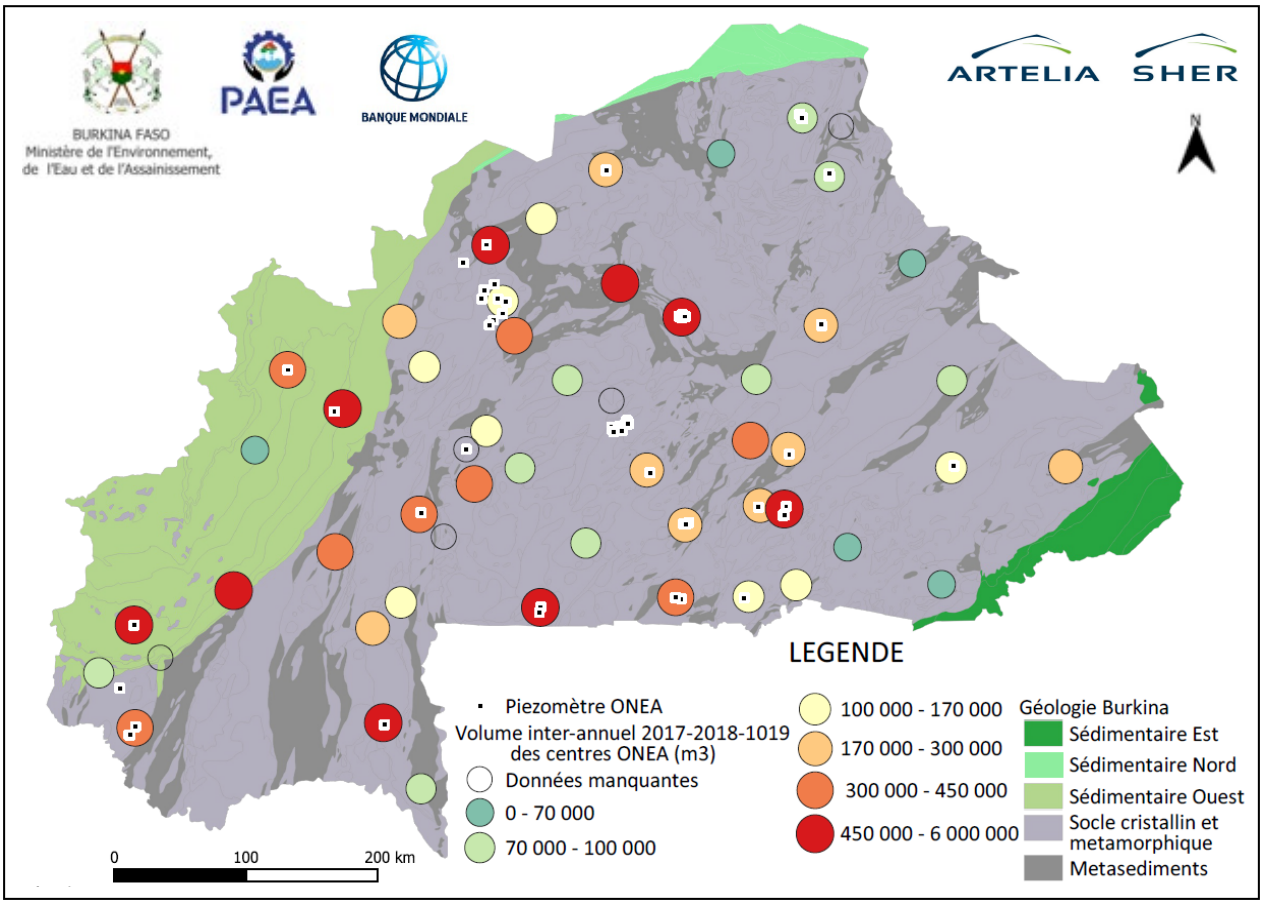


Figure 27 : Répartition des Centres ONEA en fonction du nombre de piézomètres



Carte 21 : Distribution spatiales des piézomètres de l'ONEA

La grande majorité des piézomètres du réseau de suivi de l'ONEA se trouvent au sein du socle cristallin et

métamorphique (82 ouvrages) et une minorité dans le Sédimentaire de l'Ouest (3 ouvrages) et les métasédiments (2 ouvrages).

La majorité des piézomètres de l'ONEA ne coïncident pas avec un forage d'exploitation, même si ce n'est pas général. Le croisement entre les deux jeux de données montre que 6 piézomètres présentent les mêmes coordonnées qu'un ouvrage ONEA et 3 autres se trouvent à moins de 50 mètres d'un forage. Néanmoins, les codes ne coïncident pas et il est donc difficile de se baser sur les dénominations pour localiser les piézomètres ONEA sans coordonnées.

Les caractéristiques techniques des piézomètres de l'ONEA sont issues du fichier source transmis par le gestionnaire. Les données renseignées sont i) la profondeur totale forée, i) la profondeur équipée, iii) l'épaisseur d'altération, iv) les débits en fin de foration v) les niveaux statiques et vi) la hauteur des crépines. 13 ouvrages ne disposent d'aucune information technique.

Il n'y a aucune information concernant les développements, les essais de pompage et les analyses physico-chimiques.

L'état et les équipements (sondes) du RSP-ONEA ne sont pas connus

Concernant les chroniques de mesures piézométriques, la demande a été faite au gestionnaire, qui a indiqué au Groupement que les ouvrages « n'étaient pas suivis actuellement » et que les données historiques de suivi n'étaient pas disponibles (25/08/2023). Lors de l'analyse diagnostique des réseaux piézométriques menée en 2008, le Consultant avait déjà signalé que la base de données qui lui avait été fournie ne contenait pas de donnée piézométrique. Il avait été conclu qu'au niveau central, l'ONEA ne disposait pas d'informations mises à jour sur l'état et les tendances actuelles de l'évolution du niveau de l'eau souterraine de ses champs de captage (DHI, 2008). Le Groupement arrive aux mêmes conclusions, à savoir qu'en pratique, le RPS de l'ONEA ne dispose pas d'un suivi actif.

Le tableau reprenant la liste et les caractéristiques des piézomètres de l'ONEA est repris en annexe Q.3

D.2.2. Le réseau piézométrique de l'AEM

Le réseau piézométrique secondaire géré par l'Agence de l'Eau du Mouhoun est en fait constitué de piézomètres réalisés par différents projets actifs entre 1992 et 2016 au sein de l'espace de compétence de l'Agence.

L'objectif global de ce réseau est la surveillance des eaux souterraines et des sources naturelles rencontrés dans ce bassin. Le suivi porte donc non-seulement sur les niveaux de nappe, mais également sur le suivi du débit des sources.

La base du réseau secondaire provient des piézomètres réalisés dans le cadre du projet « BOAD – 250 Forages » dans les provinces de Houet et du Kénédougou (1989-1990), qui avait mis en place un réseau constitué de 45 ouvrages.

Les piézomètres du projet BOAD ont été retenus et suivis dans le cadre du projet d'« Etude des Ressources en Eau Souterraine de la zone sédimentaire de la Région de Bobo-Dioulasso » (ERES, 1991-1994). Ce dernier en dresse la cartographie (SOGREAH, 1994). Lors de son mandat, le projet ERES a contrôlé l'ensemble des piézomètres et a constaté que 39% étaient bouchés à plusieurs profondeurs. Une classification de piézomètres selon la réponse de la nappe aux précipitations a permis de distinguer trois niveaux d'ouvrages : i) ceux à réponse positive (30%), ii) ceux à réponse négative (33%) et iii) ceux àréponse douteuse (37%).

Sur base des niveaux statiques mesurés au sein du projet BOAD, une carte piézométrique de la nappe de 1989 a été établie, toujours via le projet ERES.

Outre le fait de valoriser les piézomètres réalisés dans le cadre du projet BOAD, le projet ERES a aussi procédé à ses propres réalisations de piézomètres. En tout, 29 forages équipés en piézomètres ont été réalisés par l'Etude. Leur profondeur était comprise entre 10 et 219 mètres, avec une moyenne de 88 mètres. Des analyses physico-chimiques et des essais de pompage avaient été réalisés. Le rapport final du projet ERES dresse une cartographie de ces piézomètres et indique, pour chaque réalisation, la profondeur forée, le niveau statique et le débit en fin de foration. En outre, deux forages-tests F3 et F4 profonds (200 m) ont été réalisés. Ces forages n'ont pas été exploités pour l'AEP mais ont été conservés et utilisés pour le suivi piézométrique. Ils sont donc intégrés au RPS de l'AEM.

Entre 205 et 2010, Le projet « d'Appui à la gestion et à la protection des ressources en eau souterraine exploitées dans la région de Bobo-Dioulasso » (PESO, 2005-2010) a valorisé des piézomètres existants et, face au constat de la faiblesse du réseau piézométrique dans la zone, en à réaliser d'autres (PESO, 2006 et BROYERE & DEROUANE, 2010). La compilation de données faite à l'époque mentionne 3 nouvelles réalisations et 2 réhabilitations de piézomètres réalisés dans le cadre du projet BOAD (P26 et P34, qui deviennent déclassés). Le projet PESO a compilé ses résultats dans une base de données. Les coordonnées de tous les piézomètres considérés (BOAD, ERES, réalisation propre) sont donc renseignées, de même que la profondeur totale forée.

En janvier 2010, l'Agence de l'Eau du Mouhoun est créée à la suite d'une convention constitutive entre l'Etat et les collectivités territoriales de son espace de compétence (BERASE, 2017).

Plusieurs projets actifs dans la zone, tel que le « Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation » (PADI), ont ensuite réalisé un suivi des piézomètres existants sans opérer de nouvelles réalisations. Le PADI s'est déroulé entre 2011 et 2013, puis a été reconduit jusqu'en 2016. Le suivi d'une vingtaine de piézomètres a surtout été réalisé entre 2013 et 2015. De même, certains ouvrages ont été suivis lors de thèses (ex. TIROGO, 2017).

En 2017, une étude a porté sur le diagnostic du RPS-AEM et l'identification de sites potentiels pour le suivi piézométrique (BERASE, 2017). Les critères qui ont dicté l'identification des sites ont été i) la géologie, ii) l'hydrogéologie, iii) les zones à fort prélèvement d'eau, iv) la répartition des activités polluantes et la pression environnementale, v) la répartition spatiale du réseau et vi) l'aspect financier. Finalement, l'approche a dégagé 71 sites de surveillance. En comptant que 6 d'entre eux font partie du RPN, le nombre définitif de piézomètres proposés était de 65. Une production cartographique de la proposition est insérée dans le présent rapport (cf. Annexe Q.4Q.4).

Depuis 2018, l'AEM a intégré dans ses tournées 4 piézomètres qui n'ont pas été réalisés par les projets antérieurs. Il s'agit des sites de Koumi, Nasso-1, Nasso-2 et Nasso-3. La provenance de ses piézomètres n'est pas connue et est donc affectée à l'AEM.

Au niveau de la collecte des données, la base de données géographique de type Geodatabase mise en place par le projet PESO (BROYERE & DEROUANE, 2010) a été analysée et capitalisée par le Groupement. Elle a servi de référence pour établir le RPS-AEM. En effet, elle reprend la plupart des piézomètres des projets « 250 Forages BOAD » et ERES. Suite à l'analyse, le Groupement a identifié des piézomètres manquants et a complété le jeu de données par une recherche bibliographique destinée à relocaliser l'ensemble des ouvrages. A cette fin, les cartes disponibles dans le rapport final du projet ERES ont particulièrement été utiles (SOGREAH, 1994). Le géoréférencement de tous les ouvrages a nécessité un travail conséquent de comparaison entre les différentes sources de données afin de ne pas créer de doublons et affecter les piézomètres à leurs projets et réseaux d'appartenance.

Suite au travail de consolidation, **le RPS-AEM est composé de 83 ouvrages destinés à l'observation**

piézométrique (cf. Tableau 19).

Tableau 19 : Inventaire des piézomètres du RPS-AEM

Projet	Période de réalisation	Nombre de piézomètres
BOAD (250-Forages)	1989-1990	**43** : 45 réalisés mais 2 déclassés (P26 et P34)
ERES	1991-1994	31
PESO	2005-2010	**5** (y compris la réhabilitation P26 et P34) de BOAD
Suivi AEM	>2016	4
TOTAL		**83**

Le RPS-AEM se concentre au niveau du bassin du Kou (sous-bassin versant du Mouhoun Supérieur) et se répartit presque exclusivement au sein de la commune de Bobo-Dioulasso, avec un-tiers des ouvrages localisés au niveau de Nasso/Guinguette.

Les chroniques de mesures sur le RPS-AEM ont été capitalisées. La série temporelle peut être scindée en trois parties :

- I) 1987-2011. Les mesures sont issues des projets BOAD, ERES et PESO. Elles ont été capitalisées dans la Geodatabase de ce dernier.
- Ii) 2012-2016. Il s'agit de mesures collectées auprès de la DREA des Hauts-Bassins. Elle reprend les mesures réalisées par les différents projets (ex. PADI) et thèses (ex. TIROGO) dans la zone de compétence.
- Iii) 2018-2023. Il s'agit de mesures mises à disposition par l'Agence de l'Eau du Mouhoun. Cette dernière réalise les tournées d'inspection et saisit les données dans un fichier MS.Excel. La série temporelle s'arrête en mai 2021.

Chaque mesure disponible a été rattachée à un piézomètre du réseau. L'analyse des chroniques montrent la situation suivante :

- Parmi les 83 ouvrages faisant partie du RPS-AEM, seuls 34 (40%) sont déclarés fonctionnels.
- La Figure 28Figure 28 illustre la variabilité du nombre de mesures piézométriques par année. Il évolue en fonction des projets actifs sur la zone. L'instabilité des chroniques de mesures est un point qui a été soulevé fréquemment par différents auteurs (TIROGO, 2017 / BERASE, 2017). Les années 2003, 2005 et 2017 sont marquées par l'absence de données.
- 21 ouvrages intégrés dans le RPS-AEM n'ont jamais fait l'objet de mesures piézométriques. Ils sont considérés comme non fonctionnels.
- Si le nombre de mesures varie, le nombre de points de mesures visités par l'AEM est constant depuis plus de 10 ans (excepté l'absence de campagne en 2017). Il oscille entre 23 et 27 stations d'échantillonnage avec une **stabilisation de 25 piézomètres au cours de 4 dernières années**. Cela signifie que le réseau est connu et que les stations sont stables. Une analyse étendue sur la période 2012-2021 renforce cette conclusion puisque 21 des 25 piézomètres étaient suivis durant cette période (hormis 2017). Par ailleurs, les 21 stations contribuent fortement au nombre total de mesures réalisées sur la zone entre 2012 et 2016.
- Pour les 25 stations suivies, des mesures sont présentes pour les 4 années (de 2018 à 2021) et pour chaque station. Le nombre de prise de mesures varie d'une année à l'autre mais est en grande majorité constant pour l'ensemble des ouvrages visités (cf.Figure 29).

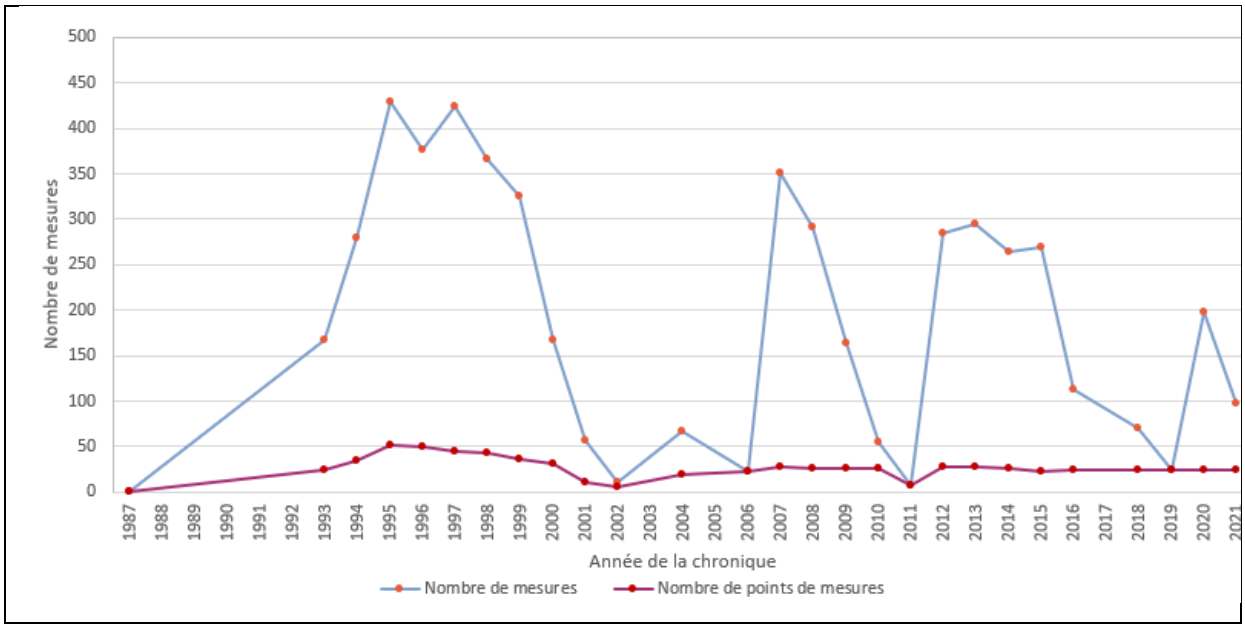


Figure 28 : Nombre de mesures piézométriques et points de mesures par année de chronique

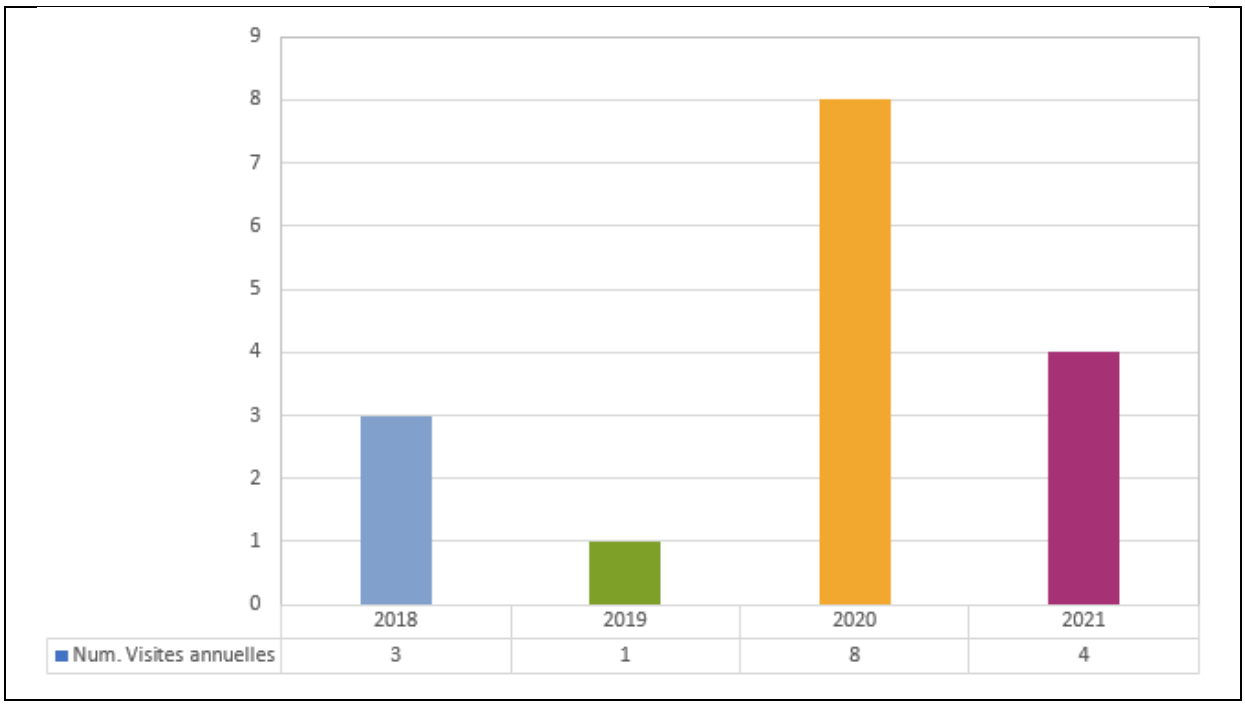
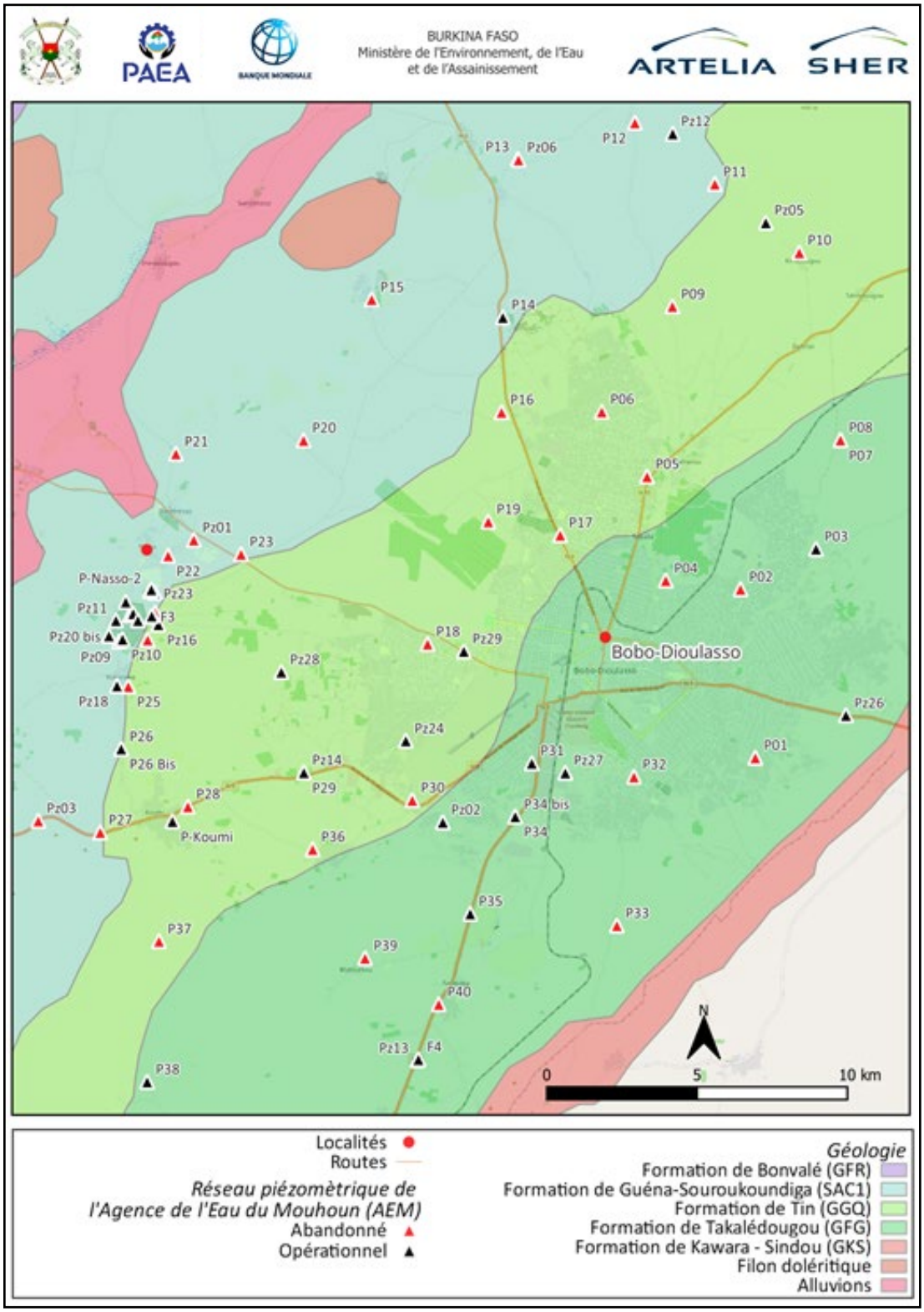


Figure 29 : Nombre de visites annuelles réalisées par l'AEM (2018-2021)



Carte 22 : Distribution spatiale des piézomètres de l'AEM

Un tableau reprenant la liste et les caractéristiques des piézomètres du réseau de suivi de l'AEM est repris en annexe Q.5.

D.2.3. Le réseau piézométrique de VREO

Le programme de Valorisation des Ressources en Eau de l'Ouest (VREO) s'est déroulé de 2004 à 2008. Il couvrait toute la partie Ouest du Burkina Faso, à savoir les BV nationaux de la Comoé et du Mouhoun, ainsi que le sous-bassin du Banifing (23 provinces).

Un des objectifs généraux de VREO concernait l'AEP au niveau des Régions des Cascades, des Hauts-Bassins et du Sud-Ouest (composante A du projet). L'objectif spécifique de cette composante était l'amélioration de la couverture des besoins en eau potable. Cet objectif a entrainé la réalisation et la réhabilitation de forages PMH mais également la réalisation de 30 AEPS, avec, pour chacun d'entre eux, la réalisation d'un piézomètre (VREO, 2010). Lors de la réalisation de cette composante, il faut ajouter qu'un ouvrage productif (au niveau de Fô) n'a pas été équipé et a été maintenu comme un piézomètre simple.

Par ailleurs, la composante B « Etude et suivi des ressources en eau » qui a couvert l'ensemble des bassins versants de la Comoé, du Banifing et du Mouhoun a également débouché sur la réalisation d'ouvrages utilisés à des fins d'observation piézométrique (4 forages neufs réalisés en tant que piézomètres et 6 forages ne pouvant être équipés en PMH et transformés en piézomètre).

Les détails techniques concernant les réalisations ont été capitalisées dans une base de données MS.Access. Cette dernière a été collectée et analysée par le Groupement.

On y retrouve les ouvrages cités dans les références bibliographiques, y compris deux piézomètres négatifs car inachevé au titre de la Composante B de VREO (VREO, 2010).

Le réseau de VREO se compose donc de 43 piézomètres.

La base de données est bien structurée et contient un identifiant unique pour chaque piézomètre. Elle contient un grand nombre d'informations :

- Caractéristiques générales : date de fin de foration, codes, statut, coordonnées en DMS
- Caractéristiques techniques : profondeurs totale et équipée, épaisseur d'altération, venues d'eau, débits en fin de foration, niveaux statiques, etc.
- Caractéristiques hydrogéologiques : Formations, unités, etc.
- Développement et essais de pompage ;
- Informations sur les équipements ;
- Analyses physico-chimiques incluant un grand nombre de paramètres.

Le Groupement a exploité les informations de cette base de données. Suite à l'interprétation des statuts (indispensable pour réaliser des requêtes), les piézomètres ont été extraits et ont pu être spatialisés. La Carte 23 illustre la distribution spatiale des piézomètres du réseau spécifique de VREO. Cette cartographie est conforme à celles retrouvées habituellement dans la littérature (ex. COWI, 2013).

Le Tableau 20 présente la répartition des piézomètres de VREO en fonction des régions et des usages.

Les ouvrages piézométriques ont été forés en 2007 (3), 2008 (20) et en 2009 (20).

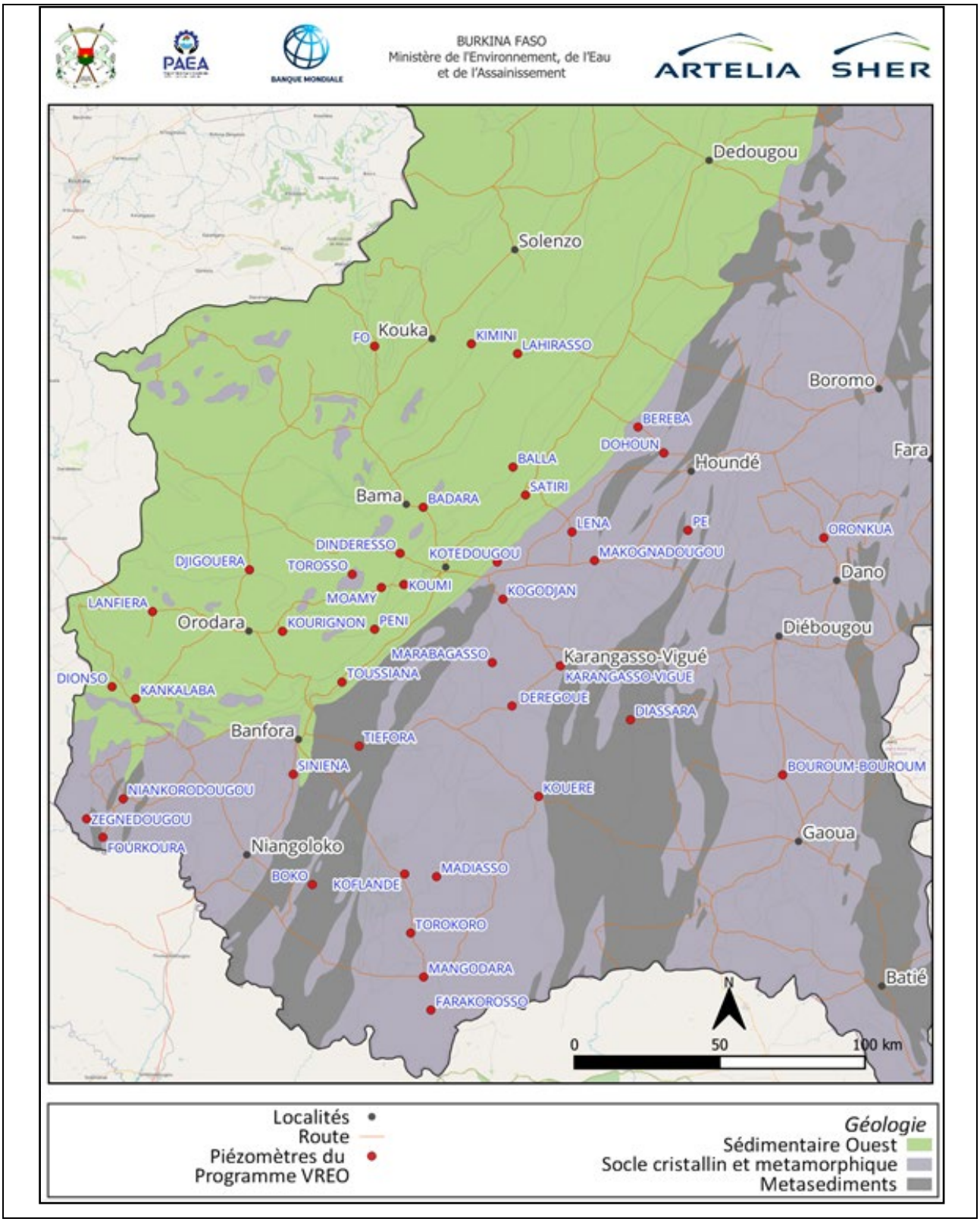
Tableau 20 : Répartition des piézomètres de VREO

	Piézomètres AEPS [12][2]	**Forage productif non équipé maintenu comme piézo. [11]**	**Piézomètre positif [13]**	**Piézomètre négatif [130]**	**PMH déclassé en piézomètre [113]**	**TOTAL**
Cascades	14				1	15
Hauts-Bassins	13	1	4	2	5	25
Sud-Ouest	3					3
TOTAL	30	1	4	2	6	**43**

En revanche, la base de données ne contient pas de chroniques piézométriques. Etant donné les dates d'installation, le programme VREO n'a pas eu le temps matériel de réaliser un suivi pluriannuel. Par la suite, les piézomètres de VREO n'ont pas été réintégrés au niveau d'un autre réseau actif (RPN, RPS-ONEA ou RPS-AEM).

La liste des piézomètres du programme VREO, ainsi que de leurs principales caractéristiques, est repris en annexe Q.6.

[2] La légende des statuts dans VREO est à interpréter comme suit : 11 = PZ-PMH (forage non productif qui a été maintenu comme piézomètre / 12 = PZ-AEPS (piézomètres de l'AEPS de la composante A) / 13 = PZB+ (Piézomètres positifs de la composante B) / 113 = PMH>PZB (Forage PMH de la composante B déclassé en piézomètre) / 130 = PZB- (Piézomètres négatifs de la composante B)



Carte 23 : Distribution spatiale des piézomètres de VREO

D.2.1. Les piézomètres réalisés dans le cadre du PADI

Entre 2011 et 2016 le Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire a entrepris l'exécution du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI) dans les régions des Cascades, des Hauts Bassins et du Plateau Central, sous financement de l'Association pour la Promotion, de l'Education et de la Formation à l'Etranger (APEFE) et de Wallonie Bruxelles International (WBI).

Le projet PADI-BF101 (Résultat 1) avait pour objectif de mettre à la disposition de la Direction Générale des Aménagements et du Développement de l'Irrigation (DGADI) et des Directions Régionales de l'Agriculture et de l'Hydraulique des Cascades, des Hauts-Bassins et du Plateau Central des outils opérationnels de gestion des eaux souterraines en vue de leur exploitation pour l'agriculture irriguée.

Dans ce cadre, un marché a été passé avec pour objet de mettre en place 10 piézomètres pérennes permettant la caractérisation des aquifères des plaines alluviales des Régions des Hauts-Bassins, des Cascades et du Plateau Central et d'étudier les interactions entre ces aquifères et les aquifères sous-jacents.

Le marché a porté sur la réalisation de six (6) piézomètres crépinés dans la plaine alluviale et la réalisation de quatre (4) piézomètres crépinés uniquement dans l'aquifère sédimentaire ou de socle.

Les principales caractéristiques des piézomètres sont reprises dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 21 : Liste et localisation des piézomètres réalisés dans le cadre du PADI

Date	**Province**	**Commune**	**Village**	**IDENTIFICATION FORAGE**			
				N°	**Sondage**	**Coordonnées**	
27/12/13	GANZOURGOU	MOGTEDO	Mogtédo	46	SE3-PZ-P	733896	1359447
28/12/13				47	SE4 /PZ-A	733892	1359440
29/12/13				48	SE1 /PZ-P	732520	1357276
29/12/13				49	SE2 /PZ-A	732521	1357277
15/01/14	HOUET	BOBO	Nasso	62	SE1 /PZ-A	1238375	343411
21/01/14	COMOE	BANFORA	Karfiguela	60	SE1 /PZ-P	1185386	300540
23/01/14				61	SE1 /PZ-A		
24/01/14			Siniena	67	SE1 /PZ-A	1169155	303703
09/05/14		BANFORA	Tengrela	09 09	SE1 /PZ-P	10°38'59,1''	04°48'43,6''
10/05/14				10 10	SE1 /PZ-A	10°38'59''	04°48'43,6''

Tableau 22 : Caractéristiques des piézomètres du PADI

N°	Profondeur (m)		Equipement (m)			Débit m³/h			Niveau eau (m)		
	forée	équipée	bouchon	Crépine	Pvc plein	foration	Dvpt	essai	foration	Avant Dvpt	Après Dvpt
46	55.00	54.65	2.86	11.67	40.74	18	9	12		2.13	16.71
47	19.96	19.96	0.55	14.55	4.86	Néant	2.1	Néant	Néant	2.20	7.32
48	64.00	64.00	2.91+11.64	14.55	34.92	2.200			4.90		8.61
49	21.80	21.80	0.66	14.55	6.59	Néant	0.003	Néant	5.10	4.61	12.48
60	80	80	0.30	15	65	0.650	0.650	1.500	50.50		52.50
61	18.50	18.50	0.30	14.55	2.65	0.580	0.750		13.62		6.10
62	7.30	7.30	0.30	6.00	0.70	1	1	Néant	2	2.55	5.70
67	17.60	17.60	0.30	14.74	2.90	12	9		2.60	1.05	1.77
09-09	70	70	3	18	49	7.2	4				52.50
10-10	23.80	18.52	0.30	17.52	0.70	4.5			1.78		

D.3. Aperçu de l'évolution temporelle des niveaux de nappe et des tendances

Bien que l'interprétation des données de niveau de nappe ne fasse pas intrinsèquement partie d'un diagnostic de réseaux de suivi, l'évaluation des variations de niveau de nappe et des tendances observées depuis le début des relevés permet d'apporter des éléments pouvant intervenir utilement dans la phase d'optimisation du réseau.

D'une manière générale, les graphiques d'évolution de la piézométrie produits à partir des chroniques capitalisées mettent en évidence trois périodes de suivi piézométrique au cours des vingt dernières années, à savoir :

- 1989-1995 : un suivi relativement régulier et intensif durant la période du projet « Bilan d'eau ».
- 1996-2000 : un suivi totalement irrégulier voire inexistant.
- 2000-2023 : une reprise progressive du suivi jusqu'à 2007 et une intensification à partir de 2008, période marquée par le renforcement du RPN.

Dans le cadre de la présente étude, les chroniques piézométriques ont été analysées pour chacun des ouvrages du RPN et du RPS-AEM. Au total, cela représente environ 130 chroniques de mesures piézométriques (un par ouvrage), lesquelles ont été capitalisées sous forme de graphiques reprenant également les précipitations mensuelles et les précipitations annuelles relatives au village le plus proche de la station. Enfin, des courbes de tendance (généralement polynomiales) ont été calculées pour chacune des chroniques piézométriques.

L'ensemble de ces graphiques sont repris en annexes du présent rapport (cf annexe Q.22 en volume séparé, pour le RPN et pour l'AEM). Il s'agit d'une capitalisation majeure des données issues des deux réseaux.

A titre illustratif, quelques résultats extraits des annexes sont présentés ci-après. Ils permettent notamment de mettre en évidence la non-utilité (i) du suivi de plusieurs ouvrages distincts localisés au sein d'un même site piézométrique, et (ii) de la mesure de niveaux d'eau sur plusieurs tubages présents dans un même piézomètre.

La Figure 30 illustre la chronique de niveaux de nappe du piézomètre de Arbinda, de 1988 à 2021. Après une

longue période stable puis légèrement en hausse, on observe une baisse significative (environ 6 mètres) depuis 2015. De plus, des fluctuations piézométriques intra-saisonnières nettes sont observées depuis les relevés plus fréquents à partir de 2008. Cela témoigne d'une recharge annuelle effective de l'aquifère du socle dans cette zone où la pluviométrie moyenne est pourtant faible (de l'ordre de 460 mm/an).

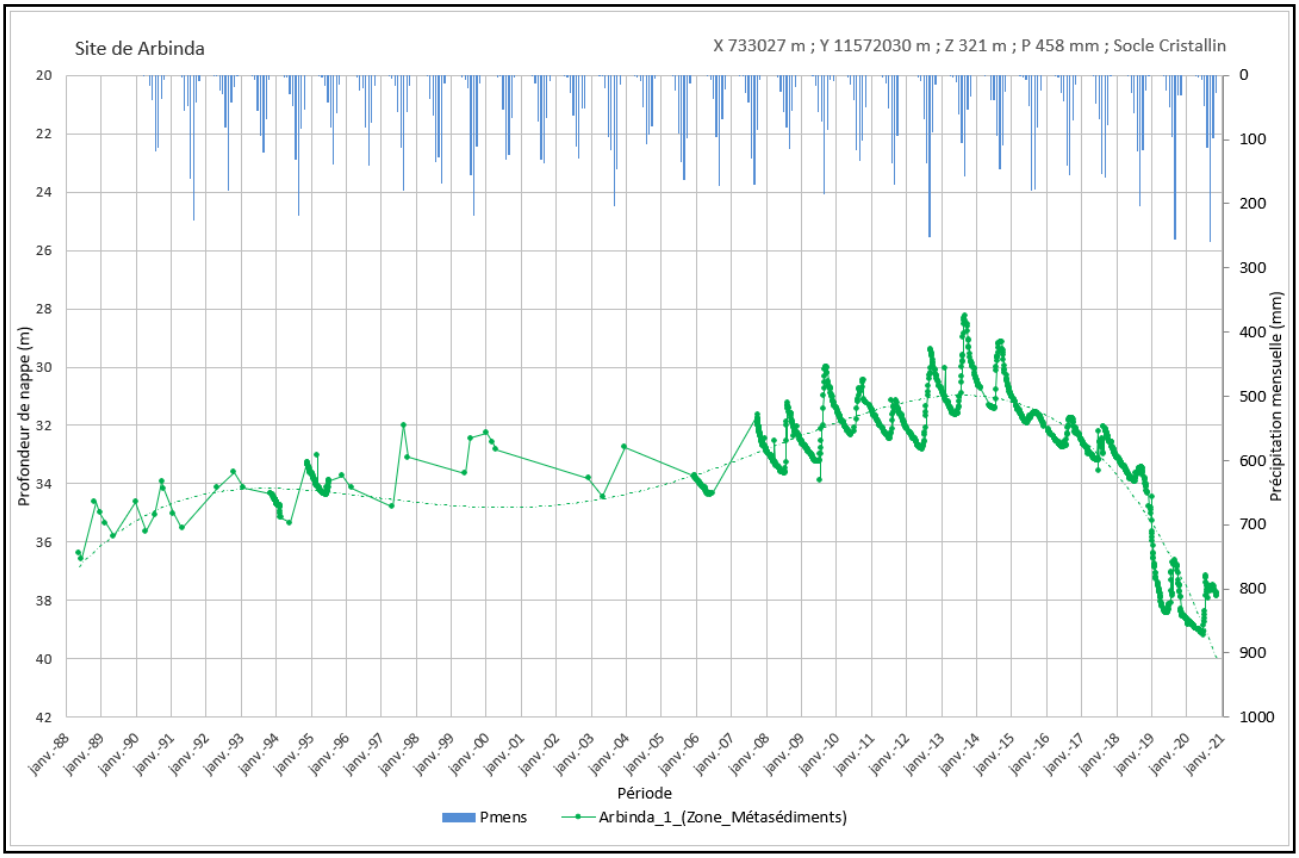


Figure 30 : Chronique piézométrique et pluviométrique du site RPN de Arbinda (ouvrage unique – 1 tube)

La Figure 31Figure 31 illustre les chroniques des deux piézomètres du site RPN de Niangoloko, de 1986 à 2021. On observe un comportement extrêmement similaire des niveaux de nappe dans ces deux piézomètres distincts, témoignant de la non-utilité (au niveau d'un réseau de suivi homogène national) de multiplier les points de mesure au sein d'un même site.

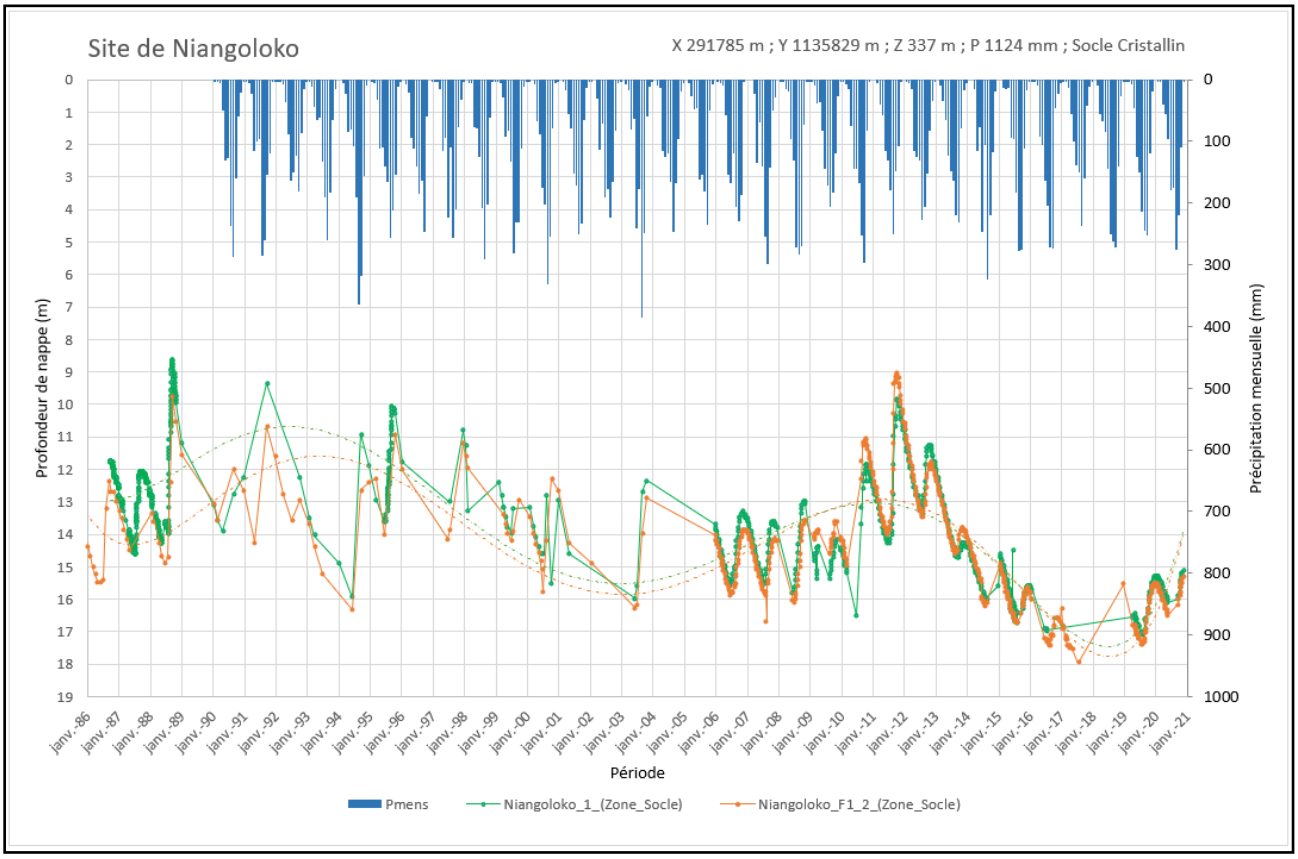


Figure 31 : Chronique piézométrique et pluviométrique du site RPN de Niangoloko (2 ouvrages distincts)

La Figure 32 illustre les chroniques piézométriques des deux tubages (tubage « superficiel » et tubage « profond ») du piézomètre SE5 du site RPN de Boussé. On observe un comportement strictement identique des niveaux de nappe dans ces deux points de mesure, témoignant de la non-utilité de multiplier les tubages distincts au sein d'un même piézomètre au niveau du RPN. De surcroit, les informations sur les niveaux interceptés par ces tubages, et les modalités d'isolement des niveaux interceptés (dont on peut douter de l'efficacité), ne sont généralement pas ou peu connues en l'absence de documents techniques relatifs aux ouvrages concernés. L'idée de départ qui a mené à cette conception n'est pas mauvaise en soi, et n'est pas remise en cause, à savoir étudier le comportement hydrodynamique des eaux souterraines dans la partie altérée superficielle du socle et dans sa partie fracturée plus profonde. Cependant, il s'agit d'une expérimentation qui nécessite une réalisation spécifique de l'ouvrage multi-niveaux, et qui trouve sa place dans un cadre de recherche appliquée sur site expérimental plutôt qu'au sein d'un réseau de suivi national permanent.

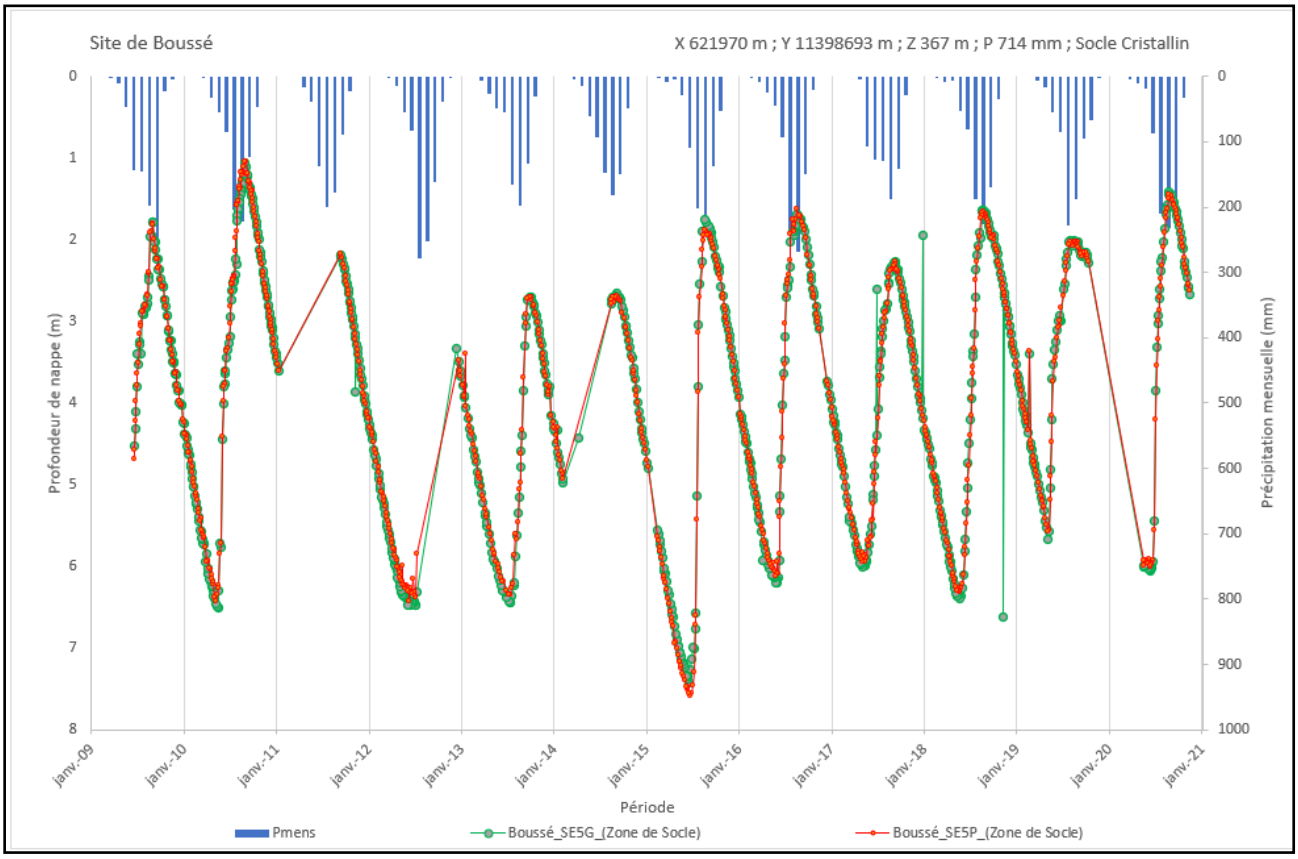


Figure 32 : Chronique piézométrique et pluviométrique du site RPN de Boussé (piézomètre SE5 à double tubage superficiel/profond)

Une analyse plus poussée de l'évolution des niveaux de nappe, et des tendances, a été menée sur une sélection de points de mesures pertinents (chroniques longues et continues) disponibles au travers des jeux de données consolidés par le Groupement.

En particulier, l'analyse de l'évolution spatiale des niveaux statiques mesurée dans les 108 piézomètres a été approchée par des courbes de régression mathématiques. Les courbes de régression (ou lignes d'ajustement optimal ou d'interpolation) sont des courbes idéales pour représenter l'évolution et les prévisions d'évolution d'une variable donnée.

L'évolution temporelle des NS dans 55 ouvrages montre qu'elle ne peut être extrapolée par une régression mathématique, contre 53 qui peuvent être extrapolés par des régressions linéaire, polynomiale ou exponentielle. L'absence de courbe d'extrapolation est plus marquée dans les piézomètres captant les ensembles aquifères de l'Ouest et du Sud-Ouest (81%), du Nord (75%), de l'Est (50%) et faiblement dans ceux du socle cristallin et métamorphiques (51%) et des métasédiments (27%).

Dans les 53 piézomètres concernés, les courbes/droites de régression ajustées à l'évolution des NS montrent des tendances (voir tableau ci-après) :

- A l'augmentation (croissance de la courbe/droite) pour 20 ouvrages (soit 38%) ;
- A une diminution (décroissance de la courbe/droite) pour 32 ouvrages (soit 60%) ;
- A un état statique (1 ouvrage).

Les coefficients d'ajustement R^2 calculés restent modérés à élevés (≥ 0.4) pour les régressions linéaire, polynomiale et exponentielle qui présentent une tendance, ce qui montre que les régressions proposées traduisent au mieux l'évolution des NS dans le temps. Toutefois l'absence ou la présence d'une tendance évolutive des NS (augmentation ou diminution) dans le temps suggère la prise en compte de l'évolution synchrone des précipitations, la nature libre ou captive des aquifères captés, ainsi que la qualité/fiabilité des mesures recueillies (OUEDRAOGO T., 2018) pour mieux comprendre et expliquer ces tendances.

Tableau 23 : Récapitulatif des résultats d'interpolations et des tendances d'évolution des niveaux statiques des chroniques piézométriques des 108 ouvrages du RPN

Ensembles aquifères	**Tendance évolutive des niveaux d'eau du RPN**							**Piézomètre total**
	Linéaire			**Polynomiale**		**Exponentielle**	**Absence de tendance**	
	Augmentation des NS	**Diminution des NS**	**Pseudo-constante**	**Augmentation des NS**	**Diminution des NS**	**Diminution des NS**		
Socle cristallin et métamorphique	6	13		5	6	5	37	72
Métasédiments	8	5					05	18
Sédimentaire du Nord		1					03	4
Sédimentaire de l'Est		1					1	2
Sédimentaire de l'Ouest et Sud-Ouest	1	1	1				9	12

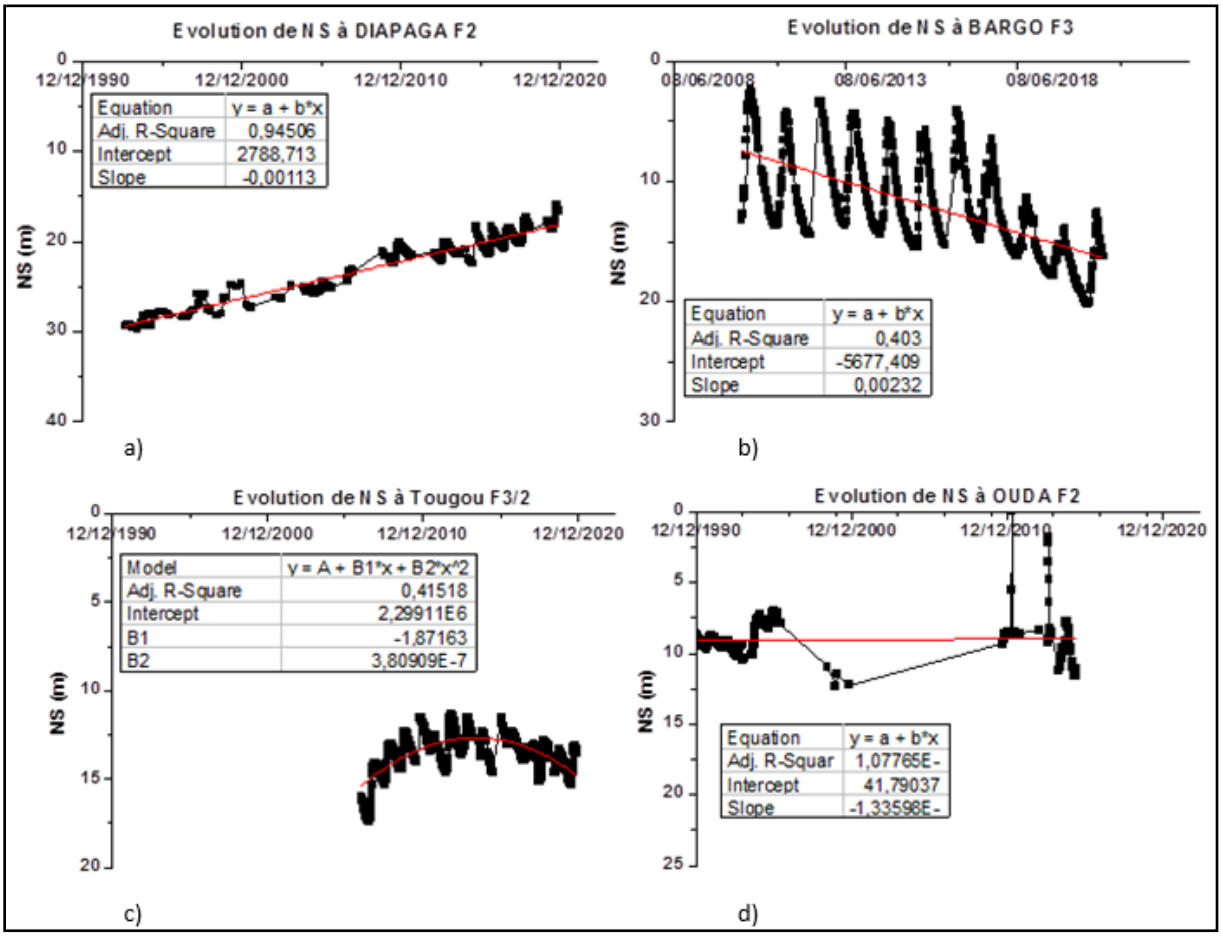


Figure 33 : Courbes de régression et de tendance (a) linéaire croissante (b) linéaire décroissante (c) polynomiale (d) absence de tendance des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères des métasédiments

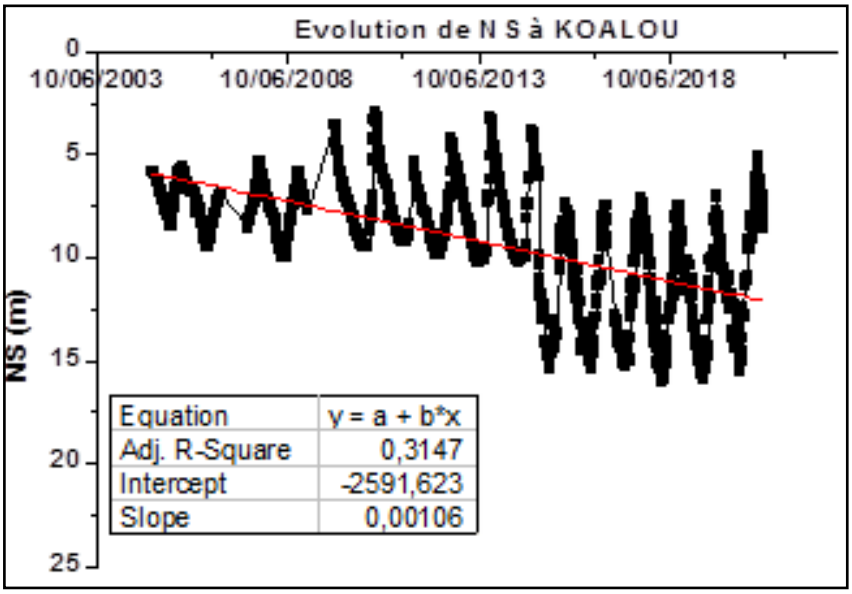


Figure 34: Courbe de régression et de tendance de diminution linéaire des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères du sédimentaire de l'Est

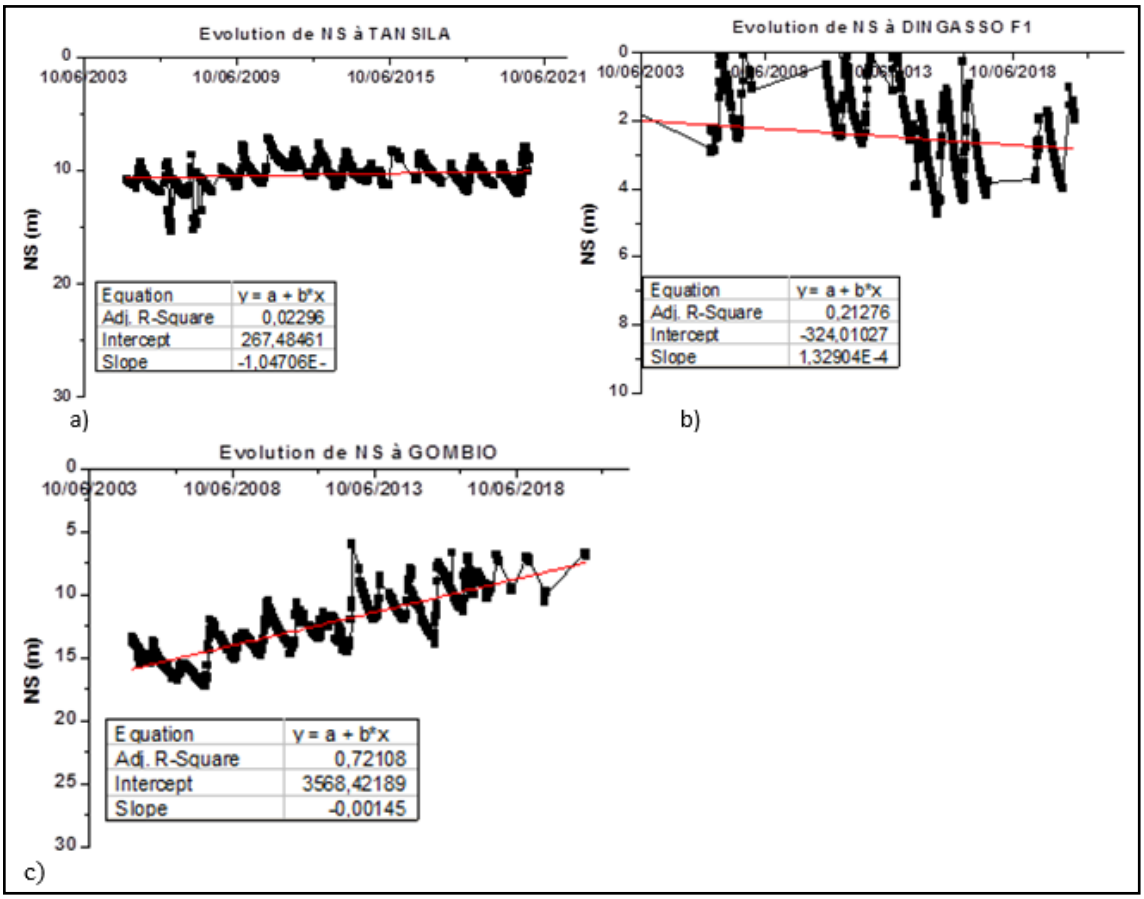


Figure 35: Courbes de régression et de tendance (a) linéaire pseudo constant (b) d'absence de tendance (c) et linéaire croissante des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères du sédimentaire Ouest

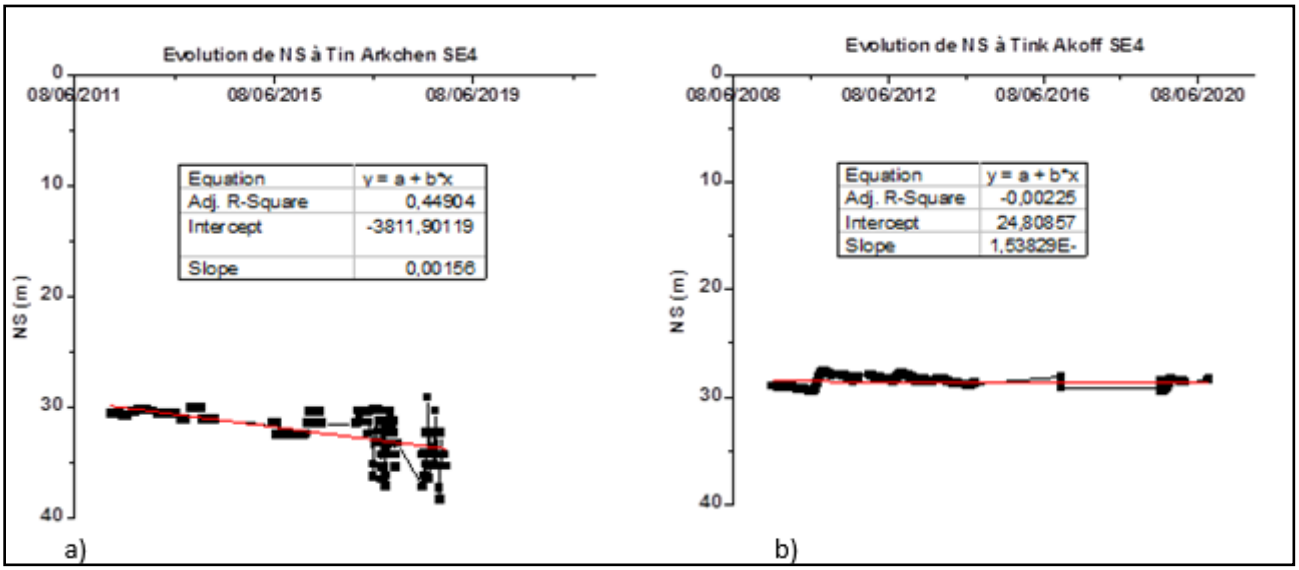


Figure 36: Exemples de courbes de régression et de tendance (a) linéaire décroissante b) absence de tendance des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères du sédimentaire Nord

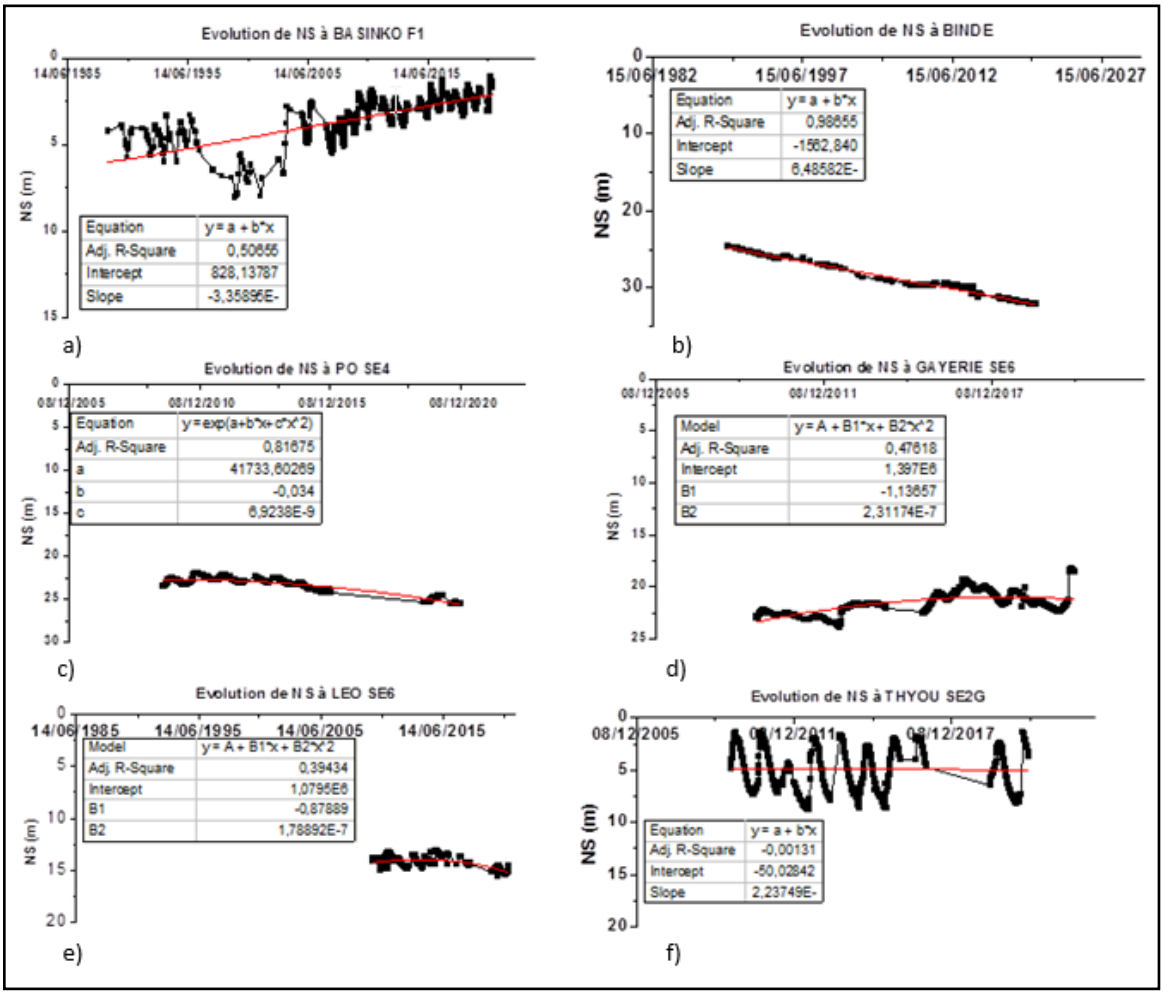


Figure 37: Courbes de régression et de tendance (a) linéaire croissante (b) linéaire décroissante (c) exponentielle décroissante d) polynomiale croissante e) polynomiale sans tendance f) sans tendance des niveaux statiques (NS) des ensembles aquifères

D.4. Conclusions sur le diagnostic des réseaux de suivi piézométrique

Au terme de la phase de diagnostic, les réseaux piézométriques sont bien connus et ont été évalués quantitativement et qualitativement.

Chaque point de mesure fonctionnel du RPN (103) a été effectivement visité par le Gestionnaire au cours de la période 2017-2022, et ce même si la tendance des mesures est à la baisse depuis le début des années 2020 (98 en 2020, 93 en 2021). Cela montre que la stratégie de collecte, basée sur des opérateurs locaux et un organisme étatique, en l'occurrence les DREA/UCDIEau, proche du terrain, fonctionne. Les mesures sont présentes en quantité suffisante au niveau de la chronique. D'une manière générale, le renforcement du RPN en 2008 a donc été bien absorbé par la DEIE et ses partenaires.

Si les flux de travail et de données mis en place pour la réalisation et la transmission des mesures sont fonctionnels, ils s'avèrent cependant basiques et non contrôlés, c'est-à-dire qu'ils sont ouverts aux erreurs de saisie et aux valeurs aberrantes. Ils sont également peu technologiques et n'exploitent pas (encore) des technologies modernes telle que la télétransmission ou, à défaut, l'emploi de carnet de terrain électronique. Par conséquent, certaines étapes de la chaine de traitements obligent la DEIE, niveau central le plus éloigné de la source, à réaliser une saisie numérique sur base de mesures manuscrites. Cela soulève un problème technologique au sein du flux plutôt qu'une inefficacité de ce dernier.

La connaissance du RPN par la DEIE est ambivalente :

- D'un côté, la DEIE dispose de données en suffisance pour connaitre avec précision l'état quantitatif et qualitatif de son réseau. En cas de doute et bien que les sorties des UCIDEau paraissent irrégulières, elle peut compter sur une communication effective avec les acteurs déconcentrés ou profiter d'une visite d'inspection semestrielle pour mettre à jour les informations. En outre, la DEIE possède une vision empirique et une expérience usuelle de son réseau. Elle est à même de fournir des informations relativement détaillées à un niveau relativement fin, sans avoir à consulter une base de données ou de la documentation.
- D'un autre côté, il est très difficile de disposer d'un jeu de données consolidé des stations piézométriques actuelles, sans même parler de l'historique. Il y a un décalage quasi systématique entre la référence des stations indiquée dans les fichiers de mesure (chroniques NS) et celle présente dans les fichiers reprenant les stations des réseaux. Dès lors, le lien [Station Vs Mesure] peut devenir complexe sans procéder à une analyse profonde et à des corrections dans les données source. Des corrections peuvent être réalisées tant au niveau de la chronique qu'au niveau du fichier inventoriant les ouvrages du réseau. La recherche d'un jeu de données validé sur les points de mesure du RPN est relativement laborieuse. Plusieurs versions concurrentes existent, sans totalement correspondre ni au niveau de la structure des fichiers, ni en termes de quantité de données. Dans ce sens, la DEIE n'a pas développé de stratégie efficace pour capitaliser et croiser les données. Les jeux de données sont isolés entre eux et ne peuvent être valorisés que partiellement. La conséquence se marque par le peu d'analyses statistiques globales sur le RPN, le manque de supports cartographiques ou la difficulté de relationner une tendance globale (ex. décroissance du nombre de mesures sur une période donnée) à un événement.

Sur base de ces observations, le Groupement conclut que l'information parvient à traverser les différents niveaux hiérarchiques, depuis le terrain jusqu'à la structure centrale. Par contre, il y a des manquements évidents dans la manière de gérer la donnée, c'est-à-dire la saisir (sur le terrain ou de manière numérique), la capitaliser et l'exploiter. Au fur et à mesure que cette situation perdure, c'est la connaissance intrinsèque du réseau qui se voit affectée.

Le diagnostic a mis en lumière que la « BD-Piezo » ne répondait plus aux attentes du gestionnaire et était peu exploitée. L'analyse de ce système a mis en lumière des défauts de modélisation qui la rendent peu modulables. Dès lors, la DEIE est privée d'un système visant à centraliser les données dans une base unique. Les acteurs du flux encodent donc les données dans des fichiers MS.Excel. Au final, ceux-ci sont peu exploités pour réaliser un suivi périodique, surtout au niveau des points de mesure du RPN. Aucun fichier MS.Excel n'est contraint par des formules ou des listes, si bien que le risque de rencontrer des valeurs hors tolérance est important.

Le fait d'utiliser MS.Excel n'est pas une mauvaise idée en soi car il s'agit d'une solution simple et que tous les acteurs connaissent. Néanmoins, cela oblige à une gestion plus rigoureuse et unifiée de l'information. Dans le cas du RPN, il n'existe ni l'un ni l'autre. La conséquence est une multiplication des copies d'un même jeu de données portant des noms ambigus et présentant la situation du réseau à un moment déterminé. En ce qui concerne l'inventaire des stations, tous les agents ne disposent pas de la même version du fichier, si bien qu'il devient complexe de déterminer quelle source de données est la plus fiable. Pour ce qui est des chroniques, aucune version unifiée n'a été fournie par le Gestionnaire malgré les demandes du Groupement. Il peut être conclu que ce type de fichier n'existe pas, ce qui pose question sur la possibilité d'effectuer des analyses statistiques de tendance à un niveau régional ou national.

En termes de qualité des données, les points de mesure sont localisés via leur jeu de coordonnées. De multiples systèmes et codifications peuvent être utilisés, voire co-exister au sein d'un même fichier : Lat/Long

en WGS84 DMS, Lat/Long en WGS84 DD, coordonnées métriques en UTM30-N ou 31-N, etc. Plusieurs jeux de données ne disposent pas de coordonnées pour l'ensemble des stations et, dans ce cas, il n'y a pas d'autres solutions que de se tourner vers la littérature pour tenter de localiser les ouvrages suivis. Une vérification systématique des coordonnées doit être réalisée avant traitement, de manière à séparer les types de codification, nettoyer les incohérences et exécuter des routines de calcul pour transformer les coordonnées en UTM 30-N. Une spatialisation sur un jeu de données non nettoyé n'a que peu de chances d'être exacte.

Le décalage entre la connaissance empirique du réseau ou la mise en place les leviers nécessaires pour disposer d'une information actualisée et l'état des données brutes, et des réponses apportées lorsque des précisions sont demandées, est donc important. Lors des rencontres organisées par le Groupement, il s'avère que la DEIE est consciente de ces manquements. La réalisation d'une base de données plus robuste est fréquemment évoquée.

Les données sont exploitées pour l'établissement de rapports périodiques mais pas au-delà. Les analyses ne servent pas à maintenir un contrôle sur le réseau et à interpréter les ressources en eau souterraine de manière fine.

La distribution spatiale du RPN n'est pas homogène. Plusieurs sites (12/54) se trouvent à moins de 30 kilomètres de leur voisin. Les sites peuvent comporter plusieurs piézomètres et ces derniers peuvent être à tubage multiples. Dès lors, certaines zones du territoire présentent de fortes concentrations d'ouvrages tandis que d'autres sont très peu couvertes par le réseau.

Concernant le réseau secondaire de l'ONEA, le Groupement constate que le gestionnaire ne dispose pas d'une vue globale de son réseau, ni d'une base de données centralisée. Les piézomètres ne sont pas suivis et les données restent en l'état, à savoir dans un fichier MS.Excel présentant des failles au niveau des jeux de coordonnées ou de l'identification des points d'échantillonnage. Les chroniques ne sont pas disponibles au niveau de l'ONEA.

Concernant le RPS-AEM, il n'est pas évident pour le gestionnaire de disposer d'une vue complète du réseau étant donné que de nombreux piézomètres ont été réalisés il y a plus de 30 ans. Néanmoins, l'Agence de l'Eau du Mouhoun s'est appropriée certaines stations et réalise un suivi mensuel.

E. DIAGNOSTIC DES RESEAUX DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

Le diagnostic des réseaux de suivi de la qualité des eaux souterraines concerne principalement le réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines (réseau homogène).

Le diagnostic porte sur l'historique et la description des réseaux, leur évaluation au regard des indicateurs et lignes directrices des principaux documents-guides, les équipements et matériels, les paramètres suivis, les modalités opérationnelles (collecte, saisie, stockage, contrôle, exploitation), les aspects budgétaires, etc.

E.1. Réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines (RNSQES - DGRE)

E.1.1. Historique du RNSQES

Au début des années 1960, l'État Burkinabè était responsable de la gestion de l'eau. La notion « d'état providence » s'inscrit dans cette optique où toutes les missions de développement du pays incombaient à l'État et il en était l'unique responsable. La politique de l'eau était donc « une politique centraliste » s'articulant principalement autour du seul acteur étatique. Décideur, maître d'ouvrage, maître d'œuvre,

législateur, contrôleur, policier, l'état assumait la mission régalienne de doter aux communautés urbaines et rurales d'infrastructures hydrauliques adéquates et des ouvrages de mobilisation et de captage d'eau potable destinée à la boisson (YAMEOGO, A., 2014).

Durant la période 1972 – 1980, la grande sécheresse du Sahel a entrainé des conséquences désastreuses sur les ressources en eau du pays : tarissement des cours d'eau, diminution/raréfaction des ressources en eau souterraine, questions de pollutions, pénuries de biens alimentaires, hausse des prix des produits agricoles, malnutrition, désertification, etc. (SIRCOULON, 1976; SERVAT et al., 1999; WETTA et al, 2017). En réponse, l'Etat a développé la première politique de l'eau (1978) qui contribue à une prise de conscience collective sur l'importance de l'eau au Burkina Faso.

En 1982, la politique de l'eau connait une première relecture à la faveur de la Décennie Internationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DIEPA, 1980-1990). L'un des axes principaux de cette politique a été la volonté de doter le ministère de l'eau d'un premier laboratoire de suivi de la qualité des eaux brutes. En 1984, le Ministère de l'Eau est créé et de nouvelles Directions techniques apparaissent, dont la Direction des Puits, Forages et Hydrologie (DPFH). Cette dernière bénéficiait d'un laboratoire pour le suivi de la qualité des eaux. La DPFH a été scindée en 1986 en deux organismes : i) l'Office National des Puits et Forages (ONPF, société d'Etat) et ii) la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH). A cette occasion, le laboratoire a été repris par l'ONPF (SILGA, 2004).

Entre janvier 1990 et juillet 1991, le projet PNUD/BKF/88/002 – « mise en place d'un système de collecte et traitement d'information sur les ressources en eau » met au point les premières bases d'un laboratoire d'analyse des eaux, sous tutelle de la DIRH. Un local est aménagé et du matériel d'analyse est fourni (MacDonald et al., 1993).

En 1992, un réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines et de surface voit le jour. Il est embryonnaire et limité 32 ouvrages de suivi (15 pour les eaux de surface et 17 pour les eaux souterraines), ce réseau était insuffisant pour assurer un suivi efficient de la qualité des ressources en eau, et semblait souffrir d'un manque de ressources humaines, financières et matérielles. En 2001, le rapport final « d'état des lieux des ressources en eau du Burkina Faso » indique que « la qualité des eaux n'est pas réellement suivie, qu'il s'agisse des eaux souterraines ou de surface » (DANIDA, 2001).

Pour pallier cette situation, une étude a été commanditée en 2004 par la Direction Générale de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DGIRH) pour faire l'état des lieux de son laboratoire afin de lui doter des moyens nécessaires pour un meilleur suivi de la qualité des eaux. Le diagnostic confirme le fait que le laboratoire ne constitue que l'embryon d'une structure de référence. Une seule personne est affectée au laboratoire, et réalise les prélèvements périodiques sur site. Le diagnostic fait également état de plusieurs laboratoires susceptibles de traiter les échantillons d'eau de la DGIRH. On y retrouve notamment le laboratoire privé AINA ou encore les laboratoires du BUMIGEB, du BUNASOLS ou de l'ONEA.

En 2005, l'AIEA fournit de l'équipement au laboratoire national.

En 2008, le Décret 2008-770/PRES/PM/MAHRH du 02 décembre 2008 instaure la DGRE comme Direction centrale du MAHRHA et instaure la DEIE comme une de ses Directions. Le même Décret reprend les missions de la DGRE, dont le suivi et le contrôle de la qualité des ressources en eau brute et des eaux destinées à la consommation humaine (BKF, 2009).

En 2010, le rapport « d'état des lieux de la situation hydrométéorologique dans la Bassin de la Volta » indique que le RNSQES est opérationnel, avec des paramètres de qualité assez complets. Le rapport précise que des prélèvements sont réalisés manuellement 2x/an et que les données sont encodées dans une base de données MS.Access « HYDRACCESS » (SHER, 2010). Le réseau reste composé des 17 ouvrages pour le suivi de la qualité

des eaux souterraines.

En octobre 2011, le rapport sur « les besoins des systèmes de suivi et équipements proposés » établi dans le cadre du MCA indique que « la DEIE n'est pas en mesure de réaliser pleinement ses missions relatives à la qualité de l'eau faute de moyens adéquats en termes de locaux, d'équipement, de personnel et de budget de fonctionnement » (COWI, 2011). Ce rapport constate que les équipements fournis lors de la création du laboratoire ou par l'AIEA ne sont plus fonctionnels. Des campagnes d'échantillonnage sont menées dans le cadre de projets spécifiques mais, dans ce cas, les analyses sont le plus souvent effectuées par d'autres laboratoires. Le MCA produit des spécifications techniques pour les équipements et les réactifs permettant de renforcer l'existant. Dès 2012, l'Etat finance un nouveau laboratoire est opérationnel et les campagnes d'échantillonnage sont renforcées.

En 2018, le suivi de la qualité des eaux souterraines ne porte plus que sur 11 stations. Dans le cadre de la mise en œuvre du programme « Développement d'un Système National d'Information sur l'Eau (SNIEau) fiable et durable », un atelier se tient à Ouagadougou du 17 au 27 septembre 2018 à l'initiative conjointe de la DGRE et de l'Université de Ouagadougou. Il aboutit à la définition d'un réseau optimisé de suivi de la qualité des eaux brutes au Burkina Faso **à 80 points de mesure (eaux de surface et eaux souterraines)**. Les sites de mesures sont les stations hydrométriques pour les eaux de surface, et des piézomètres, ou éventuellement des forages, pour les eaux souterraines. Concernant le RNSQES, la proposition intègre un **renforcement de 34 nouveaux piézomètres**, qui viennent s'ajouter aux 11 ouvrages du réseau initial faisant toujours l'objet d'un suivi (DEIE, 2018). En tout, ce sont donc 45 points de mesure qui sont retenus pour le RNSQES.

A partir de 2020/2021, des campagnes semestrielles (hautes eaux et basses eaux) sont mises en place, sur base du réseau de suivi optimisé en 2018. Il s'agit toutefois de campagnes partielles ne couvrant pas l'ensemble des ouvrages du réseau optimisé, et ce pour des raisons de contraintes budgétaires et d'accès à certains sites en contexte d'insécurité. En 2021, la missions « d'assistance technique aux PN-AEPA et PN-GIRE » fait encore état d'un réseau de surveillance limité (COWI, 2021). Ce constat est toujours d'actualité aujourd'hui.

E.1.2. Situation actuelle du RNSQES

La situation actuelle du réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines repose sur la définition du réseau optimisé de suivi de la qualité des eaux brutes, tel que proposé en 2018. Il s'agit en effet de la référence actuelle sur le plan du suivi national de la qualité de l'eau brute, même si en pratique pour des raisons budgétaires et d'accès à certains sites en contexte d'insécurité tous les points repris dans ce réseau optimisé ne font toujours pas l'objet, à ce jour, de mesures de la qualité de l'eau dans le cadre des activités de suivi des ressources en eau menées par la DGRE.

Le référentiel du réseau faisant l'objet du présent diagnostic est donc celui qui résulte des conclusions de l'atelier de 2018.

E.1.2.1. Collecte des jeux de données dans le cadre de l'étude SEVERE

Concernant le RNSQES, la structure gestionnaire est La **Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau** (MEEA-DGRE-DEIE) et plus spécifiquement le Service Qualité des Eaux (SQE). Ses missions portent sur l'évaluation de la qualité des eaux tant de surface que souterraine. Il doit mener toutes études et recherches nécessaires sur la qualité des eaux pour promouvoir et renforcer les dispositions de protection durable des ressources en eau.

Les jeux de données attendus de la part de la DEIE en matière de suivi des eaux souterraines étaient :

- i) Les stations du RNSQES, clairement identifiés avec les coordonnées, les caractéristiques techniques et fonctionnelles et les équipements.
- Ii) La liste des paramètres physico-chimiques suivis.
- iii) Les chroniques de mesures physico-chimiques avec la date de mesure, l'identifiant de la station, le paramètre et la valeur de la mesure.

Les données brutes relatives aux **stations du réseau** de suivi national ont été transmises par la DEIE sous deux formats : un fichier Shapefile (26/06/2021) et un fichier MS.Excel (04/07/2021). Ces deux fichiers reprennent chacun les 80 points de mesure, dont les 45 pour le RNSQES, ce qui est conforme au réseau optimisé. Les fichiers présentent une structure différente, avec des attributs utiles de part et d'autre (cf. Tableau 24). Dès lors, une combinaison des fichiers a été exploitée. En l'absence d'identifiant unique, le lien a été réalisé en utilisant le nom du village et le fait que la station faisait partie du réseau initial ou de la proposition d'extension.

Tableau 24 : Comparaison des jeux de données RNSQES collectés

Fichier Source Shapefile	Fichier Source MS.Excel
Tous les points sont spatialisés sauf 1 (Koalou en tant que piézomètre proposé)	8 stations sans coordonnées
Ne présente pas d'identifiant unique	Présence d'un identifiant unique pour la majorité des stations (35/45)
Pas de référence piézométrique	Présence de la référence piézométrique pour la moitié des ouvrages
Distinction entre Forage et Piézomètre	Pas de distinction Forage/Piézomètre
Pas de détail technique	Caractéristiques techniques : Profondeur forée, niveau statique, épaisseur d'altération, débit, date de création, venues d'eau, lithologie

La DEIE a également transmis plusieurs jeux de données relatives aux chroniques de mesure, sous format MS.Excel :

- 29/07/2022 : Fichier MS.Excel contenant les chroniques des années 2012 (1 campagne), 2013 (1 campagne), 2016 (1 campagne), 2017 (1 campagne) et 2020 (2 campagnes : juillet/novembre).
- 03/08/2023 : Fichier MS.Excel reprenant les chroniques des années 2021 (2 campagnes : juillet/novembre) et 2022 (2 campagnes : juillet/novembre).

La chronique complète contient donc un total de 10 campagnes de suivi.

Les fichiers MS.Excel contiennent les mesures des paramètres physico-chimiques pour chaque station et par campagne (1 enregistrement/station/campagne). Le Groupement a procédé à un regroupement de toutes les campagnes dans une feuille MS.Excel unique.

Le Tableau 25 récapitule les jeux de données collectés pour le RNSQES .

Tableau 25: Synthèse des jeux de données brutes du RNSQES

Donnée Source	Nom du jeu de données	Format	Date de collecte	Num. Enregistrement
Ouvrages du RNSQES	Nouv_Reseau_SQE.xlsx	MS.Excel	04/07/2021	45 pour RNSQES
Ouvrages du RNSQES	80_point__mesure.shp	Shapefile	26/06/2021	45 pour RNSQES
Chroniques du suivi QES 2012-2020	Données.xlsx	MS.Excel	29/07/2022	82
Chroniques du suivi QES 2021-2022	SQE_mesures_21_22.xlsx	MS.Excel	03/08/2023	72

Les fichiers sources relatifs aux stations présentent une anomalie au niveau du village de Koalou (Est). En effet, 3 stations sont identifiées pour ce village : 1 ouvrage faisant partie de l'ancien réseau et 2 piézomètres de renforcement. Un des deux piézomètres de renforcement ne présente absolument aucune information et ne bénéficie pas de coordonnées. L'autre est exactement identique à la station déjà suivie. Le Groupement a dès lors considéré les deux piézomètres de renforcement de Koalou comme des doublons et a déclassé ces enregistrements.

D'autre part, le croisement entre les stations du réseau et les chroniques de mesure ont amené le Groupement à procéder aux adaptations suivantes :

- La **station de Nafona-2** (piézomètre) est suivie depuis 2020 mais ne faisait pas partie du réseau optimisé par la DEIE en 2018. Etant donnée la présence de chronique récente, le Groupement a intégré cette station au réseau.
- Les **stations de Kari et Navielagné** (forages) ne se trouvent pas dans le réseau renforcé mais sont suivies depuis 2020. En outre, ces forages se trouvent proches des forages de Houndé et de Diébougou qui avaient été inclus dans la proposition de renforcement mais qui n'ont jamais été échantillonnés. Le Groupement a procédé à la permutation des ouvrages (Kari pour Houndé pour et Navielagné pour Diébougou). Cela ne change rien au niveau du nombre de points dans le réseau. Vu la proximité des ouvrages, cela ne modifie pas non plus les critères de sélection choisis par la DEIE pour procéder au renforcement du réseau.

En conclusion, **le RNSQES officiel retenu par le Groupement compte finalement 44 ouvrages** (45 ouvrages initiaux-2 ouvrages de Koalou+ 1 piézomètre de Nafona) et intègre les forages de Kari et Navielagné au lieu des forages de Houndé et Diébougou. L'ensemble des analyses sont réalisées sur ce réseau consolidé.

Les traitements spécifiques réalisés sur les fichiers source et les analyses inter-fichiers sont explicités dans la section relative à l'optimisation (cf. K.2.3).

E.1.2.2. Critères techniques retenus en 2018 pour l'optimisation du RNSQES

Les critères techniques retenus en 2018 lors de la phase d'optimisation du RNSQES concernant l'identification des sites de suivi sont les suivants :

- Le climat ;
- L'occupation du sol (zone d'orpaillage, zone urbaine, zone agricole ou zone d'élevage, zone industrielle);
- La géologie (basalte, volcano-sédiment, Tuf, Tarkwaien, quartz, schiste, gabbro, quartzo-phyllade, granite post-tectonique) ;
- La géomorphologie (plaines, plateaux, collines, basfonds, versant) ;

- Les aquifères ;
- La productivité ;
- La pérennité ;
- La profondeur de la nappe ;
- La piézométrie (sens d'écoulement des eaux souterraines)
- Les bassins nationaux ;
- La prise en compte des SDAGE et des SAGE ;
- La documentation bibliographique utilisée au cours de l'atelier.

E.1.2.3. Nombre et répartition spatiale des points de mesure

E.1.2.3.1. Situation générale et distribution spatiale

Après traitement, le réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines officiel reprend donc 44 ouvrages. Il est globalement conforme au réseau envisagé par la DEIE suite à la proposition de renforcement de 2018.

A l'échelle nationale, on observe une densité moyenne du réseau de 1 station par 6.228 km², soit une valeur inférieure aux recommandations de densité minimale des documents-guide de référence (1/1.600 km² selon l'OMM).

Tableau 26 : Situation actuelle du RNSQES

Zone géographique	Superficie (km²)	Nombre de stations dans le RNSQES	Densité (km²/stations)
Total Burkina Faso	274.054	44	6.228

La Carte 24

Carte 24 illustre la distribution spatiale du RNSQES. La liste des ouvrages du réseau, ainsi que de ses principales caractéristiques, est reprise en annexe (cf. Q.7).

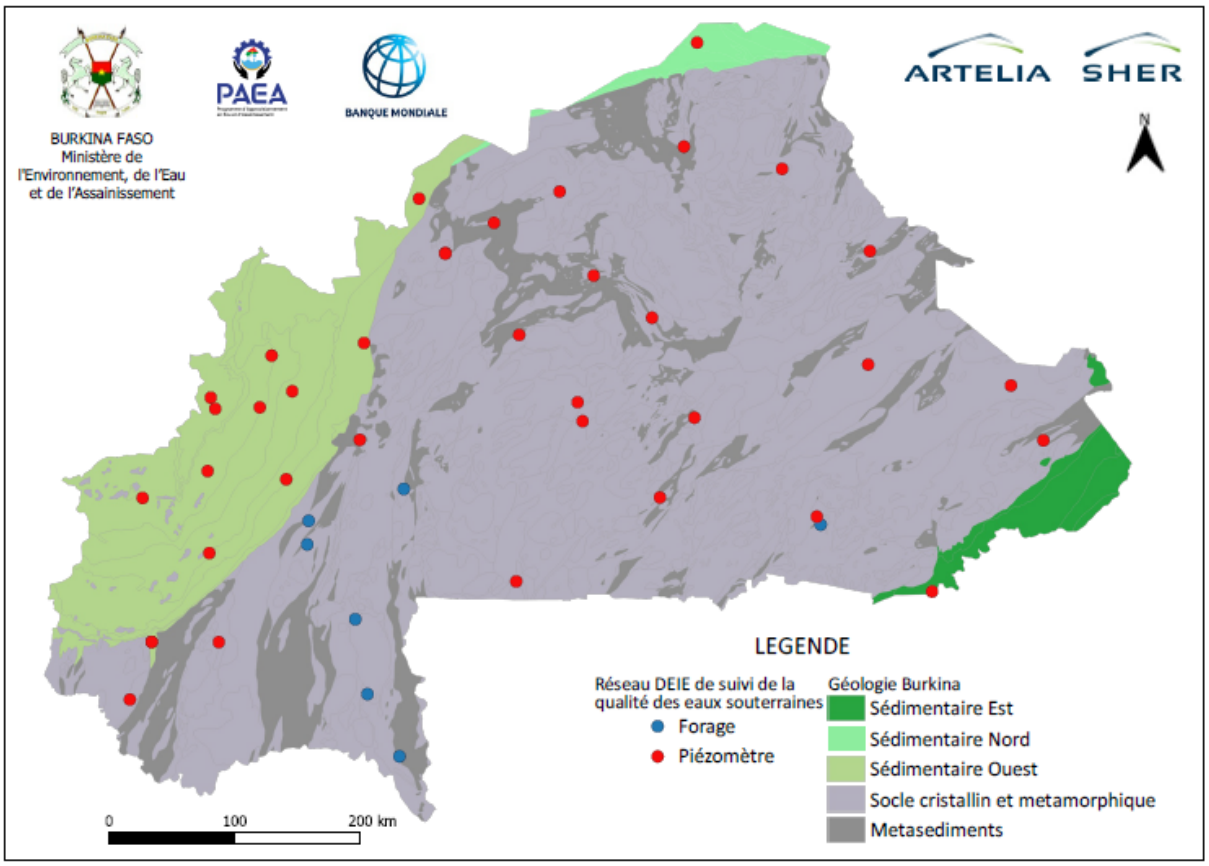
La grande majorité des ouvrages du RNSQES sont des piézomètres (37, soit 84%). Le croisement avec le RPN montre que :

- Tous les piézomètres du RNSQES font partie du RPN, à l'exception des piézomètres de Banakélédaga (ou Bobo-P14), Doubaré F3 et Safané.
- Dans le cas du RNSQES, un point de mesure correspond à un ouvrage, ce qui signifie qu'il n'y a qu'un seul tubage prélevé par ouvrage, même si le point de mesure de qualité se trouve au niveau d'un piézomètre à tubage multiple. Par exemple le piézomètre de Nango-Fulcé F8 est composé de 3 tubages mais seul le tube F8/1 est utilisé pour le suivi de qualité.
- Les points de mesure se trouvent majoritairement au niveau de piézomètres à tube unique (27/44). Dans le cas de piézomètres à tubage multiple, les jeux de données identifient spécifiquement le tube qui sert au suivi.

D'autre part, les forages du RNSQES (7, soit 16%) sont généralement équipés de PMH, utilisés pour l'hydraulique villageoise.

Les stations de suivi de la qualité des eaux souterraines sont réparties en 42 sites. Les sites de Nango Foulcé

(Nord) et Nafona (Cascades) comportent chacun deux ouvrages.

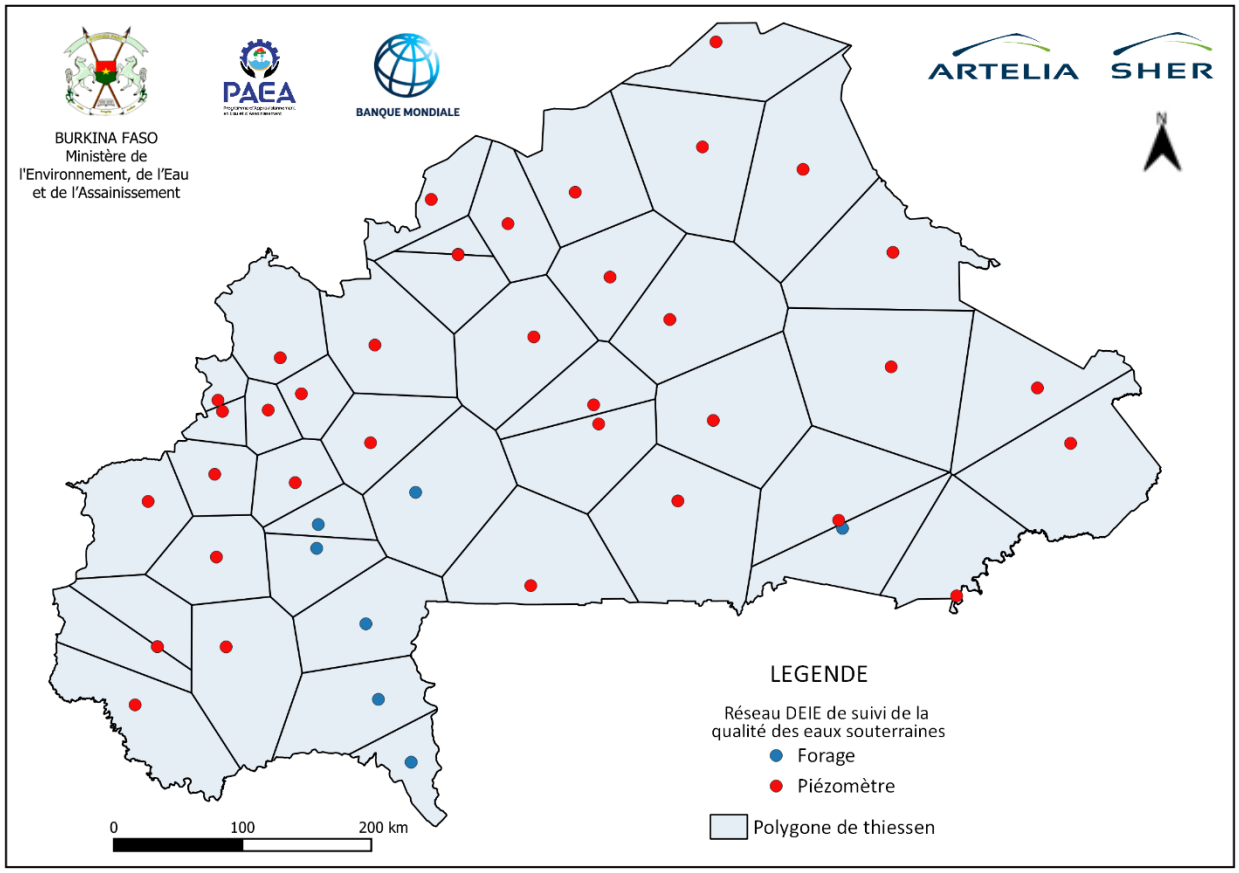


Carte 24 : Distribution spatiale des ouvrages du RNSQES

Le réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines couvre aussi bien les aquifères de la zone de socle que ceux des zones sédimentaires.

L'analyse de la distribution spatiale des stations permet d'évaluer le degré d'homogénéité du réseau et d'identifier les zones les plus faiblement couvertes. La Carte 25

Carte 25 illustre à ce titre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différentes stations du réseau national.



Carte 25 : Carte de concentration des ouvrages du RNSQES

L'Est du Burkina Fao se caractérise par des polygones de grande taille, pouvant atteindre 10.000 à 15.000 km². La densité de points y est donc beaucoup plus faible qu'à l'Ouest.

Plusieurs ouvrages de suivi sont très proches les uns des autres, parfois distants de moins de 5 km, ce qui parait localement très concentré et inadapté pour un réseau de surveillance homogène national.

Une analyse de la répartition des stations du RNSQES a été menée suivant différents zonages géographiques : géologique, hydrogéologique, administratif, climatique et exploitation des aquifères. Les résultats de ces analyses sont présentés dans les sections suivantes.

E.1.2.3.2. Distribution par zones géologiques et formations hydrogéologiques

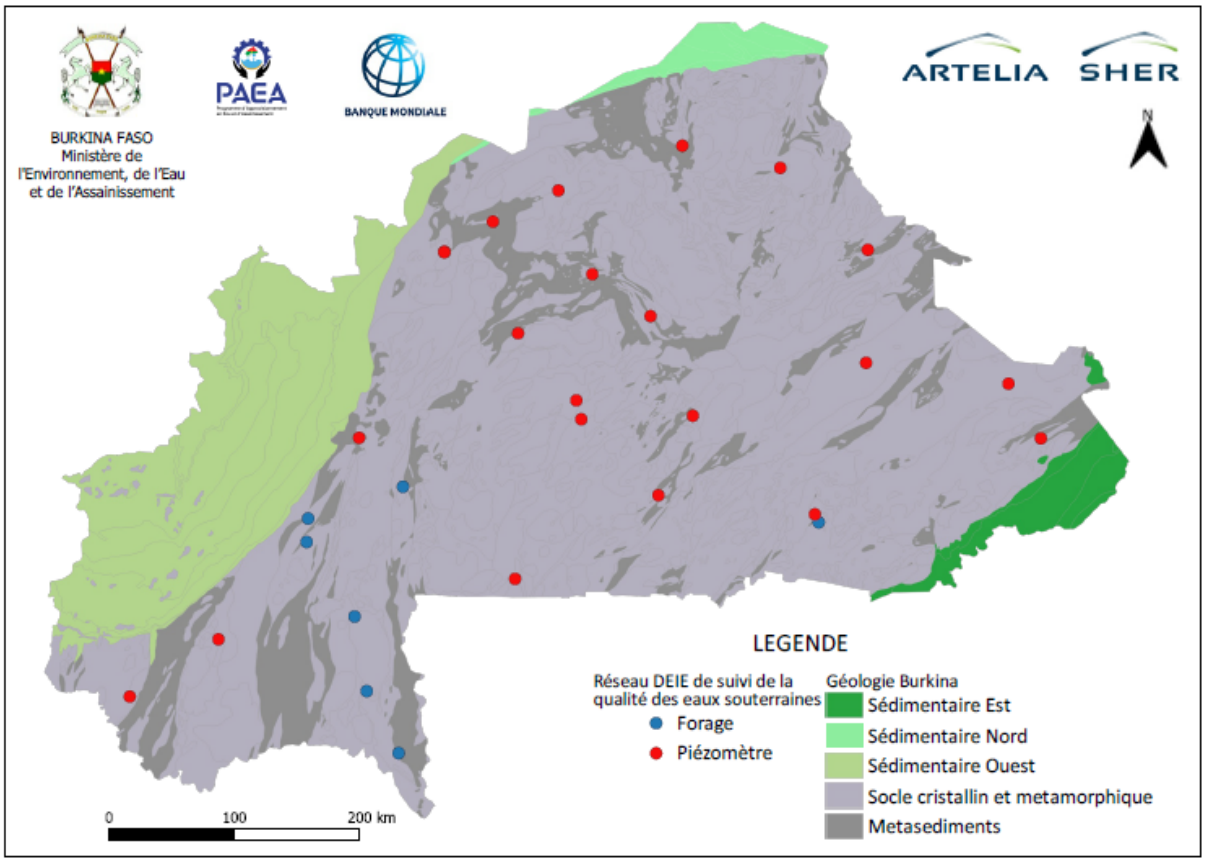
La répartition des stations par zone géologique, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque zone, est reprise dans le Tableau 27.

Tableau 27 : Répartition et densité des sites par zones géologiques

Contexte hydrogéologique	Superficie (km²)	Nombre de stations	Densité (km²/stations)
A. Sédimentaire			
Sédimentaire Nord	4.026	1	4.026
Sédimentaire Est	6.546	1	6.546
Sédimentaire Ouest	42.345	13	3.257
Total Sédimentaire	***52.917***	***15***	***3.528***
B. Socle et métasédiments			
Socle cristallin et métamorphique	185.693	22	8.441
Métasédiments	35.444	7	5.063
Total Socle et métasédiments	***221.138***	***29***	***7.625***
Total Burkina Faso	**274.054**	**44**	**6.229**

Zone de socle cristallin et métamorphique

29 ouvrages de suivi (66% du RNSQES) se trouve dans le socle cristallin et métamorphique. La densité est de l'ordre de 1 station par 7.625 km², soit une valeur inférieure à la recommandation de l'OMM (1/1.600 km²), et inférieure aux recommandations plus spécifiques pour les zones de socle (1/3.500 km²) formulées dans le Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France (2003).



Carte 26 : Répartition des stations du RNSQES dans le socle cristallin et métamoprhique

Tableau 28 : Répartition et densité du RNSQES dans le socle cristallin et métamorphique

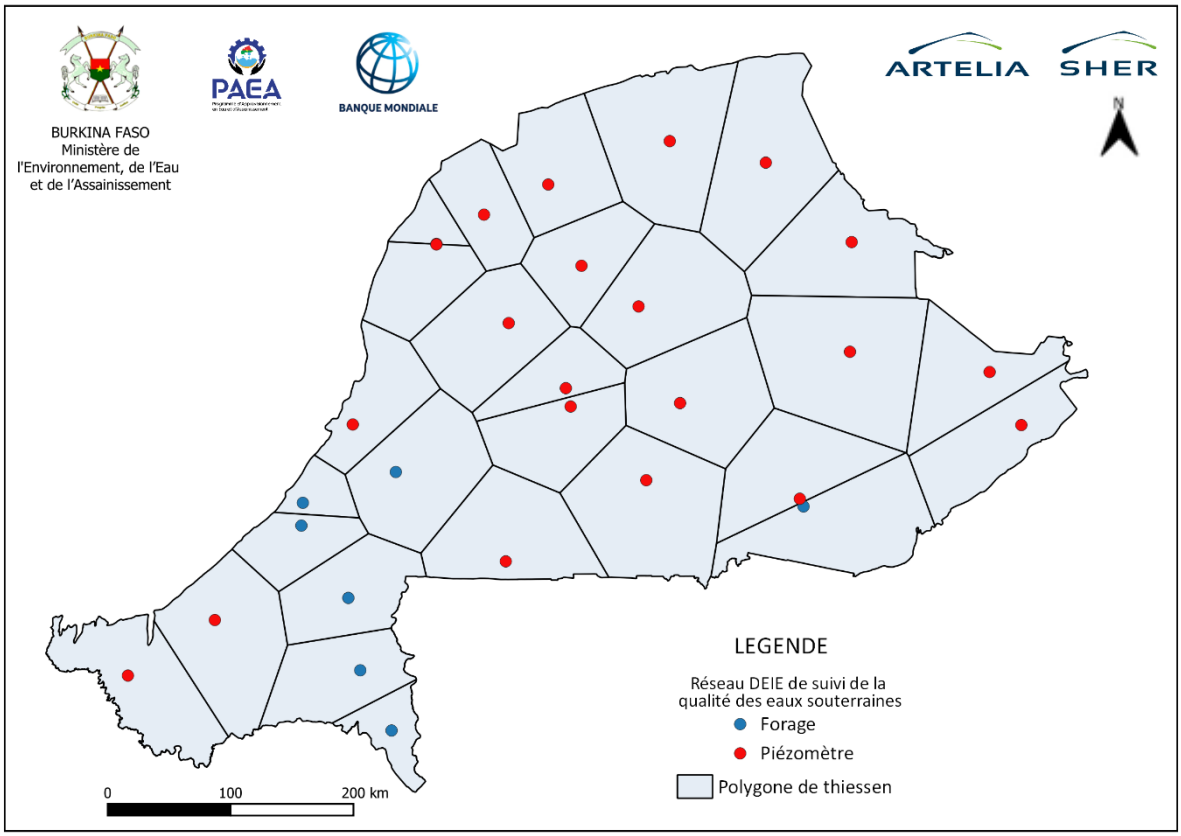
Contexte hydrogéologique	**Superficie (km²)**	**Nombre de stations**	**Densité (km²/stations)**
Socle cristallin et métamorphique	185.693	22	8.441
Métasédiments	35.444	7	5.063
Total Socle et métasédiments	**221.138**	**29**	**7.625**

La plupart des ouvrages (22) sont localisés dans le socle cristallin et métamorphique, tandis que 17 sont localisés dans les métasédiments.

Une analyse statistique et spatiale liée à un niveau de description géologique (lithologique) plus fin ne s'avère pas pertinente pour la zone de socle, étant donné qu'à chaque variation de lithologie (ex. granite vers granitoïde) ne correspond pas une unité hydrogéologique distincte ni un aquifère distinct. En zone de socle, le niveau de distinction retenu sur le plan géologique parait le plus pertinent pour l'analyse diagnostique.

La Carte 27 illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différentes stations localisées dans la zone de socle. A cette échelle, une faible densité de points dans la moitié Est de la zone de socle est observée, avec des polygones pouvant atteindre jusqu'à 15.000 km².

L'optimisation du réseau devra d'une part améliorer la densité de sites dans les zones trop faiblement couvertes, et d'autre part améliorer l'homogénéité du réseau au regard de cette zonation géologique.



Carte 27 : Zonage de concentration des sites du RNSQES dans la zone de socle

Zones sédimentaires

Un total de 15 ouvrages de suivi (soit 34% du RNSQES) est dénombré dans les zones sédimentaires (Nord, Est et Ouest).

Tableau 29 : Répartition et densité du RNSQES dans les zones sédimentaires du Burkina Faso

Zones sédimentaires	Superficie (km²)	Nombre de stations	Densité (km²/stations)
Sédimentaire Nord	4.026	1	4.026
Sédimentaire Est	6.546	1	6.546
Sédimentaire Ouest	42.345	13	3.257
Total Sédimentaire	**52.917**	**15**	**3.528**

La densité moyenne sur l'ensemble du sédimentaire est de 1 station par 3.528 km². Cette valeur est significativement inférieure aux recommandations de densité minimale des documents-guides de référence, dont notamment les valeurs de 1/1.600 km² de l'OMM et encore plus de 1/500 km² pour les aquifères libres en terrain sédimentaire reprises dans le Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France (2003).

Les sections suivantes analysent en détaille la situation du RNSQES en zone sédimentaire.

Zone du sédimentaire Nord

La répartition par formations hydrogéologiques du sédimentaire Nord, et la densité correspondante (km²/station) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

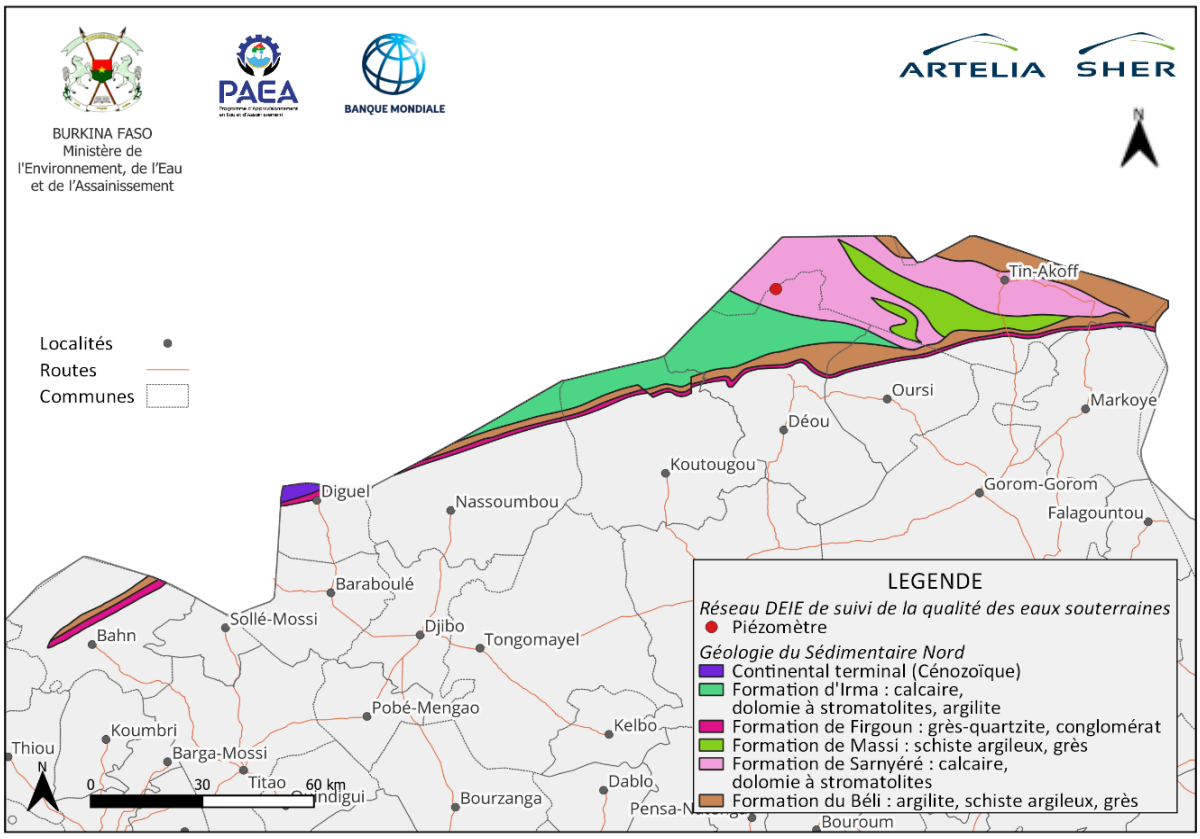
Tableau 30 : Répartition et densité du RNSQES dans le sédimentaire Nord

Contexte hydrogéologique Sédimentaire Nord	Superficie (km²)	Nombre de stations	Densité (km²/stations)
Formation du Béli	951	0	0
Formation de Sarnyéré	1.481	1	1.381
Formation de Massi	355	0	0
Formation de Figoun	187	0	0
Formation d'Irma	955	0	0
Continental Terminal	97	0	0
Total Sédimentaire Nord	**4.026**	**1**	**4.026**

Un seul ouvrage de suivi (Tin-Arkachen) couvre la totalité du Sédimentaire Nord, soit une superficie de 4.026 km². Dès lors, la densité est inférieure aux recommandations des documents-guides de référence. Il faut noter que la station se situe au niveau de la formation hydrogéologique de Sarnyéré. Les autres formations du Sédimentaire Nord ne disposent d'aucun site de suivi.

La

Carte 28 illustre la localisation de la station de suivi de la qualité au sein du Sédimentaire Nord.



Source de données : BNDT 2015, BUMIGEB 2003, DGRE 2021, ARTELIA/SHER 2023

Carte 28 : Distribution spatiale des ouvrages du RNSQES dans le Sédimentaire Nord

Zone du sédimentaire Est

La répartition par formations hydrogéologiques du sédimentaire Est, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 31 : Répartition et densité du RNSQES dans le Sédimentaire Est

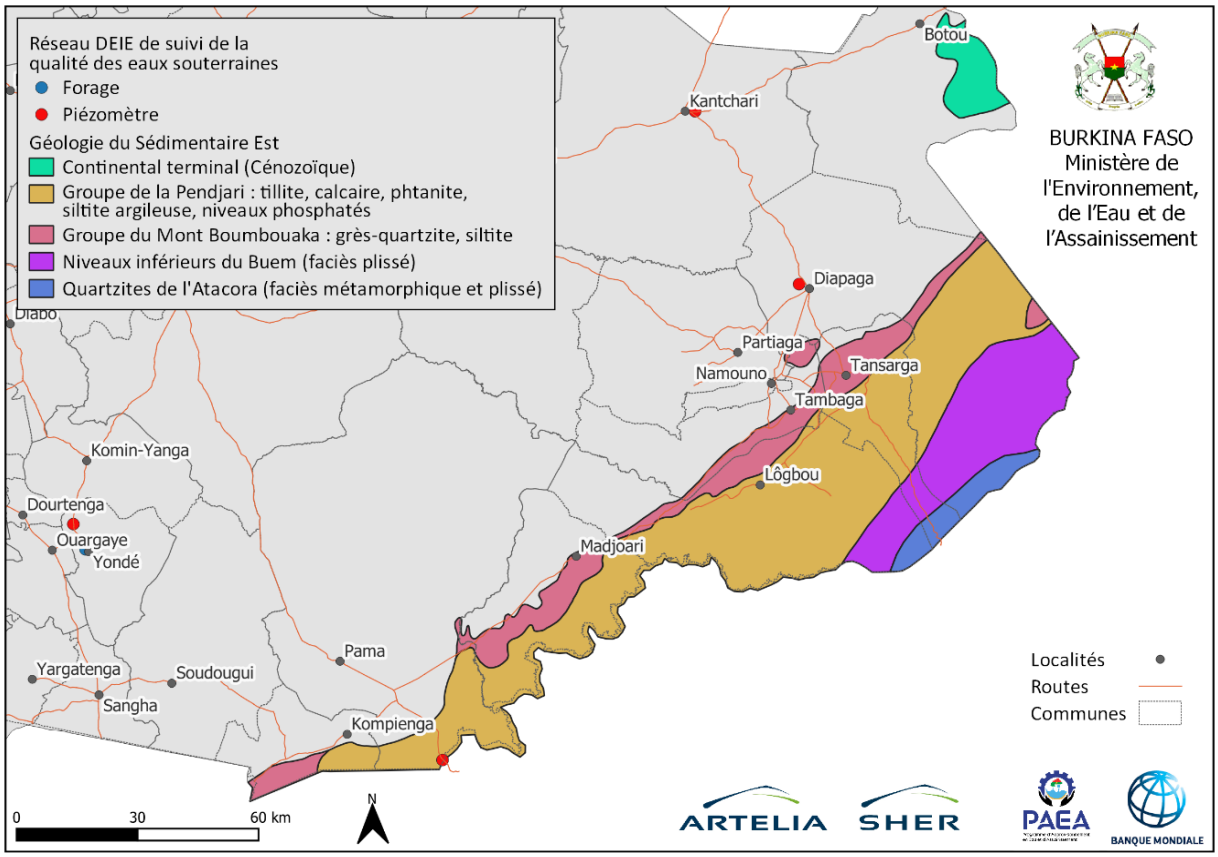
Contexte hydrogéologique Sédimentaire Est	Superficie (km²)	Nombre de stations	Densité (km²/station)
Niveaux inférieurs du Buem	1.162	0	-
Quartzites de l'Atacora	248	0	-
Groupe de la Pendjari	3.785	1	3.785
Groupe du Mont Boumbouaka	1.088	0	-
Continental Terminal	260	0	-
Total Sédimentaire Est	**6.546**	**1**	**6.546**

Un seul ouvrage de suivi (Koalou) couvre la totalité du Sédimentaire Est, soit une superficie de 6.546 km². Dès lors, la densité est significativement inférieure aux recommandations minimales des documents-guides de référence. La station se situe au niveau de la formation hydrogéologique de la Pendjari. Les autres formations du Sédimentaire Est ne disposent d'aucun site de suivi.

Il est dès lors recommandé de consolider le réseau de suivi de la qualité dans cette zone, par l'ajout de sites additionnels de suivi. On privilégiera essentiellement les formations présentant les potentialités aquifères les plus favorables, à savoir prioritairement la formation de la Pendjari, et plus accessoirement la formation du Mont Boumbouaka. En effet, les formation plissées et métamorphiques du Buem et de l'Atacora sont moins

productives, et très peu exploitées.

La carte ci-dessous illustre la localisation des sites de suivi de la qualité des eaux souterraines du Sédimentaire de l'Est.



Source de données : BNDT 2015, BUMIGEB 2003, DGRE 2021, ARTELIA/SHER 2023

Carte 29 : Répartition des ouvrages du RNSQES dans le Sédimentaire Est

Zone du sédimentaire Ouest

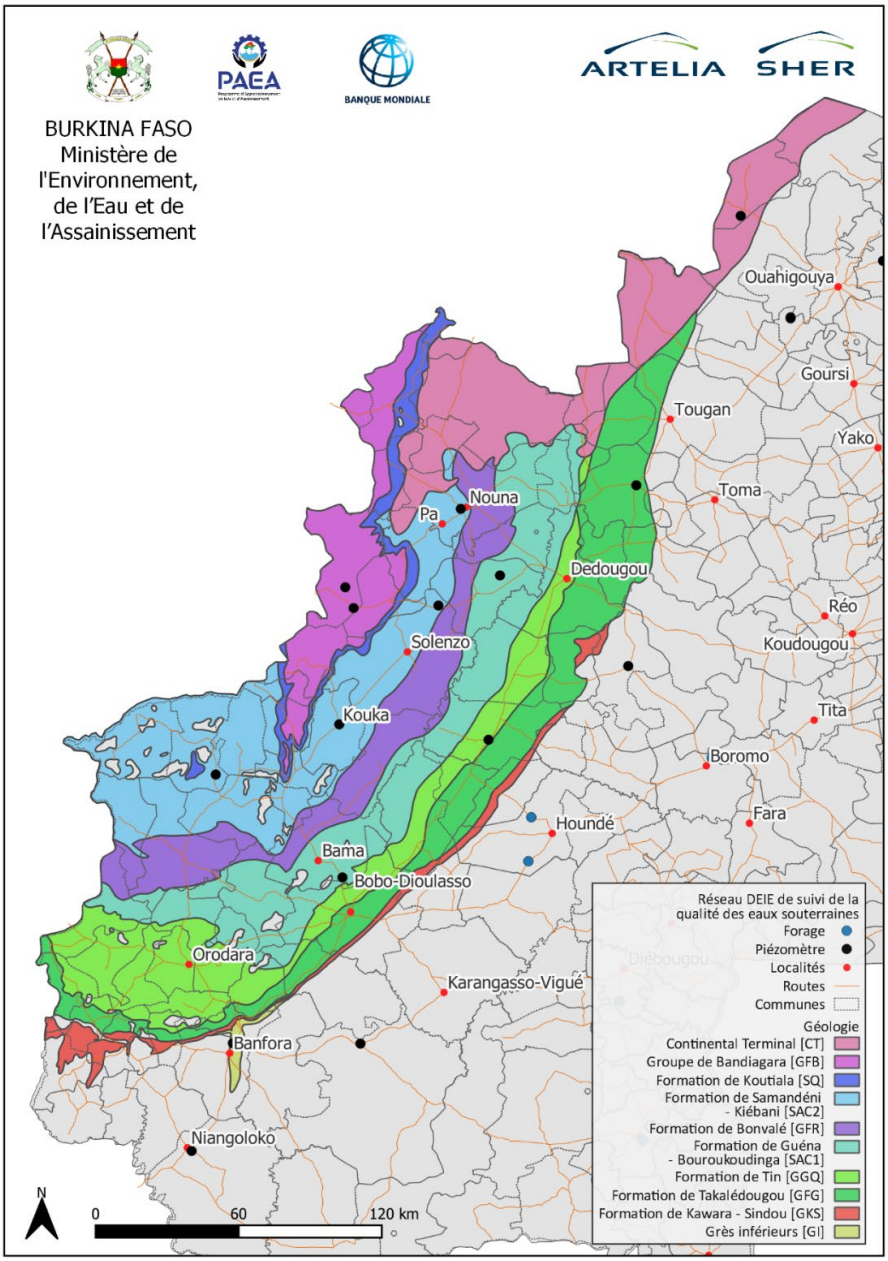
La répartition par formations hydrogéologiques du Sédimentaire Ouest, et la densité correspondante (km²/stations) pour chaque entité, sont reprises dans le Tableau 32.

Tableau 32 : Répartition et densité du RNSQES dans le Sédimentaire de l'Ouest

Contexte hydrogéologique	Superficie (km²)	Nombre de stations	Densité (km²/stations)
Formation de Guéna - Bouroukoudinga	6.887	2	3.443
Formation de Koutiala	1.042	0	-
Formation de Bonvalé	4.190	0	-
Formation de Kawara - Sindou	1.042	0	-
Formation de Takalédougou	6.270	1	6.270
Formation de Tin	5.241	1	5.241
Formation de Samandéni - Kiébani	7.389	4	1.847
Grès inférieurs	178	2	88
Groupe de Bandiagara	3.058	2	1.529
Continental terminal	7.048	1	7.048
Total Sédimentaire Ouest	**42.345**	**13**	**3.257**

Avec un total de treize stations de suivi piézométrique pour une superficie de 42.345 km², on observe une densité de 1/3.257 km², significativement inférieure aux recommandations minimales des documents-guides de référence. On note une répartition relativement inégale entre formations, avec 4 ouvrages sur la seule formation de Samandeni-Kiébani (SAC2).

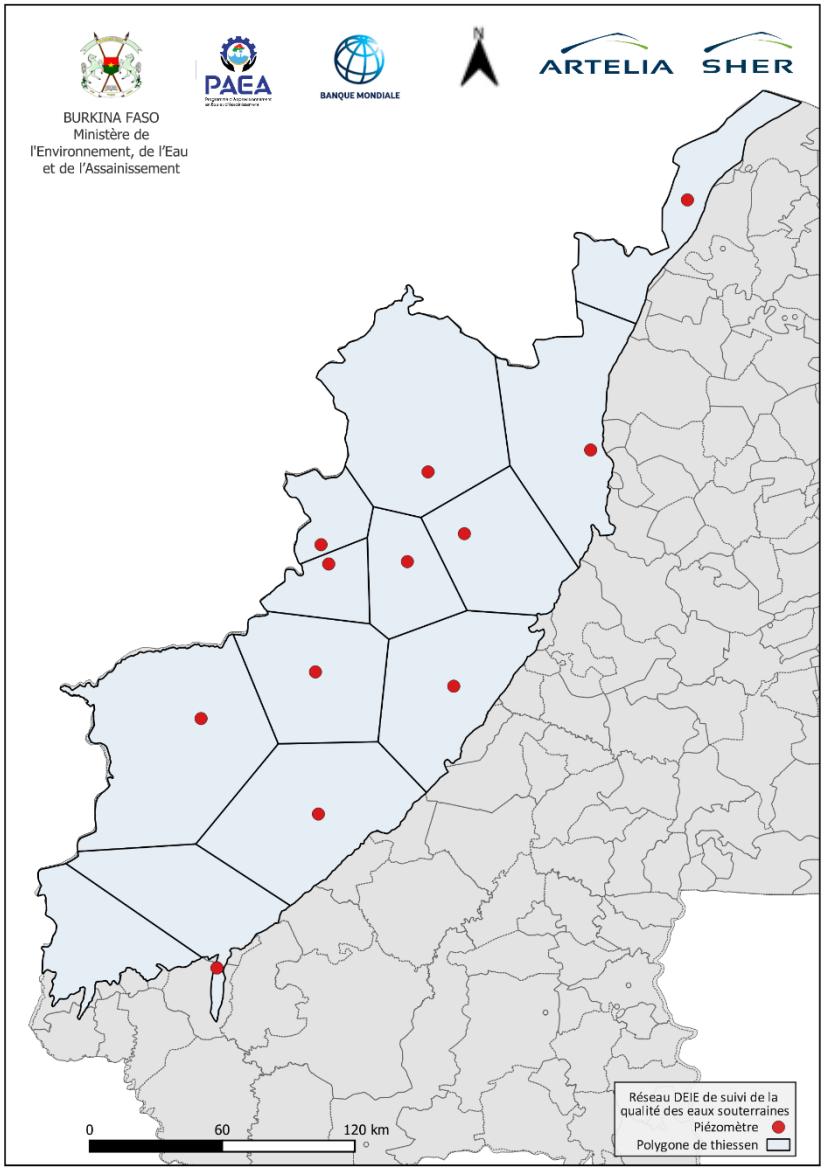
La distribution spatiale se caractérise par un nombre très faible de stations de suivi dans la moitiés Sud de la zone (Hauts Bassins et Cascades), et l'absence de station de suivi dans les formations de Koutiala, Bonvalé et Kawara-Sindou.



Source de données : BNDT 2015, BUMIGEB 2003, DGRE 2021, ARTELIA/SHER 2023

Carte 30 : Distribution spatiale des ouvrages du RNSQES dans le Sédimentaire Ouest

La Carte 31 illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différentes stations localisées dans la zone du Sédimentaire de l'Ouest. A cette échelle aucun polygone ne dépasse une superficie de 6.000 km².



Carte 31 : Zonage de concentration des sites du RNSQES dans le Sédimentaire Ouest

Compte tenu de la très faible densité actuelle de stations de suivi, de leur répartition spatiale très inégale, de la forte exploitation des aquifères, et enfin des potentialités aquifères très favorables de cette zone, il est recommandé de consolider significativement le réseau de suivi de la qualité dans le sédimentaire Ouest, par l'ajout de sites additionnels de suivi. Le nombre et la distribution spatiale actuelle des stations sont en effet peu en adéquation avec les enjeux stratégiques de cette zone pour ce qui concerne l'exploitation des ressources en eau souterraine et le développement socio-économique qui en dépend. De surcroit, les risques de contamination des eaux souterraines dans cette zone sont significatifs, d'une part compte tenu de la vulnérabilité des aquifères rencontrés, et d'autre part compte tenu du développement d'activités économiques pouvant impacter la qualité des nappes (intrants agricoles, et activités industrielles).

E.1.2.3.3. Distribution géographique par entités administratives

La répartition des stations du RNSQES sur base du référentiel administratif des Régions montre une situation déficitaire essentiellement au niveau des régions du Centre-Sud, de l'Est et surtout du Centre-Ouest, avec des densités inférieures à 1/10.000 km² et pouvant atteindre 1/20.000 km² (cf. Tableau 33).

A l'inverse, la région du Centre bénéficie d'une densité la plus élevées, comprises entre 1/1.000 et 1/2.000 km².

Tableau 33 : répartition et densité du RNSQES par Régions

Région	Superficie (km²)	Nombre de stations	Densité (km²/stations)
Cascades	18 285	4	4 571
Mouhoun	34 466	10	3 447
Nord	16 486	5	3 297
Plateau Central	8 593	1	8 593
Centre	2 988	2	1 494
Centre Sud	11 586	1	11 586
Centre-Est	14 492	2	7 246
Est	47 649	4	11 912
Centre-Nord	19 740	2	9 870
Centre-Ouest	21 707	1	21 707
Sahel	35 366	5	7 073
Hauts-Bassins	25 337	4	6 334
Sud-Ouest	16 513	3	5 504
Total BKF	**273 209**	**44**	**6 209**

Tableau 34 – Classes de densités des stations du RNSQES par Régions

Classes de densité (km²/stations)	Régions	Num. Régions
De 1 à 1.000	CENTRE	1
De 1.001 à 5.000	BOUCLE DU MOUHOUN / CASCADES / NORD	3
De 5.001 à 10.000	CENTRE-EST / HAUTS-BASSINS / PLATEAU CENTRAL / SAHEL / SUD-OUEST	6
De 10.001 à 15.000	CENTRE-SUD / EST	2
>15.000	CENTRE-OUEST	1

La *Figure 38* et la Carte 32 illustrent la répartition des stations du RNSQES par Régions.

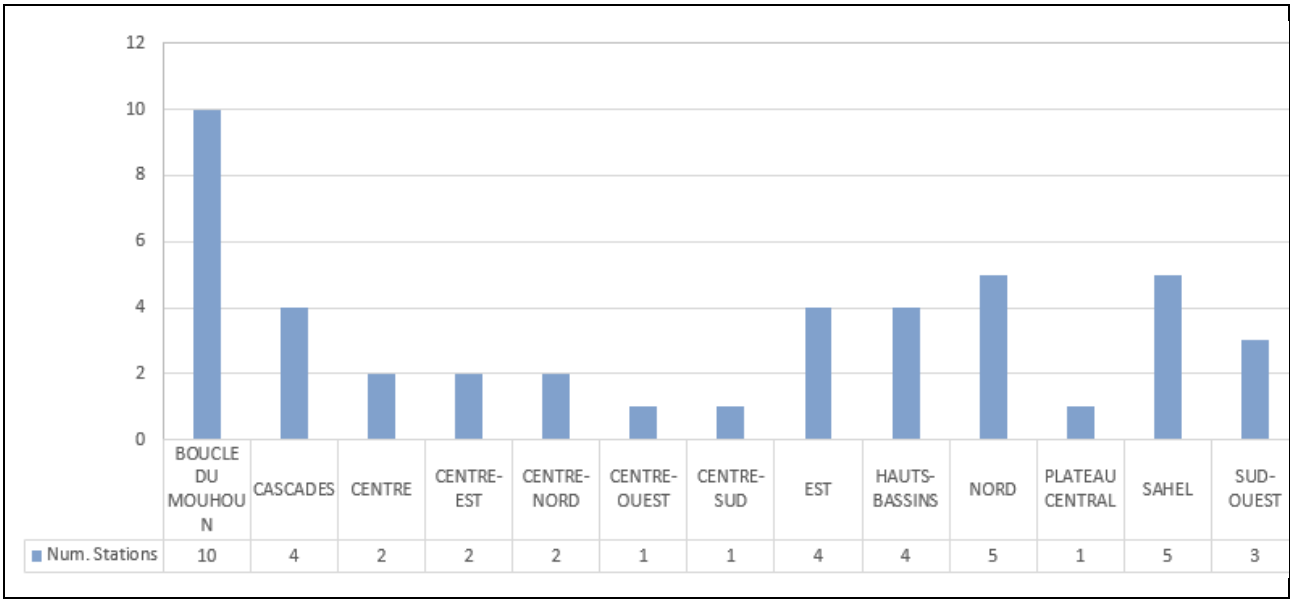
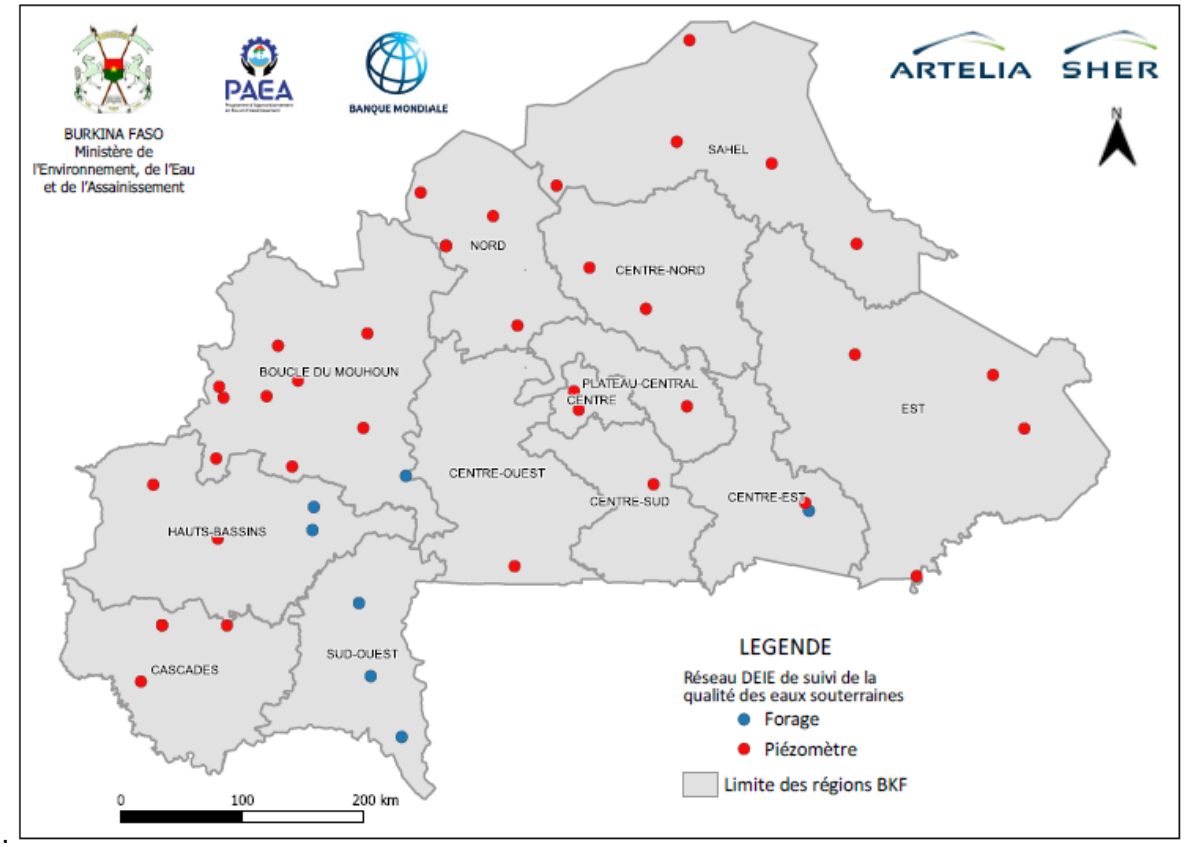


Figure 38 : Statistiques régionales du RNSQES



Carte 32 : Distribution spatiale des stations du RNSQES par Régions

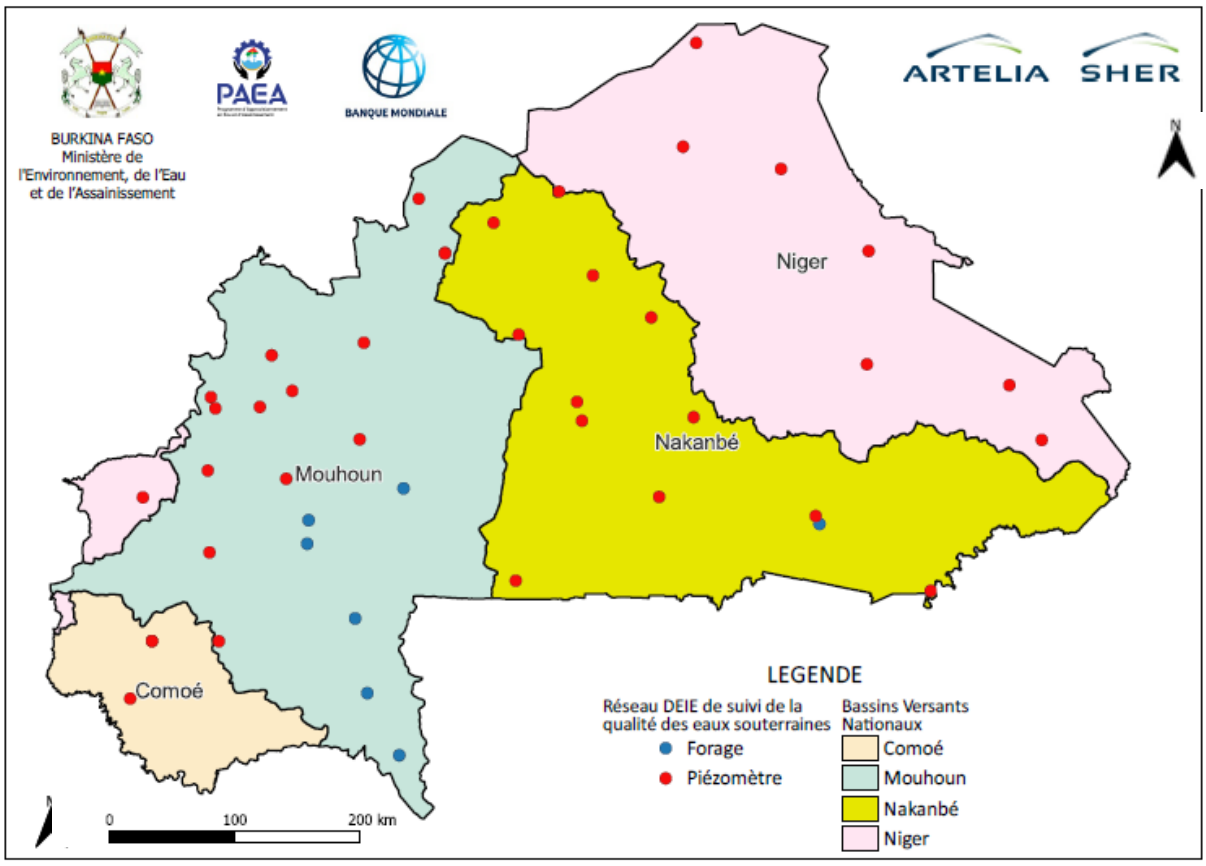
E.1.2.3.4. Distribution géographique par bassins versants nationaux

La distribution des stations du RNSQES par bassins hydrographiques nationaux montre que tous les bassins versants sont couverts, avec néanmoins une situation déficitaire au niveau du bassin-versant du Niger (cf. *Tableau 35*Tableau 15). A l'inverse, le bassin versant du Mouhoun présente la densité de stations la plus élevée et une distribution spatiale relativement homogène.

Tableau 35 – Densité des sites par BV. Nationaux

Bassin Versant National	Superficie (km²)	Nombre de stations	Densité (km²/stations)
Comoé	17.552	3	5.851
Mouhoun	91.386	20	4.569
Nakanbé	81.436	12	6.786
Niger	82.835	9	9.204
Total BKF	**273.209**	**44**	**6.209**

La Carte *33* et la *Figure 39* illustrent la répartition des stations du RNSQES par BV. National.



Carte *33 : Répartition des stations du RNSQES par BV. National*

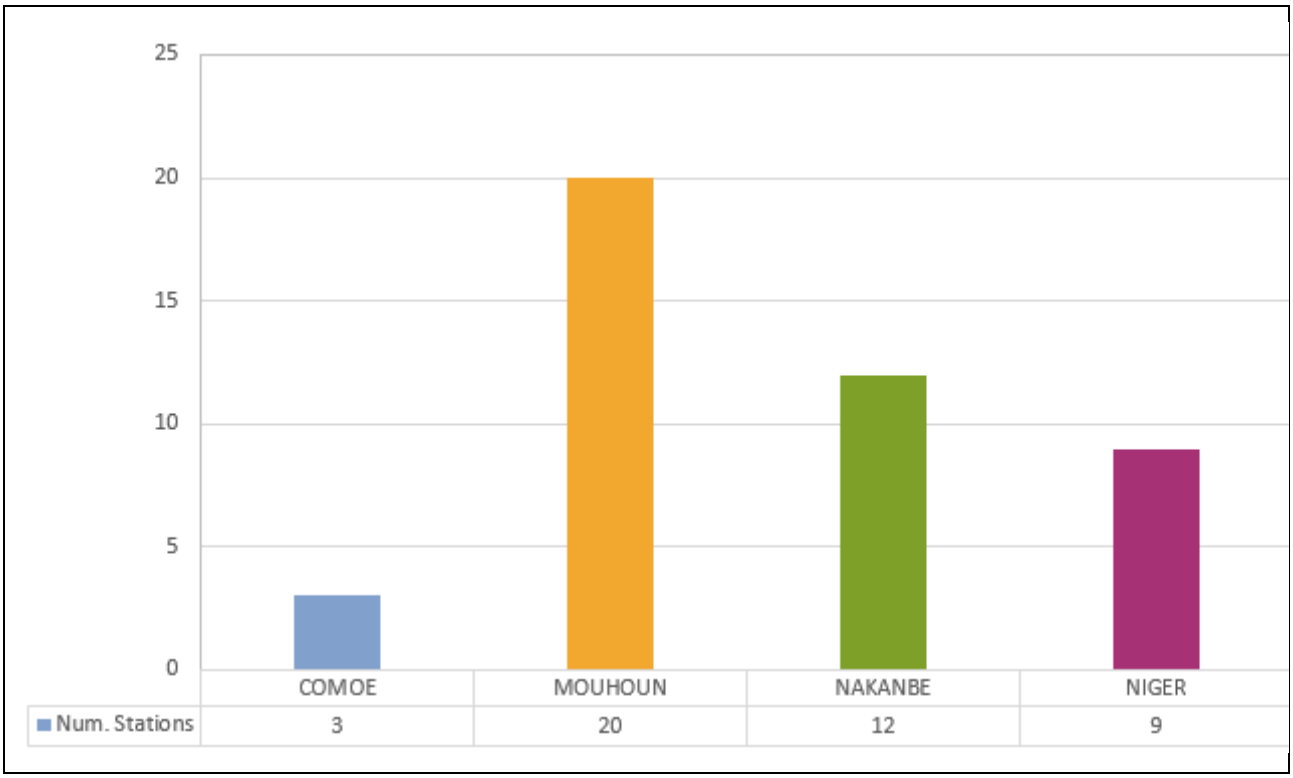


Figure 39 : Statistiques du RNSQES par BV. National

E.1.2.3.5. Distribution géographique par zones climatiques

La distribution des stations du RNSQES prend en compte toutes les zones climatiques (cf. Figure 40 et Carte 34

Carte 34). On observe une faible proportion de points de mesure au niveau de la zone sahélienne, surtout dans sa partie Nord. Néanmoins, deux stations (Pobé-Mengao et Sebba) se trouvent juste en périphérie de la zone.

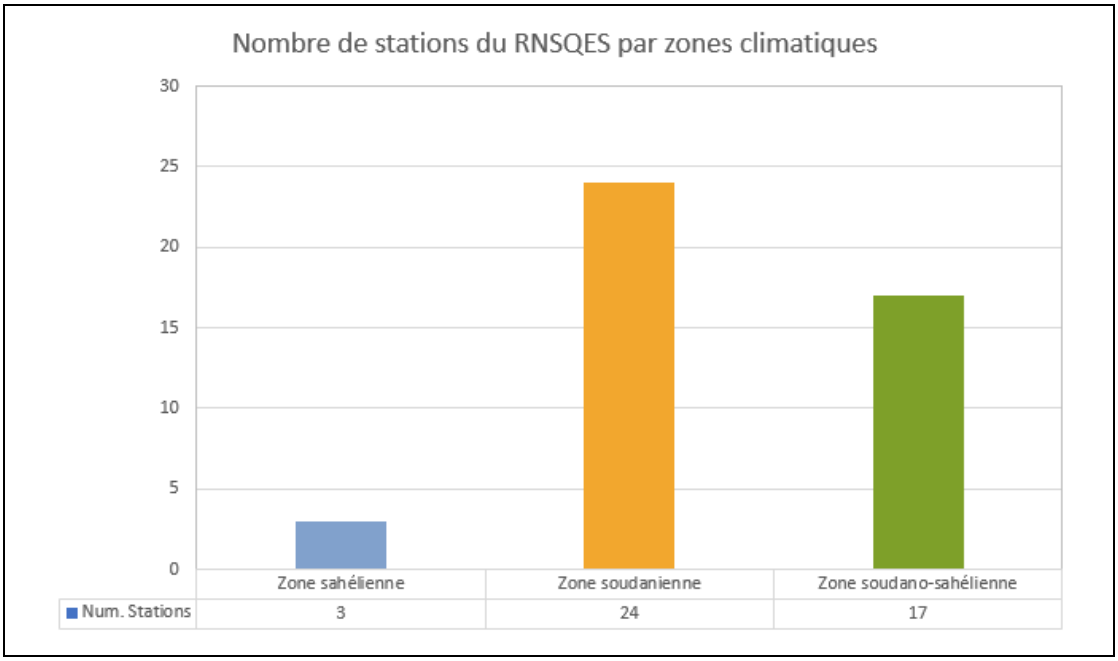
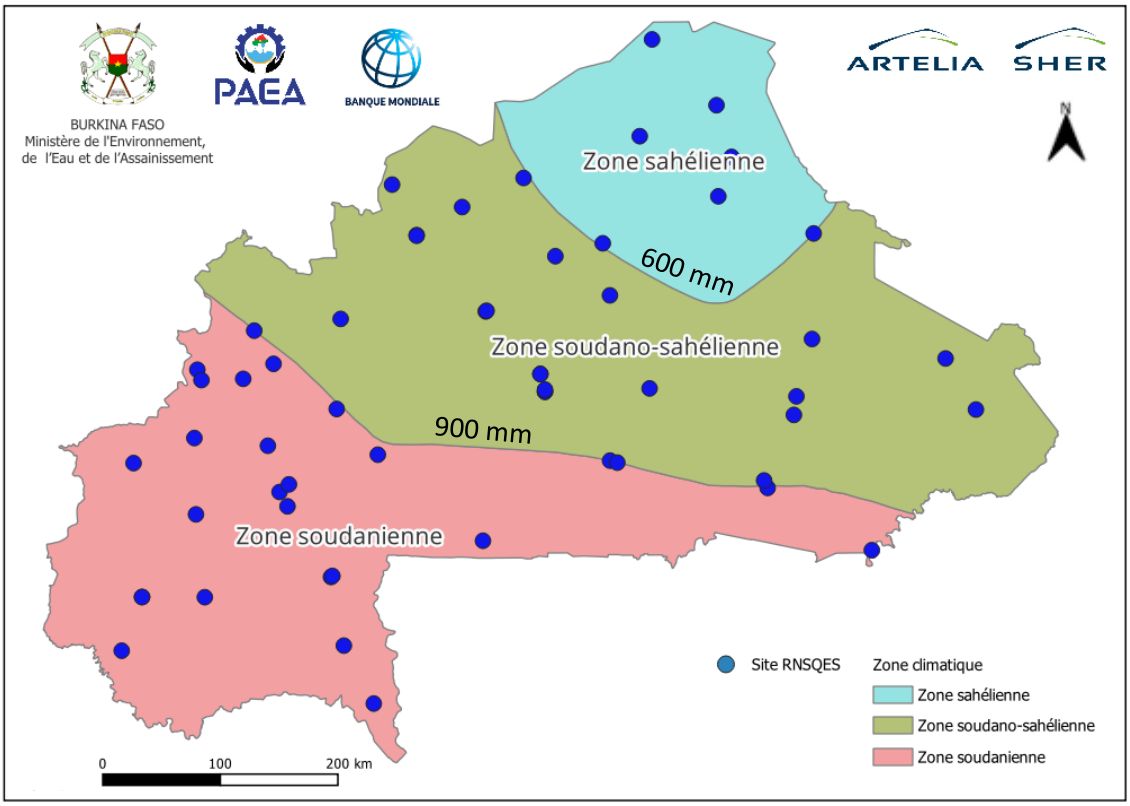


Figure 40 : Statistiques du RNSQES par zones climatiques



Carte 34 : Distribution spatiale des sites du RNSQES par zone climatique

E.1.2.3.6. Distribution géographique en relation avec l'exploitation des aquifères

Bien qu'il s'agisse d'un réseau de suivi homogène (patrimonial) et non d'un réseau d'impact, il parait utile d'évaluer la distribution spatiale des stations du RNSQES au regard de l'exploitation des aquifères.

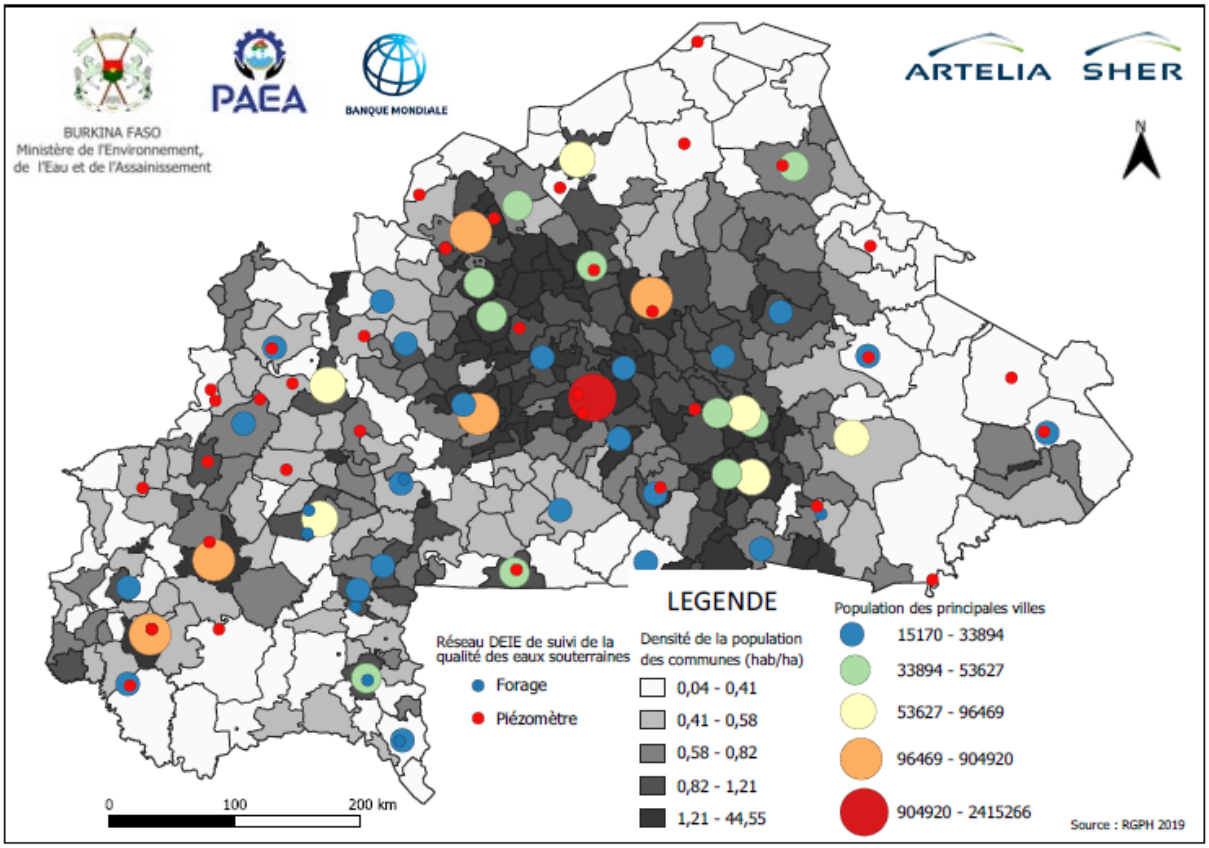
Dans cette optique, les Carte 35 et

Carte 36 illustrent la répartition spatiale des ouvrages suivis en comparaison avec i) la densité d'habitants par commune et la population des principales villes (> 15.000 habitants selon RGPH 2019), et ii) les prélèvements de l'ONEA à partir de forages pour l'AEP.

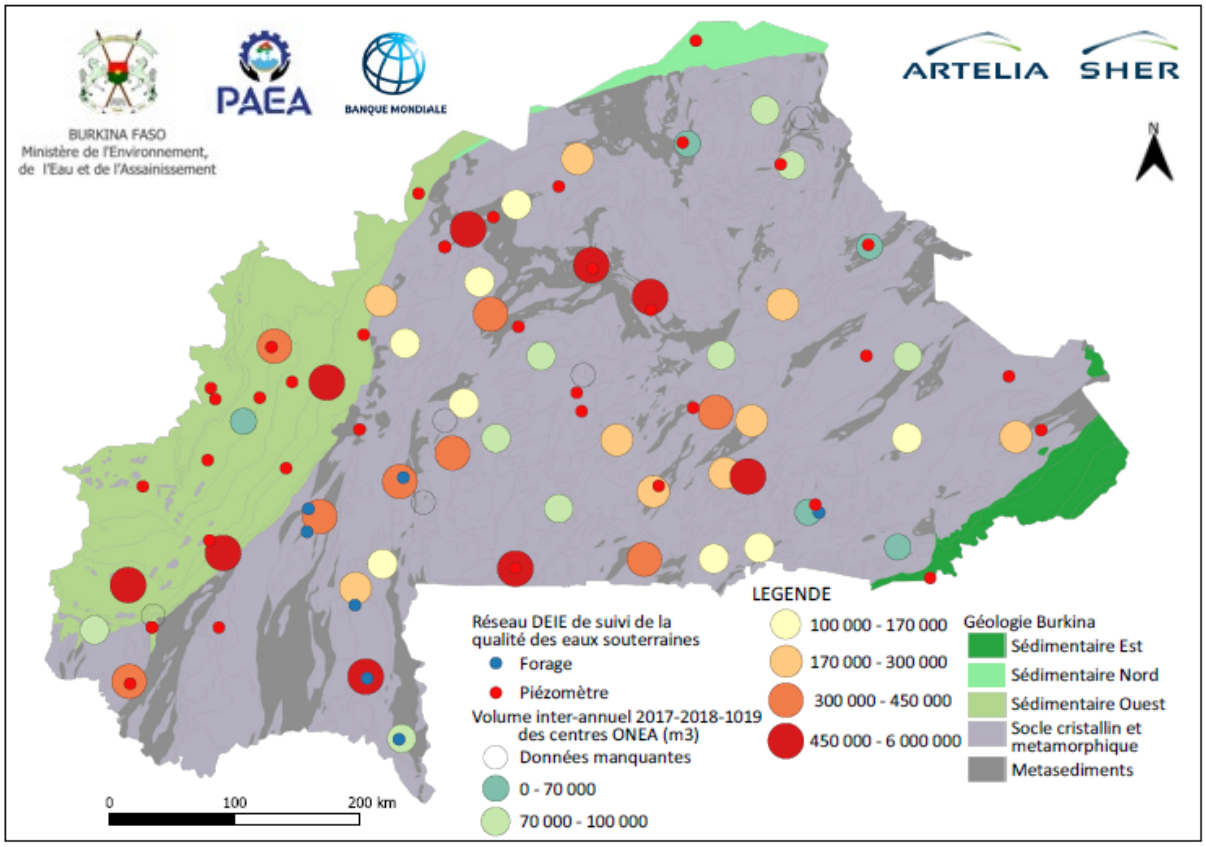
En ce qui concerne la distribution spatiale de la population, on observe une relativement bonne adéquation du RNSQES.

Concernant distribution spatiale des centres ONEA exploitant les eaux souterraines, l'adéquation du RNSQES est relativement bonne, à l'exception des zones jouxtant quelques centres ONEA dont Orodara et Sindou.

Il faut toutefois insister sur le fait que le RNSQES n'a pas vocation à constituer un réseau d'impact.



Carte 35 : répartition des sites du RNSQES selon les foyers de population



Carte 36 : Répartition des sites du RNSQES selon les centres ONEA

E.1.2.3.7. Conclusions sur la densité et sur la distribution spatiale du RNSQES

Le RNSQES a fait l'objet d'une étude d'optimisation en 2018, à l'occasion de l'atelier de « définition d'un réseau optimisé de la qualité des eaux brutes au Burkina Faso », lequel a été organisé par le Service Qualité des Eaux (SQE) de la DGRE dans le cadre de la mise en œuvre du SNIEAU.

Grâce à cette optimisation de 2018, la densité et la distribution spatiale du RNSQES ont pu être significativement améliorées, même si en pratique les campagnes d'échantillonnage menées depuis lors n'ont pas pu intégrer l'ensemble des points retenus.

Les analyses spatiales ont montré une densité de stations de suivi de la qualité des eaux souterraines qui reste inférieure aux recommandations des documents-guides de référence. La densité moyenne à l'échelle nationale est de 1/6.000 km² environ, correspondant à 44 sites de suivi.

La zone de socle cristallin et métamorphique présente 29 sites et une densité de 1/7.500 km² environ, tandis que l'ensemble des zones sédimentaires totalisent 15 sites et une densité de 1/3.500 km² environ.

La méthode de tessellation indique que le RNSQES est réparti de manière inégale, notamment dans la partie Est du pays.

L'optimisation du réseau s'articulera donc sur une amélioration de la densité de sites dans les zones trop faiblement couvertes, et sur une amélioration de l'homogénéité du réseau au regard des différentes zonations étudiées.

E.1.2.4. Paramètres physico-chimiques et biologiques retenus dans le cadre du suivi de la qualité des eaux souterraines

E.1.2.4.1. Paramètres retenus dans le cadre de l'atelier d'optimisation du RNSQES (2018)

Le choix des paramètres à analyser est guidé par leur pertinence soit à caractériser la qualité globale de l'eau, soit à tracer l'origine des pollutions.

Dans le cadre des travaux de l'atelier d'optimisation du réseau national de suivi de la qualité des eaux brutes tenu en 2018, 73 paramètres ont été retenus pour les eaux de surface et les eaux souterraines. La majorité (63) s'appliquent aux eaux souterraines. Ils sont classés en 6 catégories.

Néanmoins, les capacités actuelles du laboratoire de la DGRE ne permettent de suivre que 37 paramètres.

Les paramètres retenus pour le suivi de la qualité des eaux souterraines, tel qu'envisagé lors de l'atelier d'optimisation de 2018, sont reprise en annexe (cf. Q.10). La capacité d'analyse du laboratoire DGRE est indiquée pour chaque paramètre.

La fréquence d'échantillonnage proposée lors de cet atelier d'optimisation 2018 est de 4 campagnes par an, pour l'ensemble des paramètres concernant les eaux souterraines.

E.1.2.4.2. Paramètres effectivement mesurés lors des campagnes d'échantillonnage du RNSQES

Les chroniques de mesures fournies par la DEIE depuis 2012 ont permis d'établir une liste de 35 paramètres effectivement suivis par le SQE. Le Tableau 36 reprend la liste et quelques détails supplémentaires, à savoir :

- Le nombre de campagnes pour lesquelles le paramètre a été effectivement mesuré. Pour rappel, la chronique contient 10 campagnes de suivi (cf. 0)
- La première et la dernière année à laquelle le paramètre a été suivi.

Ces caractéristiques permettent d'appréhender la consistance temporelle et la stabilité de chaque paramètre.

Le tableau montre que tous les paramètres ne sont pas systématiquement mesurés lors de chaque campagne d'échantillonnage menée depuis 2012. Par contre, 9 paramètres sont toujours évalués, il s'agit de la température, le pH, la conductivité électrique, le calcium, les bicarbonates, le sodium, le potassium, le magnésium et la turbidité.

La Figure 41Figure 41 illustre l'évolution du nombre de paramètres suivis par année (une année peut supposer plusieurs campagnes). Une baisse du nombre de paramètres mesurés est constatée en 2021 et 2022 par rapport à l'année 2020.

Il faut souligner qu'aucune analyse de bactériologie n'est effectuée, compte tenu de la durée des tournées sur le terrain (1 semaine) et de la non-disponibilité de tests rapides de type IDEXX.

En ce qui concerne la fréquence d'échantillonnage, le nombre de campagnes est passé de 1 à 2 par an depuis 2020. Les périodes de prélèvement retenues sont mai-juin et octobre-novembre. A l'heure actuelle, la fréquence de visites est donc largement inférieure aux conclusions de l'atelier de renforcement du RNSQES de 2018 (4 campagnes/an)

Tableau 36 : Paramètres effectivement mesurés depuis 2012 lors du suivi de la qualité des eaux souterraines

Aluminium - 1 campagnes (2013)		Manganèse - 5 campagnes (2012 - 2020)
Ammonium - 2 campagnes (2012 - 2013)		Matières en suspension - 1 campagnes (2013)
Arsenic - 4 campagnes (2013 - 2020)		Nitrates - 9 campagnes (2012 - 2022)
Bicarbonates - 10 campagnes (2012 - 2022)		Nitrites - 3 campagnes (2012 - 2016)
Cadmium - 3 campagnes (2016 - 2020)		pH - 10 campagnes (2012 - 2022)
Calcium - 10 campagnes (2012 - 2022)		Phosphate - 9 campagnes (2012 - 2022)
Carbonates - 2 campagnes (2012 - 2013)		Phosphore Total - 1 campagnes (2013)
Chlorure - 9 campagnes (2012 - 2022)		Plomb - 4 campagnes (2013 - 2020)
Chrome - 4 campagnes (2013 - 2020)		Potassium - 10 campagnes (2012 - 2022)
Conductivité électrique - 10 campagnes (2012 - 2022)		Sodium - 10 campagnes (2012 - 2022)
Cuivre - 4 campagnes (2016 - 2020)		Sulfate - 9 campagnes (2012 - 2022)
Cyanure - 1 campagnes (2013)		Température - 10 campagnes (2012 - 2022)
Dureté Calcique - 1 campagnes (2013)		Titre Alcalimétrique - 2 campagnes (2012 - 2013)
Dureté totale - 5 campagnes (2012 - 2020)		TAC - 6 campagnes (2012 - 2020)
Fer - 2 campagnes (2016 - 2017)		Total des solides Dissous - 2 campagnes (2012 - 2013)
Fer total - 3 campagnes (2012 - 2016)		Turbidité - 10 campagnes (2012 - 2022)
Fluorure - 2 campagnes (2012 - 2013)		Zinc - 5 campagnes (2012 - 2020)
Magnésium - 10 campagnes (2012 - 2022)		

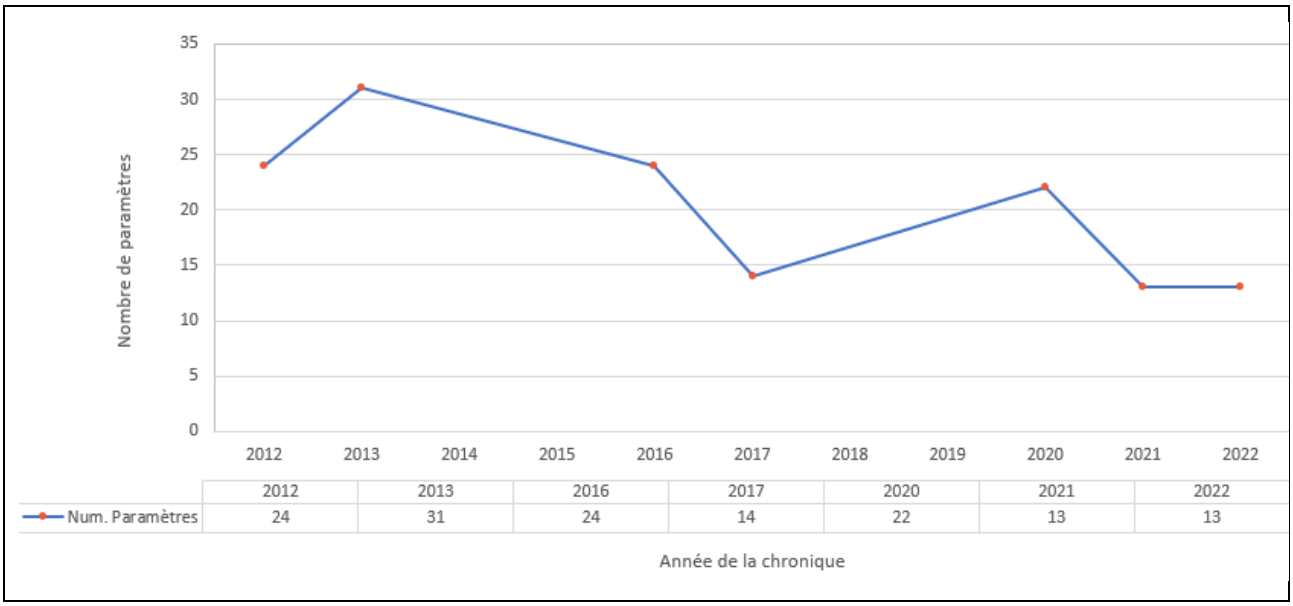


Figure 41 : Evolution du nombre de paramètres physico-chimiques par années de suivi

E.1.2.5. Acquisition des données sur le terrain

L'ensemble du processus d'acquisition des données de suivi de la qualité des eaux brutes est pris en charge par le Service Qualité des Eaux (SQE) de la DGRE. Ce service réalise les campagnes d'échantillonnage des eaux sur le terrain, les mesures in-situ, les prélèvements pour analyse en laboratoire, le transport des échantillons, l'analyse des échantillons au laboratoire de la DGRE, l'encodage des données, et la production de rapports annuels relatifs à la qualité de l'eau.

Le SQE de la DGRE compte actuellement 5 techniciens. Les campagnes de suivi sont généralement réalisées par deux équipes (2 techniciens et un chauffeur par équipe). Les déplacements sur site et le transport des échantillons sont réalisés depuis/vers Ouagadougou, avec un véhicule 4x4 plateau multi-usage de la DGRE. Il ne s'agit donc pas de véhicule dédié au SQE et il n'est pas spécialement aménagé à cet effet.

Les prélèvements dans les piézomètres sont généralement réalisés à l'aide d'une pompe de prélèvement (pompe électrique 12V), après stabilisation des paramètres in-situ (pH, CE). En cas de problème de disponibilité ou de fonctionnement de la pompe, les prélèvements sont réalisés manuellement à l'aide d'un tube lesté et donc sans purge du piézomètre.

Les prélèvements en forage sont réalisés en utilisant la PMH qui équipe les forages intégrés au réseau de suivi, après stabilisation des paramètres in-situ (pH, CE).

Le SQE dispose de 2 kits opérationnels de mesures in-situ (sondes multi-paramètres), permettant la mesure directe de température, pH, conductivité électrique et oxygène dissous, ainsi que la turbidité (pour les eaux de surface). L'étalonnage des sondes n'est pas effectué régulièrement.

Les échantillons prélevés sont conservés en glacière durant la tournée d'échantillonnage et durant le transport vers le laboratoire DGRE.

E.1.2.6. Analyses en laboratoire

Les analyses sont entièrement réalisées au laboratoire d'analyse des eaux brutes de la DGRE, par les techniciens du SQE. Un contrôle qualité des résultats est établi sur base de la balance ionique, et par l'étalonnage périodique des équipements du laboratoire.

Capacités techniques du laboratoire d'analyse des eaux brutes de la DGRE

Les capacités du laboratoire DGRE sont décrites en détail dans le rapport « Etat des lieux et plan d'opérationnalisation du laboratoire d'analyse des eaux brutes de la DGRE » (BERAC, 2019).

L'équipement du laboratoire a été effectué progressivement suivant les étapes de son évolution. L'ensemble des équipements ont été acquis en trois périodes sur financement de bailleurs de fond et sur fond propre de l'Etat Burkinabè :

- Le premier lot d'équipement a été acquis sous financement de l'AEIA en juin 2005.
- Le deuxième lot d'équipement a été acquis sous budget de l'Etat en 2011.
- Le troisième et dernier lot d'équipement a été acquis sous financement du MCA en 2012.

Un inventaire de l'ensemble des équipements disponibles dans le laboratoire a été réalisé lors de l'étude d'état des lieux de 2019. Les principaux équipements inventoriés sont repris dans le Tableau 37.

Tableau 37 : Principaux équipements du laboratoire DGRE

DESIGNATION	QUANTITE	UTILISATION
Chromatographe en phase gazeuse	2	Pesticides organochlorés et organophosphorés
Chromatographe ionique	1	Cations & anions
Spectrophotomètre d'absorption atomique	1	Métaux de base Pb, Mn, Cd, As, Cu, Al, K, Mn, Ca, ZN, Ni, Cr
Hôte à flux laminaire 120 CM Réf 4802	3	Manipulation de produits dangereux (heptane, chloroforme)
Réfrigérateur	2	Conservation des échantillons
Congélateur	2	
Bouteille d'acétylène	2	Analyser les métaux lourds
Bouteille d'argon	2	
Bouteille d'azote	2	Analyser les métaux lourds
Bouteille protoxyde d'azote	1	
Bouteille d'hydrogène	1	Analyser les métaux lourds
Evaporateur rotatif	1	Concentrateur d'extraits de pesticides
DR3900	1	Ions majeurs (cyanure)
Bain marie Thermostater	1	Préparation des milieux de culture
Balance électronique de précision	2	Mesure du poids de réactifs et échantillons d'eau
STERIL VBH	1	Filtration échantillons d'eaux de consommation et d'eaux brutes
Bainmarie de marque humeau	1	Stérilisation
Etuve	3	Ensemencement microbiologique
Conductivimètre portatif	7	Mesure de la conductivité
PHmètre portatif	6	Mesure du Ph
Turbidimètre portatif	4	Mesure de la turbidité
Multimètre	1	pH, cond, turb, O2 dissout

Source : BERAC, 2019

La liste des paramètres analytiques du laboratoire de la DGRE, telle que reprise dans l'inventaire réalisé lors de l'état des lieux de 2019, est reprise en annexe du présent rapport (cf. Q.11).

La DEIE déclare que ne pas disposer d'un protocole ni de mécanisme de validation des prises de mesures, si ce n'est la balance ionique qui permet certains contrôles.

Le lecteur se réfèrera à la bibliographie « Etat des lieux et plan d'opérationnalisation du laboratoire d'analyse des eaux brutes de la DGRE » (BERAC, 2019) pour une description plus complète des capacités du laboratoire de la DGRE

D'un point de vue budgétaire, on notera qu'il n'y a pas de ligne budgétaire spécifique allouée au SQE ni en particulier au laboratoire de la DGRE. Les investissements et frais de fonctionnement liés aux tournées de suivi et aux analyses en laboratoire sont imputés sur le budget général de la DGRE.

E.1.2.7. Modalités d'encodage et de stockage des données

Les mesures de qualité menées in-situ ou en laboratoire sont encodées dans un fichier MS.Excel après chaque campagne. Suivant les données reçues de la part de la DEIE, le fichier MS.Excel comporte plusieurs feuilles et chaque feuille correspond à une année civile. Dans le cas où plusieurs campagnes d'échantillonnage sont menées los d'une même année, la feuille reprend deux tableaux avec les mesures de chaque campagne (cf. Figure 42). Les paramètres mesurés sont présents en colonnes et les points d'échantillonage en ligne.

	Porvine	Commune	Village	Libellé des points d'eau	Latitude	Longitude	T°C	pH
Eau souterraine Juillet 2020	Cascades	Niangoloko	Niangoloko	Piézomètre Niangoloko	10°16'11,0"N	04°54'02,6"W	31,4	5,63
	Cascades	Banfora	Nafona	Piézomètre Nafona F1	10°40'55,5" N	04°44'40,9"W	30,1	7,58
	Cascades	Banfora	Nafona	Piézomètre de Nafona F2	10°40'55,8"N	04°44'40,4"W	30,5	7,67
	Tuy	Houndé	Dohoun	Forage de Dohoun	11°32'51,8"N	03°36'08,8"W	30,9	7,16
Eau souterraine Novembre 2020	Porvine	Commune	Village	Libellé des points d'eau	Latitude	Longitude	T°C	pH
	Cascades	Niangoloko	Niangoloko	Piézomètre Niangoloko	10°16'11,0"N	04°54'02,6"W	31,4	5,79
	Cascades	Banfora	Nafona	Piézomètre Nafona F1	10°40'55,5" N	04°44'40,9"W	28,7	7,01
	Cascades	Banfora	Nafona	Piézomètre de Nafona F2	10°40'55,8"N	04°44'40,4"W	28,4	6,88

2012 2013 2016 2017 2020

Figure 42 : Structure du fichier de saisie des mesures SQES

Plusieurs remarques peuvent être soulevées suite à l'analyse du fichier d'encodage des données :

- Le nombre et surtout l'ordre des colonnes (paramètres) varient d'une feuille à l'autre, ce qui présente une difficulté lorsque le gestionnaire souhaite réaliser une compilation multi-annuelle des données et analyser la série temporelle globale.
- La manière d'identifier les points d'échantillonnage varie d'une feuille à l'autre. Dans certains cas, l'ouvrage est spécifié dans la colonne « village », et peut reprendre ou non la référence du piézomètre (2012 et 2013). Dans d'autres feuilles, le type d'ouvrage est indiqué en attribut ou encore dans une seule colonne de type « site de mesure » ou « libellé des points d'eau ».
- Un même point de mesures n'est pas toujours libellé de la même façon et le fichier ne comporte pas d'identifiant unique pour singulariser les points d'échantillonnage.
- Dans le cas de plusieurs campagnes la même année, le fait d'avoir deux tableaux par feuille pose problème car il devient compliqué de faire des statistiques et des filtres globaux.

Les encodages sont réalisés par l'équipe du SQE de la DGRE. Aucun contrôle qualité de l'encodage n'est réalisé de manière formelle. Les fichiers d'encodage ne disposent pas de masques de saisie, ni de valeurs contraintes associées aux champs d'encodage des résultats d'analyses.

Dans sa réponse au questionnaire d'enquête élaboré par le Groupement en début de projet (20/01/2021), le SQE a déclaré qu'une base de données de type MS.Access très sommaire avait été conçue par un agent de la DEIE mais ne constituait qu'un palliatif et n'avait pas la capacité de répondre aux besoins de traitement du Service. Le Groupement n'a pu récupérer ce fichier.

E.1.2.8. Exploitation et diffusion des données

D'une manière générale, les données relatives au suivi périodique de la qualité des eaux brutes (eaux de surface et eaux souterraines) font l'objet d'un rapport de synthèse annuel.

On notera également l'élaboration de rapports plus approfondis d'état des lieux de la qualités des eaux brutes établis par bassin versant. Deux rapports ont été produits : celui du Nakanbé (DGRE, 2017) et celui du Mouhoun (DGRE, 2020).

E.1.2.9. Analyse des données disponibles

Les chroniques relatives au suivi de la qualité des eaux souterraines ont été collectées et nettoyées. La présente section se consacre à leur analyse.

Les chroniques de mesures se réalisent au niveau des points d'échantillonnage du RNSQES. En unifiant toutes les mesures de paramètres, la série temporelle disponible sur le RNSQES s'étend de juillet 2012 à novembre 2022 (11 années). Toutefois, 4 années sont totalement manquantes : 2014, 2015, 2018 et 2019.

Le nombre de campagnes par années est passé de 1 à 2 suite à la proposition de renforcement de 2018. Les résultats des analyses sont disponibles pour chacune des campagnes menées en 2020, 2021 et 2022.

Tous les points d'échantillonnage faisant partie du RNSQES ne sont pas suivis à chaque campagne ni même pour chaque année. Le Tableau 38 indique le nombre de stations par campagnes. La Figure 43 globalise les résultats par années civiles en considérant le nombre maximum de stations échantillonnées.

Tableau 38 : Nombre de stations du RNSQES par campagnes

Campagne	Nombre de points d'échantillonnage		Campagne	Nombre de points d'échantillonnage
2012	7		Juillet 2020	17
2013	5		Novembre 2020	17
2016	9		Juillet 2021	19
2017	8		Novembre 2021	21
			Juillet 2022	16
			Novembre 2022	14

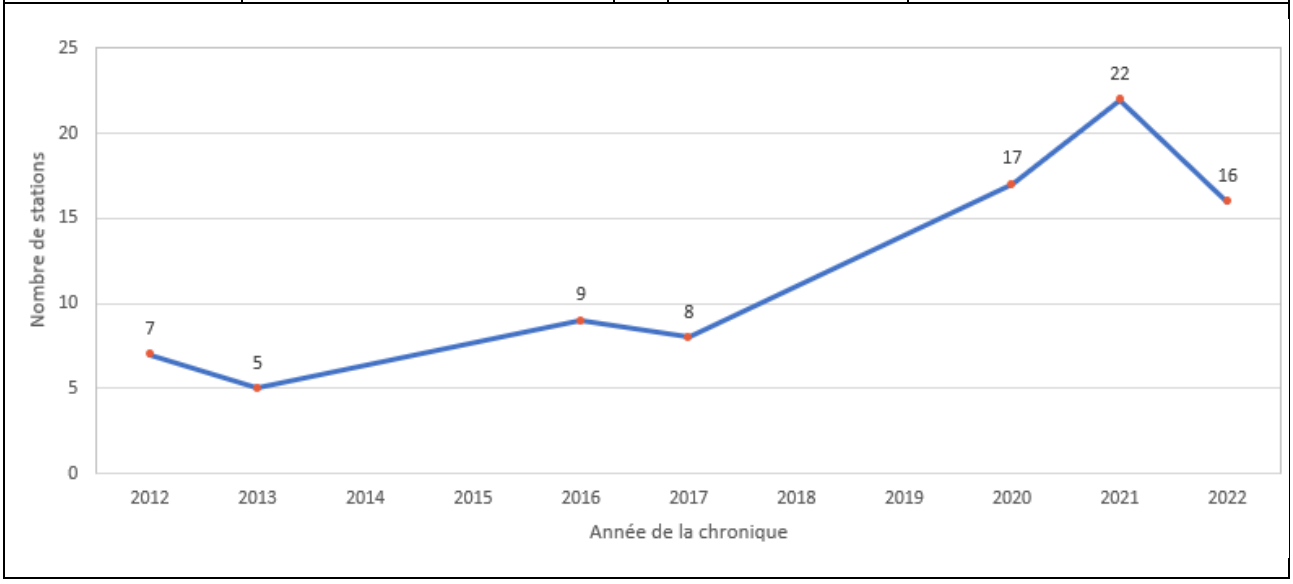


Figure 43 : Nombre de stations du RNSQES par années de suivi

Avant le renforcement de 2018, le RNSQES se composait de 11 stations. Lors de la campagne de 2016, 8 stations (72% du réseau) ont été suivies. A cette occasion, un piézomètre retenu dans la politique de renforcement de 2018 avait déjà fait l'objet d'un suivi.

Depuis le renforcement, 22 points d'échantillonnage différents (50% du RNSQES) ont fait l'objet d'au moins une campagne de suivi. L'année 2021 a permis de suivre l'ensemble des 22 points. Même si une baisse est constatée en 2022, et bien que la moitié des stations du RNSQES ne soit jamais échantillonnée, il apparait que les décisions prises lors de l'atelier réalisé en 2018 ont permis une augmentation du nombre de points suivis.

Le Tableau 39 reprend quelques caractéristiques significatives en lien avec le nombre de points d'échantillonnage du RNSQES suivis par la DEIE sur base des chroniques.

Tableau 39 : Statistiques de suivi du RNSQES par stations

Statistiques	Nombre de stations
Total des stations du RNSQES	44
Nombre de stations du RNSQES suivies au moins une fois entre 2012 et 2022	25
Nombre de stations du RNSQES qui n'ont jamais été suivies entre 2012 et 2022	19
Nombre de stations du RNSQES suivies au moins une fois entre 2020 et 2022	22
Nombre de stations du RNSQES qui n'ont jamais été suivies entre 2020 et 2022	22
Nombre de stations du RNSQES qui ont arrêté d'être suivies après 2018	3
Nombre de stations du RNSQES ayant été suivies durant toutes les campagnes entre 2020 et 2022 (6 campagnes)	11
Nombre de stations du RNSQES ayant été suivies durant toutes les campagnes disponibles (2012 à 2022 - 10 campagnes)	0 Les stations de Basseko F2 et Niangoloko F2 sont les plus suivies avec 9 campagnes

La Figure 44 et la Carte 37 illustrent le RNSQES symbolisé par le nombre de campagnes de suivi entre 2020 et 2022. Pour rappel, 6 campagnes ont été menées au cours de cette période (2*/an). En se référant aux statistiques ci-dessus, on constate que les 11 stations ayant fait l'objet d'un suivi continu ces 3 dernières années se trouvent en zone de socle, exceptés les deux piézomètres de Nafona.

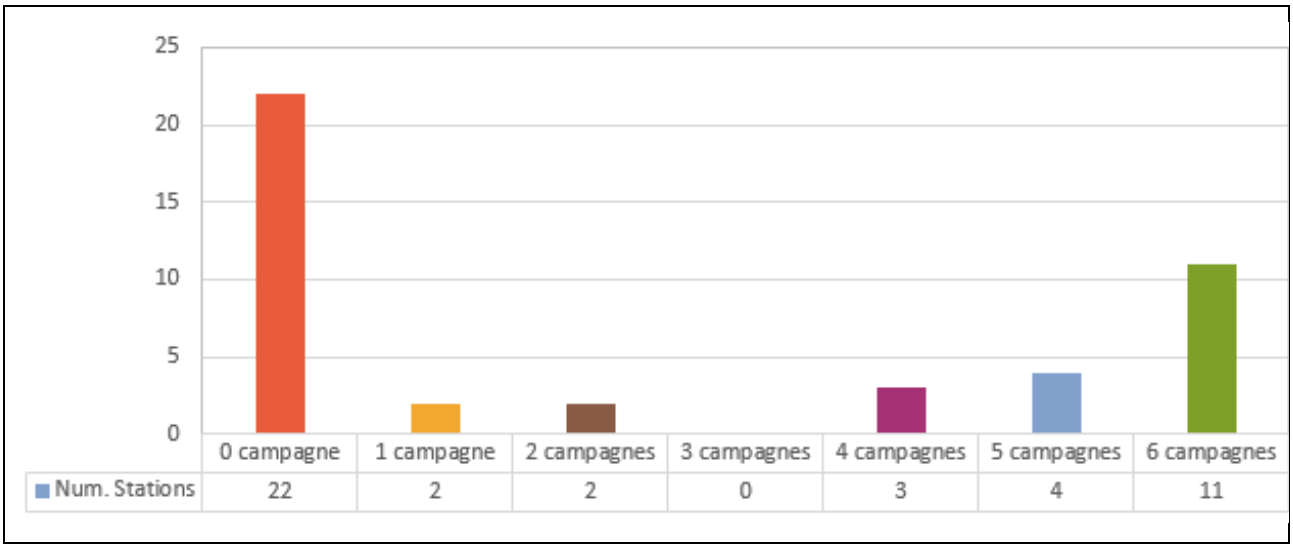
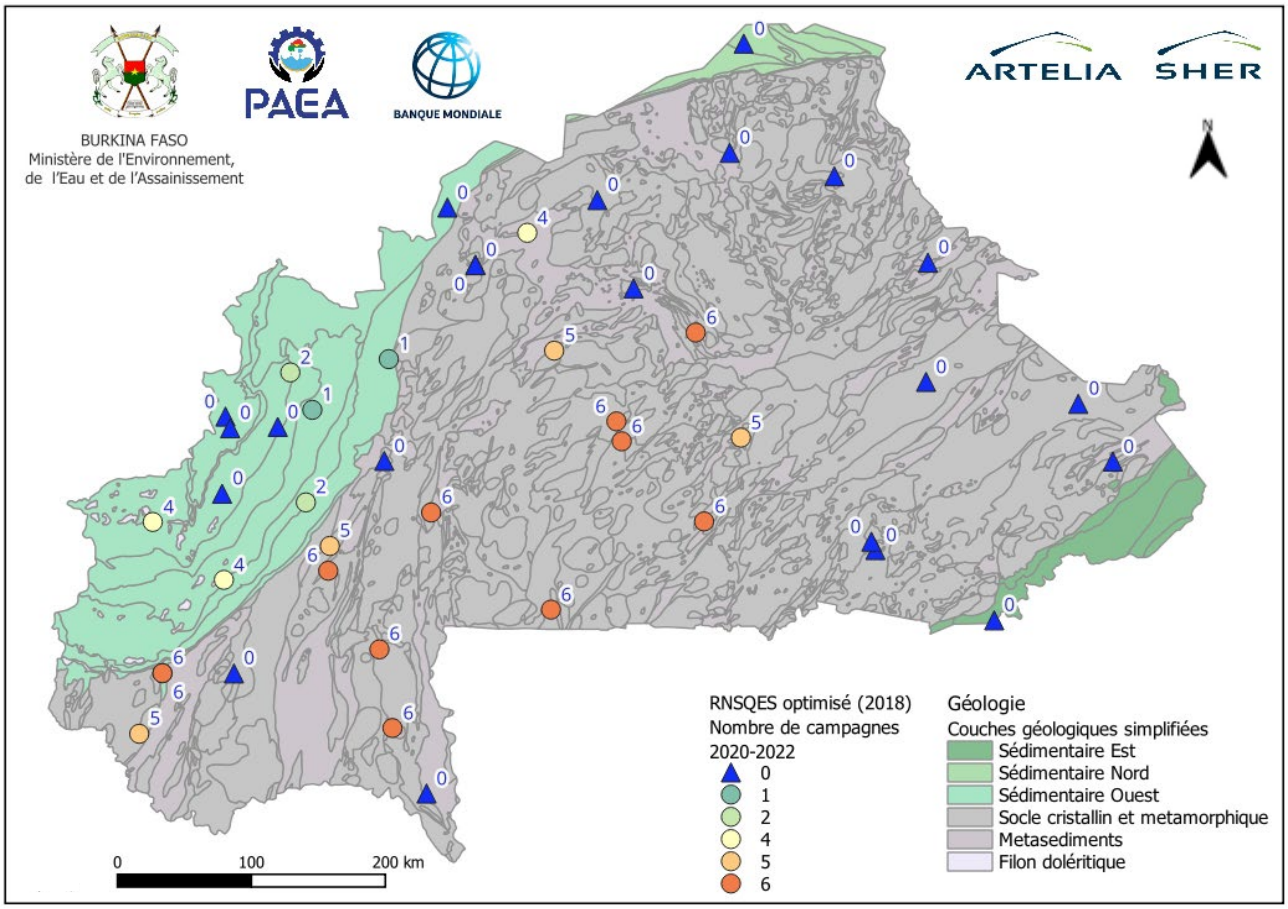


Figure 44 : Nombre de stations du RNSQES en fonction du nombre de campagnes d'échantillonnage (période 2020-2022)



Carte 37 : Distribution des sites du RNSQES par nombre de campagnes de suivi

Une fois nettoyée, la chronique du RNSQES reprend 2.711 mesures, toute campagne et tout paramètre confondu. En considérant les 3 dernières années disponibles (2020-2022), chaque station aurait dû, en théorie, faire l'objet de 96 mesures (22 paramètres en 2020 et 13 paramètres en 2021 et 2022, avec chaque fois 2 campagnes). C'est le cas pour les 11 stations ayant été suivis durant les 6 campagnes. Cela signifie que non seulement ces ouvrages apparaissent tout au long de la série temporelle, mais aussi que tous les

paramètres au sein de chaque année de série ont été évalués.

Plus globalement, tous les paramètres physico-chimiques planifiés entre 2020 et 2022 ont effectivement été mesurés, ce qui n'était pas le cas auparavant (ex. en 2016, les teneurs en Nitrites, Calcium, Magnésium, Sulfates, etc. n'ont pas été évaluées pour toutes les stations).

Etant donné les analyses précédentes, le nombre de mesures disponibles par année est dépendant du nombre de stations suivies (cf. Figure 43), du nombre de paramètres évalués (cf. Figure 41 Figure 41) et du nombre de campagnes planifiées. Ces variables ont déjà été analysées séparément. Le Tableau 40 présente une vue synthétique de ces statistiques et associe le nombre de mesures disponibles annuellement. L'Annexe Q.8 propose en outre une vue synoptique des statistiques de suivi pour chaque station du RNSQES.

Tableau 40 : Statistiques globales du RNSQES par années

Année de suivi	Nombre de campagnes	Nombre de stations suivies	Nombre de paramètres évalués	Nombre de mesures effectuées
2012	1	7	24	168
2013	1	5	31	155
2016	1	9	24	175
2017	1	8	14	110
2020	2	17	22	748
2021	2	22	13	520
2022	2	16	13	390

E.1.3. Conclusions sur le diagnostic du RNSQES

Au terme de la phase de diagnostic, le réseau de suivi de la qualité des eaux souterraine est bien connu.

Le RNSQES actuel (optimisation 2018) se compose de 44 stations. Celles-ci ont été extraites des données brutes et du croisement avec les chroniques de mesure. D'une manière générale, on constate des décalages entre les fichiers reprenant la situation du réseau et les stations qui sont effectivement échantillonnées sur le terrain. Le Groupement a souhaité rester fidèle aux principes de sélection appliqués par la DEIE lors du renforcement du réseau en 2018 mais a également tenu à transcrire la situation telle que suivie sur le terrain. Dès lors, il a privilégié certaines stations suivies au détriment d'autres, situées à proximité mais n'ayant jamais été échantillonnées.

Les distributions globales montrent que le RNSQES n'est pas distribué de façon homogène sur le territoire national, ce qui limite la connaissance exhaustive de la qualité des eaux souterraines dans les différents contextes hydrogéologiques. D'autre part, 50% seulement des stations du RNSQES ont fait l'objet d'un suivi. Une augmentation significative du nombre de stations échantillonnées est toutefois à noter depuis 2018.

Le SQE de la DEIE est le seul acteur actif dans le processus de contrôle de la qualité des eaux souterraines. Il se charge d'effectuer les mesures physico-chimiques aussi bien sur site qu'en laboratoire. Ce dernier est capable d'absorber un certain nombre de paramètres mais reste limité par rapport aux exigences exprimées lors de l'atelier de renforcement de 2018. Toutefois, cette liste est beaucoup trop ambitieuse, non seulement au regard de l'équipement disponible mais aussi par rapport à la pertinence de certains indicateurs, qui ne sont évalués que ponctuellement.

Le nombre de campagne a évolué depuis 2018 en passant à deux visites fixes par an. Il s'agit d'une évolution positive et qui est conforme aux recommandations. Le nombre de campagnes envisagées lors de l'atelier de 2018 (4/an) ne nous parait par contre pas justifié.

La manière de compiler les mesures effectuées est basique. Elle se base sur un encodage dans un fichier MS.Excel constitué de plusieurs feuilles. Cela est suffisant pour conserver la donnée mais ne permet pas de l'exploiter au mieux. Il n'y a pas de lien réalisé avec la cartographie. En général, les données sont peu interprétées et critiquées. Il n'y a pas de système de base de données existant au niveau du SQE, même si des initiatives spontanées ont été rapportées. Cela traduit la volonté de l'équipe d'évoluer vers des systèmes plus aboutis.

E.2. Autres suivis de la qualité des eaux souterraines

Pour la potabilité des eaux de boisson, seul le suivi réalisé l'ONEA est fonctionnel, mais il ne concerne que les ouvrages exploités par l'ONEA.

Sur ses ouvrages, l'ONEA indique qu'un suivi trimestriel de l'eau brute des forages et des sources est réalisé et que les résultats sont consignés dans une base de données. Cela représente un nombre conséquent de stations (2 sources et 704 ouvrages ONEA), qui nécessite un mécanisme de décentralisation pour être suivi à une telle fréquence. Le groupement a demandé la base de données à l'ONEA (25/08/2023) mais ne l'a pas obtenue avant la finalisation du rapport. Dès lors, la fiabilité des résultats de ces analyses demeure incertaine en l'absence de procédures de contrôle des analyses ou d'accréditation des laboratoires privés s'appuyant sur des procédures de prélèvement, de transport, de stockage et d'analyse établies et contrôlées.

Le suivi de la qualité des eaux réalisé par le Ministère en charge de l'Environnement, à travers son Laboratoire National d'Analyse des Eaux (LNAE), porte essentiellement sur les eaux polluées. Il est recommandé que le LNAE et la DGRE se concertent pour coordonner efficacement leurs activités en matière de suivi de la qualité de l'eau, ce qui devrait être facilité depuis la mise en place du MEEA. En l'état actuel, le LNAE s'occupe surtout de détecter les sources de pollution et il revient à la DGRE d'assurer le suivi général de la qualité des eaux brutes à travers un réseau national de suivi établi à cet effet.

E.3. Aperçu de l'évolution temporelle de la qualité des eaux souterraines

Suivant le Tableau 39, les deux stations les plus suivies de la chronique sont Basseko F2 (Centre) et Niangoloko F2 (Cascades). Elles ont fait l'objet de 9 campagnes d'échantillonnage sur les 10 possibles. Etant donné que plusieurs paramètres ont été évalués pour la majorité des campagnes (cf. Tableau 36), cela permet de construire des séries temporelles de la qualité des eaux souterraines pour chaque station et un paramètre donné.

La Figure 45Figure 45 illustre à titre d'exemple le suivi de la conductivité électrique (µS/cm) pour les stations de Basseko F2 et Niangoloko F2.

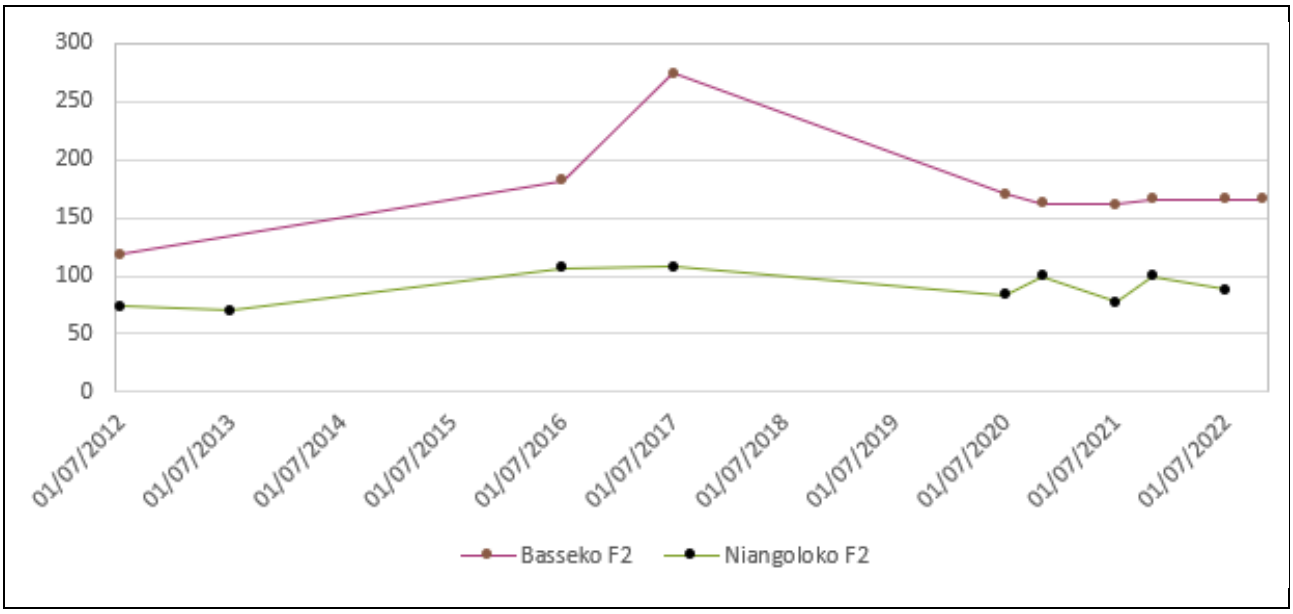


Figure 45 : Evolution de la conductivité électrique des points de mesure Basseko F2 et Niangoloko F2

L'annexe Q.23 (volume séparé) offre une vue complète des mesures physico-chimiques réalisées sur l'ensemble des paramètres pour chaque station lors de chaque campagne, depuis l'année 2012.

F. DIAGNOSTIC DES CAPACITES NATIONALES EN TERMES DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES

F.1. Cadre légal et institutionnel

F.1.1. Au niveau international

Sur le plan international, le Burkina Faso est partie prenante de nombreuses conventions internationales qui énoncent les principes de gestion durable des ressources en eau et de leur utilisation durable et équitable.

Le premier piézomètre de suivi des ressources en eau souterraines a été réalisé en 1978 par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), organisme international constitué de 14 Etats africains, dont le siège était à Ouagadougou.

Le projet Bilan d'Eau (1987-1993), fruit de la coopération Danoise, a permis d'étoffer le réseau progressivement et a débouché sur un RPN reparti sur l'entièreté du pays et composé de 68 piézomètres repartis en 25 sites.

Les Nations Unis, à travers l'agenda 2030 pour le développement durable, a fixé dix-sept (17) Objectifs du Développement Durable (ODD) à l'horizon 2030. L'objectif 6 stipule que les différents pays doivent garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau.

Le caractère transnational de eaux souterraines impose aux différents pays liés par les mêmes bassins hydrogéologiques un cadre légal et institutionnel concerté garantissant et harmonisant les politiques communes dans le suivi des eaux souterraines. Dès lors, plusieurs organisations ont été créés, à savoir :

- L'Autorité du bassin du Niger a été créée par la Convention portant création de l'ABN signé le 21 novembre 1980 à Faranah (Guinée), laquelle convention a été révisée le 29 octobre 1987 à N'Djamena.
- L'Autorité du Bassin de la Volta (ABV) a été créée par la Convention portant création de l'ABV signée le

19 Janvier 2007 à Ouagadougou.

La Politique des ressources en eau de l'Afrique de l'Ouest adopté le 19 décembre 2008 par les États membres de la CEDEAO comprend des engagements régionaux nécessaires pour inciter les Etats à développer leur cadre de gestion de l'eau au niveau des pays et des bassins d'Afrique de l'Ouest en conciliant développement économique, équité sociale et environnement

Le Burkina Faso est également membre de plusieurs institutions régionales et sous régionales : AGRHYMET/CILSS, CCRE/CEDEAO, WASCAL, OMM, PHI/UNESCO etc., qui appuient les activités de suivi et de l'évaluation des ressources en eau. Ces collaborations inter-régionales sont de nature à faciliter la cohérence des objectifs, l'homogénéité des méthodes, la compatibilité des solutions, tant en matière de métrologie que dans la conception des bases de données et dans le choix des procédures de leur alimentation et de leur consultation.

F.1.2. Au niveau national et déconcentré

A l'échelle nationale, la **Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau** (DEIE) est chargée du suivi, de la gestion et de la maintenance des réseaux de suivi des eaux souterraines. Il s'agit d'une des Directions techniques intégrées au sein la **Direction Générale des Ressources en Eau** (DGRE) du Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement (MEEA). L'organigramme du MEEA est présenté en annexe (cf. Q.12).

Jusqu'en 2016, la DGRE faisait partie Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire (MARHASA). Elle a ensuite été transférée au sein du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA). Ce dernier a intégré en 2022 la composante environnementale pour devenir le Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement (MEEA). A l'heure actuelle, l'organisation et le fonctionnement de la DGRE restent régis par les dispositions de l'Arrêté 2016-85/MEA/CAB (BKF, 2016).

La DEIE est quant à elle présente depuis longtemps dans les organigrammes. On la retrouvait déjà dans celui du MAHRH selon le Décret 2008-770/PRES/PM/MAHRH du 02 décembre 2008 (BKF, 2009). Plus spécifiquement, suivant l'Article 16 de l'arrêté de 2016, la DEIE est, entre autres missions, chargée de :

- Suivre et évaluer la quantité et la qualité des ressources en eau et leurs usages ;
- Mener toutes les études et recherches dans les domaines nécessaires à la maîtrise et à la connaissance des ressources en eau, des milieux qui en dépendent, des usages de l'eau et de leurs impacts ;
- Capitaliser et harmoniser l'ensemble des données et informations nécessaires au suivi et à la mise en œuvre de la politique nationale de l'Eau ;
- Assurer la mise à jour des bases de données et des statistiques sur l'Eau.

La DEIE est organisée en 4 services : i) le Service Hydrogéologie (**SHGeo**), ii) le Service Hydrologie (**SH**), iii) le Service de l'information, des Etudes et de la Promotion de Recherche sur l'Eau (**SIPEAU**) et iv) le Service Qualité des Eaux (**SQE**).

D'une manière générale, la mission du SHGEO est de coordonner toutes les activités et l'ensemble des flux d'informations en lien avec les ressources en eau souterraine. Il est donc question d'assurer le suivi et l'exploitation des ressources en eaux souterraines, de participer aux études et aux recherches visant à améliorer leur connaissance, de collecter, traiter et centraliser les données nécessaires, de mettre en place et optimiser les flux de collecte, d'élaborer les rapports périodiques, etc.

Le SHGEO est actuellement composé de 5 personnes : 1 Ingénieur GR responsable de service, 1 technicien

supérieur, et 3 ingénieurs hydrogéologues récemment formés à l'ENI Bamako.

Le SIPEAU joue un rôle fondamental dans la gestion des données sur l'eau puisqu'il est responsable de la mise à jour des bases de données sur l'eau. C'est notamment à ce niveau qu'est gérée la BD-SNIEAU. Le SIPEAU se dédicace également à diffuser l'information sur l'eau, sous de nombreuses formes (statistiques, rapports, services web, etc.). A ce titre, il peut être considéré comme le gestionnaire des données sur l'eau, avec des tâches transversales et génériques axées sur la transformation, l'intégration et la diffusion des informations.

Le SIPEAU est actuellement composé de 5 personnes : 1 Géomaticien responsable de service, 1 technicien supérieur, et 3 documentalistes archivistes.

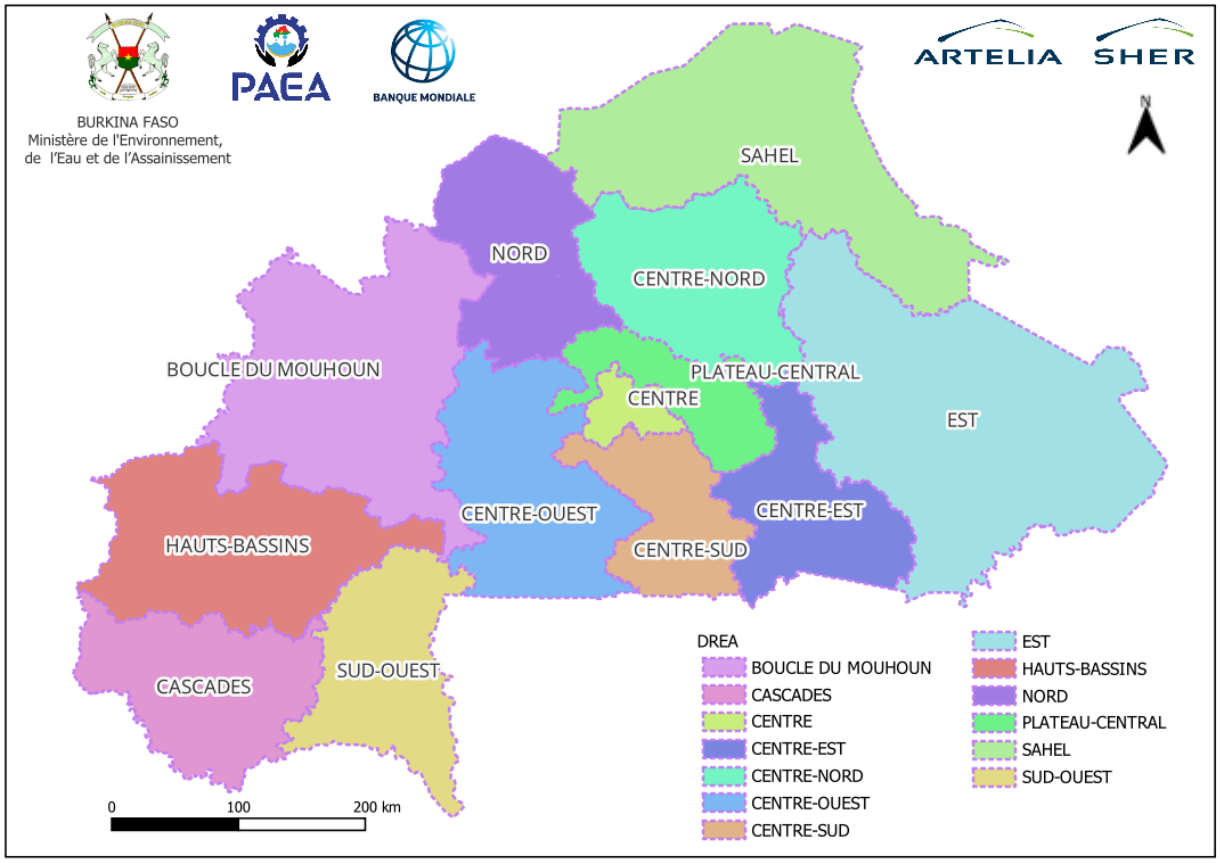
Au sein de la DEIE, le SHGEO et le SIPEAU constituent donc les deux services les plus directement impliqués dans la gestion du réseau de suivi piézométrique (SHGEO) et dans la capitalisation des données qui en découlent (SIPEAU).

Le Service Qualité de l'Eau (SQE) assure directement des tâches en lien avec la qualité des eaux souterraines. L'article 20, de l'arrêté de 2016, stipule que le SQE est chargé de :

- Réaliser le suivi de la qualité des eaux de surface, des eaux souterraines et des eaux destinées à la consommation, en collaboration avec les directions et services concernés ;
- Mener toutes études et recherches sur la qualité des eaux pour promouvoir et renforcer les dispositions de protection durable des ressources en eau ;
- Centraliser et traite les données qualité des ressources en eau ;
- Assurer le fonctionnement du laboratoire de la DGRE et la maintenance des équipements.

Au niveau régional, les **DREA** contribuent aux missions des structures centrales via leurs services « Ressource en Eau et Infrastructures Hydrauliques (SREIH) » et via la Police de l'Eau (SPE). Elles sont en charge :

- De réaliser un suivi – monitoring des ressources en eau ;
- D'optimiser et développer un réseau de mesure (piézométrie, qualité de l'eau, hydrométrie etc.) fonctionnel et dynamique des ressources en eau ;
- D'élaborer et de diffuser toute publication sur les ressources, les demandes et les usages de l'eau.



Carte 38 : Carte des Régions & espaces de compétence des DREA

Tableau 41 : Structures intervenant dans le suivi et l'évaluation des ressources en eau

Source (SHER/ARTELIA, 2023)

Structure	Textes réglementaires	Missions/Attributions	Directions	Services	Tâches relatives au suivi des ressources en eau
DGRE	Décret N° 2023-0277/PRES-TRANS/PM/MEEA du 22 mars 2023 portant organisation du Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement Arrêté N° 2023- 406 portant organisation et fonctionnement de la DGRE	Mise en œuvre et suivre les politiques et stratégies nationales dans le domaine de l'eau, en relation avec les structures du département, des autres ministères, les collectivités territoriales, les organisations de la société civile et les autres acteurs	Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau (DEIE) – Section 2 ; Article 4 de l'arrêté	- Hydrologie (SH) - Hydrogéologie (SHgéo) - Qualité des Eaux (SQEaux) - Information, Promotion des Etudes et de Recherches sur l'Eau (SIPEau)	- Contribuer à l'élaboration et à la Mise en œuvre de la politique nationale de l'eau et les politiques sectorielles en matière de gestion des ressources en eau tant au plan National que transfrontalier ; - Suivre et appuyer le développement de la coopération régionale et internationale dans le domaine de l'eau ; - Appuyer les structures partenaires dans la mise en place et la promotion au niveau national d'un système d'information et de monitoring de l'eau ; - Suivre et centraliser toute étude et recherche dans les domaines nécessaires à la maitrise et à la connaissance de ressources en eau, des milieux qui en dépendent, des usages de l'eau et de leurs impacts ; - Assurer la réalisation des études et analyses prospectives en vue de suivre et d'évaluer l'impact du programme de gestion intégrée des ressources en eau ; - Suivre et évaluer la quantité et la qualité des ressources en eau et de leurs usages ; - Appuyer toutes les structures centrales et déconcentrées et tous les autres acteurs en matière de gestion des ressources en eau ; - Capitaliser et harmoniser l'ensemble des données et informations nécessaires au suivi et la mise en œuvre du programme GIRE ; - Capitaliser et harmoniser l'ensemble des données et informations nécessaires au suivi et la mise en

					œuvre de la stratégie nationale de l'eau ; - Opérationnaliser le Système national d'information sur l'eau (SNIEau) ; - -
			Direction du Suivi de la Règlementation et des Organismes de Bassins (DSROB)) – Section 2 ; Article 4	- Suivi de la règlementation sur l'eau (SSRE) - Coordination de la Police sur l'Eau (SCPE) - Suivi des Organismes de Bassins (SSOB)	- Contribuer à l'élaboration de la législation et de la règlementation en matière d'eau et veiller à leur mise en application ; - Elaborer les normes dans le domaine de l'eau ; - Suivre et capitaliser la mise en œuvre de la police en eau ; - Contribuer à l'amélioration du cadre juridique favorable à la promotion, à la gestion, des usages de l'eau et à sa protection ; - Contribuer à la formulation et au suivi de la mise en œuvre des projets et programmes nationaux de développement des ressources en eau ; - Assurer pour le compte du département, la supervision et la capitalisation des actions des organismes de bassins transfrontaliers en collaboration avec les agences de l'eau concernées ; - Appuyer la mobilisation des ressources nécessaire à la mise en œuvre du programme GIRE ; - Assurer l'organisation et le secrétariat du Forum National de l'Eau et de l'Assainissement ;
DREA	Décret N° 2023-0277/PRES-TRANS/PM/MEEA portant organisation du Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement Chapitre III, Section 1, Sous-section 3, Article 50	Structure déconcentrée du MEEA au niveau régional, sous-section 5, article 86 et 88	Arrêté N° 2023-722/MEEA/CAB portant organisation et fonctionnement des structures déconcentrées en charge de l'eau et de l'Assainissement	- DREA de la Boucle du Mouhoun ; - DREA des Cascades ;	- Veiller au respect de la législation et de la règlementation dans les domaines de l'eau et de l'assainissement ; - Coordonner assurer le suivi de la mise en œuvre au plan régional, des activités de toutes les structures centrales en charge de l'eau et de l'assainissement ; - Coordonner le Nexus humanitaire développement paix dans le domaine du WASH ; - Suivre la mise en œuvre des projets et

				- DREA du Centre ; - DREA du Centre-Est ; - DREA du Centre-Nord ; - DREA du Centre-Ouest : - DREA du Centre-Sud ; - DREA de l'Est ; - DREA des Hauts Bassins ; - DREA du Nord ; - DREA du Plateau Central ; - DREA du Sahel ; - DREA du Sud-Ouest	programmes rattachés et en faire des comptes rendus périodiques au niveau central ; - Assurer l'appui-conseil aux collectivités territoriales, aux services techniques déconcentrés de l'Etat et aux organisations non Gouvernementale/ Associations de Développement ; - Assurer l'assistance technique à la maîtrise d'ouvrage communale en d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement ; - Suivre et capitaliser les actions des Organisations Non Gouvernementales et autres intervenants dans les domaines de l'eau et de l'assainissement ; - Promouvoir la concertation entre les structures intervenant dans le secteur de l'eau et de l'assainissement ; - Assurer la coordination et le contrôle des activités des Directions Provinciales, des projets et programmes rattachés et veiller à leur bon fonctionnement ; - Assurer la gestion administrative et financière de directions régionales ; - Exécuter tout autres missions assignées par la hiérarchie.

D'autre part, les **Agences de l'eau** sont également parties prenantes au suivi. Le processus de mise en place des Agences a débuté en 2007 avec la création du noyau technique de l'Agence de l'eau du Nakanbé en guise d'action pilote et s'est étendu aux autres agences à partir de 2010 pour s'achever en mi-2013.

Cinq Agences de l'Eau ont été créées : l'Agence de l'eau des Cascades (22 mars 2010), du Gourma (24 janvier 2011), du Liptako (31 janvier 2011), du Mouhoun (23 janvier 2010) et du Nakanbé (22 mars 2007). Elles ont notamment la charge de la préservation de la qualité des ressources en eau. En effet, les articles 2 et 3 de chaque convention constitutive stipulent que l'Agence de l'Eau doit « apporter une assistance technique aux études, travaux, suivi-évaluation, exécution, et toutes autres actions entreprises afin de lutter contre le gaspillage et la pollution de l'eau selon le principe [celui qui protège mieux est aidé] ». Dès lors, elles collectent, développent et diffusent toutes les connaissances des ressources en eau à leur possession en vue de favoriser l'amélioration de la gestion durable de ces ressources.

Les missions et attributions des Agences de l'Eau relatives aux ressources en eau et usages sont en particulier de :

- Valoriser le bassin hydrographique en tant que cadre approprié de planification et de gestion de la ressource en eau, par la coordination des actions y relatives et par la concertation afin de préparer et de mettre en œuvre, dans les conditions optimales de rationalité, les orientations et les décisions prises dans le domaine de l'eau, et
- Collecter, de développer et de diffuser les connaissances sur les ressources en eau en vue de l'amélioration de leur gestion.



Carte 39 : Espaces de gestion des Agences de l'Eau

F.1.3. Mise en place des UCDIEau

F.1.3.1. Historique de la gestion des réseaux de suivi : les brigades hydrologiques

La création des brigades hydrologiques est liée à l'évolution du réseau hydrométrique de base et à la présence de l'ORSTOM en Haute Volta. Les premières brigades au nombre de deux ont été créées en 1973 et encadrées par l'ORSTOM. Durant cette période, l'OMM dans le cadre du programme AGRHYMET (Renforcement des services agro météorologiques et hydrologiques des pays du Sahel) confiait à l'ORSTOM un rôle d'encadrement (Équipement, Formation de personnel, Exécution des travaux) des premières brigades hydrologiques nationales qui constitueront désormais la section hydrologie de la Haute Volta.

En 1996, le Projet "Soutien à l'Optimisation du Réseau Hydrométrique et Piézométrique National", financé par DANIDA apporte un appui institutionnel à la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DIRH) pour la mise en place d'un dispositif opérationnel efficace de maintenance et de gestion du réseau hydrométrique et piézométrique national.

Ce projet avait aussi comme objectif la déconcentration intégrale des activités de suivi des réseaux qui consistait à un transfert des tâches aux Directions Régionales de l'Hydraulique, à les responsabiliser entièrement quant au suivi technique des réseaux.

Cela a nécessité :

- La répartition des activités entre le niveau central et le niveau régional ; le transfert physique des brigades hydrologiques dans les Directions Régionales de l'Hydraulique du Centre (Ouagadougou), de la Boucle du Mouhoun (Dédougou) et de l'Est (Fada N'Gourma), Bobo Dioulasso ayant déjà ses deux Brigades opérationnelles.
- La définition des zones d'intervention des brigades de chaque Direction Régionale ;
- Le choix des Directions Régionales qui doivent abriter les brigades avec l'objectif d'atteindre une bonne couverture du territoire pour le suivi du réseau.

Au titre du suivi des ressources en eau, les activités à mener par les brigades hydrologiques des Directions Régionales portent sur le suivi des réseaux des mesures hydrométriques et piézométriques.

Aussi, le terme brigade hydrologique, restrictif à l'hydrologie n'était plus adapté, et pour ce faire, le plan de conception et de mise en œuvre du Système National d'Information sur l'Eau (SNIEau), a transformé les Brigades hydrologiques en **Unités de Collecte et de Diffusion de l'Information sur l'Eau** (UCDIEau) en 2004 avec une redéfinition des zones d'intervention.

F.1.3.2. Situation actuelle et prévisionnelle des UCDIEau

Selon le plan de conception et de mise en œuvre du Système National d'Information sur l'Eau (SNIEau) adopté en novembre 2004, les UCDIEau sont définies comme un organe permanent, spécialisé dans la collecte des données de base sur tous les aspects de l'eau. Elles dépendent hiérarchiquement des DREA et fonctionnellement de la DGRE. En effet, les UCDIEau constituent l'outil opérationnel de terrain du SNIEau pour le suivi de tous les aspects de l'eau, et à ce titre, la DGRE doit avoir un lien étroit avec elles.

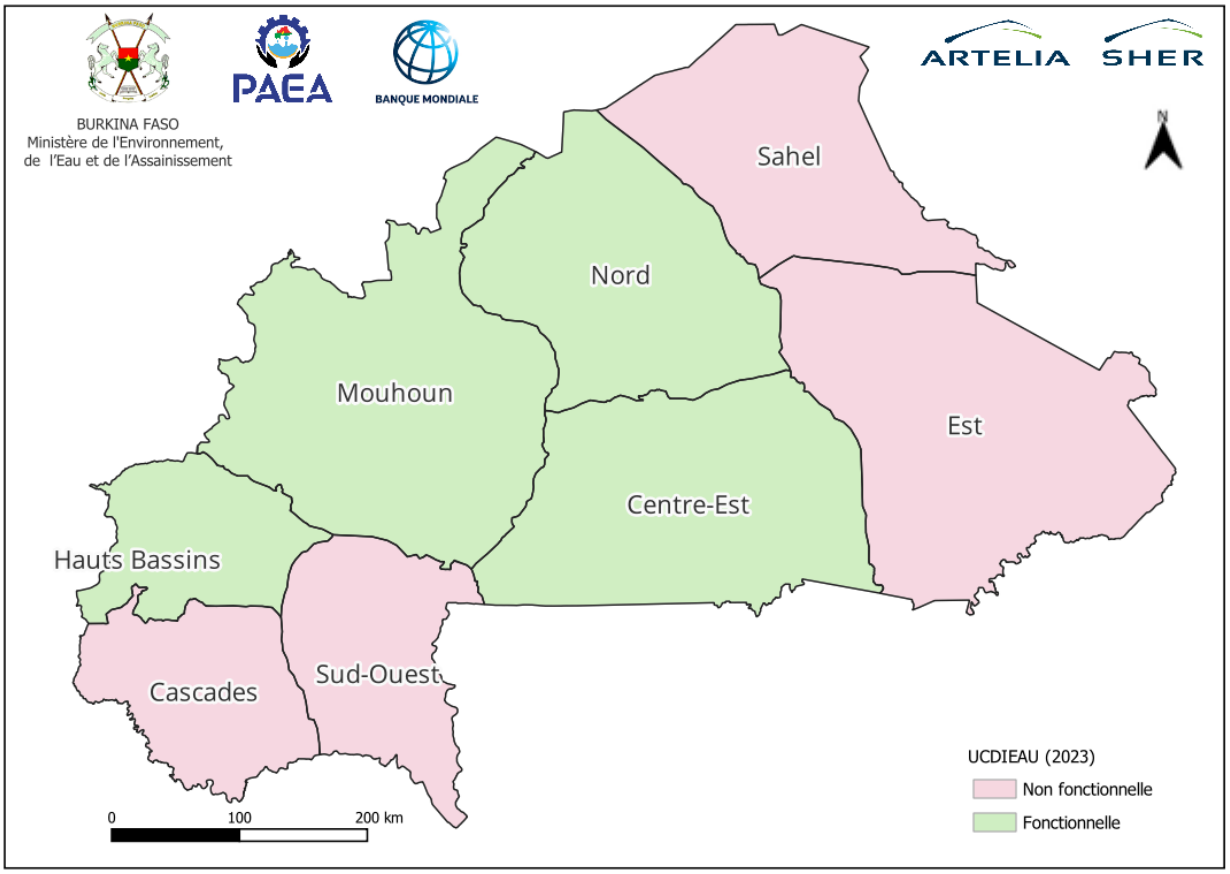
Chaque UCDIEau dispose d'une zone d'intervention bien définie :

- L'Espace de gestion du Nakanbé est divisée en 2 : le Nakanbé Supérieur confiée à **l'UCDIEau du Nord** et le Nakanbé Inférieur à **l'UCDIEau du Centre-Est ;**

- L'Espace de gestion du Gourma est confié à **l'UCDIEau de l'Est** ;
- L'Espace de gestion du Liptako est confié à **l'UCDIEau du Sahel ;**
- L'Espace de gestion des Cascades revient à **l'UCDIEau des Cascades ;**
- L'Espace de gestion du Mouhoun est divisé en 3 :
    - le Mouhoun Supérieur, jusqu'à Lahiérasso, est confié à **l'UCDIEau des Hauts-Bassins** ;
    - Le Mouhoun moyen qui s'étend de Tourouba à la confluence Mouhoun-Grand Balé est confié à **l'UCDIEau de la Boucle du Mouhoun** ;
    - Le Mouhoun inférieur, de Ouessa à Noumbiel, est confié à **l'UCDIEau du Sud-Ouest ;**

En outre, il existe une **UCDIEau mobile**, logée au sein de la DGRE.

L'espace d'intervention de chacune des UCDIEau actuelles et prévues est illustrée ci-après.



Carte 40 : Espace d'intervention des UCDIEau

A ce jour, Il n'y a pas encore d'UCDIEau fonctionnelle au Sahel, à l'Est, aux Cascades et au Sud-Ouest. Il est prévu de les mettre en place en fonction de la disponibilité des ressources humaines compétentes et des moyens budgétaires mobilisables. Ceci dépend du plan de développement des ressources humaines (formation d'ingénieurs hydrologues et de techniciens supérieurs hydrologues) et de la volonté et capacité de l'État à recruter les agents nécessaires.

Les quatre DREA que sont le Centre Est, les Hauts-Bassins, le Mouhoun et le Nord abritent chacune une UCDIEau fonctionnelle. Ces dernières disposent des outils de suivi nécessaires (matériel hydrologique, informatique, logistique, etc.).

F.2. Cadre budgétaire

F.2.1. Financement des activités de suivi des ressources en eau

Le financement des équipements de suivi des ressources en eau est en général assuré par les partenaires de développement (ex. AFD, PAYS-BAS, UE, PNUD, OMM, DANIDA, ASDI, BAD, MCA, BM, etc.), tandis que l'exécution du suivi des ressources en eau et le fonctionnement des réseaux sont à la charge du budget l'État.

Il n'existe pas un budget différencié pour le suivi-monitoring de la piézométrie, de l'hydrométrie et de la qualité des eaux de surface et souterraine. L'état alloue un budget unique qui englobe l'ensemble de ces suivis tandis que les PTF s'investissent plus dans l'acquisition des équipements de suivi et de maintenance des réseaux.

Des institutions comme le PNUD, DANIDA, l'OMM, la BAD, le MCA, la Banque mondiale et des pays comme les Pays Bas, le Danemark, la suède ont investi de 2010 à 2020, 5.23 milliards de FCFA tandis que l'apport de l'état Burkinabè se chiffrait à 728.5 millions de FCFA pour la période 2014 à 2018. Ce qui fait une moyenne annuelle d'investissement des PTF, trois (03) fois plus élevée que celui de l'état Burkinabè, (523.2 millions pour les PTF contre 182.125 millions pour l'état) (COWI, 2019).

Malheureusement, les budgets alloués sont faiblement consommés, du fait des lenteurs des procédures administratives de décaissement. Selon COWI, (COWI, 2019), les budgets parviennent souvent aux différentes structures de la DGRE et aux DREA au cours du deuxième semestre de l'année, excluant une période de l'année (janvier à juin) où un suivi régulier des ressources en eau doit être réalisé, tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Le budget non consommé par les différentes structures précitées serait de 45%, ce qui reste préjudiciable pour l'analyse diachronique de l'évolution des niveaux d'eau et du suivi de sa qualité.

Tableau 42 : Appuis financiers des partenaires au secteur de l'eau

sources de données : DGRE, SP/GIRE, COWI 2019

Appuis financiers des partenaires (2010-2020)				**Financement de l'État Burkinabè (2014-2018)**			
Période	**Reference**	**Programme**	**Montant (FCFA)**	**Année**	**Dotation (FCFA)**	**Consommation**	**Non consommé**
2010-2015	ASDI # 51130039 10/2010	PAGIRE-2	1.560.000.000	2014	3.500.000	2 500 000	1 000 000
2016-2018	ASDI # 51200046 11/2016	PN-GIRE	2.880.000.000	2015	30.000.000	30 000 000	0
2010-2015	DANIDA #104.BKF.814-300 12/2009	PAGIRE & PN-AEPA	39823000.000	2016	80.000.000	80 000 000	0
2016-2020	DANIDA # 2016-27477 – 06/2016	ED-GIRE	7.965.000.000	2017	385.000.000	249 297 593	135 702 407
2013-2017	Donateurs : - Gvnts - GEF/FPMA - TRAC PNUD	SAP-IC, N : 00088011	100.250.000	2018	230.000.000	41 440 000	188 560 000
Total			**52.328.250.000**	**Total**	**728.500.000**	**403 237 593**	**325.262.407**

Pour ce qui concerne spécifiquement le laboratoire d'analyse des eaux brutes de la DGRE, le rapport « Etat des lieux et plan d'opérationnalisation des activités du laboratoire d'analyse des eaux brutes de la Direction Générale des Ressources en Eau » (BERAC, 2019) souligne que les financements du laboratoire proviennent essentiellement du budget de l'état et de trois autres sources que sont le PNUD, l'AIEA et le MCA.

Des financements octroyés par les PTF dans le cadre de programme d'étude spécifique ayant pris en compte la dimension « qualité des ressources en eau », s'élèvent pour la période allant de 1991 à 2012 à 678 millions de Fcfa. Le Tableau 43 reprend leur répartition

Pour la période s'étendant de 2007 à 2012, l'état Burkinabè a consenti 294 millions de francs CFA pour la construction et l'équipement du laboratoire de la DGRE. De 2014 à 2018, il a accordé régulièrement environ 2,50 millions de FCFA/an pour le suivi de la qualité des eaux, et l'achat d'équipements légers tels que les verreries et les réactifs chimiques etc. (COWI, 2018).

Tableau 43 : Financements octroyés au laboratoire de la DGRE

Sources de données : COWI, 2018, DGRE/DEIE, 2019 modifié

Période	Partenaire	Programme	Montant (Fcfa)
1991 - 1992	PNUD/DTCD BKF	Mise en place d'un système de collecte et de traitement de l'information sur les ressources en eau	393 millions
2005	AIEA	Etude des ressources hydrogéologiques dans le sous-sol cristallin du Sud Est, phase 2	55 millions
2012	MCA	AD10 - Programme de développement du secteur de l'eau	230 millions
2007 - 2012	Etat Burkinabé	Construction et équipement de base du laboratoire	194 millions
2014 - 2018		Achats d'équipement légers du laboratoire	10 millions

F.2.2. Evaluation des couts relatifs au suivi piézométrique et au suivi de la qualité des eaux

F.2.2.1. Estimation du cout annuel du suivi piézométrique du RPN basée sur les dépenses (2021)

Afin de déterminer le budget moyen annuel pour le suivi d'un site du RPN, les dépenses annuelles disponibles au niveau de trois régions (Hauts-Bassins, Cascades, Sud-Ouest) ont été analysées (AHT – WRC – AQUATIS, 2021). Le coût moyen annuel de suivi d'une station piézométrique permet d'estimer le budget approximatif requis pour le suivi du réseau piézométrique actuel.

Le Tableau 44 présente la synthèse des données sur les dépenses annuelles pour le suivi des réseaux hydrométrique et piézométrique actuels dans ces trois (3) régions. Ce tableau n'inclut pas les couts de réfection des stations.

Tableau 44 : Synthèse des dépenses annuelles pour le suivi hydrométrique et piézométrique (trois régions)

Sources de données : DGRE/DEIE 2021, adapté de AHT-WRC-AQUATIS 2021

Item/Structure	Région	Stations suivies (Type et Quantité)	Dépenses (FCFA) (Hébergement, Restauration, Carburant)
Suivi réseau / DREA-HBS	Hauts-Bassins	14 stations hydrométriques 01 station piézométrique	563.500
Suivi réseau / DREA-HBS	Cascades	08 stations hydrométriques 03 stations piézométriques	527.000
Suivi réseau / DREA-HBS	Sud-Ouest	05 stations hydrométriques	527.000
Total Mensuel	Hauts-Bassins Cascades Sud-Ouest	27 stations hydrométriques 04 stations piézométriques	1.617.500
Total Annuel	Hauts-Bassins Cascades Sud-Ouest	27 stations hydrométriques 04 stations piézométriques	9.705.000

Le cout annuel moyen par site du RPN, sur base de ces données, est estimé à 315.000 FCFA. Le cout total annuel pour le suivi de l'ensemble du RPN, disposant actuellement de 51 sites opérationnels, peut dès lors être estimé à environ 16 millions FCFA.

Etant donné que ces estimations sont essentiellement basées sur les dépenses du suivi des réseaux dans seulement 3 régions, ces chiffres sont très approximatifs et doivent être considérés comme des indicateurs dont l'usage premier est de permettre la prise en compte des coûts dans l'optimisation des réseaux.

L'imputation (actuellement non effective) de lignes budgétaires explicites et distinctes dans le budget du MEEA, relatives aux réseaux de suivi des ressources en eau, permettrait un suivi budgétaire plus précis des dépenses relatives à ces activités et une meilleure estimation des projections futures dans le cadre de l'optimisation des réseaux de suivi.

F.2.2.2. Estimation du cout annuel de fonctionnement du réseau de suivi de la qualité des eaux brutes

Le cout annuel de fonctionnement du réseau de suivi de la qualité des eaux brutes (eaux de surface et eaux souterraines) a été estimé dans le cadre de l'atelier d'optimisation du réseau tenu en 2018. Il se décline en deux types de dépenses, reprise dans le Tableau 45.

Tableau 45 : Cout annuel de fonctionnement du réseau de suivi de la qualité des eaux brutes

Sources de données : DGRE/DEIE 2018, adapté

Désignation	Cout annuel (FCFA)
Missions de prélèvement des échantillons d'eau	4.200.000
Réactifs et consommables nécessaires pour effectuer les analyses d'eau en laboratoire	10.200.000
Total	**14.400.000**

Le cout total annuel est estimé, sur cette base, à 14,4 millions FCFA pour assurer le suivi de la qualité des ressources en eau brute (eau de surface et eau souterraine).

F.2.2.3. Estimation du coût annuel des investissements nécessaires pour maintenir le niveau du plateau technique du laboratoire DGRE

Sur la base d'une mise en œuvre effective de toutes les recommandations de l'étude des besoins de prestation du laboratoire réalisée dans le cadre de l'état des lieux de 2019 (BERAC, 2019), l'amortissement des équipements et appareils a été estimé. Il s'agit des besoins en investissement par an pour maintenir le niveau du plateau technique du laboratoire (acquisition de nouveaux appareils et équipements, renouvellement des consommables et de la logistique, maintenance des appareils), pour assurer son opérationnalité.

Le cout annuel des investissements nécessaires pour maintenir le niveau du plateau technique a été estimé, dans ce cadre, à 26,1 millions FCFA.

Tableau 46 : Coût annuel des investissements nécessaires pour maintenir le niveau du plateau technique

Sources de données : BERAC 2019, adapté de MAHRH/DGIRH 2006

Désignation	Amortissement annuel (FCFA)/DGRE
Appareil d'analyse	18.252.620
Equipement de prélèvement	750.000
Equipement de sécurité	395.000
Logistique	4.460.000
Maintenance des équipements	2.209.500
Total	**26.067.120**

F.3. Ressources humaines

D'une manière générale, l'effectif actuel du personnel clé qualifié et non qualifié, du personnel auxiliaire (agents techniques) et d'accompagnement (chauffeur) mis à disposition pour le suivi des ressources en eau souterraines est inégalement réparti entre le niveau central et régional. La DGRE concentre à elle seule 48% du personnel contre 52% pour l'ensemble des 13 DREA. Il ressort également qu'aucune direction ne dispose d'agents techniques pour « les petites réparations et maintenances » des sondes piézométriques ou automatiques.

Comme indiqué dans la section D.1.2.3.1, le flux de données de mesures manuelles de niveau statique implique trois niveaux hiérarchiques : les lecteurs/observateurs de terrain, les UCDIEau et la DEIE (niveau central).

Pour ce qui concerne le réseau de suivi de la qualité des eaux, le SQE (actuellement composé de 5 techniciens) de la DGRE prend en charge l'entièreté du processus.

Le Tableau 47 présente la situation actuelle (année 2021) du personnel (effectifs et qualifications) chargé du suivi des ressources en eau (de surface et souterraine) aux niveaux central (DGRE) et régional (13 DREA).

Tableau 47 : Situation du personnel de suivi des ressources en eau au niveau de la DGRE et des DREA

Sources de données : DGRE, 2021, ARTELIA/SHER, 2021

	Ingénieur hydrologue	Ingénieur hydrogéologue	Ingénieur hydrochimiste	Ingénieur informaticien	Webmaster	Techniciens supérieurs chimistes	Technicien supérieur hydrologue	Technicien supérieur de maintenance	Techniciens chimistes	Secrétaire opératrice chimie	Agent technique de l' Hydraulique	Chauffeur	Manœuvre spécialisé	aide hydrologue	Ingénieur travaux du genie rural	ingénieur Genie rural	Technicien supérieur del'HER	environnementaliste	ingénieur biochimiste	Technicien termo energie/hydraulique
DGRE	6	1	0	0	0	0	5	0	0	0	4	3	0	1	1	4	3	1	3	2
DREA CENTRE EST	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DREA DU NORD	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3
DREA HAUTS BASSINS	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0
DREA BOUCLE DU MOUHOUN	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DREA CASCADE	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
DREAB SUD OUEST	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
DREA SAHEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
DREA DU CENTRE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DREA DU PCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
DREA CENTRE OUEST		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DREA EST	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
DREA CENTRE SUD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
DREA CENTRE NORD	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
TOTAUX	**12**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**10**	**0**	**0**	**0**	**5**	**3**	**0**	**2**	**1**	**16**	**5**	**1**	**3**	**8**

G. SYNTHESE DES FORCES ET FAIBLESSES DES RESEAUX DE SUIVI ACTUELS DES EAUX SOUTERRAINES

G.1. Réseaux de suivi piézométrique

G.1.1. Le réseau piézométrique national

Le diagnostic révèle que la DEIE dispose du mandat et du cadre institutionnel adéquat pour suivre et gérer le réseau de suivi piézométrique national. Néanmoins, certaines missions se superposent avec celles d'organes tels que le SP/GIRE et les Agences de l'Eau. La DEIE est un pilier incontournable tant dans la gestion thématique que dans l'administration technique du réseau. Elle dispose d'une bonne connaissance empirique du RPN, y compris de son historique.

La DEIE a mis en place un flux de travail basique mais fonctionnel, basé sur des acteurs déconcentrés et évitant la présence de structures intermédiaires. Le flux se base sur un réseau d'observateurs locaux et sur les brigades hydrologiques des UCDIEau. Le RPN a été mis en place il y a plus de 30 ans et a évolué au travers de projets et programmes emblématiques (Bilan d'Eau, PADSEA-II, etc.) pour aboutir à 92 piézomètres répartis en 54 sites.

Une série de piézomètres sont équipés de plusieurs tubes. Dès lors, les cartographies font apparaitre des grappes de piézomètres sur un même site. Cette concentration n'est pas justifiée dans le cas d'un réseau national, en encore moins dans un contexte ou la densité du réseau est faible et largement en deçà des recommandations internationales. A l'heure actuelle, le RPN n'est pas optimisé pour couvrir tous les aquifères, notamment en zone sédimentaire. Partant, ce réseau n'est pas totalement représentatif de l'ensemble des contextes hydrogéologiques du pays, ce qui se répercute inévitablement sur le degré de

connaissances des ressources en eaux souterraines au niveau national.

Le réseau est globalement fonctionnel même si certains ouvrages ont subi des dégradations ou sont bouchés. Ces dégâts ne sont pas réparés. Par contre, les caractéristiques techniques des ouvrages sont peu connues et ne permettent pas réellement d'apprécier les caractéristiques de la nappe captée. La collaboration entre le gestionnaire du réseau et les différents projets n'est pas suffisamment étroite pour disposer d'une connaissance intrinsèque des ouvrages.

A priori, les ouvrages sont visités au minimum deux fois/semaine, ce qui est conforme aux recommandations et constitue un atout majeur du réseau. Néanmoins, l'analyse des chroniques montre des divergences entre les sites, traduisant une hétérogénéité au niveau des visites. Toutefois, chaque piézomètre est visité tous les mois. La prise de mesure est manuelle. Plus de 2/3 du RPN est équipé de sondes automatiques, mais celle-ci n'ont pu être configurées correctement et ne sont donc pas utilisées hormis de récentes installations de sondes DIVER. La DEIE souhaite évoluer vers un système de télétransmission, qui moderniserait les flux de données et de travail.

En attendant, le flux de données depuis la prise de mesure sur terrain jusqu'au stockage en base n'a pas été modernisé. Les mesures sont notées par les observateurs locaux sur des formulaires papiers. Ces derniers sont récupérés par les UCDIEau lors de leur tournée, si bien que l'observateur local ne dispose pas de l'historique des mesures. Les mesures sont ensuite saisies au niveau des DREA, voire par le niveau central. La chaine de traitement est peu contrainte et le risque de rencontrés des erreurs dans les données est important. Cela se vérifie dans les jeux de données collectés, avec la présence de valeurs incohérentes, de doublons ou de données manquantes. La gestion des données au niveau central n'est pas optimale. Un contrôle visuel est réalisé sur les données mais aucun processus n'est automatisé. La BD-Piezo semble peu valorisée car son modèle est limité et la solution n'a pas évolué. Dès lors, le SHGeo s'est progressivement écarté de ce système au profit d'une capitalisation via MS.Excel, ce qui n'est pas une mauvaise solution en soi, mais oblige à être très rigoureux à plusieurs niveaux (gestion des fichiers, capitalisation des données) et à mettre en place des macros pour aider à la saisie et à la détection des erreurs. Dans ce type de solution, les données doivent être testées en permanence, avec la production d'indicateurs agrégées ou de graphiques. Cela demande une expérience thématique mais également technique vis-à-vis des données, de même qu'une proactivité et une motivation. Si l'expertise thématique est présente, les autres éléments laissent à désirer.

Les données sont sous-exploitées. Elles servent à réaliser des publications annuelles mais pas à une analyse décisionnelle et multicritères, ni à l'évaluation de tendances. Il y a peu de croisement entre données et la spatialisation des informations n'est pas réalisée. L'outil SIG est largement sous-exploité. La conséquence est une difficulté pour la DEIE de certifier les données, de les valider et d'en faire la promotion, aussi bien en interne qu'au niveau d'acteurs externes. De ce fait, les demandes en données sont peu nombreuses et concerne les informations brutes, laissant le demandeur les exploiter à sa guise, en fonction de ses objectifs.

Il est donc impératif de doter les flux de travail d'outils performants et modernes, et ce à tous les niveaux d'intervention. A défaut de télétransmission, l'emploi de carnets de terrain doit devenir la norme. Au niveau central, il est impératif que les données soient centralisées dans une base de données performante, qui adopterait un modèle répondant aux attentes du gestionnaire et pourrait être alimentée de façon simple et ergonomique, sans vouloir aller plus loin dans un premier temps. Pour que le système fonctionne, il faut pouvoir compter sur quelques agents désireux de s'investir réellement dans la structuration et la gestion des données. A l'heure actuelle, ce type de profil n'est pas identifié à la DEIE, qui est fortement sollicitée et soumise à une forte mobilité du personnel.

Les conclusions du diagnostic du RPN sont reprises dans une analyse FFOM présentée ci-dessous.

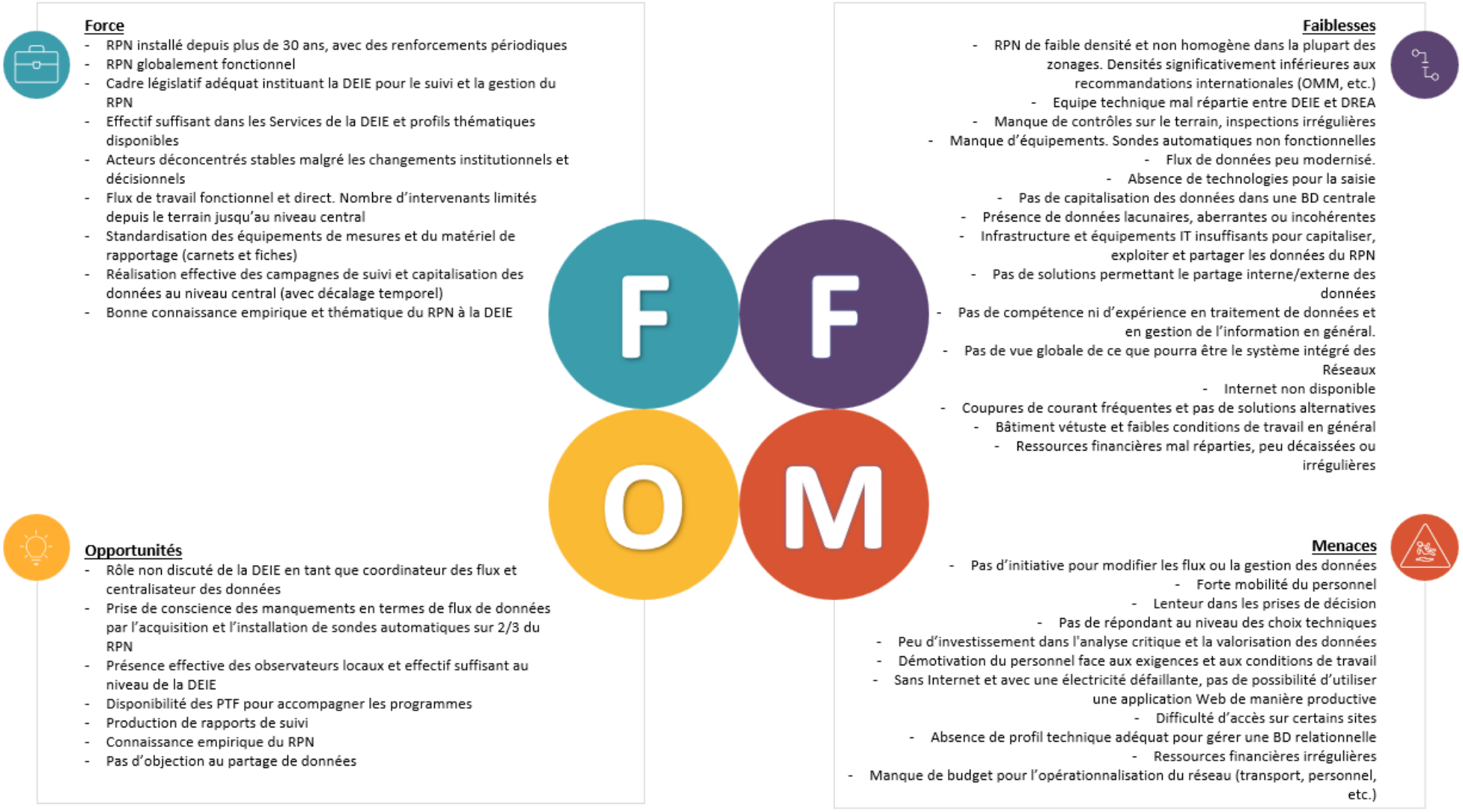


Figure 46 : Analyse FFOM du RPN

G.1.2. Les réseaux piézométriques secondaires

Le diagnostic des réseaux secondaires s'est surtout concentré sur la reconstitution des réseaux et l'analyse des jeux de données.

Le RPS-ONEA n'est pas un réseau piézométrique actif. Les ouvrages sont répertoriés dans un fichier MS.Excel présentant de nombreuses anomalies. La reprise a permis de spatialiser la majeure partie du réseau mais certains piézomètres sont restés sans coordonnées. Il n'y a donc pas possibilité de développer une vision globale et certifiée du RPS-ONEA. Le gestionnaire lui-même connait des difficultés à ce niveau.

L'ONEA ne mène plus d'activités de suivi piézométrique et n'est pas en mesure de fournir des chroniques de mesure historique. Il n'est donc pas possible de réaliser des analyses spatio-temporelles du RPS-ONEA.

L'état du réseau n'est pas connu, pas plus que ces caractéristiques techniques. Si aucune initiative n'est entreprise, ce réseau disparaitra.

Par contre, des mesures de suivi de nappes seraient réalisées sur certains forages d'exploitation (DHI, 2008).

Le RPS-AEM est un réseau local historique qui se concentre dans le bassin du Kou (sous-bassin versant du Mouhoun Supérieur) et se répartit presque exclusivement au sein de la commune de Bobo-Dioulasso. Cette zone a fait l'objet de nombreuses attentions. Le RPS-AEM a été créé, enrichi et suivi au travers de projets tels que « 250 forages de la BOAD », ERES, PESO ou PADI. La plupart des projets ont documenté le réseau dans des rapports finaux ou dans des bases de données (ex. geodatabase de PESO). Ces ressources ont été entièrement reprises, comparées et capitalisées par le Groupement, ce qui n'avait jamais été entrepris jusqu'ici par aucun projet. Finalement, il compte 83 ouvrages mais un taux important n'est pas fonctionnel, notamment en raison du manque de ressources humaines. Un quart des stations (de 23 à 27 en fonction des années) sont échantillonnées, ce qui amène à conclure que l'AEM n'a qu'une connaissance partielle de son réseau. Le nombre de visites fluctue selon les années et, d'une manière générale, la fréquence d'échantillonnage est trop faible pour prétendre utiliser les données pour une analyse spatio-temporelle ou de la modélisation hydrogéologique.

Le suivi piézométrique de l'AEM ne constitue pas une priorité au niveau national, ce qui se ressent sur le budget alloué.

Enfin, le réseau piézométrique mis en place par VREO n'a jamais été exploité. Pourtant, il compte 43 points de mesure répartis dans les BV nationaux de la Comoé et du Mouhoun, ainsi que dans le sous-bassin du Banifing. La base de données VREO a été capitalisée, ce qui a permis de reconstituer le jeu de données des piézomètres et de spatialiser le réseau. Aucun suivi n'a été réalisé.

En conclusion, aucun des gestionnaires de RPS ne connait et n'exploite parfaitement son réseau. La qualité des données montre une absence de stratégie en termes de gestion et d'analyse de données même si des initiatives de structure ont été prises par l'AEM (un fichier MS.Excel/an, organisé par mois). Néanmoins, le risque d'erreurs de saisie dans ce type de fichier est conséquent.

Les conclusions du diagnostic des RPS, envisagés globalement, sont reprises dans une analyse FFOM présentée ci-dessous.

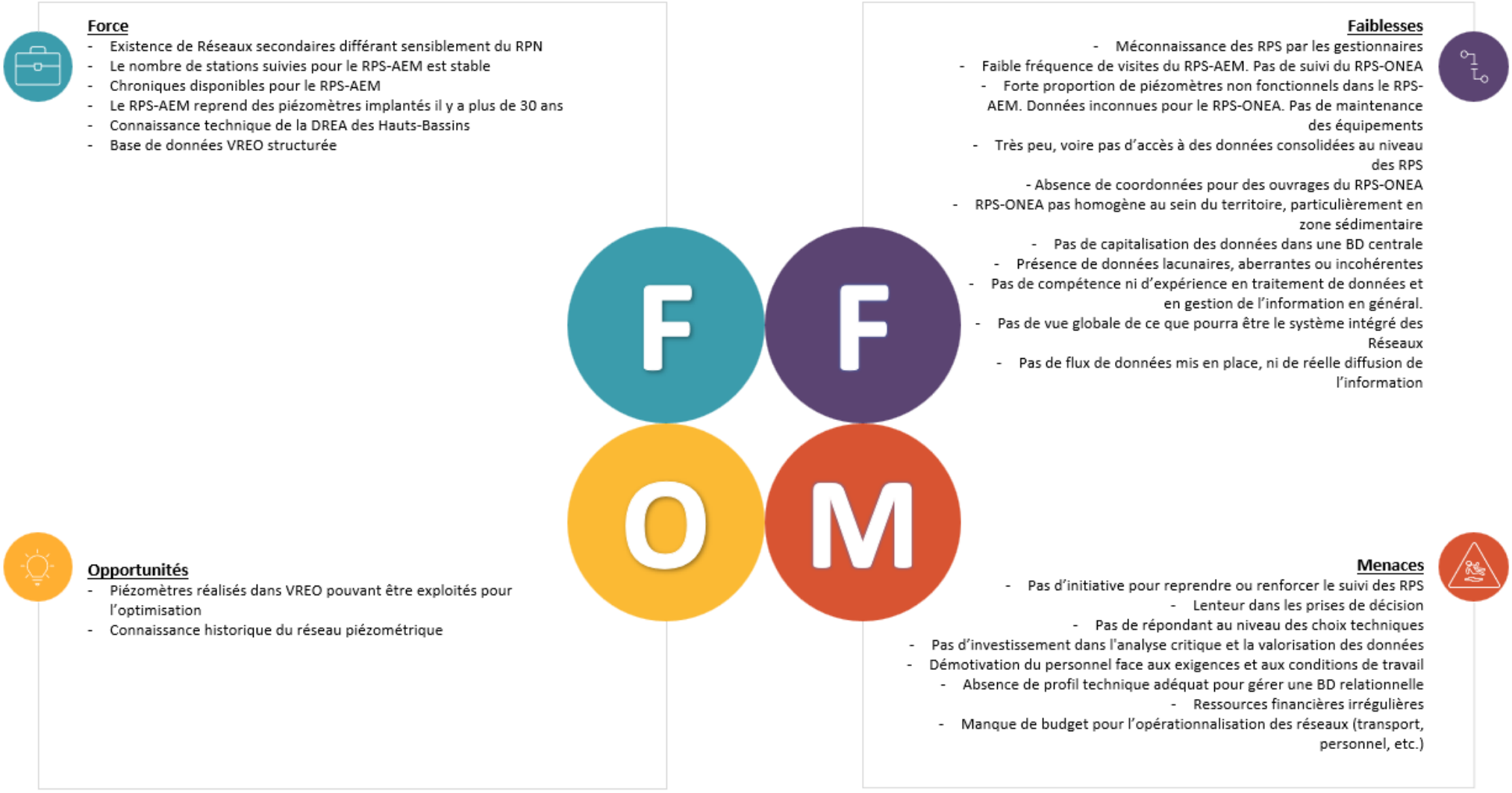


Figure 47 : Analyse FFOM des RPS

G.2. Réseau de suivi de la qualité de l'eau souterraine

Le diagnostic révèle que la DEIE dispose du mandat et du cadre institutionnel adéquat pour suivre et gérer le réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines. En pratique, le Service de la Qualité des Eaux (SQE-DEIE) assume à lui seul l'ensemble des tâches de suivi et de gestion à la fois du réseau et des données.

Le RNSQES a été implanté il y a plus de 40 ans. Rapidement, il a compté 32 stations, et ce jusqu'en 2018. A ce moment, le suivi ne portait plus que sur 11 stations, ce qui était très insuffisant pour couvrir l'ensemble du pays. De plus, le suivi était très irrégulier. En 2018, à l'initiative conjointe de la DGRE et de l'Université de Ouagadougou, le réseau a été redéfini pour intégrer un renforcement de 34 nouveaux piézomètres, portant le RNSQES a 44 points de mesure. Suite à l'analyse des chroniques de mesure, le Groupement a pu élargir le réseau pour qu'il compte 56 stations (voir part. Optimisation). En majorité, les stations du RNSQES sont des piézomètres repris dans le RPN.

Depuis 2018, les actions sur terrain en marge de l'atelier ont progressé : le nombre de stations échantillonnées a augmenté et des campagnes semestrielles ont été mises en place. L'effort doit néanmoins se poursuivre car la densité du réseau reste en deçà des recommandations internationales et seule la moitié des stations sont réellement échantillonnées. Dès lors, le réseau ne permet pas de couvrir tous les contextes hydrogéologiques, particulièrement dans les zones sédimentaires, étant donné que les stations suivies se trouvent majoritairement dans le socle. Le constat d'un réseau limité est partagé par la bibliographie.

Quantitativement, le suivi était extrêmement irrégulier jusqu'en 2018, avec de nombreuses années absentes. Depuis 2018, deux campagnes sont systématiquement menées, en juillet et en novembre, à des périodes globalement similaires même si la date précise de la campagne n'est pas précisée. Lors de l'atelier de renforcement de 2018, la volonté des participants était de mener 4 campagnes par an, ce qui est irréaliste et inutile.

Qualitativement, le RNSQES est suivi au travers de paramètres physico-chimiques, qui varient selon les campagnes. Depuis 2012, 35 paramètres ont été effectivement suivis mais seuls 9 ont été évalués dans toutes les campagnes. Des mesures sur site se réalisent avec du matériel portable à prise directe de mesure (sans datalogger). Les prélèvements sont analysés en laboratoire.

Les analyses en laboratoire sont effectuées par le laboratoire opérationnel de la DGRE. Les équipements ont été acquis selon les financements de l'AEIA, l'état et le MCA. A l'heure actuelle, le laboratoire est opérationnel mais présente des insuffisances telles que le plateau technique, la maintenance de certaines machines, les équipements et la formation du personnel (BERAC, 2019). Des estimations budgétaires ont été réalisées afin de quantifier les besoins du laboratoire (DEIE, 2018 , BERAC, 2019). Ces études témoignent de l'importance pour le niveau central de disposer d'un laboratoire efficient.

En termes de ressources humaines, le laboratoire mobilise les 5 agents permanents du SQE, qui sont également en charge des campagnes sur le terrain. Dès lors, le Service est en sous-effectif.

Les mesures sont capitalisées dans un fichier MS.Excel mais ne sont pas exploitées pour réaliser un suivi approfondi ou des analyses statistiques. Les points de mesure ne sont pas spatialisés et les chroniques ne sont pas utilisées pour la génération d'indicateurs agrégés. Les mesures interviennent ponctuellement dans des rapports annuels. Il n'existe pas de bases de données structurées ni d'investissement à ce niveau. La gestion et la valorisation des données n'est donc pas la préoccupation principale du SQE, qui doit davantage parer à ses missions de suivi. Par conséquent, les connaissances de la qualité des eaux souterraines restent relativement limitées.

Les conclusions du diagnostic des RNSQES sont reprises dans une analyse FFOM présentée ci-dessous.

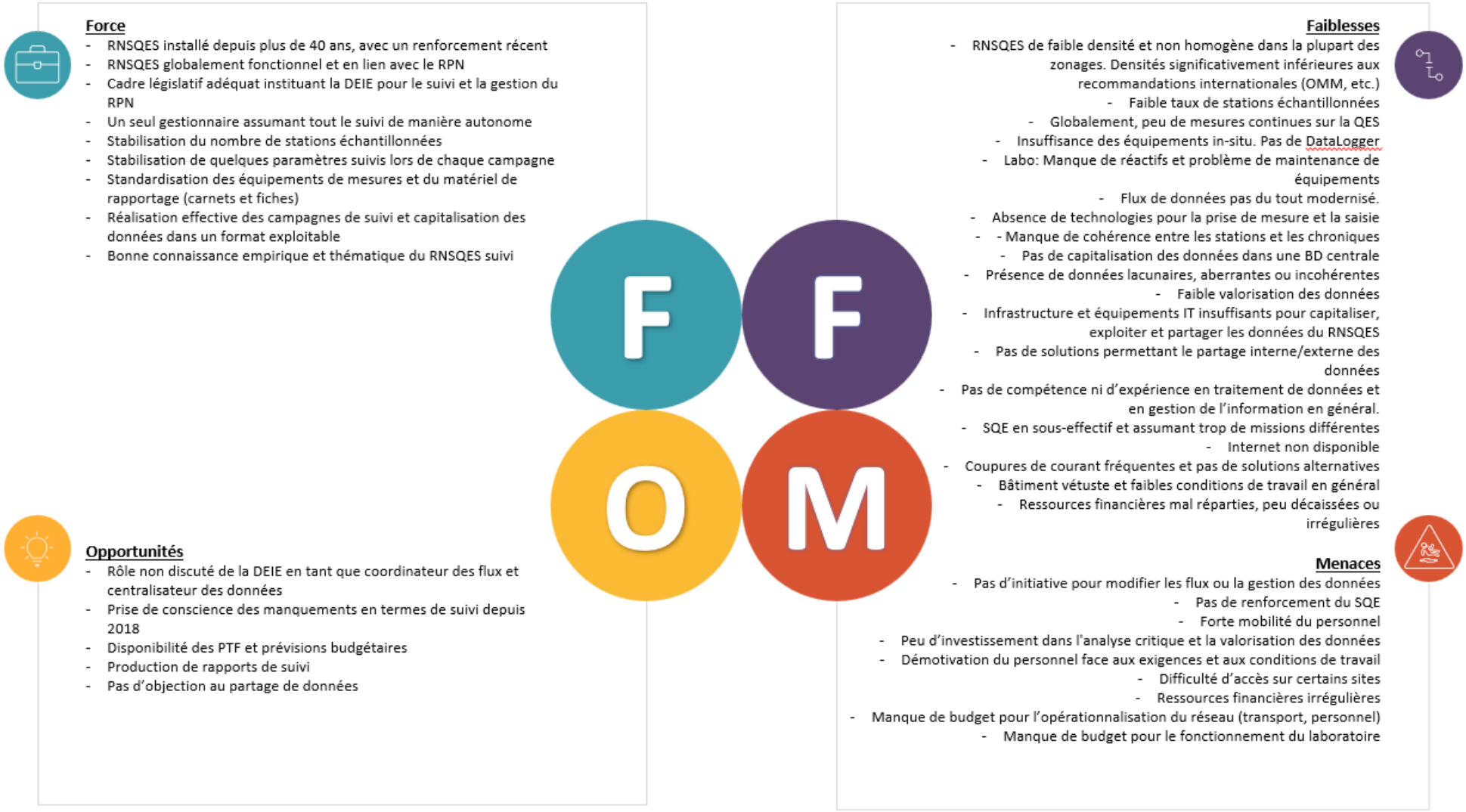


Figure 48. Analyse FFMO du RNSQES

PARTIE 2 : OPTIMISATION DES RESEAUX DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES

L'optimisation des réseaux de suivi des eaux souterraines telle que prévue dans le cadre de la présente étude vise le renforcement des réseaux homogènes (réseaux primaires) actuellement en place à l'échelle nationale au Burkina Faso, à savoir :

- Le réseau piézométrique national (RPN) ;
- Le réseau national de suivi de la qualité des eaux souterraines (RNSQES).

L'optimisation vise non-seulement le renforcement des réseaux par l'ajout de points de mesure additionnels et d'équipements de suivi associés, mais également :

- Le renforcement des outils de gestion et de capitalisation des données des réseaux de suivi des eaux souterraines ;
- Le renforcement des capacités nationales en charge de la gestion des réseaux de suivi des eaux souterraines.

L'optimisation des réseaux de suivi intégrera également des propositions d'amélioration de certains réseaux de suivi secondaires, dont la capitalisation peut bénéficier aux gestionnaires des ressources en eau en charge du suivi de l'état quantitatif et qualitatif des eaux souterraines.

H. OPTIMISATION DU RESEAU PIEZOMETRIQUE NATIONAL

H.1. Détermination des sites du RPN optimisé

H.1.1. Critères pour la sélection des sites du RPN optimisé

Partant du constat de la distribution actuellement peu homogène du RPN, et de sa densité insuffisante, les principaux critères qui ont guidé la sélection de sites additionnels reposent sur les éléments suivants :

- Amélioration de la densité de sites pour le réseau optimisé, visant des objectifs pragmatiques pouvant mener à une opérationnalisation effective dans le court et moyen terme, de manière compatible avec les ressources humaines, matérielles et budgétaires qui peuvent raisonnablement être mobilisées dans le cadre d'un renforcement. Ces objectifs sont les suivants :
    - À l'échelle nationale : 1/3.000 km²
    - Pour les zones du sédimentaire : 1/1.000 à 1/1.500 km²
    - Pour les zones de socle cristallin et métamorphique : 1/4.000 à 1/4.500 km²
- Amélioration de l'homogénéité du réseau par rapport aux zonages spatiaux (contexte géologique et hydrogéologique, bassins versants, régions et UCDIEAU) ;
- Amélioration de la représentativité du réseau au niveau des aquifères significativement exploités, notamment dans les zones concernées par les centres ONEA exploitant les eaux souterraines ;
- Amélioration accrue de la représentativité du réseau et de la densité de sites au niveau du sédimentaire de l'Ouest (y compris à l'échelle de chaque formation hydrogéologique), compte tenu des potentialités aquifères favorables, du taux d'exploitation et de sa croissance, de la vulnérabilité des aquifères, et des enjeux socio-économiques de la zone liés aux ressources en eau souterraine ;

- Concentration plus élevée dans la zone de Bobo Dioulasso, compte tenu de l'exploitation particulièrement intense des aquifères dans cette zone et de leur forte croissance, dans un contexte de vulnérabilité de la ressource et de dépendance d'écosystèmes liés ;
- Capitalisation des sites existants du RPN actuel, afin de bénéficier des chroniques historiques de suivi piézométrique et de limiter le nombre de nouveaux forages à réaliser ;
- Valorisation des piézomètres existants ne faisant pas partie du RPN actuel : piézomètres du réseau AEM et piézomètres réalisés dans le cadre du programme VREO, afin de limiter le nombre de nouveaux forages à réaliser ;
- Réhabilitation de piézomètres existants, afin de limiter le nbre de nouveaux forages à réaliser ;
- Adoption d'une approche pragmatique visant un nombre total de sites raisonnable en adéquation avec les moyens humains, matériels et budgétaires qui peuvent être mobilisés dans le cadre d'un renforcement à la fois significatif et réaliste ;
- Prise en compte des réseaux secondaires de suivi de la piézométrie, dans la recherche de complémentarités géographiques et dans l'évitement de redondances ;
- Prise en compte de l'utilisation des sites du RPN pour la réalisation d'essais de pompage et de prospection géophysique (méthode RMP), en vue de permettre la détermination sur site de la porosité de drainage en support (notamment) à l'évaluation de la recharge par la méthode des cubatures piézométriques ;
- Capitalisation des résultats et recommandations des études disponibles en relation avec l'optimisation de réseau piézométrique au Burkina Faso, dont entre-autres :
    - Mission d'Assistance technique à la DGRE en matière de suivi piézométrique (DHI Water & Environment, aout 2008) ;
    - Implantation et suivi contrôle des travaux de réalisation de 46 piézomètres dans les bassins versants du Nakanbé et du Niger (BERA, aout 2010) ;
    - Etat des lieux de la situation hydrométéorologique dans le bassin de la Volta (SHER, décembre 2010) ;
    - Appui à la GIRE dans les bassins du Mouhoun et de la Comoé : rapport sur les besoins des systèmes de suivi et équipement proposés (COWI, octobre 2011) ;
    - Etude 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 (BERASE, décembre 2017) ;
    - Etude diagnostique de la base de données SIG/Piézométrique de la DGRE (F. Millogo, novembre 2018) ;
    - Rapport de l'étude de la stratégie de suivi et de l'évaluation des ressources en eau (COWI, février 2019) ;
    - Synthèse du suivi des ressources en eau, année 2019 (DGRE, octobre 2020).

La démarche suivie pour l'optimisation a donc été réalisée de façon spatiale, en croisant sur base cartographique les différents éléments et critères repris ci-avant.

On notera que l'optimisation du RPN ne repose pas sur la prise en compte de niveaux aquifères multiples superposés verticalement. En effet, le contexte géologique et hydrogéologique rencontré au Burkina Faso, au même titre que les modalités d'exploitation de ces aquifères, ne justifient pas la prise en compte de

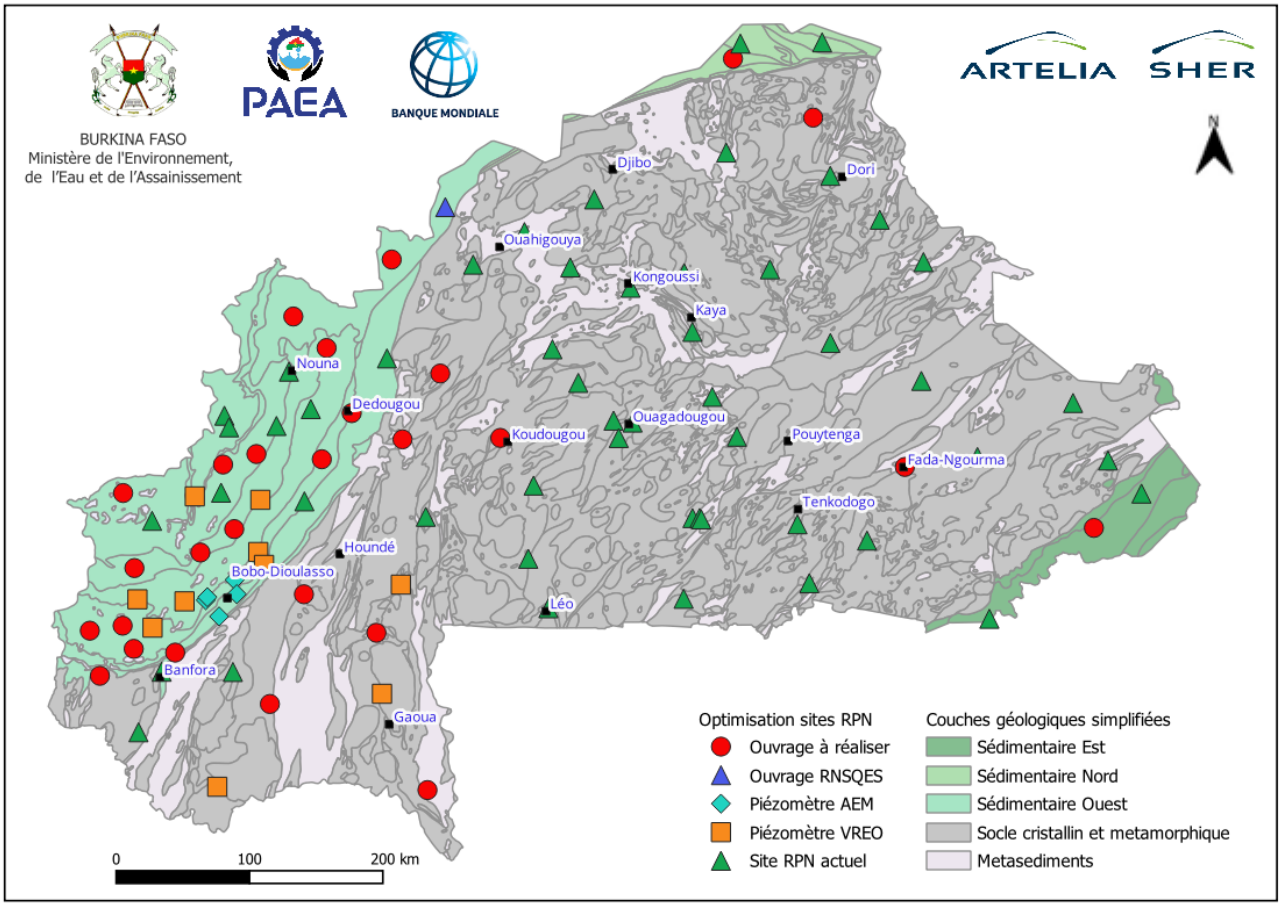
niveaux multiples superposés.

En zone de socle on constate en effet, au niveau des ouvrages actuels du RPN qui interceptent deux niveaux distincts (zone altérée et zone fissurée) par la pose de 2 tubages distincts et isolés, que les mesures de niveaux statiques sont identiques dans les deux tubages. Cela peut résulter soit d'une mauvaise isolation des deux niveaux dans l'ouvrage, soit d'une continuité hydraulique entre la zone altérée et la zone fissurée dans le socle, soit d'une combinaison de ces deux causes. Il ne nous parait pas recommandé de prévoir le suivi de niveaux multiples (zone altérée et zone fissurée) dans le socle au sein d'un réseau de suivi piézométrique national. Nous préconisons plutôt la mise en place de ce type de dispositif au sein de sites expérimentaux, dans le cadre d'études hydrogéologiques ciblées sur cette question. Il en va de même pour la distinction, au sein d'un même site de suivi, de piézomètre 'plateau' cohabitant avec un piézomètre 'bas-fond'. Cette distinction, qui implique le dédoublement d'ouvrages au sein d'un même site, ne nous parait pas pertinente dans le cadre d'un réseau de suivi piézométrique national.

En zone sédimentaire (bassin de Taoudeni au Nord et à l'Ouest et bassin Voltaïen à l'Est), les aquifères exploitables sont caractérisés par des épaisseurs très significatives. Les ouvrages de captage (puits et forages) exploitent tous le premier niveau aquifère rencontré, et n'interceptent jamais le niveau aquifère inférieur en cas de nappes superposées (à l'exception des ouvrages situés en plaine alluviale, ce qui représente un cas particulier pris en compte). Nous ne préconisons donc pas la prise en compte d'aquifères superposés dans le réseau de suivi piézométrique national, car cela impliquerait l'atteinte de profondeurs importantes (pouvant dépasser 300 mètres) et l'interception de nappes systématiquement non exploitées au droit de l'ouvrage de suivi concerné. Par contre, la prise en compte d'aquifères superposés en zone sédimentaire nous parait pertinente dans le cadre de sites expérimentaux qui seraient opérationnalisés au sein d'études hydrogéologiques spécifiques. Cela est précisément le cas dans le cadre du PAEA, lequel prévoit la réalisation de forages profonds en zone sédimentaire et de piézomètres multi-niveaux associés.

H.1.2. Identification et distribution spatiale des sites du RPN optimisé

Le RPN optimisé tel que proposé est composé de 94 sites de suivi piézométrique, dont la répartition spatiale est reprise sur la carte ci-après. L'optimisation repose sur les critères définis en section H.1.1, intégrés sur base spatialisée au travers de l'utilisation d'un SIG.



Carte 41 : Répartition des sites piézométriques proposés pour le RPN optimisé

La liste des sites proposés du RPN optimisé est reprise en annexe Q.14.

Le RPN optimisé comporte donc 43 sites additionnels, par rapport aux 51 sites opérationnels du RPN actuel.

Les sites additionnels s'appuient prioritairement sur la valorisation de piézomètres existants (piézomètres du réseau AEM, piézomètres du Programme VREO), sur la réhabilitation d'ouvrages existants (antérieurement intégrés au RPN), et enfin sur la réalisation de nouveaux piézomètres lorsqu'aucun ouvrage existant ne peut être valorisé.

Le tableau ci-après détaille la distribution des sites selon ces statuts.

Tableau 48 : Distribution des sites selon leur statut

Statut des sites	**Nombre**
Sites fonctionnels du RPN actuel	51
Sites à réhabiliter	2
Sites repris dans le RNSQES optimisé 2018	1
Sites du réseau AEM	5
Sites avec piézomètre VREO	10
Nouveaux piézomètres à réaliser	25
Total	**94**

On constate que l'ensemble des sites opérationnels actuels du RPN ont été conservés, en ce compris lorsqu'il s'agit de sites rencontrés à des distances très proches. Nous estimons en effet que, ces sites étant opérationnels et déjà suivis avec un historique de mesures parfois important, leur maintien dans le réseau

peut se justifier, et ce même si du point de vue de la distribution spatiale ils n'apportent pas de plus-value significative.

On constate également que, malgré l'ajout de 43 sites additionnels, seuls 25 nouveaux forages sont à priori à prévoir. Cette situation résulte de la priorité donnée à la valorisation d'ouvrages existants, dont certains seront toutefois à réhabiliter (protection en surface, nettoyage du tubage par soufflage).

Ces ouvrages additionnels existants sont pour la plupart issus :

- Du réseau de suivi AEM, dont 5 piézomètres parmis les 25 suivis par l'AEM ont été sélectionnés compte tenu de leur localisation, de leurs caractéristiques, et de leur historique de données piézométriques disponibles (lesquelles remontent aux années 70-80). S'agissant d'ouvrages régulièrement suivis pas l'AEM, leur état de fonctionnement est jugé satisfaisant et aucune opération de nettoyage par soufflage ne semble nécessaire. Ces ouvrages sont géographiquement concentrés dans le Bassin du Kou.
- Des travaux du Programme VREO (2005-2008), qui ont permis la réalisation de 43 piézomètres dans la zone d'intervention du Programme. Dix d'entre-eux ont été sélectionnés, compte tenu de leur localisation et de leurs caractéristiques. Ne faisant pas l'objet d'un suivi régulier depuis leur réalisation, ces ouvrages devront idéalement faire l'objet d'un nettoyage par soufflage (air lift).

Pour ces ouvrages, il est recommandé de prévoir une amélioration de la protection en surface (tubage métallique extérieur et couvercle sécurisé), notamment en vue du placement permanent de sondes automatiques de mesure de pression.

A l'échelle nationale, le RPN optimisé présente une densité moyenne de 1 site par 2.915 km² (cfr *Tableau 49*). Cette valeur répond à l'objectif fixé dans les critères retenus d'optimisation à l'échelle nationale (1/3.000 km² en moyenne nationale), lesquels ont notamment été établis avec une vision pragmatique et réaliste, càd jugés en adéquation avec les moyens humains, matériels et budgétaires qui pourront raisonnablement être dégagés dans le cadre d'une optimisation à la fois ambitieuse et réaliste.

Tableau 49: Densité de sites du RPN optimisé au Burkina Faso

Zone géographique	Superficie (km²)	Nombre sites RPN optimisé	Densité (km²/sites)	Nombre de piézomètres selon RPN optimisé
Total Burkina Faso	274.054	94	2.915	131

On notera que le nombre de piézomètres est de 131, correspondant au nombre total de piézomètres (ouvrages) sur l'ensemble des sites, tenant compte de l'existence actuelle de plusieurs piézomètres (2 ou 3) par site sur une grande partie des sites du RPN actuel. Au total en effet, les 51 sites actuels du RPN comptabilisent 88 piézomètres opérationnels et suivis. Bien que la présence de plusieurs piézomètres sur un même site, dans le cadre d'un réseau de suivi national homogène, ne nous parait pas indiquée dans la mise en place d'un tel réseau, le fait que ceux-ci soient déjà forés et opérationnels, et qu'ils bénéficient de chroniques de mesures intéressantes, nous semble plaider pour leur maintien dans le réseau. Nous ne remettons donc pas en cause les choix opérés lors de l'établissement du RPN actuel, et intégrons par défaut l'ensemble des piézomètres fonctionnels qui en font actuellement partie. Si toutefois pour des raisons pratiques il s'avérait indiqué de limiter le nombre d'ouvrages à suivre, il est évident que la rationalisation s'attachera à ne retenir qu'un seul ouvrage par site, plutôt que de limiter le nombre de sites additionnels à intégrer au réseau optimisé. Quoi qu'il en soit, et comme on le verra plus loin, nous recommandons d'équiper un seul piézomètre par site de sonde automatique de pression.

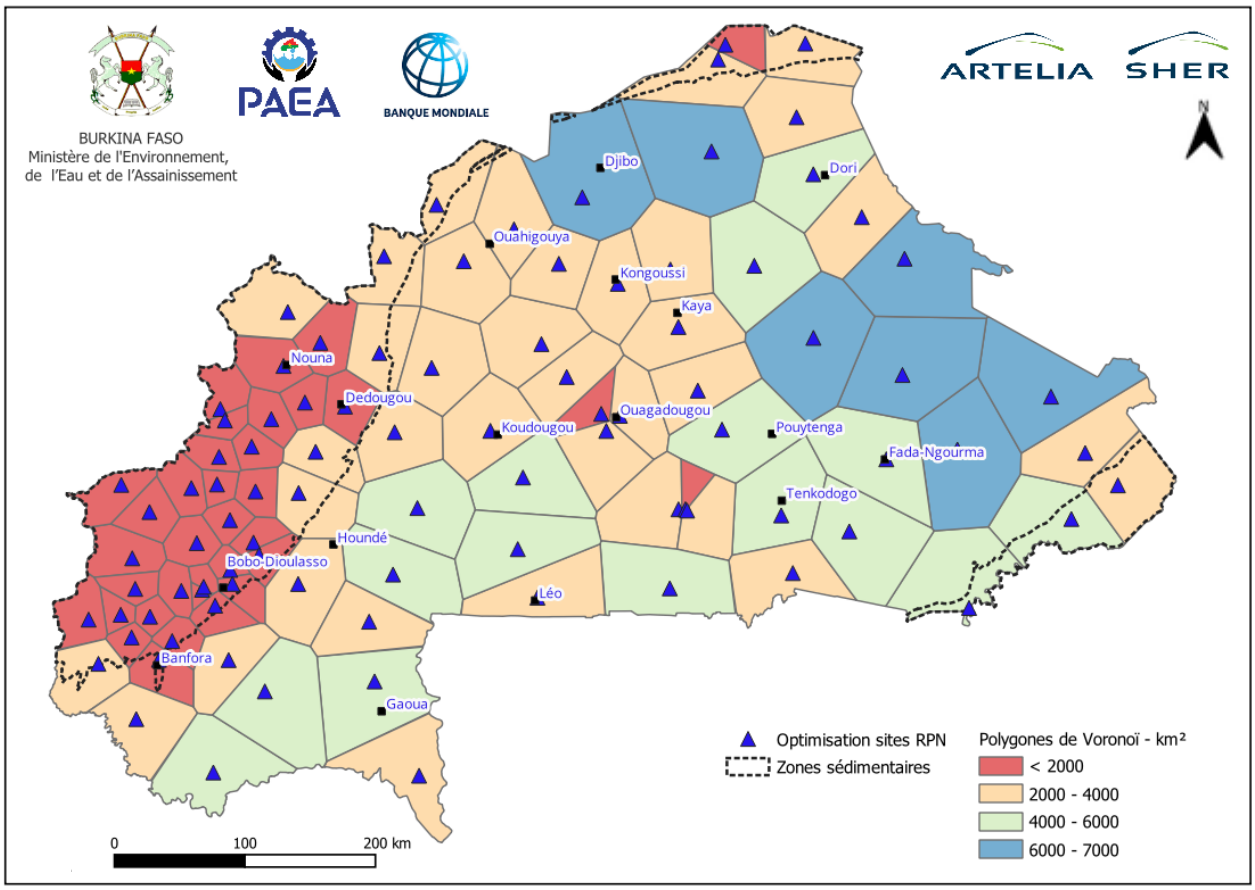
En ce qui concerne le nombre de points de mesures, lequel intègre la présence de tubages multiples sur certains piézomètres du RPN actuel (en zone de socle essentiellement), nous recommandons par contre de

limiter le suivi du niveau de nappe à un seul tubage correspondant au tubage dit 'profond'. En effet, les données collectées à ce jour à partir de ces ouvrages à tubages multiples indiquent une parfaite similitude entre les mesures effectuées dans un même piézomètre à partir de tubages distincts, et de fréquentes erreurs de saisie en découlent (inversion des points de mesure lors de la saisie, etc.). La redondance de ces données nous parait contre-productive et source de confusion, sans valeur ajoutée significative.

L'analyse spatiale et statistique du réseau optimisé est réalisée, compte tenu des éléments qui précèdent, sur base des sites (nombre et répartition géographique) et non sur base des piézomètres ou des tubages.

Au-delà de cette évaluation de la densité moyenne du RPN optimisé, l'analyse de la distribution spatiale des sites permet d'évaluer le degré d'homogénéité du réseau optimisé et d'identifier son amélioration p/r au réseau actuel, notamment dans les zones les plus faiblement couvertes. La Carte 42

Carte 42 illustre à ce titre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites du réseau optimisé à l'échelle nationale. On observe clairement une amélioration substantielle de la densité et de l'homogénéité à l'échelle nationale, en particulier dans la partie sud-ouest du pays qui présentait une très faible densité dans le réseau initial. On notera également que la taille maximale des polygones de Voronoï est descendue à 7.000 km², alors qu'elle atteignait plus de 15.000 à 20.000 km² dans le réseau initial.



Carte 42 : Zonage de concentration des sites du RPN optimisé (polygones de Voronoï/Thiessen)

L'optimisation du RPN a été menée de manière à améliorer la distribution spatiale, la densité et l'homogénéité du réseau non seulement à l'échelle nationale, mais également suivant différents zonages géographiques. On citera prioritairement pour des raisons évidentes les critères liés au contexte géologique et hydrogéologique ainsi que leur zonage associé, mais également les bassins versants nationaux, les entités administratives et de gestion du suivi des ressources en eau (dont en particulier les régions et les UCDIEAU),

et les zones d'exploitation des aquifères. Les résultats de cette optimisation zonale sont présentés dans les sections suivantes.

H.1.3. Optimisation du RPN selon les zones géologiques et les formations hydrogéologiques

Le tableau ci-après reprend la répartition et la densité de sites pour chaque zone géologique.

Tableau 50 : Répartition et densité des sites par zones géologiques

Zone géologique	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
A. Sédimentaire			
Sédimentaire Nord	4 026	3	1 342
Sédimentaire Est	6 546	3	2 182
Sédimentaire Ouest	42 345	39	1 086
Total Sédimentaire	**52 917**	**45**	**1 176**
B Socle et métasédiments			
Socle cristallin et métamorphique	185 693	42	4 421
Métasédiments	35 444	7	5 063
Total Socle et métasédiments	**221 138**	**49**	**4 513**

H.1.3.1. Zones de socle cristallin et métamorphique

La zone du socle cristallin et métamorphique (incluant les métasédiments) dénombre 49 sites, soit 12 sites additionnels par rapport aux sites en zone de socle du RPN actuel.

Tableau 51 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le socle cristallin et métamorphique

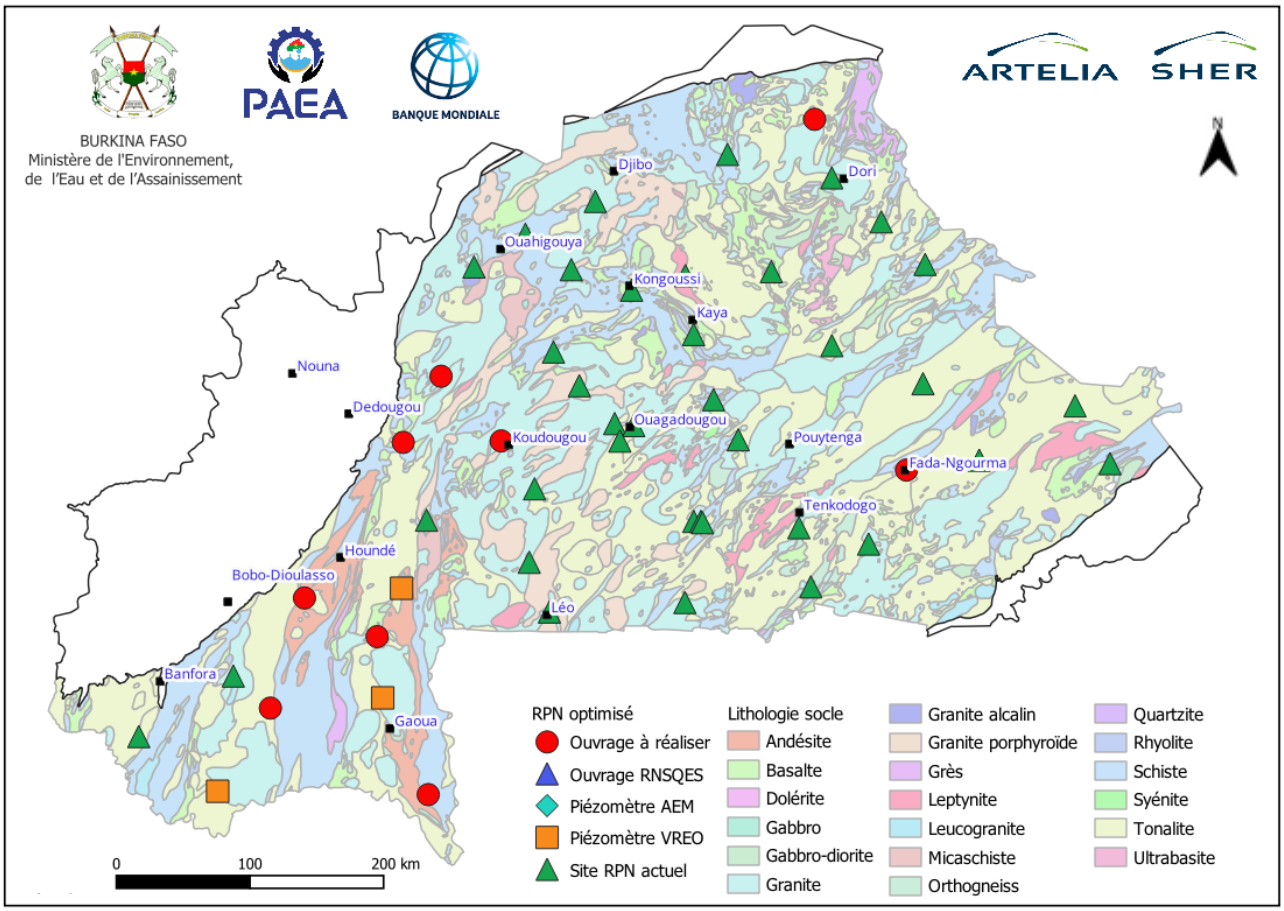
Zone géologique	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Socle cristallin et métamorphique	185 693	42	4 421
Métasédiments	35 444	7	5 063
Total Socle et métasédiments	**221 138**	**49**	**4 513**

La grande majorité des sites additionnels se trouvent dans la partie ouest / sud-ouest de la zone de socle (correspondant globalement aux bassins de la Comoé et du Mouhoun), étant donné la plus faible densité du réseau actuel dans cette zone et les lacunes observées qui en découlent.

Par rapport à l'ensemble du RPN, les sites répertoriés en zone de socle représentent 52% du nombre total de sites piézométriques du RPN.

La densité moyenne est de l'ordre de 1 site opérationnel par 4.500 km², soit une valeur appréciable par rapport aux recommandations (1/7.000 km²) formulées pour les zones de socle dans le Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France (2003).

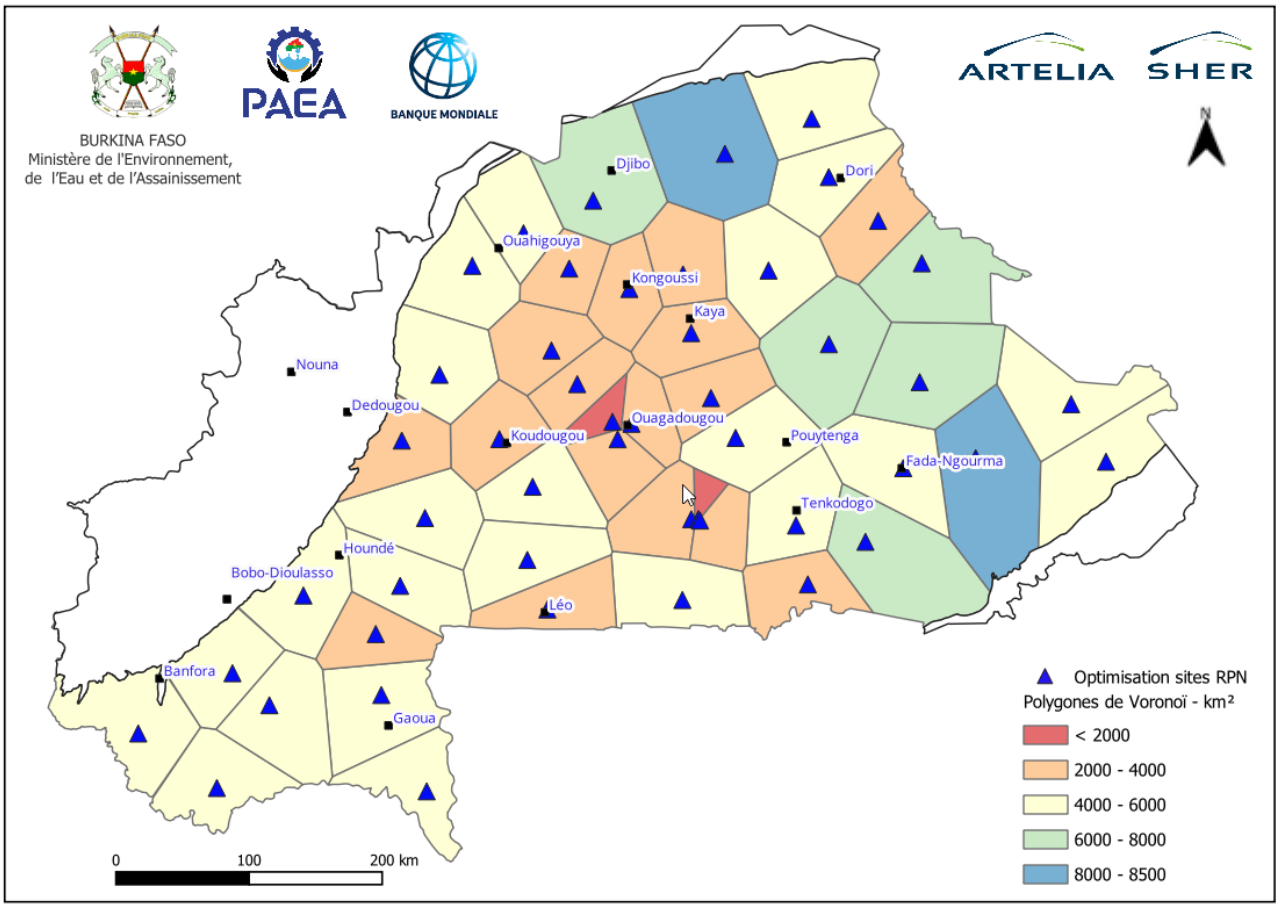
La carte ci-après illustre la distribution du RPN optimisé en zone de socle.



Carte 43 : Répartition du RPN optimisé dans le socle cristallin et métamorphique

La carte ci-après illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites du RPN optimisé localisés dans la zone de socle.

On observe un zonage de concentration beaucoup plus homogène que dans le réseau actuel, avec l'amélioration la plus notable observée dans la partie ouest. La majorité des polygones ont une taille comprise entre 2.000 et 6.000 km², tandis qu'aucun ne dépasse 8.500 km² (contre 20.000 km² avant optimisation).



Carte 44 : Zonage de concentration du RPN optimisé en zone de socle (polygones de Voronoï/Thiessen)

H.1.3.2. Zones Sédimentaires

La zone du sédimentaire (N, E et O) dénombre 45 sites du RPN tel qu'optimisé, soit 31 sites additionnels par rapport au RPN actuel. L'augmentation du nombre de sites est donc substantielle en zone sédimentaire, elle représente en effet 72% des sites additionnels (contre 28% pour le socle). Cette situation se justifie par l'important déficit actuellement observé en zone sédimentaire, en particulier dans le sédimentaire Ouest.

Par rapport à l'ensemble du RPN, les sites répertoriés en zone sédimentaire représentent 48% du nombre total de sites piézométriques du RPN tel qu'optimisé.

Tableau 52 : Répartition et densité du RPN optimisé dans les zones sédimentaires du Burkina Faso

Zone sédimentaire	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Sédimentaire Nord	4 026	3	1 342
Sédimentaire Est	6 546	3	2 182
Sédimentaire Ouest	42 345	39	1 086
Total Sédimentaire	**52 917**	**45**	**1 176**

On constate que le sédimentaire de l'Ouest comprend 39 des 45 sites du sédimentaire, soit 86%, ce qui se justifie amplement non seulement sur base de la superficie de cette zone, mais également compte tenu de ses potentialités aquifères, de son taux d'exploitation, et des enjeux socio-économiques de cette zone.

Les zones sédimentaires (N, E et O) sont caractérisées par une densité moyenne globale de 1 site opérationnel par 1.176 km², améliorée d'un facteur deux p/r à la densité actuelle du RPN dans ces zones. Cette valeur est conforme aux recommandations de densité minimale de 1/1.600 km² de l'OMM, tout en restant supérieures aux 1/500 km² recommandés pour les aquifères libres en terrain sédimentaire reprises dans le Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France (2003). Nous estimons toutefois qu'elles sont compatibles avec les objectifs poursuivis (tels que fixés de manière pragmatique entre 1.000 et 1.500 km²), et raisonnablement adaptées aux contraintes rencontrées.

L'analyse plus détaillée de la situation du réseau piézométrique national optimisé par zone sédimentaire est reprise ci-après.

H.1.3.2.1. Zone du sédimentaire Ouest

Le sédimentaire Ouest compte 39 sites du RPN tel qu'optimisé, soit une augmentation de 29 sites p/r au RPN actuel dans cette zone (10 sites seulement). Cette augmentation très importante résulte de la très faible densité du RPN actuel dans cette zone, et de sa distribution spatiale actuelle peu homogène (avec un nombre extrêmement réduit de sites dans la partie sud-ouest).

Globalement, la densité du RPN passe de 1/4.235 km² (RPN actuel) à 1/1.086 km² (RPN optimisé), soit une amélioration d'un facteur quatre. Cette densité du RPN optimisé dans cette zone répond aux objectifs visés, et nous semble en adéquation tant avec les enjeux rencontrés dans la zone qu'avec les potentialités aquifères et l'exploitation de ceux-ci.

La répartition par formations hydrogéologiques du sédimentaire Ouest, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

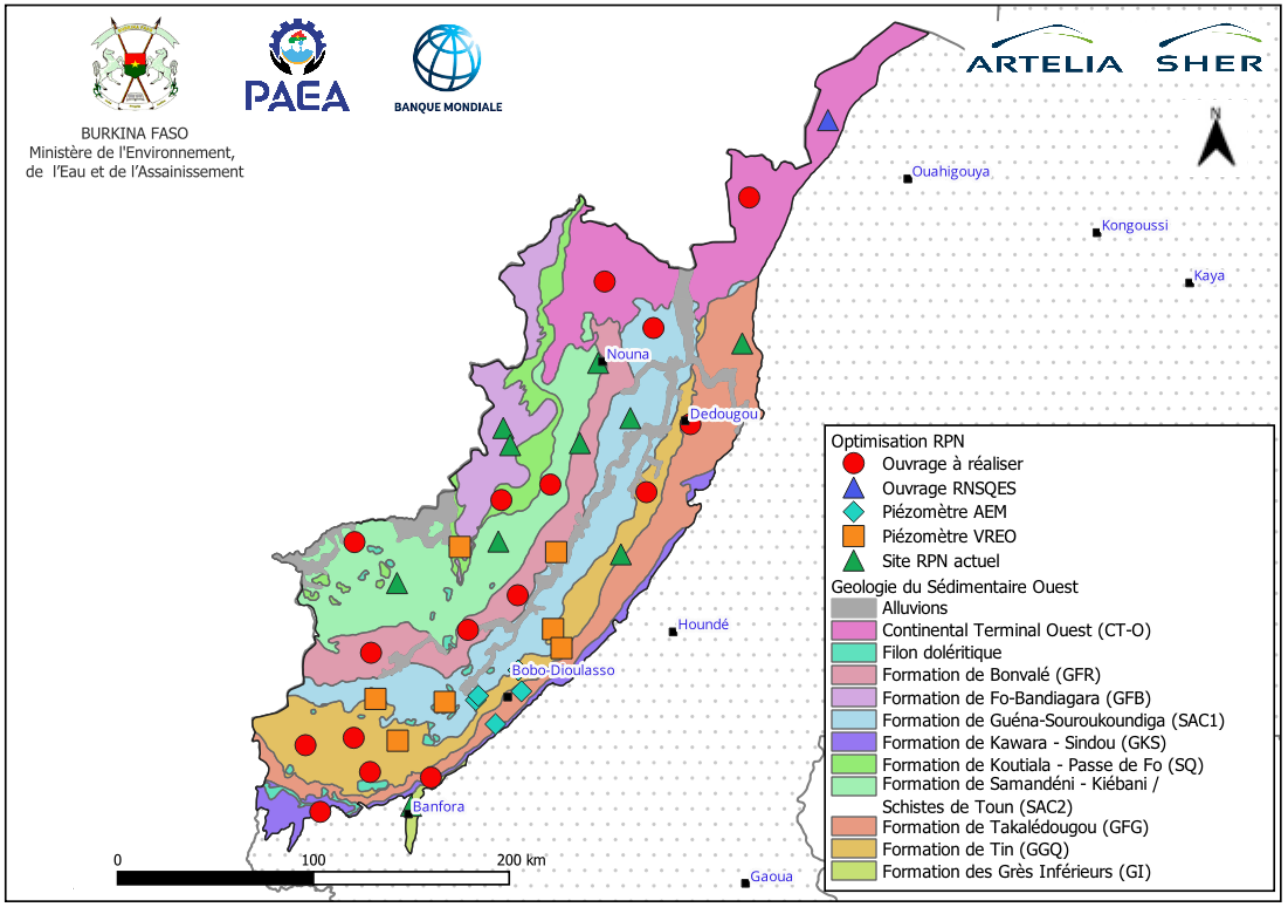
Tableau 53 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le sédimentaire Ouest

Contexte hydrogéologique **Sédimentaire Ouest**	**Superficie (km²)**	**Nombre sites**	**Densité (km²/sites)**
Formation de Guéna - Souroukoudinga	6 887	7	984
Formation de Koutiala	1 042	1	1 042
Formation de Bonvalé	419	4	105
Formation de Kawara - Sindou	1 042	1	1 042
Formation de Takalédougou	627	5	125
Formation de Tin	5 241	8	655
Formation de Samandéni - Kiébani	7 389	6	1 232
Grès inférieurs	178	1	178
Groupe de Bandiagara	3 058	3	1 019
Continental Terminal	7 048	3	2 349
Total Sédimentaire Ouest	**42 345**	**39**	**1 086**

On observe que chaque formation hydrogéologique comporte au-minimum un piézomètre (alors que c'était le cas pour 60% seulement des formations dans le réseau actuel), et que chaque formation bénéficie d'une densité ne dépassant pas 1/1.200 km² (hormis le CT).

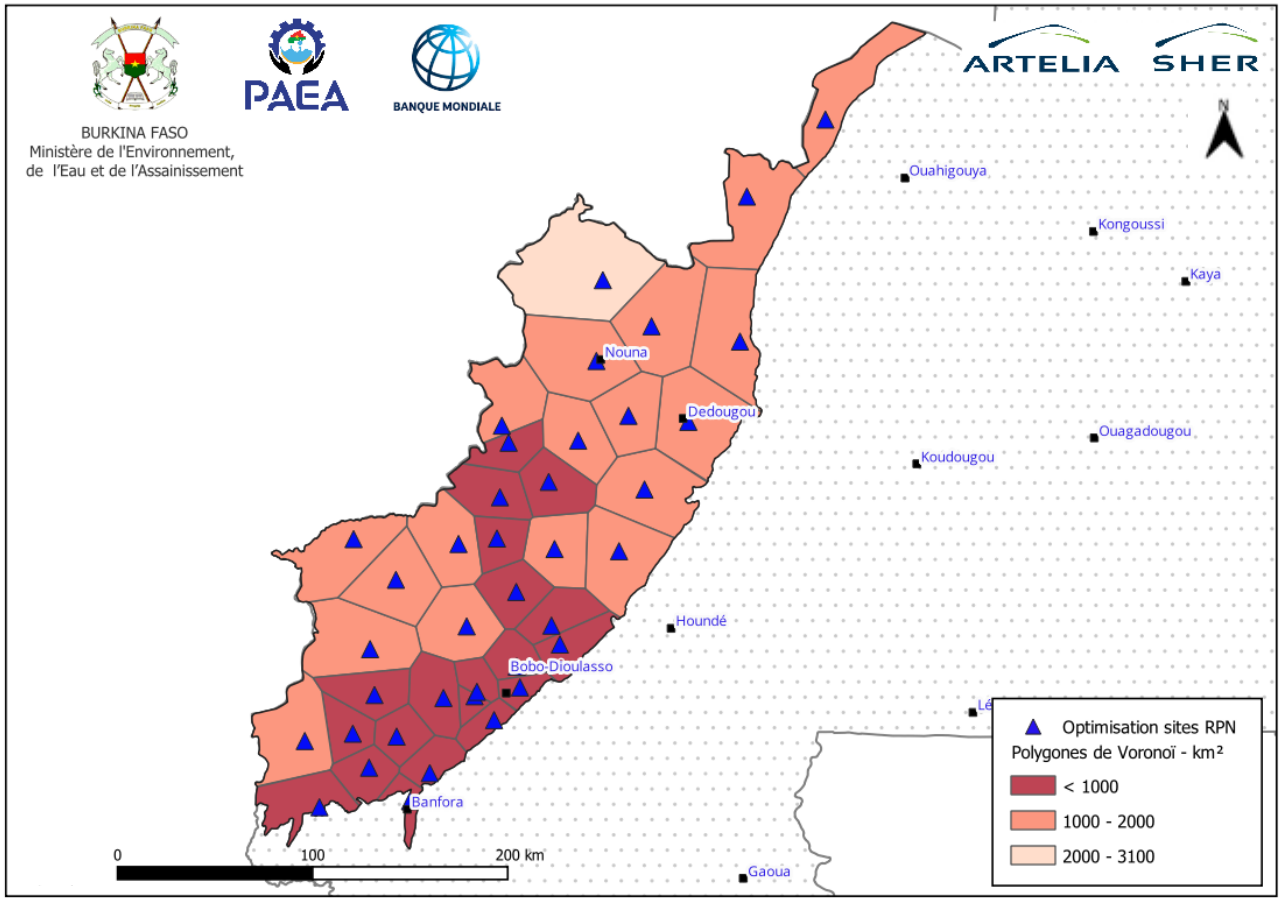
On observe également que les formations hydrogéologiques les plus stratégiques (bonnes potentialités aquifères, taux d'exploitation élevé et en croissance, vulnérabilité plus élevée), telles que le GGQ, le SAC1, le SAC2 et le GFG, sont celles qui disposent du nombre le plus élevé de sites (4 à 8) selon l'optimisation proposée.

La carte ci-après illustre la distribution spatiale du RPN optimisé dans la zone sédimentaire ouest. On y observe une distribution plus homogène que le RPN actuel, et une meilleure densité de sites, obtenues d'une part par l'ajout de noveaux piézomètres à réaliser (16 unités) et d'autre part par la valorisation de piézomètres existants. On citera à ce titre la valorisation d'une série de 7 piézomètres réalisés dans le cadre du programme VREO (2006-2008), ainsi que 5 piézomètres actuellement suivis par l'AEM dans la zone de Bobo Dioulasso. L'optimisation du RPN dans cette zone s'appuie donc significativement sur la valorisation d'ouvrages existants (12 unités), ce qui d'une part limite les couts d'optimisation, et d'autre par permet une capitalisation appréciable d'un historique de données piézométriques disponibles.



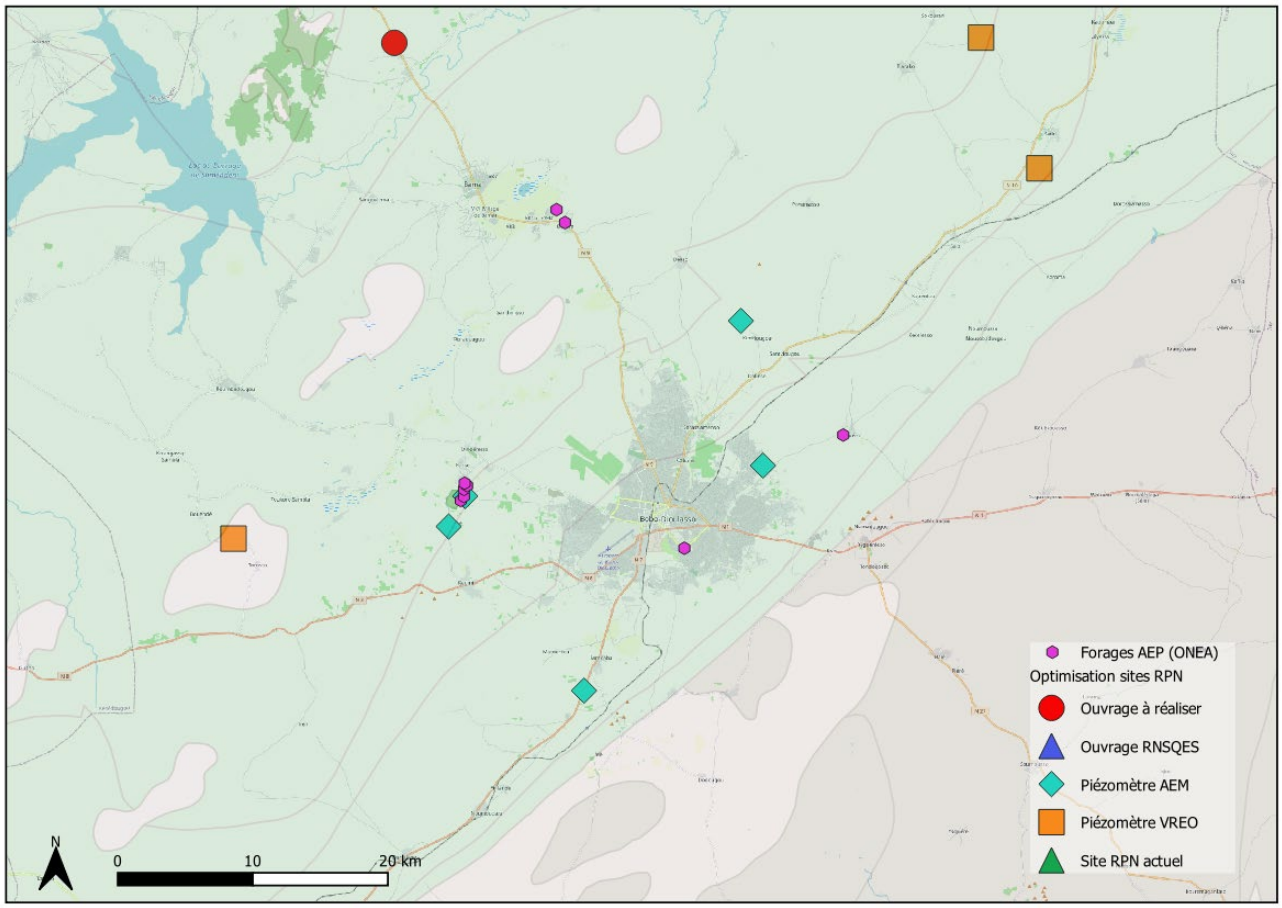
Carte 45 : Distribution spatiale du RPN optimisé dans le sédimentaire Ouest

La carte ci-après illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites du RPN optimisé dans le sédimentaire Ouest. On y observe la très forte amélioration du zonage de concentration avec des polygones ne dépassant pas 2.000 km² (sauf localement en CT Nord), contre plus de 20.000 km² dans le RPN actuel.



Carte 46 : Zonage de concentration du RPN optimisé dans le sédimentaire Ouest (polygones de Voronoï/Thiessen)

On notera également l'attention particulière apportée à la zone de Bobo Dioulasso, dont l'exploitation historiquement intense des eaux souterraines ne fait que continuer à croitre fortement, ainsi qu'à la zone de Dédougou qui subit des pressions quantitatives plus récentes mais de plus en plus importantes (augmentation significative des prélèvements ONEA, notamment). Cette attention résulte en une densité supérieure dans ces zones, dont en particulier autour de Bobo Dioulasso. La carte ci-après reprend, à ce titre, un zoom de la zone de Bobo Dioulasso et du RPN optimisé tel que proposé.



Carte 47 : Distribution du RPN optimisé : zoom sur la zone de Bobo Dioulasso

On rappellera toutefois que le RPN est avant tout un réseau primaire établi à l'échelle nationale, et que malgré l'attention particulière apportée à la zone de Bobo Dioulasso il convient que celle-ci fasse également l'objet de la poursuite du monitoring secondaire (réseau d'impact) en cours au niveau de l'AEM, et au niveau d'une éventuelle reprise des observations piézométriques par l'ONEA.

H.1.3.2.2. Zone du sédimentaire Nord

La répartition du RPN optimisé par formations hydrogéologiques du sédimentaire Nord, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

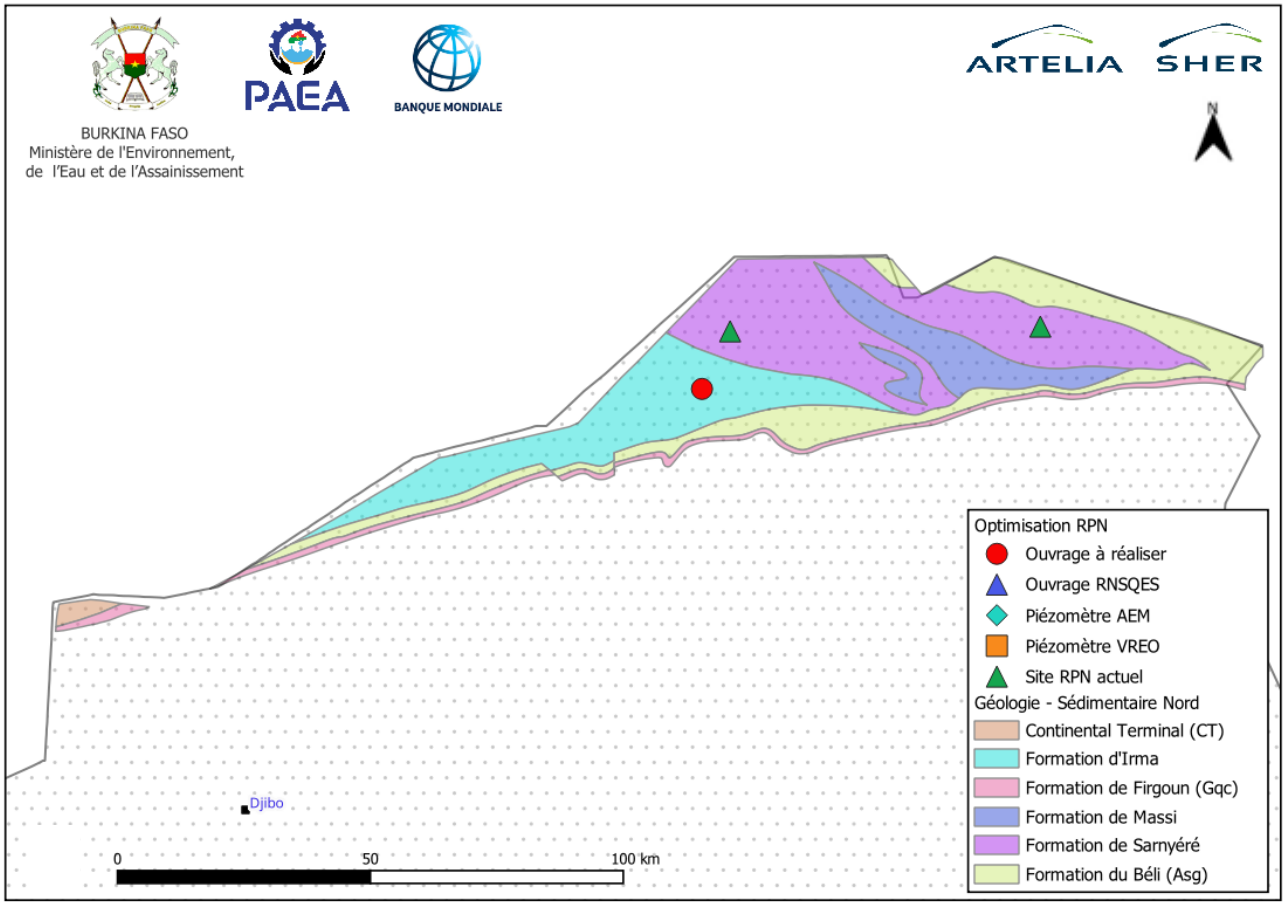
Tableau 54 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le sédimentaire Nord

Contexte hydrogéologique Sédimentaire Nord	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Formation du Béli	951	0	
Formation de Sarnyéré	1 481	2	741
Formation de Massi	355	0	
Formation de Firgoun	187	0	
Formation d'Irma	955	1	955
Continental Terminal	97	0	
Total Sédimentaire Nord	**4 026**	**3**	**1 342**

Seuls deux sites opérationnels couvrent actuellement le sédimentaire Nord : Tin-Akoff et Tin-Arkachen, constitués chacun de 2 ouvrages et de deux points de mesure fonctionnels. Sur chacun des sites, les piézomètres sont distants d'une centaine de mètres seulement. Ces deux sites sont situés dans la Formation de Sarnyéré. L'optimisation du RPN porte sur l'ajout d'un seul ouvrage, dans la Formation d'Irma qui constitue avec celle de Sarnyéré l'aquifère le plus productif du Sédimentaire Nord (terrains carbonatés à niveaux karstifiés). Avec 3 ouvrages de suivi dans le RPN optimisé, la densité moyenne atteint 1.342 km², ce qui parait en adéquation avec les objectifs poursuivis du réseau homogène et avec la demande en eau relativement limitée dans cette zone peu peuplée. Le maintien sur le long terme du suivi piézométrique dans cette zone nous parait pertinent, au regard de l'évaluation de l'impact des changements climatiques en zone aride et des développements potentiels de l'exploitation des eaux souterraines (notamment au niveau du forage Christine).

L'ajout de piézomètres additionnels dans les autres formations du sédimentaire Nord ne nous parait pas prioritaire, compte tenu de leurs potentialités limitées.

La carte ci-dessous illustre la localisation des sites du RPN tel qu'optimisé dans le sédimentaire Nord.



Carte 48 : Distribution spatiale du RPN optimisé dans le sédimentaire Nord

H.1.3.2.3. Zone du sédimentaire Est

La répartition du RPN optimisé par formations hydrogéologiques du sédimentaire Est, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 55 : Répartition et densité du RPN optimisé dans le sédimentaire Est

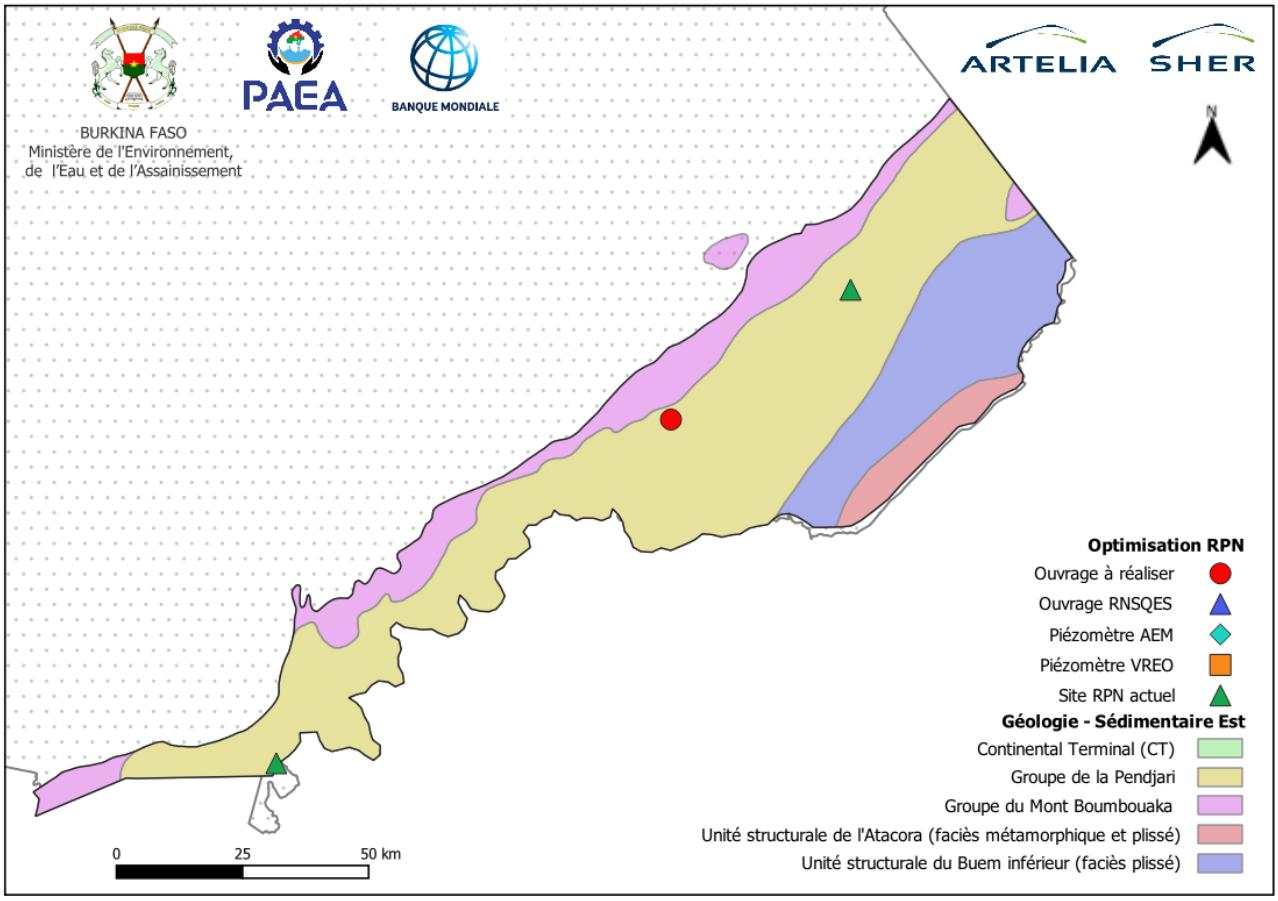
Contexte hydrogéologique Sédimentaire Est	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Niveaux inférieurs du Buem	1 163	0	
Quartzites de l'Atacora	248	0	
Groupe de la Pendjari	3 786	3	1 262
Groupe du Mont Boumbouaka	1 089	0	
Continental Terminal	261	0	
Total Sédimentaire Est	**6 546**	**3**	**2 182**

Seuls deux sites opérationnels couvrent le sédimentaire Est : Kionkianga et Koalou, constitués chacun de 1 ouvrage et de 1 point de mesure fonctionnel. Ces deux sites sont situés dans la Formation de la Pendjari. L'optimisation du RPN porte sur l'ajout d'un seul ouvrage (à réaliser), dans cette même formation qui constitue l'aquifère le plus productif et le plus exploité du Sédimentaire Est.

Avec 3 ouvrages de suivi dans le RPN optimisé, la densité moyenne atteint 2.182 km², ce qui parait en adéquation avec les objectifs poursuivis du réseau homogène et avec la demande en eau relativement limitée dans cette zone présentant la particularité d'être à la fois peu peuplée et majoritairement couverte par des réserves naturelles et des parcs nationaux.

L'ajout de piézomètres additionnels dans les autres formations du sédimentaire Est ne nous parait pas prioritaire, compte tenu de leurs potentialités limitées et de leur taux d'exploitation insignifiant pour ce qui concerne les formations plissées du Buem et des quartzites de l'Atacora. En ce qui concerne la formation du Mont Boumbouaka, le suivi des nombreuses sources à l'émergence qui pourrait être assuré par l'AE nous parait constituer l'indicateur quantitatif le plus adapté à la configuration topographique et hydrogéologique rencontrée à ce niveau.

La carte ci-dessous illustre la localisation des sites du RPN tel qu'optimisé dans le sédimentaire Est.



Carte 49 : Répartition du RPN optimisé dans le sédimentaire Est

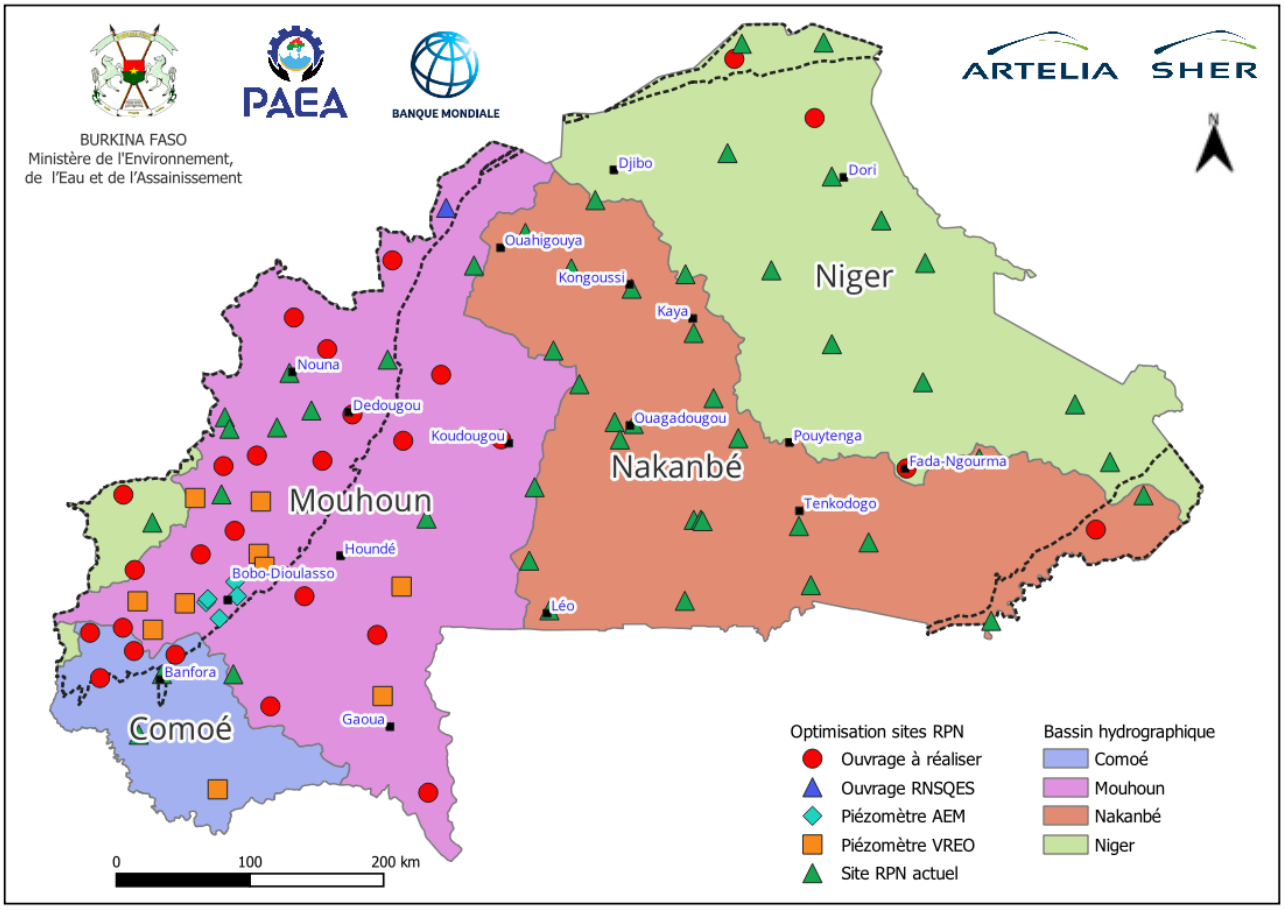
H.1.4. Distribution par bassins-versants nationaux du RPN optimisé

La distribution des sites du RPN optimisé par bassins hydrographiques nationaux est reprise dans le tableau et sur la figure ci-après.

Tableau 56 : Densité des sites du RPN optimisé par BV nationaux

Bassin Versant National	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Comoé	17 552	8	2 194
Mouhoun	91 386	44	2 077
Nakanbé	81 436	24	3 393
Niger	82 835	18	4 602
Total BKF	**274 054**	**94**	**2 915**

On observe une meilleure distribution spatiale p/r au RPN actuel, essentiellement dans les bassins du Mouhoun et de la Comoé qui étaient particulièrement déficitaires. Les densités de sites sont en amélioration significative pour chaque BV, et l'homogénéité est également amélioriée dont en particulier la moitié sud du bassin du Mouhoun.



Carte 50 : Répartition du RPN optimisé par BV nationaux

H.1.5. Distribution par Régions du RPN optimisé

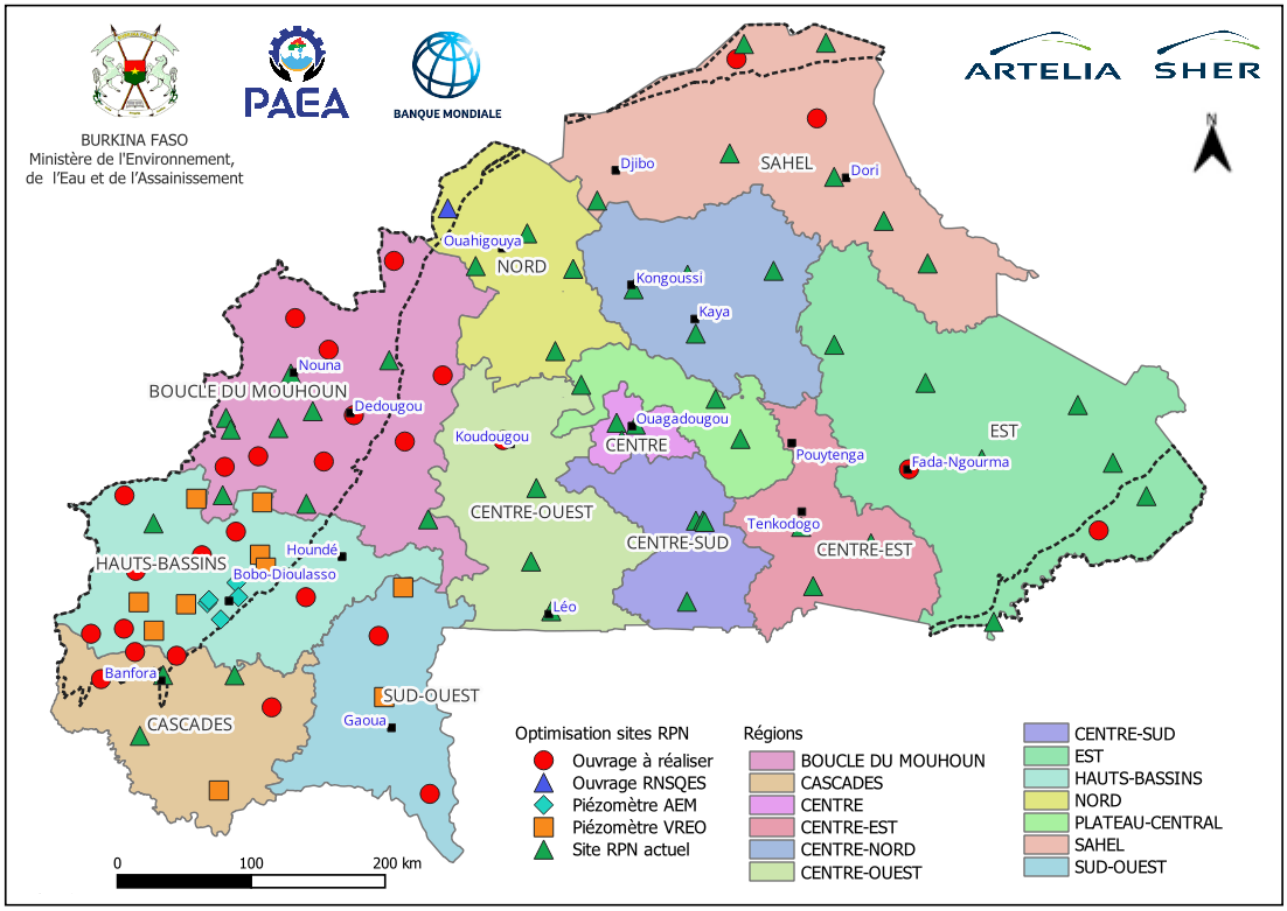
La distribution des sites du RPN optimisé par régions administratives est reprise dans le tableau et sur la carte ci-après.

Tableau 57 : Répartition et densité du RPN optimisé par Régions

Région	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Cascades	18 285	7	2 612
Mouhoun	34 466	18	1 915
Nord	16 486	5	3 297
Plateau Central	8 593	3	2 864
Centre	2 988	3	996
Centre Sud	11 586	4	2 897
Centre-Est	14 492	3	4 831
Est	47 649	9	5 294
Centre-Nord	19 740	4	4 935
Centre-Ouest	21 707	4	5 427
Sahel	35 366	9	3 930
Hauts-Bassins	25 337	21	1 207

Sud-Ouest	16 513	4	4 128
Total BKF	**274 054**	**94**	**2 915**

On observe une meilleure distribution spatiale p/r au RPN actuel, essentiellement dans les régions qui étaient particulièrement déficitaires (on citera en particulier Sud-ouest, Hauts-Bassins, Cascades, Centre-Ouest, Est). Les densités de sites et l'homogénéité sont en amélioration significative pour chaque région.



Carte 51 : répartition du RPN optimisé par Régions

H.1.6. Distribution par UCDIEAU du RPN optimisé

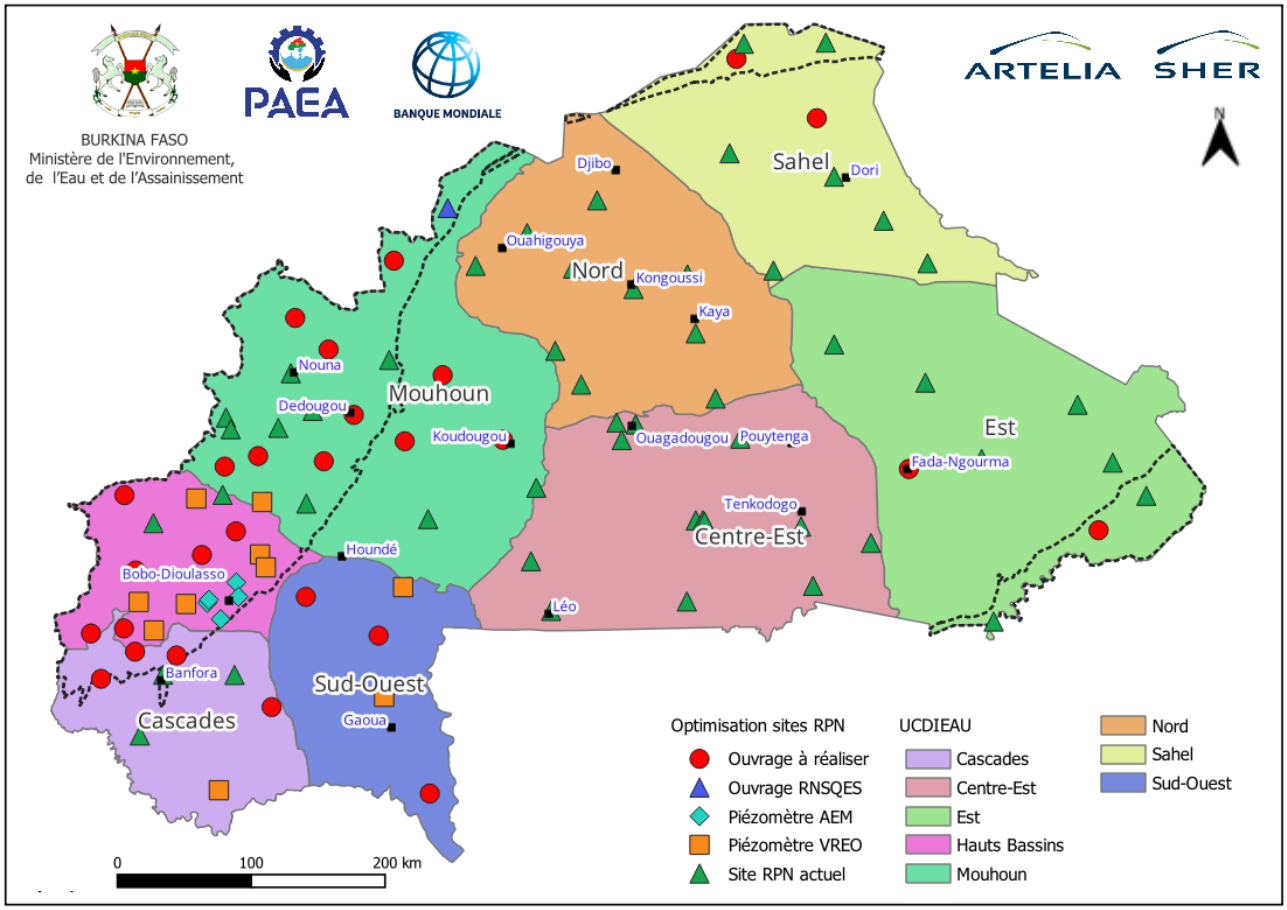
La distribution des sites du RPN optimisé par UCDIEAU (selon cartographie actuelle des UCDIEAU) est reprise dans le tableau et sur la figure ci-après.

Tableau 58 : Répartition et densité du RPN optimisé par UCDIEAU

UCDIEAU	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Cascades	19 585	8	2 448
Centre-Est	43 222	14	3 087
Est	51 757	9	5 751
Hauts-Bassins	16 624	19	875
Mouhoun	51 465	20	2 573
Nord	37 117	10	3 712

Sahel	31 869	9	3 541
Sud-Ouest	21 625	5	4 325
Total BKF	**274 054**	**94**	**2 915**

On observe, selon les UCDIEAU concernées, un nombre de sites compris entre 5 et 20. Les UCDIEAU du Mouhoun et des Hauts-Bassins, qui couvrent le sédimentaire de l'Ouest, sont de ce fait celles qui regroupent le plus grand nombre de sites.



Carte 52 : Répartition du RPN optimisé par UCDIEAU

H.1.7. Distribution du RPN optimisé en relation avec l'exploitation des aquifères

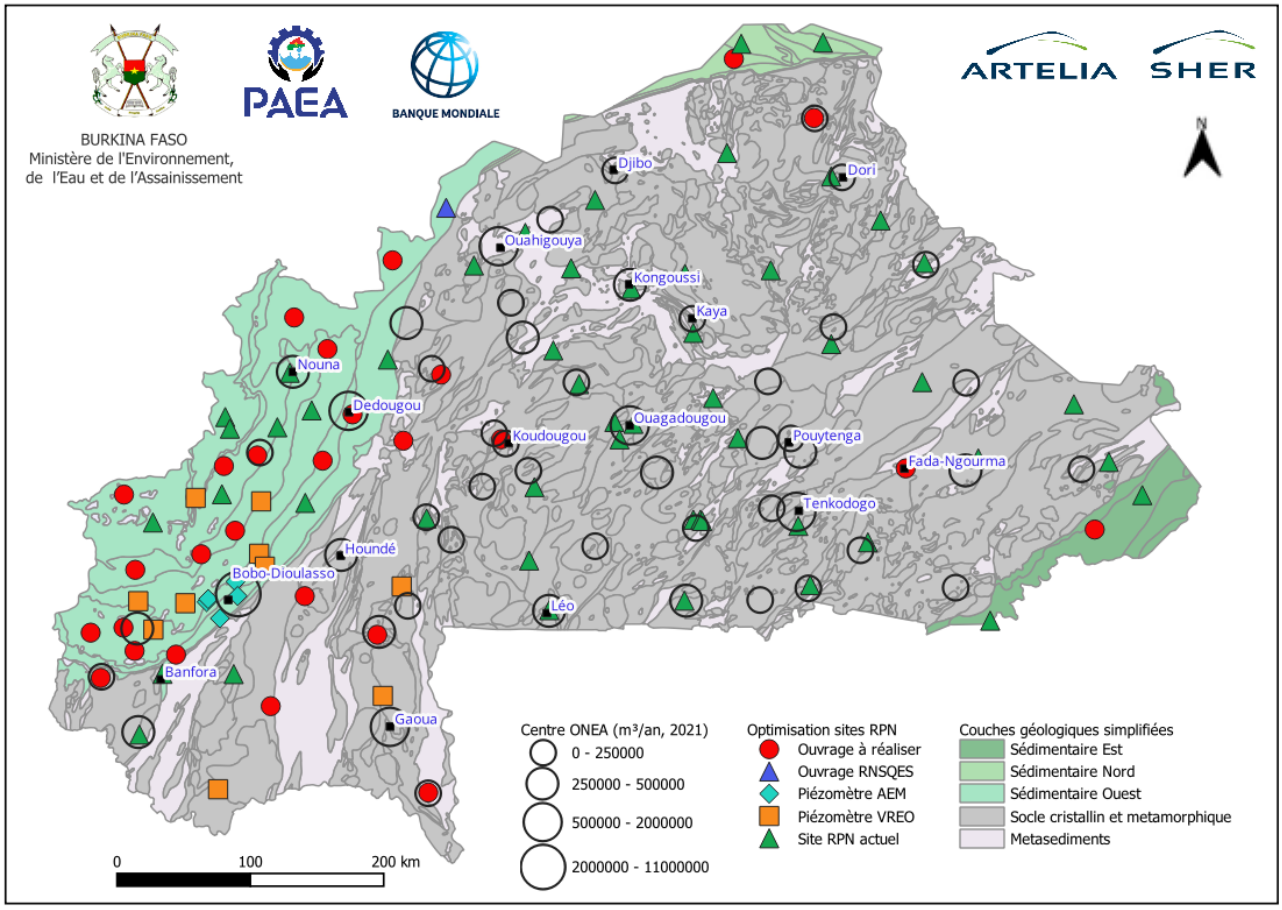
Bien qu'il s'agisse d'un réseau de suivi homogène (patrimonial) et non d'un réseau d'impact, l'optimisation du RPN vise notamment à ce que les aquifères significativement exploités fassent l'objet d'un suivi piézométrique intégré à ce réseau, et en particulier à ce que des sites de suivi du RPN soient localisés à des distances pas trop éloignées des principaux sites de prélèvement.

En ce sens, la carte ci-après illustre la localisation des sites du RPN optimisé au regard des principaux centres ONEA exploitant les eaux souterraines. On observe une distribution spatiale du RPN optimisé qui semble en adéquation avec les aquifères exploités et avec la localisation des centres ONEA concernés par l'exploitation des eaux souterraines.

On notera toutefois l'importance, en complément au RPN, d'améliorer le suivi de l'impact des prélèvements par le renforcement des réseaux secondaires et spécifiques, notamment et en particulier par le biais de la reprise du suivi par l'ONEA de ses piézomètres et par la consolidation du réseau de piézomètres de l'ONEA. Il ne s'agit donc pas, au titre de l'optimisation du RPN, de prévoir au sein de celui-ci la présence d'un

piézomètre au droit de chaque centre ONEA.

Au niveau de la mise en place de réseaux spécifiques et outre les principaux captages ONEA, les principaux prélèvements industriels devraient également faire l'objet d'un suivi piézométrique adapté, permettant de prévenir et de maitriser les risques de surexploitation locale des aquifères.



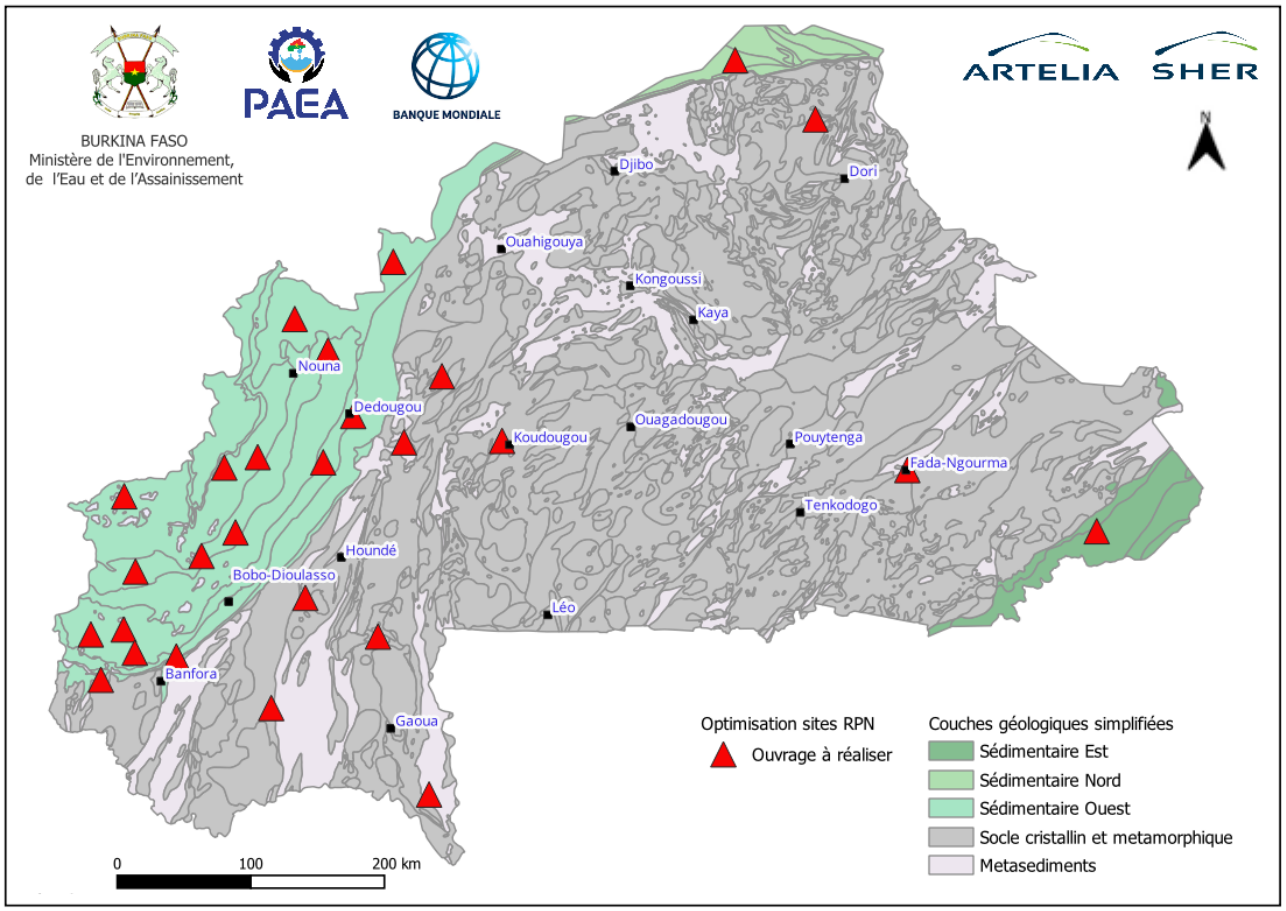
Carte 53 : Distribution du RPN optimisé p/r aux centres ONEA exploitant les eaux souterraines

H.2. Réalisation de nouveaux piézomètres et réhabilitation de piézomètres existants au profit du RPN optimisé

H.2.1. Réalisation de nouveaux piézomètres

Sur base de la proposition d'optimisation telle que présentée ci-avant, un total de 25 nouveaux piézomètres devraient être réalisés.

La localisation des nouveaux piézomètres proposés est reprise sur la carte ci-dessous.



Carte 54 : Localisation des ouvrages (piézomètres) à réaliser pour l'optimisation du RPN

On notera qu'une grande majorité des piézomètres à réaliser se trouvent dans les bassins de la Comoé et du Mouhoun, ce qui s'explique par la réalisation déjà effectuée, en 2010, d'une série de 46 piézomètres destinés à renforcer le RPN dans les bassins du Nakanbé et du Niger. Le RPN a donc déjà été, en quelque sorte, optimisé sur cette base en 2010 pour ces deux bassins pré-cités.

On notera également le nombre significatif de nouveaux piézomètres (16 sur 25) dans la zone du sédimentaire de l'Ouest, compte tenu des lacunes actuelle du RPN dans cette zone et de la nécessité d'une surveillance accrue à ce niveau. Tenant compte des 2 nouveaux piézomètres prévus dans les zones sédimentaires du Nord (1) et de l'Est (1), le total des nouveaux piézomètres est donc respectivement de 18 unités en zone sédimentaire et de 7[3] unités en zone de socle.

La liste de ces piézomètres à réaliser, ainsi que leur localisation, est reprise en annexe Q.15.

Les piézomètres tels que proposés ont fait l'objet – dans le cadre de la présente étude - de la rédaction de spécifications techniques détaillées, et de la rédaction d'un DAO complet en vue de la publication d'un appel d'offres pour la réalisation de 20 piézomètres financés dans le cadre du PAEA.

Une synthèse des spécifications techniques du DAO est reprise en annexe Q.16 du présent rapport, tandis que la version complète du DAO est livrée en un document distinct du présent rapport. Les principales

[3] Le nombre d'unités en zone de socle pourrait être porté à 9 si les piézomètres de Fada N'Gourma et de Gorom Gorom ne peuvent pas être réhabilités et/ou récupérés dans le RPN

caractéristiques techniques prévues dans le DAO pour les piézomètres à réaliser sont très succinctement reprises ci-dessous :

- La profondeur minimale pour arrêter la foration et équiper en piézomètre sera d'au moins 10 m en dessous de la première venue d'eau d'au minimum 0,5 m³/h ;
- Les forages positifs (> 0.5 m³/h) seront tubés en PVC de diamètre 110/125 mm. Niveaux crépinés au droit des principales venues d'eau ;
- Dalle de beton armé en surface, et tubage métallique extérieur DN300 d'une hauteur de 1 mètre hors-sol muni d'un couvercle et d'un cadenas ;
- Développement du piézomètre ;
- Réalisation d'essais de puits à 3 paliers enchainés (méthode CIEH) ou à paliers non-enchainés, selon le débit ;
- Réalisation d'analyses physico-chimiques ;
- Nivellement du piézomètre ;
- Pose d'une cloture de protection en surface.

Les spécifications techniques ne prévoient pas l'installation de tubages multiples au sein d'un même piézomètre, ni l'installation de piézomètres multiples au sein d'un même site. Nous recommandons en effet la mise en place de sites de suivi ne comportant qu'un seul point de mesure par site.

En ce qui concerne l'implantation des nouveaux piézomètres, nous préconisons que leur localisation puisse être précisée (le cas échéant) en fonction de la présence d'ouvrages existants, de manière à permettre la réalisation d'essais de pompage avec détermination du coefficient d'emmagasinement / de la porosité de drainage (ce qui implique la présence d'un ouvrage de suivi associé à l'ouvrage exploité pour la réalisation de l'essai).

H.2.2. Réhabilitation de piézomètres existants ajoutés au RPN optimisé

La réhabilitation des piézomètres existants intégrés au RPN optimisé comprendra le cas échéant les opérations suivantes, à préciser en fonction de la situation et de l'état du piézomètre concerné suite à un examen de celui-ci :

- Nettoyage du piézomètre par soufflage ;
- Sécurisation en surface du piézomètre par (le cas échéant, en l'absence de ces éléments) la pose d'un tubage métallique hors sol (idéalement DN300), la pose d'un couvercle métallique muni d'un cadenas, la pose d'une cloture de protection en surface.

Ces opérations concerneront les piézomètres sélectionnés provenant du réseau AEM (dont certains datent des années '80), et les piézomètres sélectionnés provenant du programme VREO, soit au total un maximum de 15 ouvrages. La liste des piézomètres potentiellement concernés par ces opérations est reprise en annexe Q.17.

H.3. Equipement des piézomètres du RPN optimisé

L'optimisation du RPN concerne non seulement l'amélioration de la distribution spatiale des points de mesure, mais également les modalités d'acquisition des données périodiques de niveaux de nappe.

A ce titre, on rappellera que le RPN actuel fait l'objet de mesures manuelles sur l'ensemble des sites

opérationnels, et que certains piézomètres du RPN actuel sont équipés de sondes automatiques de pression (de marque HERON, non-compensées). On rappellera à ce sujet la problématique actuelle de paramétrisation de ces sondes automatiques, et de capitalisation des données qui en découlent.

Nous recommandons, dans le cadre de l'optimisation du RPN, l'acquisition et l'installation de sondes automatiques de pression plus adaptées au contexte rencontré, plus performantes, compensées en interne, plus aisées à paramétrer, et permettant une récupération non-câblée des données enregistrées sur le datalogger (par Bluetooth sur site et/ou par télétransmission).

Des spécifications techniques ont été rédigées dans le cadre de la présente étude, pour l'acquisition et pour l'installation de sondes automatiques de pression répondant aux critères mentionnés ci-avant. Ces spécifications techniques ont ensuite été intégrées, toujours dans le cadre de la présente étude, dans un DAO préparé en vue de l'acquisition sous financement du PAEA de 80 sondes automatiques, incluant une formation à leur utilisation et une installation partielle sur sites du RPN. Le DAO élaboré fait intégralement partie du présent rapport, et a été remis sous forme de livrable séparé. Les principales spécifications techniques, extraites du DAO, sont toutefois reprises en annexe Q.18 du présent rapport.



Figure 49 : Dispositif-type pour l'acquisition automatique et la transmission de données de niveau de nappe

Le dispositif proposé combine l'installation dans les piézomètres de sondes de pression automatiques et compensées (compensation directe par tube capillaire ou par correction en datalogger équipé de baromètre intégré), avec un datalogger intégré dans le piézomètre, une alimentation interne (batterie(s) pour sonde et pour datalogger), un système intégré de transmission sans fil (de type bluetooth) pour récupération des données sur le terrain sans retrait de la sonde, un système de télétransmission utilisant le réseau DATA (GPRS) d'un opérateur de téléphonie mobile, un serveur FTP pour la récupération, le stockage et l'exploitation des données, et un applicatif de gestion pour la paramétrisation à distance des sondes et pour la gestion/capitalisation/diffusion des données.

En pratique, dans le cas de sites RPN comprenant plusieurs piézomètres et/ou plusieurs tubages par piézomètre, nous recommandons d'équiper un seul tubage (= un seul point de mesure) avec une sonde automatique de pression, afin de pouvoir équiper un maximum de sites distincts.

Afin de pouvoir procéder au contrôle manuel des niveaux de nappe, d'une part pour calibrer les mesures de pression des sondes automatiques et d'autre part pour assurer la continuité du suivi dans les sites non-équipés de sondes automatiques, nous recommandons que chaque UCDIEAU soit équipée d'au-minimum une sonde électrique à ruban gradué pour la mesure du niveau de nappe.

H.4. Priorisation pour l'optimisation du RPN

L'optimisation du RPN telle que proposée requiert la réalisation de 25 nouveaux piézomètres. La priorisation des travaux de réalisation de ces piézomètres porte sur :

- Une priorité à donner à la zone du sédimentaire de l'ouest, compte tenu de la faible densité du réseau actuel dans cette zone et de son potentiel d'exploitation élevé. La réalisation de 16 piézomètres additionnels est prévue dans cette zone ;

- La réalisation des deux piézomètres proposés dans les zones du sédimentaire Nord et du sédimentaire Est ;
- La réalisation des piézomètres proposés en zone de socle dans les bassins de la Comoé et du Mouhoun, compte tenu de la plus faible densité de points de suivi actuels dans ces deux bassins par comparaison aux bassins du Niger et du Nakanbé qui ont déjà fait l'objet d'une optimisation en 2010.

On notera que la réalisation de 20 piézomètres est prévue dans le cadre du PAEA, ce qui permettra d'opérationnaliser significativement le réseau optimisé tel que proposé.

I. OPTIMISATION DU RESEAU NATIONAL DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

I.1. Détermination des sites du RNSQES optimisé

I.1.1. Critères pour la sélection des sites du RNSQES optimisé

Le RNSQES a fait l'objet d'une étude d'optimisation en 2018, à l'occasion de l'atelier de « définition d'un réseau optimisé de la qualité des eaux brutes au Burkina Faso », lequel a été organisé par le Service Qualité des Eaux (SQE) de la DGRE dans le cadre de la mise en œuvre du SNIEAU.

L'optimisation réalisée dans le cadre de la présente étude s'appuie donc sur les résultats obtenus au terme de cet atelier, en ce qui concerne l'identification et la sélection des sites du RNSQES. En effet, les critères techniques dont il a été tenu compte pour l'optimisation de 2018 sont assez exhaustifs et couvrent le climat, l'occupation du sol, la géologie, la géomorphologie, les aquifères, la productivité, la profondeur de la nappe, la piézométrie, les bassins nationaux, les SDAGEs et les SAGEs.

Grâce à cette optimisation de 2018, la densité et la distribution spatiale du RNSQES ont pu être significativement améliorées, même si en pratique les campagnes d'échantillonnage menées depuis lors n'ont pas pu intégrer l'ensemble des points retenus.

L'optimisation complémentaire réalisée dans le cadre de la présente étude vise à consolider les travaux menés en 2018, afin d'améliorer encore les objectifs de densité, d'homogénéité et de distribution spatiale du RNSQES, notamment en tirant profit des nouveaux sites repris dans l'optimisation du RPN telle que proposée dans le cadre de la présente étude. En ce sens, les principaux critères qui ont guidé la sélection de sites additionnels reposent sur les éléments suivants :

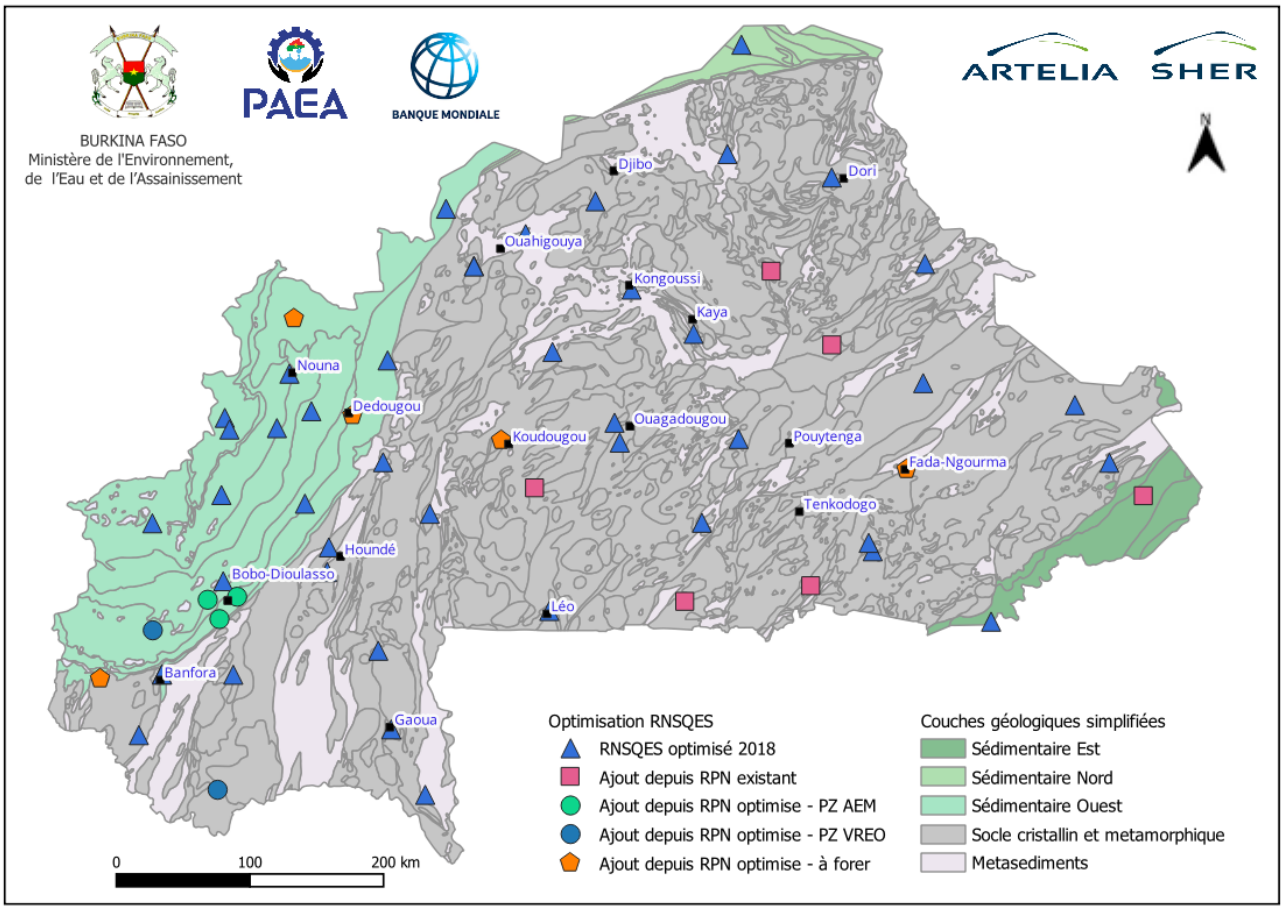
- Amélioration de la densité de sites pour le réseau optimisé, visant des objectifs pragmatiques pouvant mener à une opérationnalisation effective dans le court et moyen terme, de manière compatible avec les ressources humaines, matérielles et budgétaires qui peuvent raisonnablement être mobilisées dans le cadre d'un renforcement. Ces objectifs sont les suivants :
    - À l'échelle nationale : 1/4.000 à 1/5.000 km²
    - Pour les zones du sédimentaire : 1/2.500 km²
    - Pour les zones de socle cristallin et métamorphique : 1/6.000 km²
- Amélioration de l'homogénéité du réseau par rapport aux zonages spatiaux (contexte géologique et hydrogéologique, bassins versants, régions et UCDIEAU) ;
- Capitalisation de sites existants du RPN actuel ;
- Valorisation des sites existants ne faisant pas partie du RPN actuel, mais repris au sein du RPN

optimisé proposé dans la présente étude : piézomètres du réseau AEM et piézomètres réalisés dans le cadre du programme VREO, afin de limiter le nombre de nouveaux forages à réaliser ;

- Réhabilitation de piézomètres existants afin de limiter le nombre de nouveaux forages à réaliser, et capitalisation des nouveaux forages à réaliser dans le cadre de l'optimisation du RPN ;
- Adoption d'une approche pragmatique visant un nombre total de sites raisonnable en adéquation avec les moyens humains, matériels et budgétaires qui peuvent être mobilisés ;
- Prise en compte des réseaux secondaires de suivi de la qualité des eaux brutes, dans la recherche de complémentarités géographiques et dans l'évitement de redondances ;

I.1.2. Identification et distribution spatiale des sites du RNSQES optimisé

Le RNSQES optimisé tel que proposé est composé de 60 sites, dont la répartition spatiale est reprise sur la carte ci-après.



Carte 55 : Répartition des sites proposés pour le RNSQES optimisé

La liste des sites proposés pour le RNSQES optimisé est reprise en annexe Q.17.

Le RNSQES optimisé comporte donc 16 sites additionnels, par rapport aux 44 sites retenus lors de l'atelier d'optimisation de 2018.

Les sites additionnels s'appuient prioritairement sur la valorisation d'ouvrages existants, et sur l'intégration de certains ouvrages du RPN actuel et/ou optimisé. Ainsi, les sites additionnels du RNSQES sont en cohérence avec l'optimisation du RPN, notamment par la valorisation d'ouvrages existants repris dans le RPN et issus du réseau AEM ou du programme VREO. Les nouveaux ouvrages à forer dans le cadre du RNSQES sont tous

repris du RPN optimisé, ce qui ne nécessite donc pas de travaux additionnels.

Tableau 59 : Distribution des sites du RNSQES optimisé selon leur statut

Statut des sites	**Nombre**
Sites fonctionnels du RNSQES actuel (tel qu'optimisé en 2018)	44
Sites ajoutés depuis le RPN existant	6
Sites ajoutés depuis le RPN optimisé : piézomètre de l'AEM	3
Sites ajoutés depuis le RPN optimisé : piézomètre de VREO	2
Sites ajoutés depuis le RPN optimisé : piézomètre à forer	5
Total	**60**

On constate que l'ensemble des sites repris lors de l'optimisation de 2018 ont été conservés, celle-ci étant récente et jugée toujours pertinente. On constate également que, malgré l'ajout de 16 sites additionnels, aucun nouveau forage n'est à prévoir, hormis ceux déjà prévus dans le cadre de l'optimisation du RPN.

Les ouvrages additionnels existants proposés pour intégration au RNSQES sont issus :

- du réseau de suivi AEM, au niveau d'ouvrages déjà sélectionnés pour l'optimisation du RPN ;
- des travaux du programme VREO, au niveau d'ouvrages déjà sélectionnés pour l'optimisation du RPN ;
- du RPN actuel.

A l'échelle nationale, le RNSQES optimisé présente une densité moyenne de 1 site par 4.567 km² (cf. Tableau 60). Cette valeur répond à l'objectif fixé dans les critères retenus d'optimisation à l'échelle nationale (4.000 à 5.000 km² en moyenne nationale), lesquels ont notamment été établis d'une part avec une vision pragmatique et réaliste, càd jugés en adéquation avec les moyens humains, matériels et budgétaires qui pourront raisonnablement être dégagés, et d'autre part en considérant le suivi complémentaire de la qualité des eaux brutes opéré par l'ONEA.

Tableau 60 : Densité de sites du RNSQES optimisé au Burkina Faso

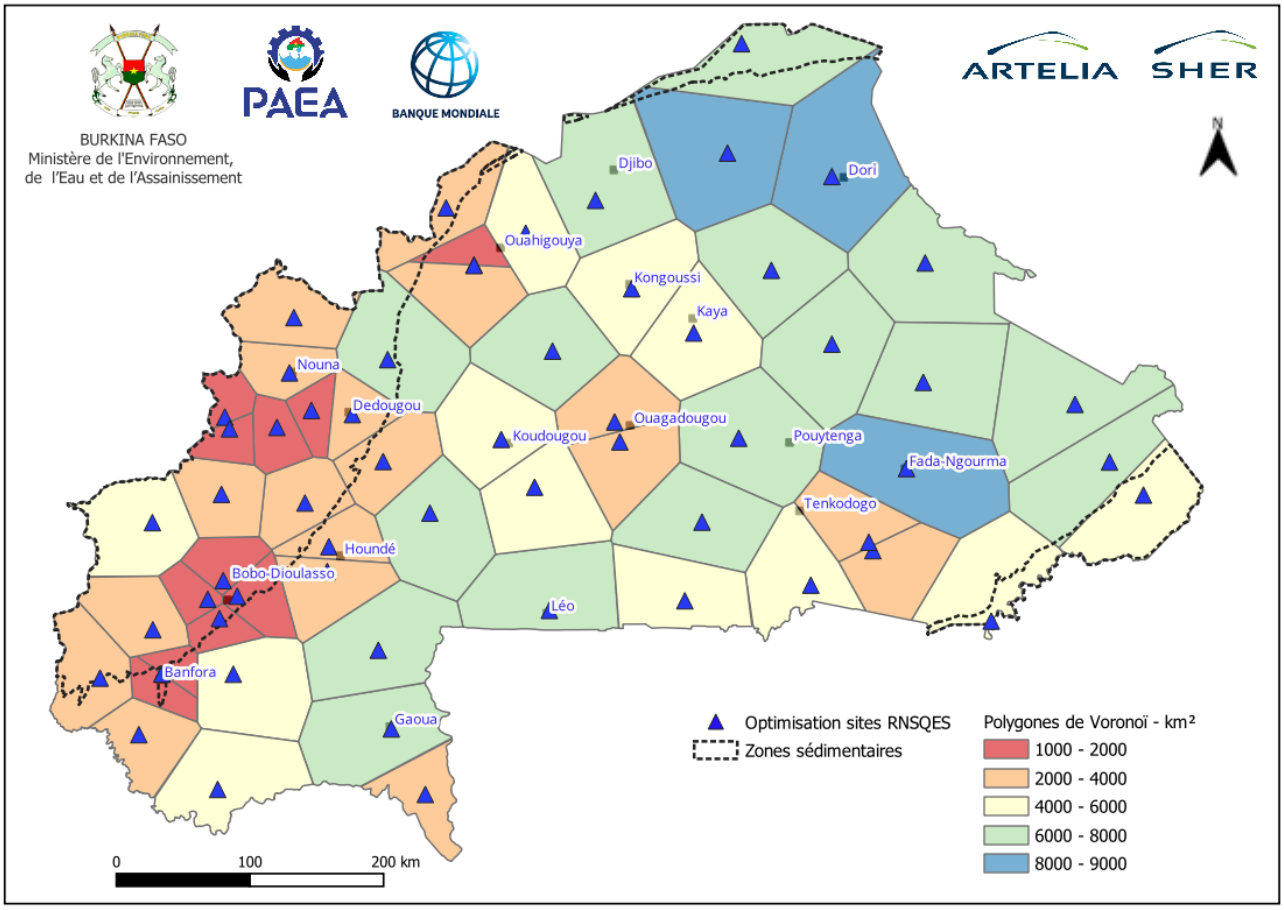
Zone géographique	**Superficie (km²)**	**Nombre sites RNSQES optimisé**	**Densité (km²/sites)**
Total Burkina Faso	274 054	60	4 567

On notera que dans le cas de sites repris du RNSQES, et présentant des piézomètres multiples et/ou des tubages multiples au sein de piézomètres, un seul point de prélèvement et de mesure de la qualité de l'eau est retenu par site.

L'analyse spatiale et statistique du réseau optimisé est réalisée, compte tenu des éléments qui précèdent, sur base des sites (nombre et répartition géographique) et non sur base des piézomètres ou des tubages lorsqu'ils sont multiples au sein d'un même site.

Au-delà de cette évaluation de la densité moyenne du RNSQES optimisé, l'analyse de la distribution spatiale des sites permet d'évaluer le degré d'homogénéité du réseau optimisé et d'identifier son amélioration p/r au réseau actuel, notamment dans les zones les plus faiblement couvertes. La

Carte 56 illustre à ce titre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites du réseau optimisé à l'échelle nationale. On observe une amélioration de la densité et de l'homogénéité à l'échelle nationale, en particulier dans la partie sud-ouest du pays.



Carte 56 : Zonage de concentration des sites du RNSQES optimisé (polygones de Voronoï/Thiessen)

L'analyse étant basée sur une comparaison avec un réseau déjà optimisé en 2018, l'amélioration de la densité est à juste titre moins significative que celle observée dans le cadre de l'optimisation du RPN. On constate néanmoins que les polygones les plus importants ne dépassent pas 8.000 à 9.000 km², alors qu'ils atteignaient 15.000 km² avant l'optimisation actuelle.

L'optimisation du RNSQES a été menée de manière à améliorer la distribution spatiale, la densité et l'homogénéité du réseau non seulement à l'échelle nationale, mais également suivant différents zonages géographiques. On citera prioritairement pour des raisons évidentes les critères liés au contexte géologique et hydrogéologique ainsi que leur zonage associé, mais également les bassins versants nationaux, les entités administratives et de gestion du suivi des ressources en eau (dont en particulier les régions et les UCDIEAU), et les zones d'exploitation des aquifères. Les résultats de cette optimisation zonale sont présentés dans les sections suivantes.

I.1.3. Optimisation du RNSQES selon les zones géologiques et les formations hydrogéologiques

Le tableau ci-après reprend la répartition et la densité de sites pour chaque zone géologique.

Tableau 61 : Répartition et densité des sites du RNSQES optimisé par zones géologiques

Zone géologique	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
A. Sédimentaire			
Sédimentaire Nord	4 026	1	4 026
Sédimentaire Est	6 546	2	3 273
Sédimentaire Ouest	42 345	20	2 117
Total Sédimentaire	**52 917**	**23**	**2 301**
B. Socle et métasédiments			
Socle cristallin et métamorphique	185 693	30	6 190
Métasédiments	35 444	7	5 063
Total Socle et métasédiments	**221 138**	**37**	**5 977**

I.1.3.1. Zones de socle cristallin et métamorphique

La zone du socle cristallin et métamorphique (incluant les métasédiments) dénombre 37 sites, soit 8 sites additionnels par rapport aux sites en zone de socle du RPN actuel.

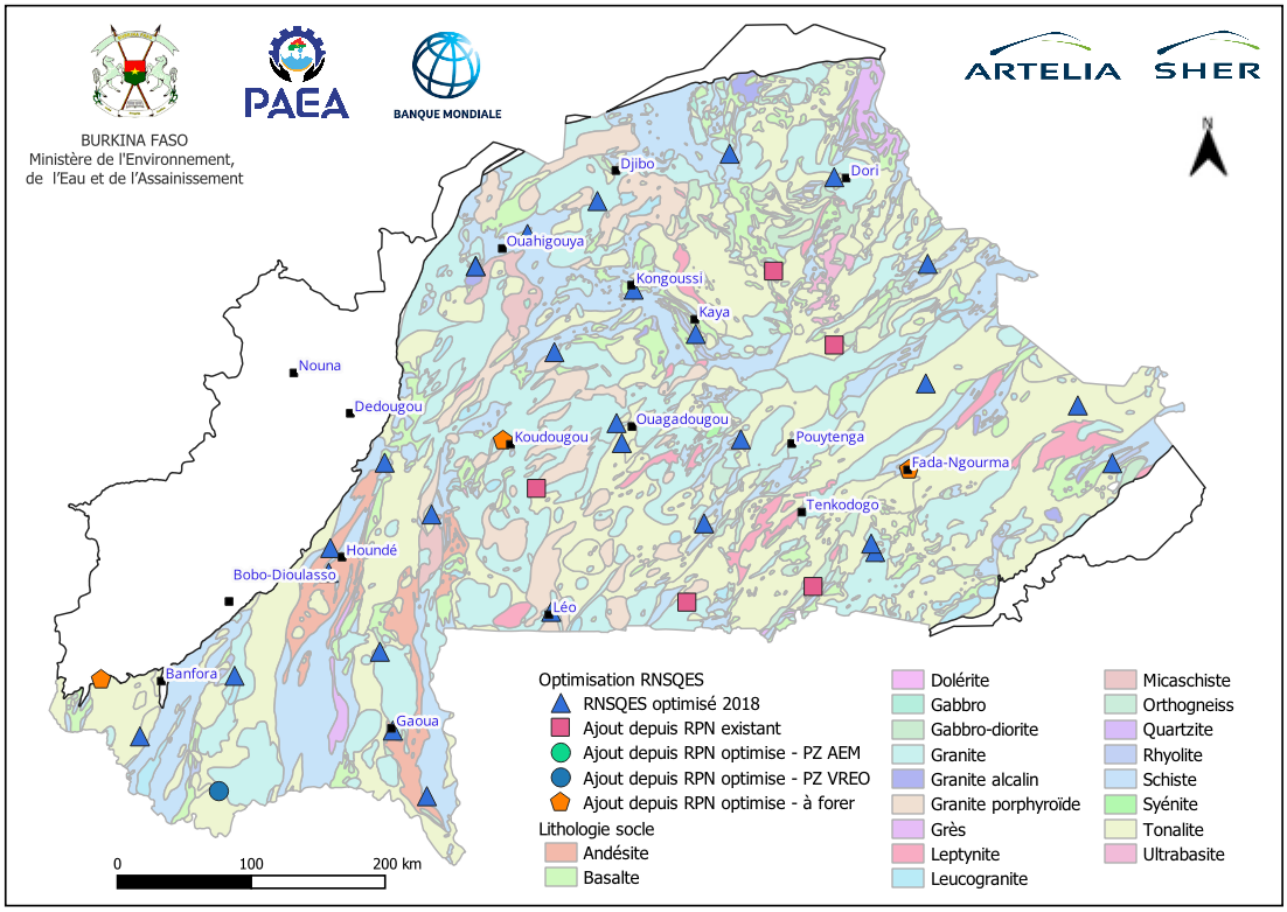
Par rapport à l'ensemble du RNSQES, les sites répertoriés en zone de socle représentent 62% du nombre total de sites du RNSQES.

Tableau 62 : répartition et densité du RNSQES optimisé dans le socle cristallin et métamorphique

Zone géologique	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Socle cristallin et métamorphique	185 693	30	6 190
Métasédiments	35 444	7	5 063
Total Socle et métasédiments	**221 138**	**37**	**5 977**

La densité moyenne est de l'ordre de 1 site opérationnel par 6.000 km² environ, soit une valeur qui reste plus faible que les recommandations (1/3.500 km²) formulées pour les zones de socle dans le Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France (2003). Ces recommandations nous paraissent en effet très contraignantes et peu en adéquation avec le contexte rencontré au Burkina Faso (moyens humains et matériels, accès aux sites, moindres risques qualitatifs), et d'autre part le suivi de la qualité des eaux brutes assuré complémentairement par l'ONEA permet de tendre vers ces niveaux.

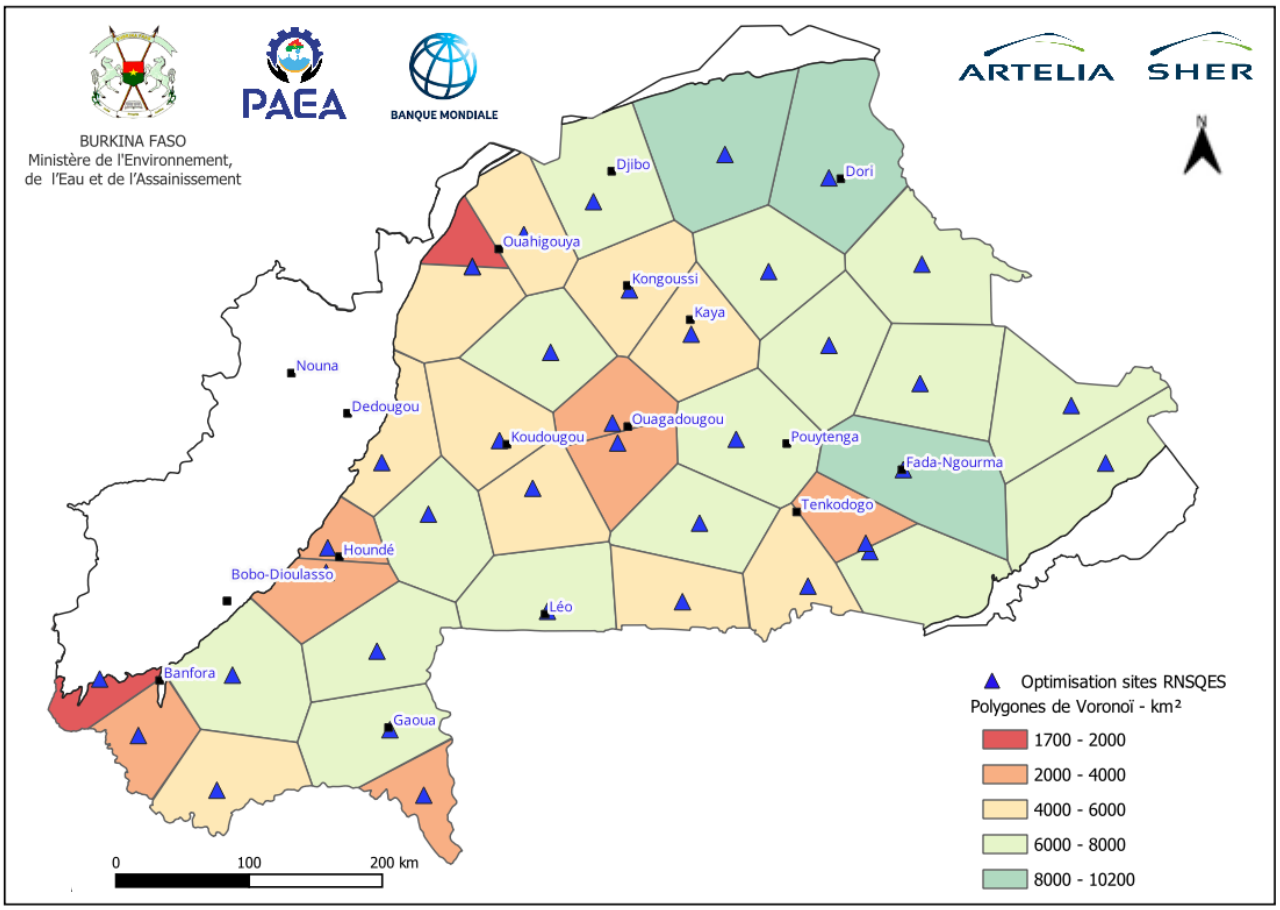
La carte ci-après illustre la distribution du RNSQES optimisé en zone de socle.



Carte 57 : Répartition du RNSQES dans le socle cristallin et métamorphique

La carte ci-après illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites du RNSQES optimisé localisés dans la zone de socle.

On observe un zonage de concentration plus homogène que dans le réseau tel qu'optimisé en 2018, avec des dimensions moyennes et maximales réduites des polygones.



Carte 58 : Zonage de concentration du RNSQES optimisé en zone de socle (polygones de Voronoï/Thiessen)

I.1.3.2. Zones sédimentaires

La zone du sédimentaire (N, E et O) dénombre 23 sites du RNSQES tel qu'optimisé, soit 8 sites additionnels par rapport au RNSQES actuel (optimisation 2018).

Par rapport à l'ensemble du RNSQES, les sites répertoriés en zone sédimentaire représentent 38% du nombre total de sites du RNSQES tel qu'optimisé dans la présente étude.

Tableau 63 : Répartition et densité du RNSQES optimisé dans les zones sédimentaires du Burkina Faso

Zone sédimentaire	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Sédimentaire Nord	4 026	1	4 026
Sédimentaire Est	6 546	2	3 273
Sédimentaire Ouest	42 345	20	2 117
Total Sédimentaire	**52 917**	**23**	**2 301**

On constate que le sédimentaire de l'Ouest comprend 20 des 23 sites du sédimentaire, soit 87%, ce qui se justifie amplement non seulement sur base de la superficie de cette zone, mais également compte tenu de ses potentialités aquifères, de son taux d'exploitation, de sa vulnérabilité et des enjeux socio-économiques de cette zone.

Les zones sédimentaires (N, E et O) sont caractérisées par une densité moyenne globale de 1 site par 2.301

km², sensiblement améliorée p/r à la densité du RNSQES optimisé en 2018 dans ces zones (3.500 km² environ).

L'analyse plus détaillée de la situation du RNSQES optimisé par zone sédimentaire est reprise ci-après.

I.1.3.2.1. Zone du sédimentaire Ouest

Le sédimentaire Ouest compte 20 sites du RNSQES tel qu'optimisé, soit une augmentation de 7 sites p/r au RNSQES actuel (optimisation 2018).

Globalement, la densité du RNSQES passe de 1/3.257 km² (RNSQES optimisé 2018) à 1/2.117 km². Cette densité du RNSQES optimisé dans cette zone répond aux objectifs visés, et nous semble en adéquation tant avec les enjeux rencontrés dans la zone qu'avec les potentialités aquifères et l'exploitation de ceux-ci.

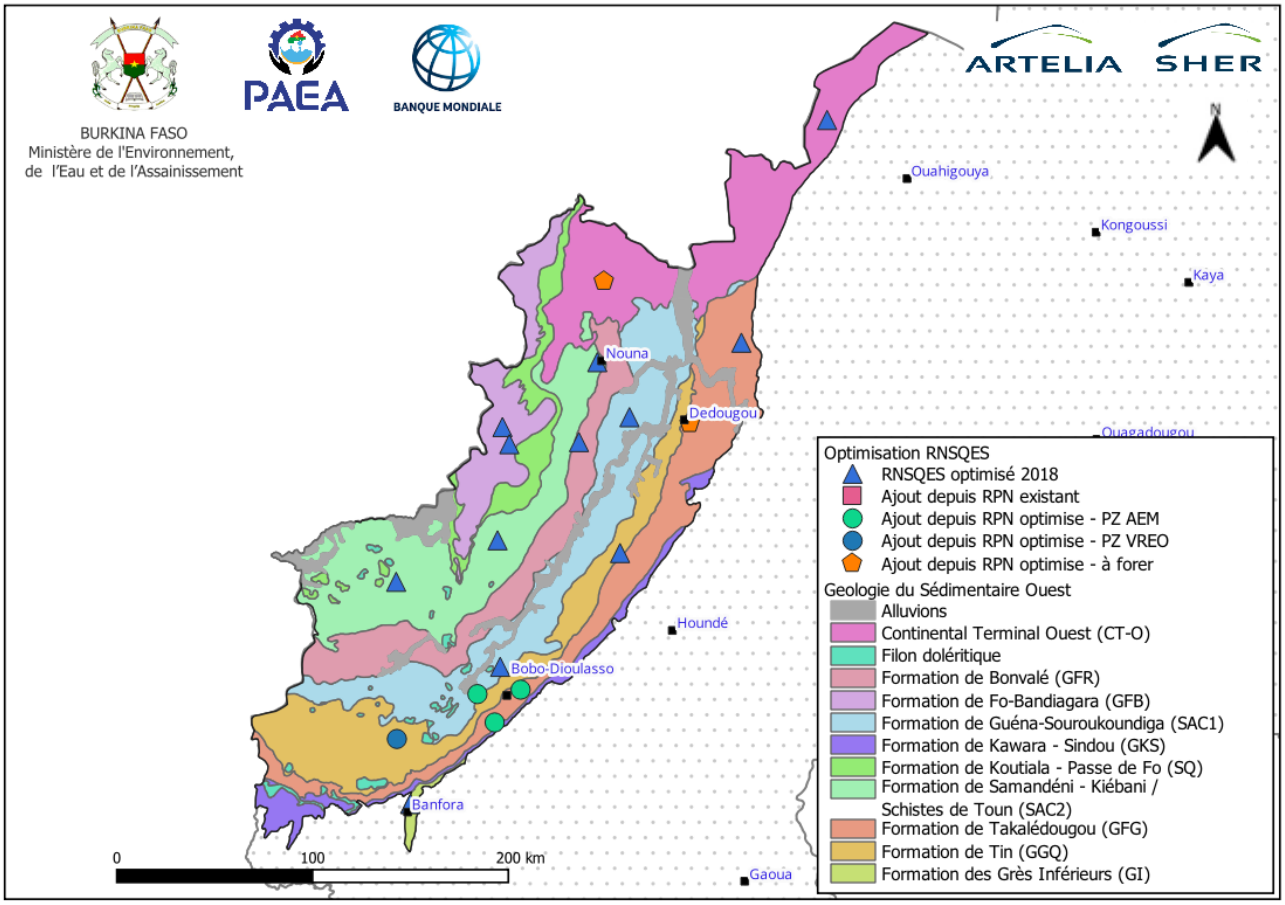
La répartition par formations hydrogéologiques du sédimentaire Ouest, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 64 : Répartition et densité du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Ouest

Contexte hydrogéologique **Sédimentaire Ouest**	**Superficie (km²)**	**Nbre sites**	**Densité (km²/sites)**
Formation de Guéna - Souroukoudinga	6 887	2	3 444
Formation de Koutiala	1 042	1	1 042
Formation de Bonvalé	419	1	419
Formation de Kawara - Sindou	1 042	1	1 042
Formation de Takalédougou	627	4	157
Formation de Tin	5 241	3	1 747
Formation de Samandéni - Kiébani	7 389	3	2 463
Grès inférieurs	178	2	89
Groupe de Bandiagara	3 058	1	3 058
Continental Terminal	7 048	2	3 524
Total Sédimentaire Ouest	**42 345**	**20**	**2 117**

On observe que chaque formation hydrogéologique comporte au-minimum un site de suivi, et que les formations les plus stratégiques (bonnes potentialités aquifères, taux d'exploitation élevé et en croissance, vulnérabilité plus élevée), telles que le GGQ, le SAC1, le SAC2 et le GFG, sont celles qui disposent du nombre le plus élevé de sites selon l'optimisation proposée.

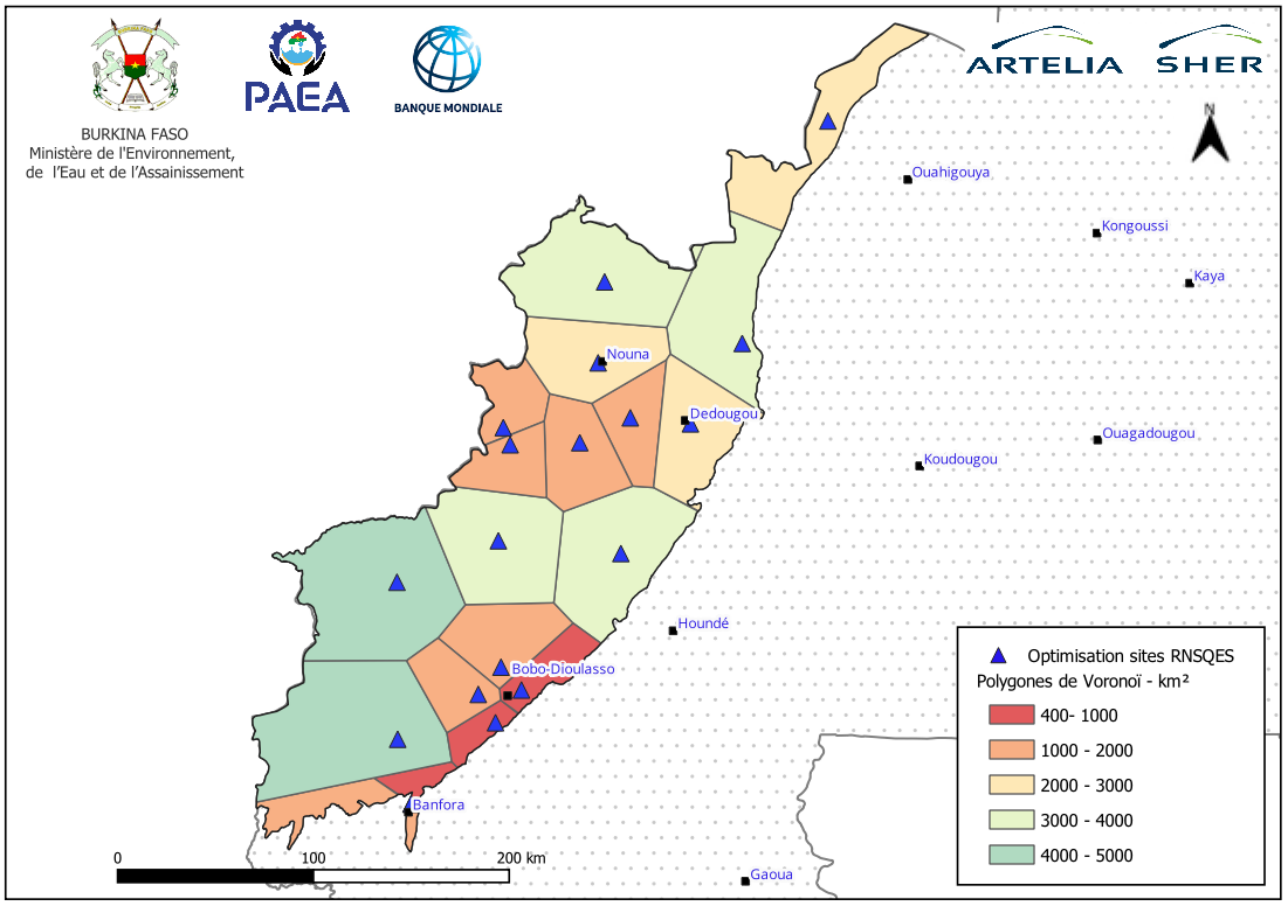
La carte ci-après illustre la distribution spatiale du RNSQES optimisé dans la zone sédimentaire ouest. On y observe une distribution plus homogène que le RPN actuel, et une meilleure densité de sites, obtenues d'une part par l'ajout de noveaux piézomètres à réaliser (2 unités, également reprises dans le RPN optimisé) et d'autre part par la valorisation de piézomètres existants. On citera à ce titre la valorisation de deux piézomètres réalisés dans le cadre du programme VREO (2006-2008), ainsi que trois piézomètres actuellement suivis par l'AEM dans la zone de Bobo Dioulasso. Tous ces ouvrages sont également intégrés au RPN optimisé.



Carte 59 : Distribution spatiale du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Ouest

La carte ci-après illustre la distribution des polygones de Voronoï/Thiessen associée aux différents sites du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Ouest. On y observe l'amélioration globale du zonage de concentration, en particulier dans les zones de Bobo Dioulasso et de Dédougou où les risques de contamination des eaux souterraines sont plus marqués, d'une part compte tenu de la vulnérabilité des aquifères rencontrés, et d'autre part compte tenu du développement d'activités économiques pouvant impacter la qualité des nappes (intrants agricoles, et activités industrielles).

On rappellera toutefois que le RNSQES est avant tout un réseau primaire établi à l'échelle nationale, et que malgré l'attention particulière apportée à certaines zones plus sensibles il convient que celles-ci fassent également l'objet de monitoring secondaire ou spécifique (réseau d'impact), notamment dans le cadre du suivi de la qualité des eaux brutes par l'ONEA.



Carte 60 : Zonage de concentration du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Ouest (polygones de Voronoï/Thiessen)

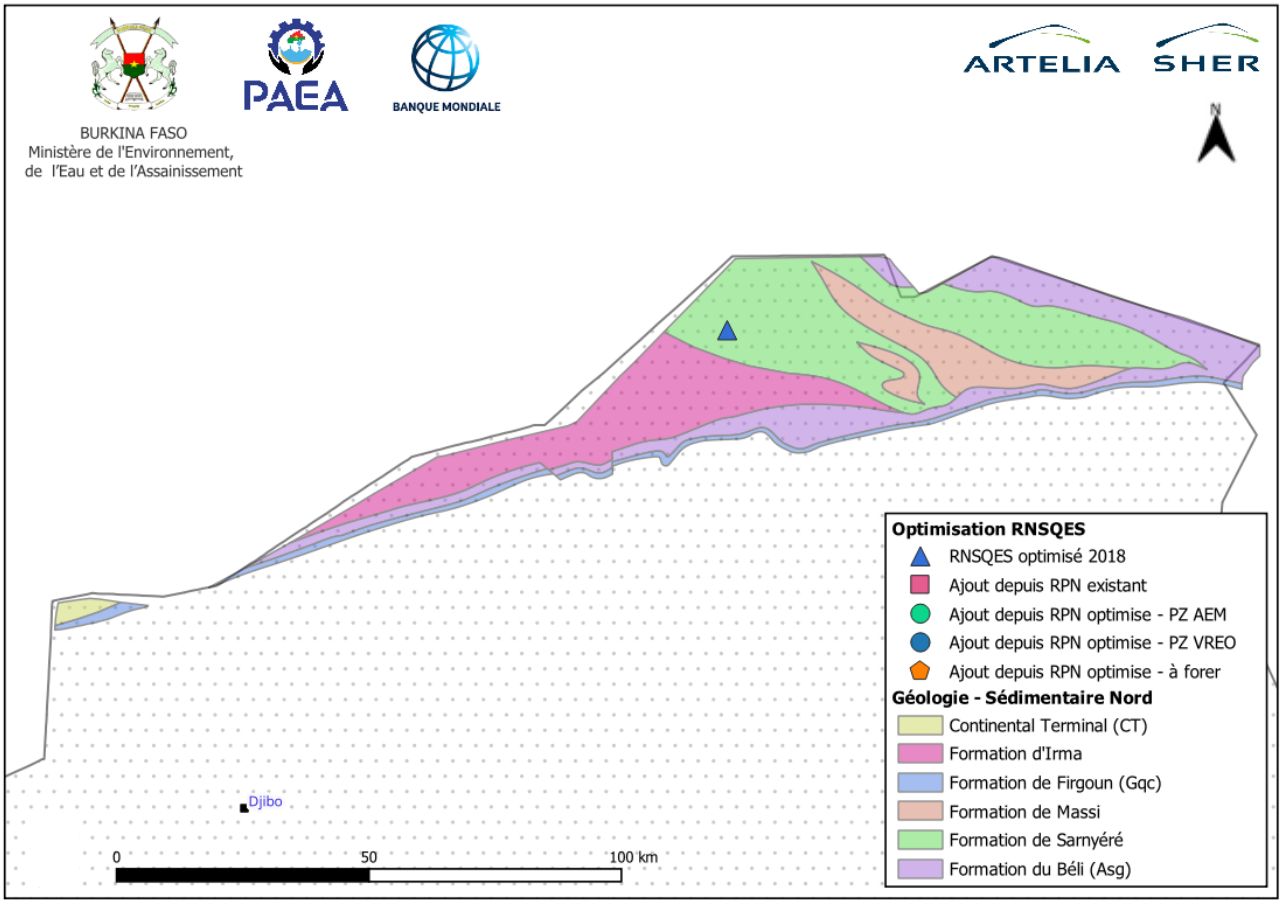
I.1.3.2.2. Zone du sédimentaire nord

La répartition du RNSQES optimisé par formations hydrogéologiques du sédimentaire Nord, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

Tableau 65 : répartition et densité du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Nord

Contexte hydrogéologique Sédimentaire Nord	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Formation du Béli	951	0	
Formation de Sarnyéré	1 481	1	1 481
Formation de Massi	355	0	
Formation de Firgoun	187	0	
Formation d'Irma	955	0	
Continental Terminal	97	0	
Total Sédimentaire Nord	**4 026**	**1**	**4 026**

La carte ci-après illustre la localisation des sites de suivi de la qualité du Sédimentaire Nord.



Carte 61 : Distribution spatiale du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Nord

Le site de Tin Akoff, déjà repris dans le RNSQES selon optimisation 2018, demeure le seul point de mesure de la qualité de l'eau souterraine pour cette zone. En effet, les risques de contamination anthropique sont très limités compte tenu du contexte rencontré.

I.1.3.2.3. Zone du sédimentaire Est

La répartition du RNSQES optimisé par formations hydrogéologiques du sédimentaire Est, et la densité correspondante (km²/site) pour chaque entité, sont reprises dans le tableau ci-après.

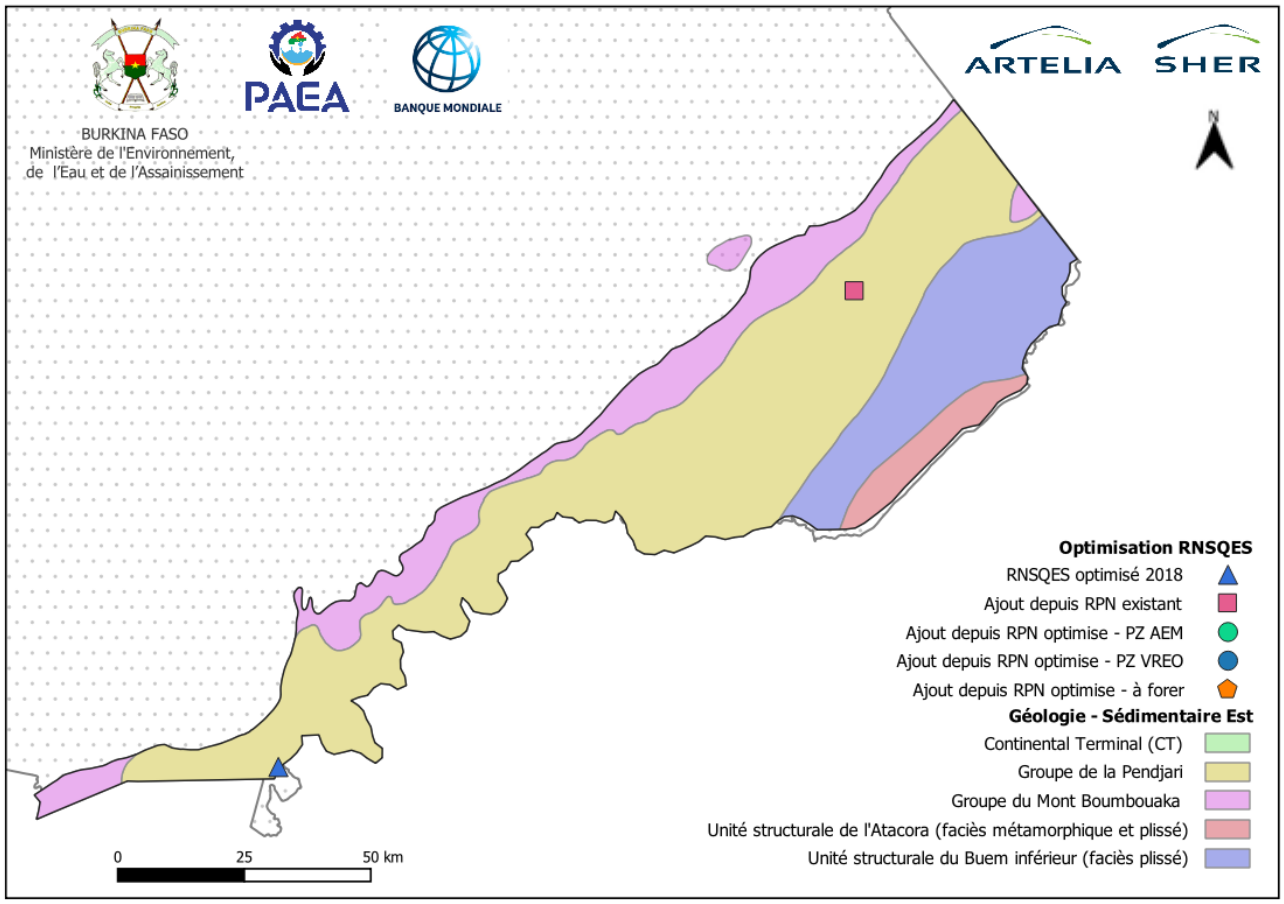
Tableau 66 : répartition et densité du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Est

Contexte hydrogéologique Sédimentaire Est	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Niveaux inférieurs du Buem	1 163	0	
Quartzites de l'Atacora	248	0	
Groupe de la Pendjari	3 786	2	1 893
Groupe du Mont Boumbouaka	1 089	0	
Continental Terminal	261	0	
Total Sédimentaire Est	**6 546**	**2**	**3 273**

L'ajout d'un deuxième site, par rapport au RNSQES optimisé en 2018, permet de doubler la densité et d'améliorer l'homgénéité du suivi dans cette zone. Les deux sites de suivi correspondent aux deux piézomètres intégrés au RPN actuel. Ils sont tous deux rencongtrés dans la formation de la Pendjari.

L'ajout de sites additionnels dans les autres formations du sédimentaire Est ne nous parait pas prioritaire, compte tenu de leurs potentialités limitées et de leur taux d'exploitation insignifiant pour ce qui concerne les formations plissées du Buem et des quartzites de l'Atacora.

La carte ci-dessous illustre la localisation des sites du RNSQES tel qu'optimisé dans le sédimentaire Est.



Carte 62 : Répartition du RNSQES optimisé dans le sédimentaire Est

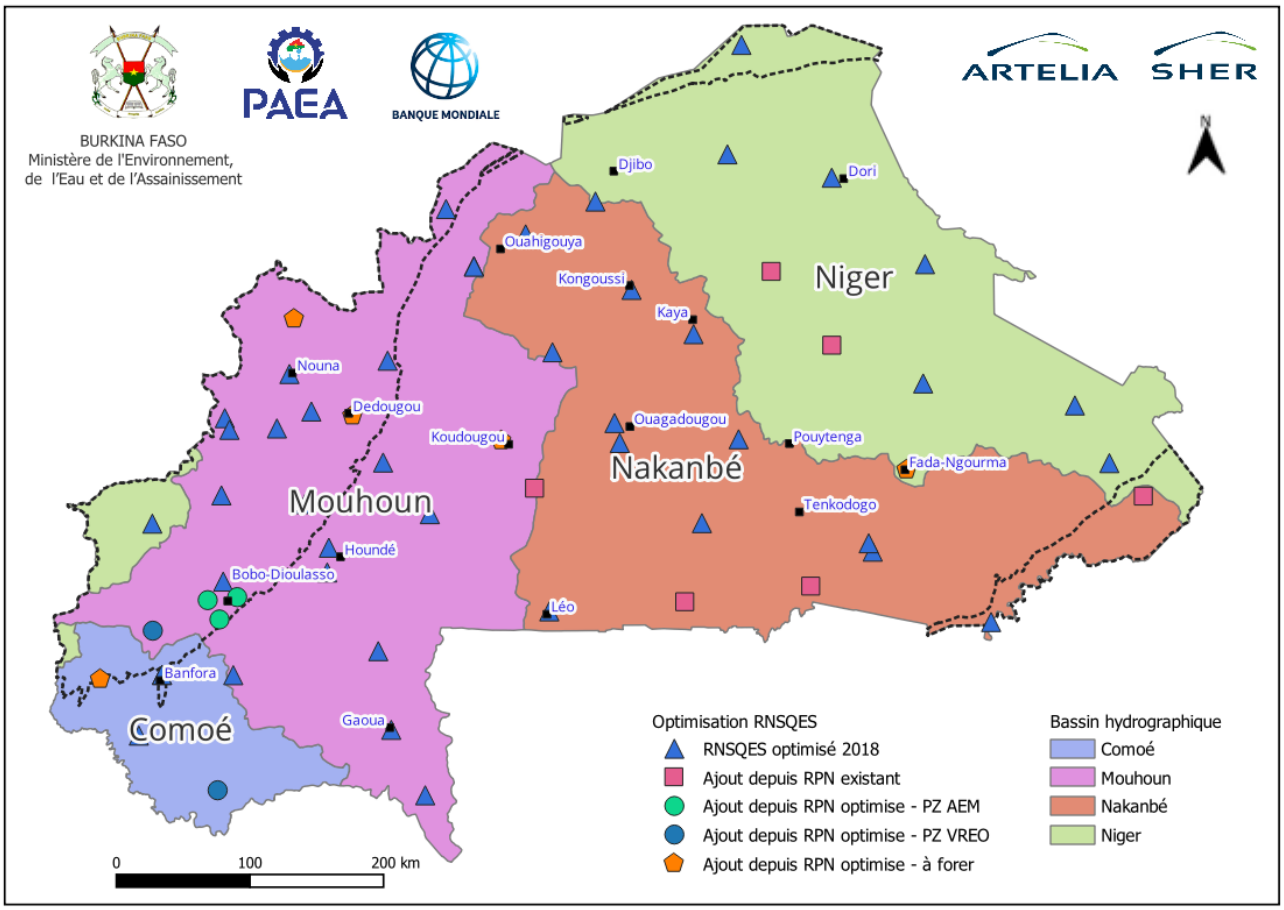
I.1.4. Distribution par bassins-versants nationaux du RNSQES optimisé

La distribution des sites du RNSQES optimisé par bassins hydrographiques nationaux est reprise dans le tableau et sur la figure ci-après.

Tableau 67 : Densité des sites du RNSQES optimisé par BV nationaux

Bassin Versant National	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Comoé	17 552	5	3 510
Mouhoun	91 386	28	3 264
Nakanbé	81 436	15	5 429
Niger	82 835	12	6 903
Total BKF	**274 054**	**60**	**4 568**

On observe une meilleure distribution spatiale p/r au RNSQES actuel (optimisation 2018), et des densités de sites en amélioration pour chaque BV (dont en particulier le BV du Niger).



Carte 63 : Répartition du RNSQES optimisé par BV nationaux

I.1.5. Distribution par Régions du RNSQES optimisé

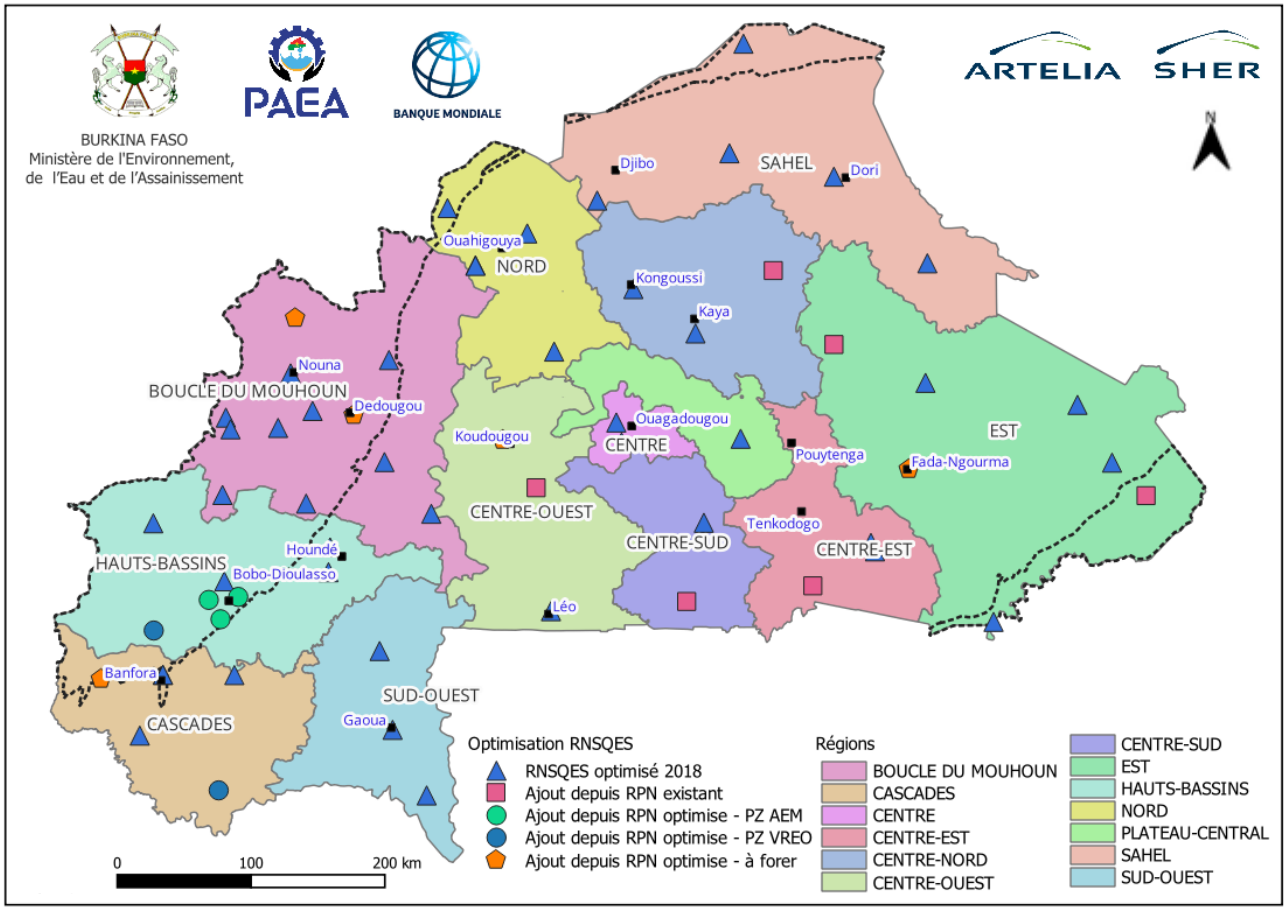
La distribution des sites du RNSQES optimisé par régions administratives est reprise dans le tableau et sur la figure ci-après.

Tableau 68 : Répartition et densité du RNSQES optimisé par Régions

Région	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Cascades	18 285	6	3 048
Mouhoun	34 466	12	2 872
Nord	16 486	5	3 297
Plateau Central	8 593	1	8 593
Centre	2 988	2	1 494
Centre Sud	11 586	2	5 793
Centre-Est	14 492	3	4 831
Est	47 649	7	6 807
Centre-Nord	19 740	3	6 580
Centre-Ouest	21 707	3	7 236

Sahel	35 366	5	7 073
Hauts-Bassins	25 337	8	3 167
Sud-Ouest	16 513	3	5 504
Total BKF	**274 054**	**60**	**4 568**

On observe une meilleure distribution spatiale p/r au RNSQES actuel (optimisation 2018), essentiellement dans les régions qui étaient particulièrement déficitaires (on citera en particulier les régions du Centre-Sud, de l'Est et du Centre-Ouest, avec des densités qui étaient supérieures à 1/10.000 km² et pouvaient atteindre 1/20.000 km²).



Carte 64 : Répartition du RNSQES optimisé par Régions

I.1.6. Distribution par UCDIEAU du RNSQES optimisé

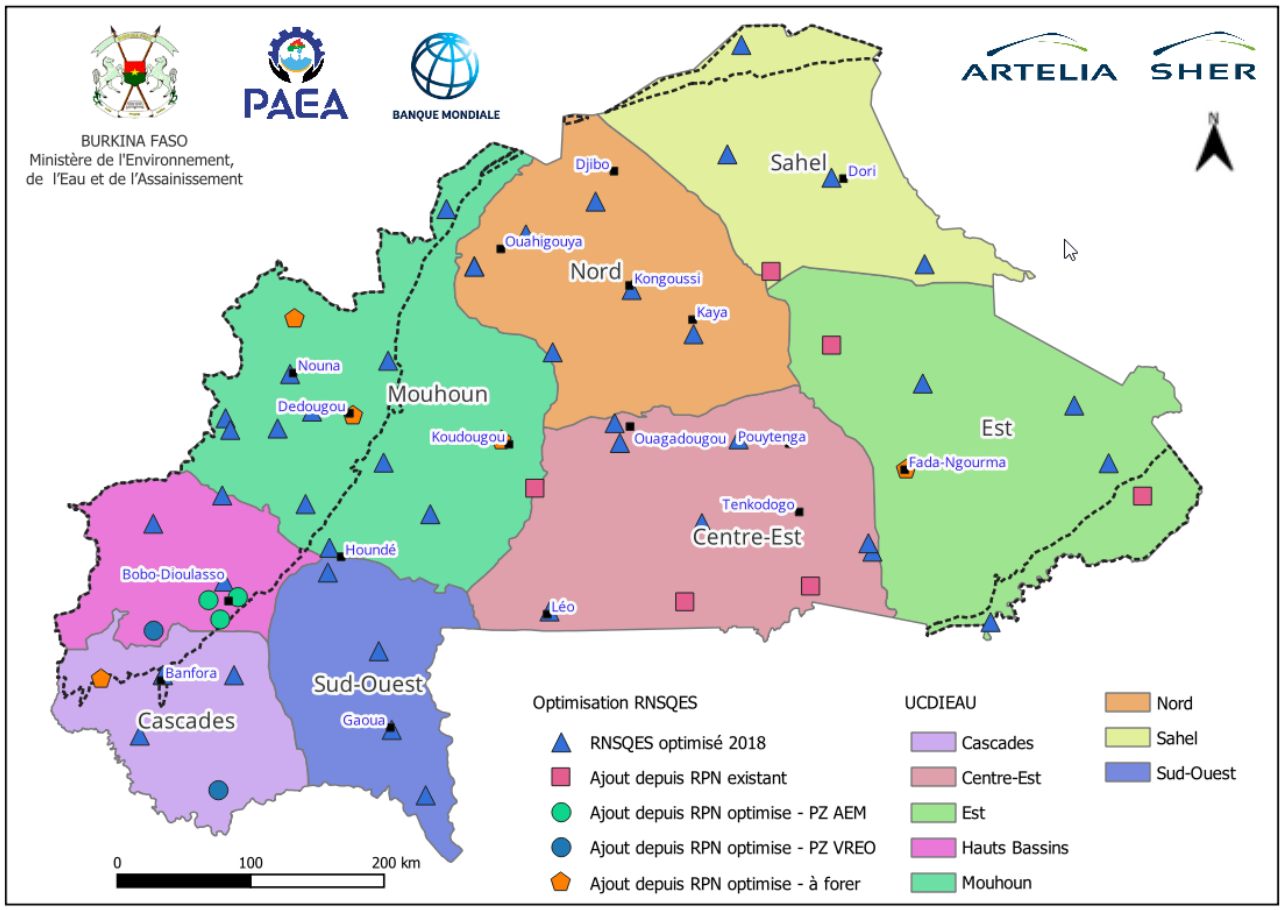
La distribution des sites du RPN optimisé par UCDIEAU (selon cartographie actuelle des UCDIEAU) est reprise dans le tableau et sur la figure ci-après.

Tableau 69 : Répartition et densité du RNSQES optimisé par UCDIEAU

UCDIEAU	Superficie (km²)	Nbre sites	Densité (km²/sites)
Cascades	19 585	6	3 264
Centre-Est	43 222	9	4 802
Est	51 757	7	7 394

Hauts-Bassins	16 624	7	2 375
Mouhoun	51 465	15	3 431
Nord	37 117	7	5 302
Sahel	31 869	5	6 374
Sud-Ouest	21 625	4	5 406
Total BKF	**274 054**	**60**	**4 568**

On observe, selon les UCDIEAU concernées, un nombre de sites compris entre 4 et 15, le nombre le plus élevé étant rencontré au niveau de l'UCDIEAU du Mouhoun.



Carte 65 : Répartition du RNSQES optimisé par UCDIEAU

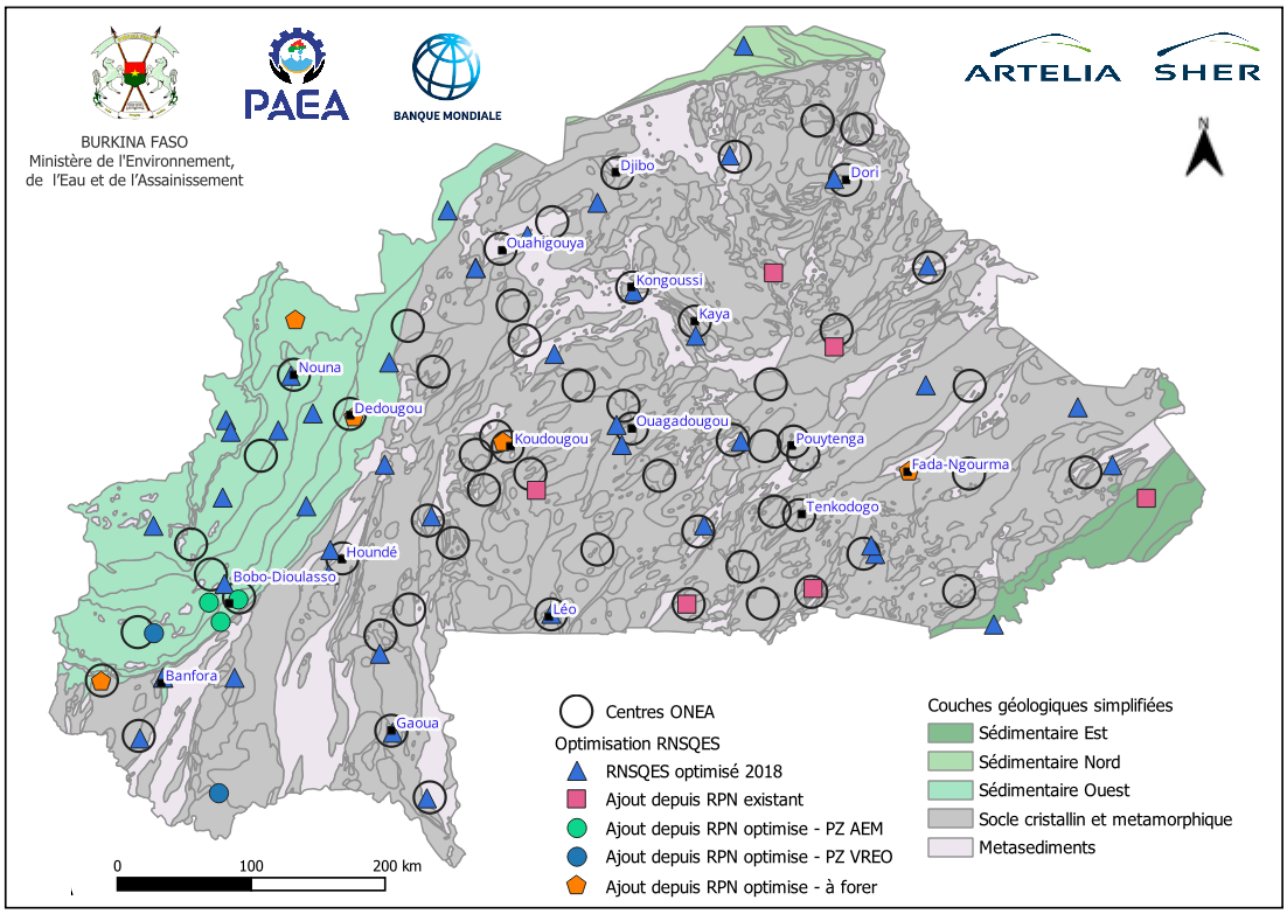
I.1.7. Distribution du RNSQES optimisé en relation avec l'exploitation des aquifères

Bien qu'il s'agisse d'un réseau de suivi homogène (patrimonial) et non d'un réseau de surveillance spécifique, l'optimisation du RNSQES vise notamment à ce que les aquifères significativement exploités fassent l'objet d'un suivi qualitatif intégré à ce réseau.

En ce sens, la carte ci-après illustre la localisation des sites du RNSQES optimisé au regard des principaux centres ONEA exploitant les eaux souterraines. On observe une distribution spatiale du RNSQES optimisé qui semble en adéquation avec les aquifères exploités et avec la localisation des centres ONEA concernés par l'exploitation des eaux souterraines.

On notera toutefois l'importance, en complément au RNSQES, d'améliorer la surveillance spécifique des nappes par le renforcement des réseaux secondaires et spécifiques, notamment et en particulier par le biais

du suivi de la qualité de l'eau brute au droit des forages de l'ONEA, mais également par des campagnes de suivi spécifique dans les zones à forte concentration d'activités industrielles ou agricoles potentiellement polluantes.



Carte 66 : Répartition du RNSQES optimisé par rapport aux centres ONEA exploitant les eaux souterraines

I.2. Paramètres à analyser et fréquence des campagnes de suivi

La liste des paramètres physico-chimiques recommandés pour mesures in-situ et pour analyses en laboratoire, dans le cadre des campagnes périodiques du RNSQES, est reprise dans le tableau ci-après.

	Paramètres	Objectif LQ visé	Unité
Physicochimie in situ	Température de l'eau		°C
	Conductivité (25°C)		µS/cm
	pH		unité pH
	Oxygène dissous		mg/l O2
	Potentiel d'oxydoréduction		mV
Physico-chimie classique	**Eléments majeurs**		
	Hydrogéno carbonates (HCO_3^-)	10	mg(HCO3)/L
	Carbonates (CO_3^{2-})	6	mg(CO3)/L
	Chlorures (Cl^-)	1	mg(Cl)/L
	Sulfates (SO_4^{2-})	1	mg(SO4)/L
	Sodium (Na^+)	1	mg(Na)/L
	Calcium (Ca^{2+})	1	mg(Ca)/L
	Magnésium (Mg^{2+})	1	mg(Mg)/L
	Potassium (K^+)	1	mg(K)/L
	Matières organiques oxydables		
	Oxydabilité au permanganate (en milieu acide à chaud)	0.5	mg(O2)/L
	Carbone Organique Dissous (COD)	0.2	mg(C)/L
	Matières en suspension		
	Turbidité	0.1	NFU
	Fer total	10	µg(Fe)/L
	Manganèse total	10	µg(Mn)/L
	Minéralisation et salinité		
	Dureté totale	0.5	°F
	Fluorures (F^-)	0.05	mg(F)/L
	Silice totale	0.2	mg/l(SiO2)
	Composés azotes		
	Nitrates (NO_3^-)	1	mg(NO3)/L
	Ammonium (NH_4^+)	0.05	mg(NH4)/L
	Nitrites (NO_2^-)	0.02	mg(NO2)/L
Micropolluants minéraux	Aluminium (Al)	10	µg(Al)/L
	Antimoine (Sb)	1.5	µg(Sb)/L
	Arsenic (As)	3	µg(As)/L
	Bore (B)	10	µg(B)/L
	Cadmium (Cd)	1.5	µg(Cd)/L
	Chrome total (Cr tot)	5	µg(Cr)/L
	Cuivre (Cu)	10	µg(Cu)/L
	Cyanures totaux	5	µg(CN)/L
	Mercure (Hg)	0.3	µg(Hg)/L
	Nickel (Ni)	6	µg(Ni)/L
	Plomb (Pb)	3	µg(Pb)/L
	Sélénium (Se)	3	µg(Se)/L
	Zinc (Zn)	2	µg(Zn)/L

Tableau 70 : Liste des paramètres physicio-chimiques recommandés dans le cadre du RNSQES

La fréquence recommandée pour les campagnes de suivi de la qualité des eaux souterraines dans le cadre du RNSQES est semestrielle, à savoir une campagne en saison sèche et une campagne en saison humide.

Nous préconisons pour ces campagnes semestrielles la prise en compte de l'ensemble des paramètres de physico-chimie in situ et de physico-chimie classique repris dans le Tableau 70 ci-avant.

Les micropolluants minéraux sont à prendre en compte à une fréquence annuelle, càd lors d'une campagne semestrielle sur deux.

Nous ne préconisons pas la prise en compte de micropolluants organiques (composés organohalogénés, hydrocarbures aromatiques BTEX, hydrocarbures C10-C40, HAP, pesticides, …) dans le cadre d'un réseau de surveillance homogène national. Ces éléments nous semblent plus indiqués dans le cadre :

(i) d'une photographie instantanée (état des lieux complet et reproduit tous les 5 ans) de la qualité des masses d'eau souterraines, et/ou

(ii) d'un réseau d'impact ou d'un réseau spécifique orienté vers des zones à risque préalablement

identifiées en relation avec l'occurrence de ces éléments indésirables (zones d'activités industrielles, sites d'extraction, zones agricoles, etc.).

Les normes et valeurs-guides définies par l'OMS et par l'Union Européenne pour la qualité des eaux de boisson sont reprises respectivement en annexes Q.20 et Q.21 du présent rapport.

I.3. Equipement pour le suivi de la qualité des eaux souterraines

Contrairement au RPN pour lequel nous préconisons l'utilisation de sondes automatiques (de pression) permanentes intégrées aux ouvrages de suivi, nous ne préconisons pas l'utilisation de telles sondes automatiques et permanentes pour le suivi de la qualité des eaux souterraines. En effet, ces sondes sont jugées fragiles, onéreuses, et nécessitent de fréquents étalonnages sur le terrain. De surcroit, l'utilisation de tels équipements ne se justifie pas pour des fréquences de mesures semestrielles.

Nous préconisons dès lors le maintien des campagnes d'échantillonnage sur site, avec mesure in-situ des paramètres physico-chimiques standard (T, pH, CE, O2 dissous), et avec prélèvements pour analyses différées (en laboratoire, et éventuellement avec dispositifs mobiles d'analyses).

Les sections suivantes présentent les équipements recommandés, en relation avec ce qui précède.

I.3.1. Equipement pour le prélèvement des eaux souterraines

Pour le prélèvement des eaux souterraines à partir d'ouvrages non-équipés de pompes (piézomètres), l'utilisation de tubes lestés n'est pas recommandée compte tenu de l'absence de renouvellement de l'eau dans l'ouvrage préalablement à l'échantillonnage. Une purge correspondant à minimum trois fois le volume d'eau du piézomètre, avec contrôle de la stabilisation des paramètres mesurés in-situ, est recommandée préalablement à l'échantillonnage.

La stabilisation des paramètres in-situ peut nécessiter un pompage prolongé dépassant la purge du piézomètre, pour une bonne représentativité de l'échantillon prélevé. Nous préconisons dès lors l'utilisation d'une pompe immergée électrique adaptée à l'échantillonnage maitrisé des eaux souterraines, et aisément transportable, telle que la pompe GRUNDFOS MP1 (ou modèle équivalent) qui constitue le standard en la matière.



Figure 50 : Prélèvement à l'aide d'une pompe MP1

Le kit d'échantillonnage se compose de la pompe MP1 (inox), d'un chariot enrouleur avec câblage électrique et tubage de refoulement souple (Teflon ou polyéthylène), d'un convertisseur de fréquence pour ajustement du débit, et d'un groupe électrogène pour l'alimentation électrique sur le terrain.

Les spécifications techniques de la pompe sont reprises ci-après :

Pompe submersible à deux étages de 2" (diamètre extérieur 45 mm) pour la purge et l'échantillonnage dans des trous de forage de 2" ou plus. Tous les composants principaux sont en acier inoxydable DIN W.-Nr. 1.4401 et le câble en FEP (téflon).

- *Ø Diamètre extérieur 45 mm*
- *Sortie de la pompe Rp 3/4*
- *Débit maximum (Q) 2,3 m³/h*
- *Profondeur d'installation maximale 90 m*
- *Puissance 1.3 kW*
- *Fréquence 50 Hz*
- *Tension 3 x 220 V*
- *Courant 10 A*
- *Longueur de câble disponible 30m, 60m, 90m*
- *Poids net 2,5 kg*
- *Poids brut 9,5 kg*

Le cout approximatif de l'ensemble du kit (pompe, chariot enrouleur et câblage, convertisseur, groupe électrogène) est de 6 millions FCFA.

L'acquisition de ce matériel est préconisée dans un premier temps pour la DGRE (2 unités), et à terme pour les UCDIEAU (une unité par UCDIEAU) afin de les rendre autonomes dans les activités de monitoring des eaux souterraines.

I.3.2. Equipement pour les mesures physico-chimiques in-situ

Aux fins de prises de mesures in-situ sur le terrain pour les paramètres physico-chimiques, nous préconisons l'utilisation d'un appareil de lecture et d'enregistrement (multimètre) portatif et de capteurs (sondes) connectées à l'appareil de lecture.

Les sondes recommandées sont relatives aux mesures de : Température, pH, Conductivité électrique, Oxygène dissous (LDO), potentiel d'oxydoréduction (ORP). Nos préconisons une longueur de cable de 3 mètres.



Figure 51 : Multimètre portable et sondes associées

Le cout approximatif pour le set complet comprenant l'appareil de lecture (2 à 4 canaux), les sondes reprises ci-avant et les solutions d'étalonnage, est d'environ 2 millions FCFA[4].

Nous préconisons l'acquisition de ces équipements pour la DGRE (2 unités), ainsi qu'une unité pour chaque UCDIEAU.

I.3.3. Equipement mobile pour les analyses chimiques spécifiques

Une option intéressante pour la réalisation d'analyses rapides et autonomes sur le terrain ou en laboratoire mobile, est l'acquisition d'un spectrophotomètre portable alimenté par batteries, et d'un set de réactifs spécifiques pour le dosage de paramètres à analyse réccurente tels ques Chlore libre, Fer total, Manganèse, Nitrate, Sulfate, Phosphate, etc.

[4] Modèle HACH Multimètre portatif HQ4300 (3 canaux) avec sondes T, pH, CE, LDO, ORP



Figure 52 : Spectrophotomètre portable

Nous préconisons l'acquisition de ces équipements pour la DGRE (2 unités), ainsi qu'une unité pour chaque UCDIEAU.

Le cout approximatif pour le set complet comprenant le spectrophotomètre portable et des lots de réactifs (100 unités par paramètre) pour une dizaine de paramètres est d'environ 2 millions FCFA[5].

Il est à signaler que cette option de spectrophotomètre portable n'est pas destinée à se substituer aux analyses à effectuer en laboratoire fixe (dont en particulier le laboratoire de la DGRE). Il s'agit d'un dispositif complémentaire, pour la réalisation rapide et aisée de mesures ponctuelles sur le terrain pour certains paramètres spécifiques définis. On citera à titre d'exemple la mise en œuvre de campagnes spécifiques de monitoring des Nitrates en zones agricoles.

J. OPTIMISATION DES RESEAUX SECONDAIRES

Bien que l'objectif de la présente étude vise l'optimisation des réseaux primaires de surveillance (homogènes) à l'échelle nationale, tant pour le suivi des niveaux de nappe que pour le suivi de leur qualité, les sections reprises ci-après s'attachent à formuler des recommandations pour l'optimisation de certains réseaux secondaires jugés d'intérêt, lesquels ont fait l'objet d'un diagnostic repris dans la première partie du présent rapport. Il s'agit en particulier du réseau de suivi piézométrique de l'AEM, et des réseaux de suivi (piézométrie et qualité de l'eau) de l'ONEA.

J.1. Réseau de suivi piézométrique de l'AEM

Sur base du diagnostic réalisé dans le cadre de la présente étude, l'AEM assure le suivi de 25 piézomètres opérationnels répartis dans la zone de Bobo Dioulasso (Bassin du Kou). Il s'agit d'un réseau secondaire d'impact, destiné à suivre les fluctuations de niveaux de nappe dans cette zone soumise à des prélèvements importants et en constante augmentation (captages de l'ONEA, prélèvements industriels, prélèvements pour l'irrigation).

[5] Modèle HACH Spectrophotomètre DR1900

J.1.1. Zone du bassin du Kou

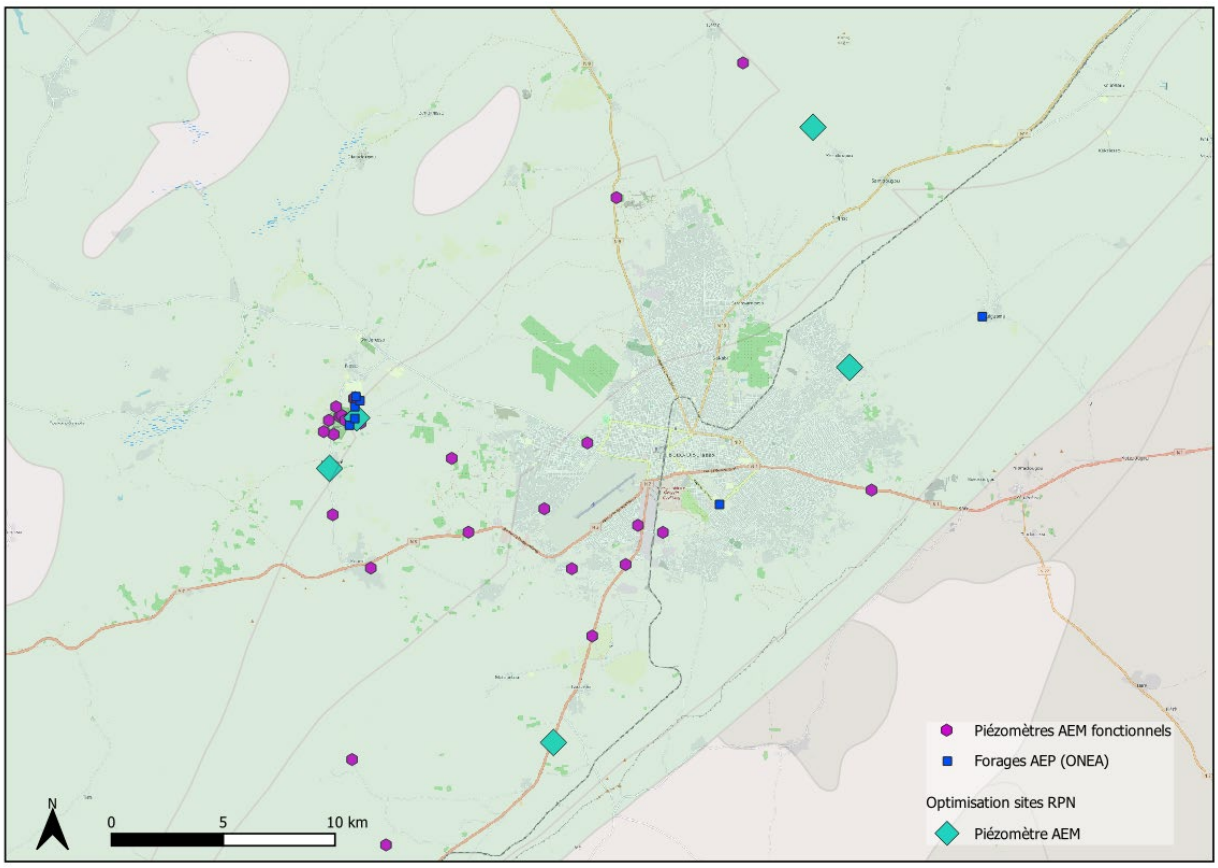
J.1.1.1. Zone de Bobo Dioulasso

La densité et la distribution spatiale des piézomètres dans la zone de Bobo Dioulasso nous semblent tout à fait adéquates, au regard des objectifs poursuivis par ce réseau secondaire localisé autour de la zone de Bobo Dioulasso et de ses principales zones de prélèvements (dont en particulier la zone de Nasso). Nous ne préconisons donc pas l'ajout de sites additionnels dans la zone d'influence des captages de l'ONEA situés dans le bassin du Kou. La liste des piézomètres faisant actuellement l'objet d'un suivi par l'AEM, et que nous préconisons de poursuivre en l'état, est reprise en annexe Q.5.

Au titre d'optimisation de ce réseau de suivi, nous préconisons d'augmenter la fréquence de mesures et de la porter à minimum deux mesures par mois (au lieu d'une mesure par mois actuellement), et idéalement à une mesure par semaine, pour l'ensemble des points suivis du réseau.

Comme indiqué dans la section relative à l'optimisation du RPN, cinq piézomètres faisant partie du réseau de suivi de l'AEM sont proposés pour être intégrés au RPN. Il s'agit des ouvrages PZ05, F4, PZ18, P03 et PZ15. Ces cinq ouvrages seront équipés, dans le cadre de l'optimisation du RPN, de sondes automatiques de pression avec prises de mesures au pas de temps journalier et système de télétransmission (voir section relative à l'optimisation du RPN).

La carte ci-après illustre les piézomètres fonctionnels du réseau AEM, en identifiant ceux proposés pour intégration au RPN optimisé.



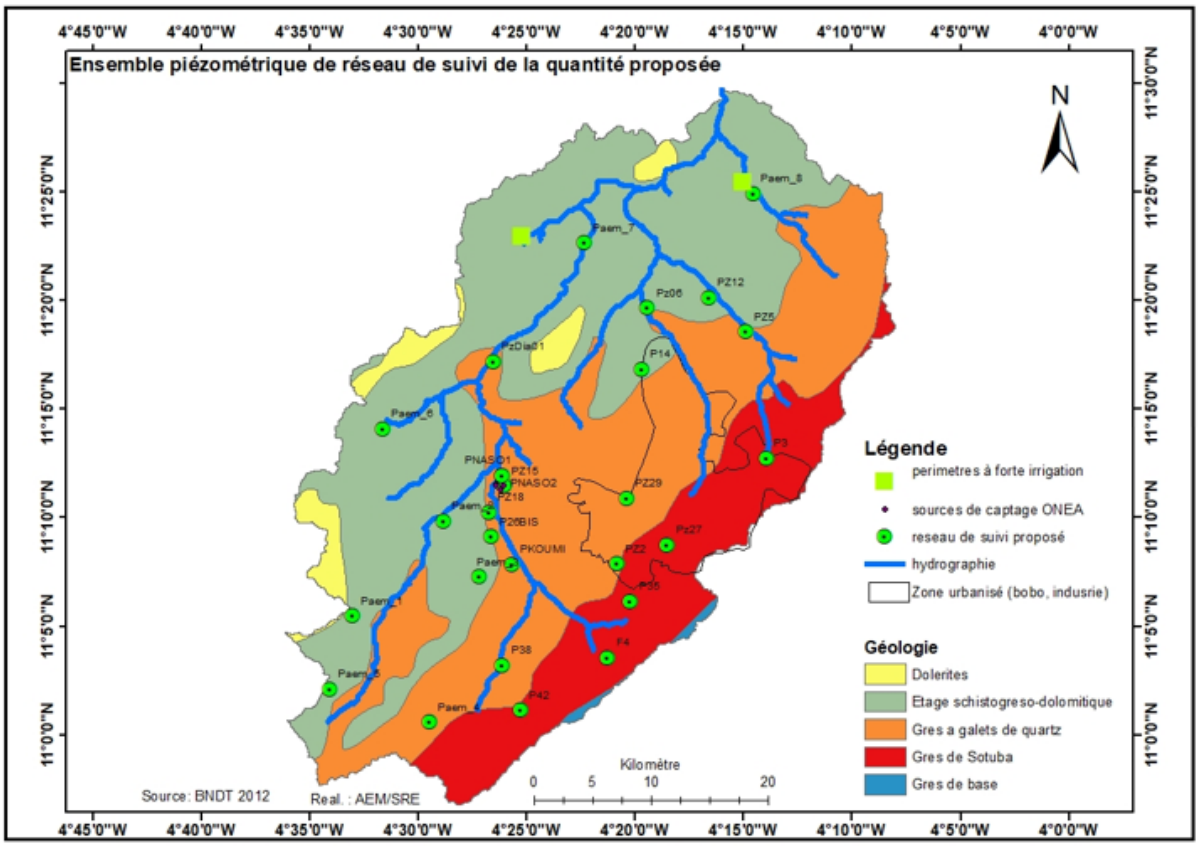
Carte 67 : Piézomètres fonctionnels du réseau AEM et ouvrages intégrés au RPN optimisé

Les cinq ouvrages proposés pour intégration au RPN bénéficieront donc d'un suivi plus rapproché, grâce aux sondes automatiques de pression qui pourront y être installées dans le cadre du renforcement du RPN.

Nous préconisons, dans une phase ultérieure, d'équiper également le réseau secondaire de l'AEM avec des sondes de pression automatiques similaires à celles proposées pour le RPN. Une série de 10 piézomètres du réseau AEM pourraient ainsi être équipés de telles sondes, notamment en vue de mieux suivre les fluctuations des niveaux de nappe en relation avec les prélèvements de l'ONEA (en particulier dans la zone de Nasso qui concentre un nombre élevé et croissant de forages exploités par l'ONEA). Ainsi, l'AEM pourrait disposer à terme d'un réseau de suivi partiellement équipé de sondes automatiques, et d'une interface performant de gestion associée.

J.1.1.2. Ensemble du bassin du Kou

Pour ce qui concerne le réseau piézométrique considéré sur l'ensemble du bassin du Kou, une étude portant sur la « Redéfinition du réseau piézométrique du bassin versant du Kou » a été réalisée en 2022 par le Service des Ressources en Eau de l'AEM (SRE/AEM, mars 2022). Le réseau piézométrique optimisé à l'échelle du bassin du Kou, tel que proposé dans cette étude, est repris sur la carte ci-après.



Carte 68 : Réseau piézométrique proposé par le SRE/AEM pour le bassin versant du Kou (SRE/AEM, mars 2022)

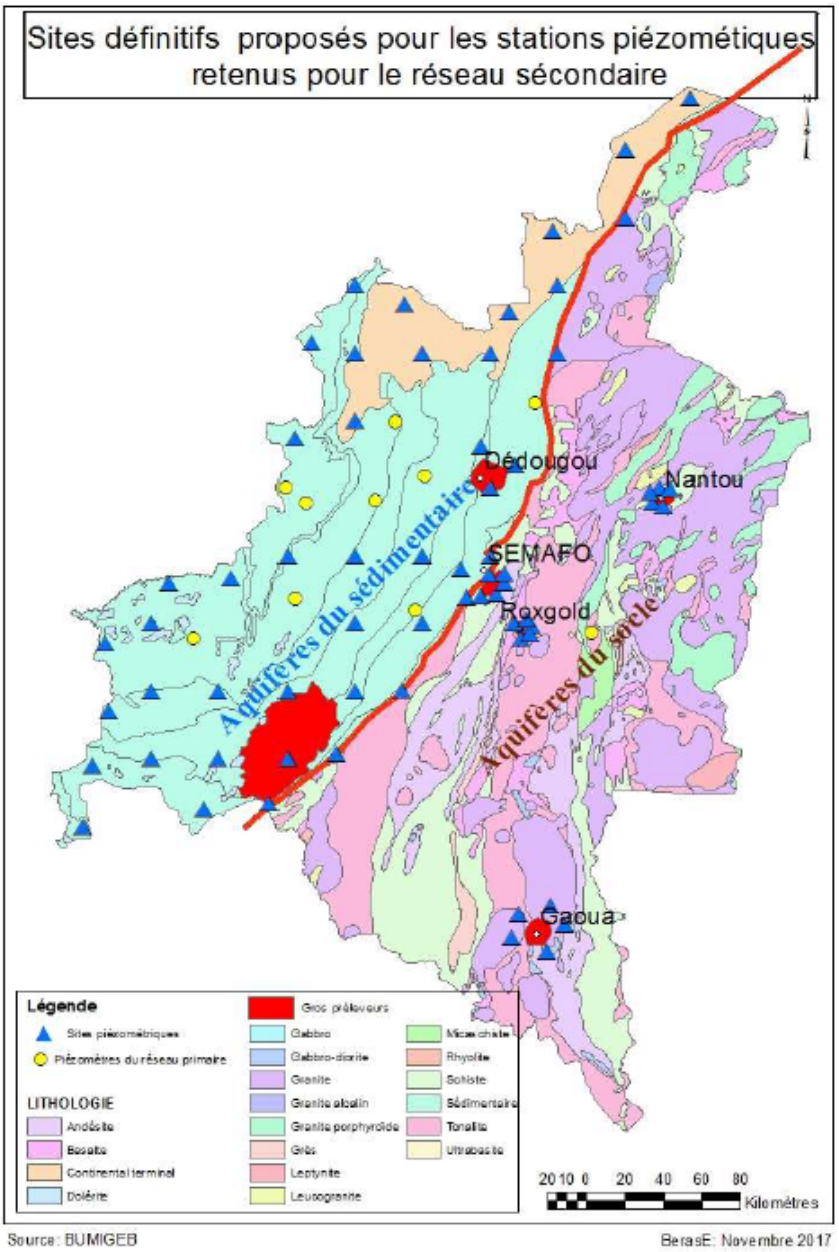
L'optimisation de ce réseau secondaire à l'échelle du bassin du Kou, telle que propsée dans l'étude SRE/AEM de 2022, nécessite la réalisation de 8 nouveaux piézomètres (Paem_1 à Paem_8), venant s'ajouter aux piézomètres existants dans la zone.

J.1.2. Zone de l'espace de compétence de l'AEM

Une étude d'identification d'un réseau secondaire de suivi des ressources en eau à l'échelle de l'ensemble de l'espace de compétence de l'Agence de l'Eau du Mouhoun a été réalisée en 2017 par le bureau BERASE (rapport final BERASE, décembre 2017). Cette étude concerne le suivi des eaux de surface, et le suivi des eaux

souterraines.

Pour ce qui concerne le réseau secondaire de suivi piézométrique à l'échelle de l'espace de compétence de l'AEM, l'étude de 2017 a identifié 65 piézomètres à réaliser. Leur localisation est reprise sur la carte ci-après.



Carte 69 : Sites proposés pour les stations piézométriques pour le réseau secondaire AEM (BERASE, 2017)

Les coûts d'investissements estimés dans l'étude de 2017 pour la mise en place de ce réseau secondaire AEM s'élèvent à 518.500.000 FCFA, incluant la réalisation des piézomètres, l'acquisition et l'installation des sondes automatiques, l'acquisition de sondes piézométriques manuelles, et l'acquisition d'une pompe d'échantillonnage.

On notera que le réseau secondaire tel que proposé dans l'étude de 2017 comporte des sites représentatifs de réseau homogène (distribution spatiale homogène), de réseau d'impact (en zone d'influence de gros préleveurs), et de réseau spécifique (autour d'exploitations minières notamment).

J.2. Réseaux de suivi de l'ONEA

J.2.1. Réseau de suivi piézométrique

Le diagnostic tel que repris en section D.2.1 pour le réseau piézométrique de l'ONEA indique que celui-ci, composé de 87 piézomètres répertoriés, ne fait plus l'objet d'aucun suivi.

Le tableau reprenant la liste et les caractéristiques des piézomètres de l'ONEA est repris en annexe Q.3.

Dans la mesure où la grande majorité de ces piézomètres se trouve à proximité immédiate des ouvrages de captage de l'ONEA, ils constituent un réseau spécifique particulièrement adapté au suivi de l'impact des prélèvements sur les niveaux de la nappe dans les zones d'influence des captages concernés.

Nous préconisons donc une repise des mesures de niveaux de nappe dans les piézomètres fonctionnels, dans le cadre d'une réactivation par l'ONEA de ce réseau particulièrement intéressant et pertinent pour le suivi des impacts directs des prélèvements sur les aquifères. Nous préconisons pour chaque piézomètre fonctionnel une mesure de niveau de nappe par semaine. Sur base des résultats obtenus après une année de mesures, une sélection de piézomètres stratégiques pourrait être opérée d'une part pour rationnaliser/optimiser le réseau, et d'autre part pour y installer des sondes automatiques de mesure de pression. Ces équipements permettraient en effet un suivi quotidien, voire horaire, des fluctuations des niveaux de nappe sous l'effet des régimes de pompage de l'ONEA. Ces dispositifs sont à privilégier en zone sédimentaire, où les débits d'exploitation sont les plus importants.

J.2.2. Suivi de la qualité des eaux brutes

Sur base des conclusions de la partie diagnostique, l'ONEA assure un suivi de la qualité des eaux brutes au niveau de ses points de captage en activité. La fréquence d'échantillonnage et d'analyse est en théorie fixée au pas de temps trimestriel, et les paramètres analysés sont généralement assez complets sur le plan physico-chimique (éléments majeurs et métaux lourds, notamment). Ces résultats sont capitalisés au sein d'une base de données gérée par l'ONEA.

Tenant compte du nombre important de forages exploités par l'ONEA (plus de 700 sont en exploitation à ce jour), et de leur distribution spatiale, les données périodiques de qualité des eaux brutes relatives aux eaux souterraines collectées par l'ONEA constituent une source d'information extrêmement intéressante pour le suivi de la qualité des ressources en eau souterraine du Burkina Faso.

Il s'agit assurément d'un complément précieux et pertinent au RNSQES géré au sein de la DGRE. Nous préconisons dès lors, en ce sens, la poursuite par l'ONEA des campagnes d'analyses physico-chimiques trimestrielles des eaux brutes menées au droit des captages de l'ONEA. Nous préconisons la mise en place d'un processus de mise à disposition de ces données au profit de la DGRE, afin de les intégrer à sa base de données sur la qualité des ressources en eau. Des propositions de flux de données entre structures sont formulées dans le cadre de la présente étude (voir section relative à l'optimisation de la gestion et de la capitalisation des données des réseaux de suivi).

K. OPTIMISATION DE LA GESTION ET DE LA CAPITALISATION DES DONNEES DES RESEAUX DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES

Au cours de sa mission, le Groupement a collecté une série de jeux de données brutes transmis par les gestionnaires des réseaux (cf. RPN - D.1.2.1 / RPS-ONEA - D.2.1 / RPS-AEM - D.2.2 / VREO - D.2.3 et RNSQES - 0). Les fichiers ont été compilés, analysés, traités et capitalisé. Les travaux de reprise ont été réalisés selon une méthodologie en étapes élaborée par le Consultant. L'objectif global de la capitalisation était d'améliorer

la qualité générale des données et les rendre interopérables (ex. RPN Vs RSQES, Réseaux Vs Chroniques, etc.). La méthodologie employée est identique quel que soit le réseau.

K.1. Méthodologie d'optimisation

La méthodologie d'optimisation et de gestion des jeux de données bruts est illustrée à la Figure 53. Il s'agit d'une démarche par étapes successives qui consistent globalement en une structuration des jeux de données sources, un nettoyage préliminaire, une opération d'import dans une base de données de travail « Réseaux de suivi », une spatialisation et un contrôle de qualité global.

En marge du travail sur les données, des stratégies d'optimisation sont proposées pour :

- L'infrastructure technique et les outils à mettre en place ;
- Les flux entre acteurs et les échanges de données ;
- Les interactions entre le système de gestion des réseaux de suivi des eaux souterraines et les autres SI, à savoir le SI-OMES et le SNIEAU.

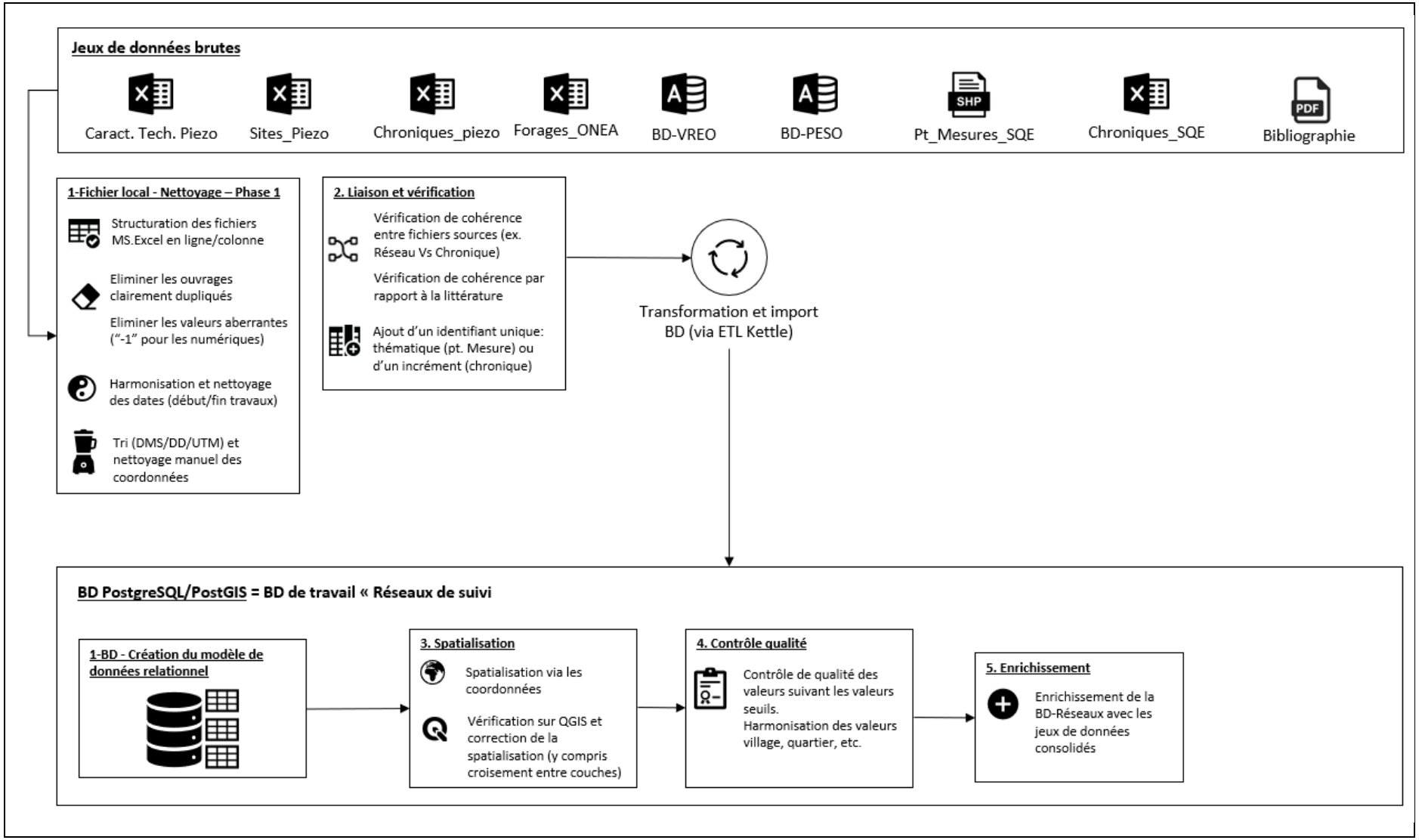


Figure 53 : Méthodologie de reprise des données relatives aux réseaux de suivi

Etape	Données en entrée	Traitements	Données en sortie
#1	Jeux de données remis par les gestionnaires de réseaux	Renommage des noms de champs (éviter les majuscules, les espaces et les accents). Nettoyage sommaire des données pour permettre le chargement en base de données. Eviter d'avoir des caractères textuels dans les attributs numériques, éliminer les symboles indiquant une absence de valeur (-), etc. Identifier et écarter les doublons clairs Créer, pour chaque jeu de données, un attribut qui servira comme identifiant unique. Cela peut être un incrément (cas des chroniques) ou un identifiant thématique (existant ou imaginé/consolidé par le Groupement) Structuration des jeux de données afin de disposer d'une structure en lignes/colonnes (formatage base de données) Regroupement des fichiers/feuilles MS.Excel présentant les chroniques de campagne, ou de points de mesure distincts, en une seule feuille d'un seul fichier (ex. regroupement des différents fichiers MS.Excel des chroniques Piezo / regroupement des différentes campagnes du réseau SQES)	Jeux de données nettoyés et structurés
#2	Jeux de données nettoyés et structurés	Première étape d'interopérabilité : Liaison entre les points de mesure et les chroniques. Les identifiants thématiques créés au niveau des fichiers de points de mesure sont répétés au niveau des fichiers de chroniques, afin d'obtenir une relation de type [1-Plusieurs] (1 point de mesure = plusieurs mesures, chaque mesure fait référence à la station via l'identifiant)	Jeux de données nettoyés, structurés et liés entre eux près à être chargés dans la BD de travail
#3	Jeux de données sources structurés	Création d'un modèle de données relationnel d'une base de données « BD-Réseaux ». Il s'agit de la proposition d'optimisation du Groupement en termes de gestion des données. La « BD-Réseaux » devra, à terme, être implémentée pour le suivi des réseaux d'eau souterraine. La modélisation se base sur des attributs rencontrés dans les fichiers sources. La BD de travail est implémentée en PostgreSQL/PostGIS	Base de données « BD-Réseaux »
#4	Jeux de données sources structurés	Parallèlement à la modélisation de la « BD-Réseaux », création d'une base de données de travail (toujours sur PostgreSQL/PostGIS) contenant les tables temporaires reproduisant exactement la structure des fichiers sources structurés. Ces tables vont contenir les données se trouvant dans ces fichiers. Le modèle de la BD de travail ne correspond pas forcément à celui de la « BD-Réseaux ». La	Tables PostgreSQL temporaires dans une BD de travail

Etape	Données en entrée	Traitements	Données en sortie
		BD de travail est une base de données temporaire et ne constitue pas un produit du RT.2.1.	
#5	Jeux de données nettoyés, structurés et liés	Import des données dans la BD de travail. Cette opération se réalise par une mise en correspondance des attributs entre les fichiers sources et les tables temporaires vides. Pour ce faire, l'outil ETL Pentaho Data Integration (« Kettle ») est utilisé. Possibilité de réutiliser cette stratégie d'alimentation pour la « BD-Réseaux »	Tables PostgreSQL temporaire remplies dans la BD de travail
#6	Tables PostgreSQL temporaire remplies	Nettoyage et structuration des coordonnées DMS pour spatialiser les tables. Ce nettoyage se fait via des requêtes SQL. Les coordonnées DMS sont transformées en DD via une fonction développée par le Groupement. Les coordonnées DD sont ensuite transformées en UTM 30N. Ces dernières servent à déterminer la géométrie de chaque ouvrage	Tables PostgreSQL temporaire remplies et spatialisées
#7	Tables PostgreSQL temporaire remplies et spatialisées	- Premier contrôle qualité du contenu : identification de tous les incidents dont : les ouvrages dupliqués, les géométries dupliquées (voisinage de 25m), valeurs hors tolérance, invalidités temporelles, etc. Les points restants en dehors du Burkina Faso sont évalués afin de déterminer les erreurs grossières dans les coordonnées (confusion entre les zones 30N et 31N, E et W, etc.). Des ajustements automatiques de coordonnées sont appliqués pour corriger le positionnement des points. Les bases de données OMES et INO servent de référence, de même que les cartes topographiques ou des fonds de plan génériques. Des allers-retours dans la littérature sont fréquents afin de certifier les points faisant partie du réseau. Dans certains cas, des éclaircissements sont demandés aux gestionnaires de données - Formatage des noms des entités administratives, villages, quartiers, etc.	Tables PostgreSQL temporaire remplies, spatialisées et nettoyées
#8	Tables PostgreSQL temporaire remplies, spatialisées et nettoyées	Le modèle de données de la BD de travail est enrichi par les différentes jeux de données capitalisés. Le chargement se réalise via commandes SQL. Deuxième contrôle qualité pour évaluer la progression de la BD de travail et nettoyage additionnel. A ce niveau, des ajustements ont pu être apportés dans les BD liés (ex. BD-OMES)	BD de travail alimentée et contrôlée

K.2. Ajustement et enrichissement des jeux de données bruts

Cette section détaille les principaux ajustements réalisés sur les jeux de données sources. En effet, certains traitements ont entrainé une adaptation des données d'origine, tant qualitativement que quantitativement. Il est donc important pour les gestionnaires de pouvoir disposer des points majeurs de la reprise telle que réalisée par le Groupement.

K.2.1. Ajustements des données du RPN

Les différents jeux de données fournis par la DEIE ont été traités de manière à pouvoir reconstituer le RPN en couvrant tous les niveaux d'interprétation (site/ouvrage/point de mesure). Les jeux de données relatifs au RPN sont cités dans la section D.1.2.1 du présent document.

La structure et le contenu des fichiers bruts laissent apparaitre qu'il n'y a pas de procédures de contrôle qualité mises place par la DEIE. Par conséquent, il est supposé que les traitements réalisés en aval soient relativement sommaires.

Les jeux de données relatifs aux points de mesure (tubages) ont d'abord été traités. L'objectif spécifique était d'obtenir une vision claire et spatialisé du réseau actuel.

Les adaptations suivantes ont été réalisées.

- Introduction d'un identifiant unique thématique **pour chaque point de mesure**. Il était absolument nécessaire de disposer d'une codification unique et thématique de manière à différencier les points de mesure entre eux, et si possible permettre une localisation sommaire par interprétation du code. Le système de codification suivant a été choisi : Initiale du BV national d'appartenance (3 lettres) / Initiale du nom de l'ouvrage (3 à 4 lettres) / Référence piézométrique si disponible (toujours le cas pour les ouvrages multiples).
- Introduction d'un identifiant unique thématique **pour chaque ouvrage piézométrique**. En suivant la même logique que précédemment, chaque ouvrage dispose d'un code unique et thématique qui repose sur les mêmes règles que l'identifiant des points de mesure. Si l'ouvrage ne dispose que d'un tube, l'identifiant de l'ouvrage correspond à l'identifiant du point de mesure. Par contre, si l'ouvrage est multiple, l'identifiant reprend la référence piézométrique de tous les points de mesure participants à l'ouvrage.

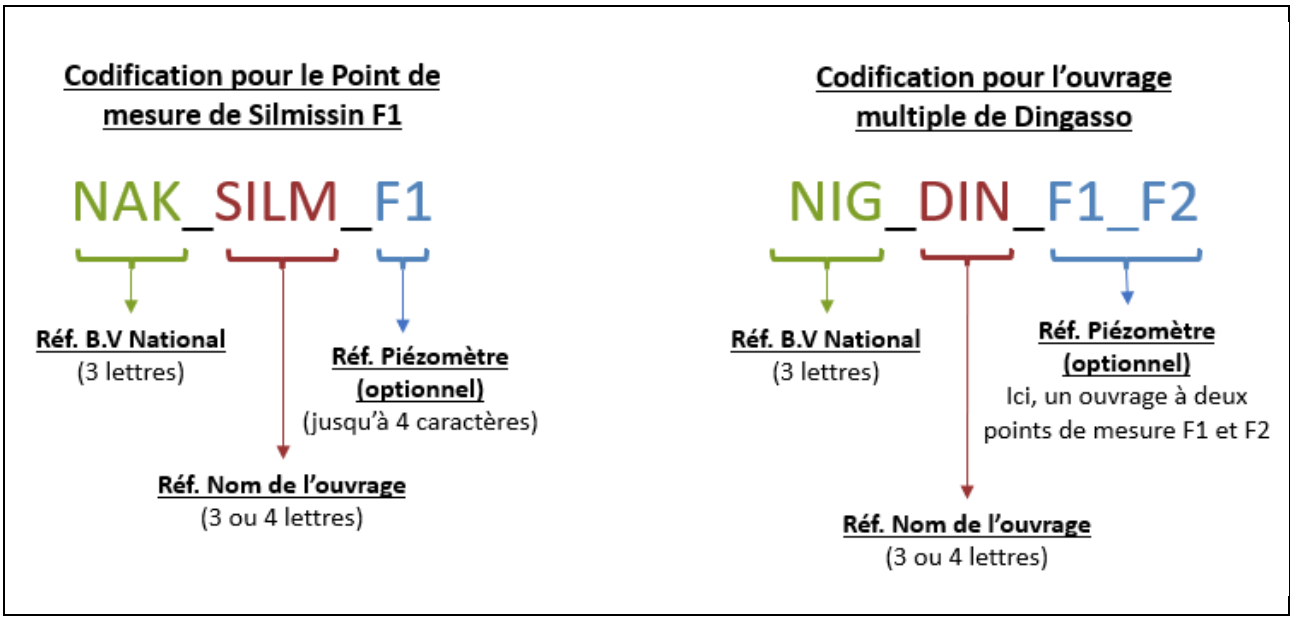


Figure 54 : Système de codification des points de mesure et ouvrages du RPN

- Une fois les différents fichiers complétés avec l'identifiant unique, des jointures ont été réalisées afin de disposer d'un fichier unique reprenant les caractéristiques de chaque point de mesure. Ce fichier a été capitalisé en base.
- Certains noms de piézomètres étaient mal orthographiés. Par exemple, les ouvrages de « Bousgou » font en fait référence à l'entité de « Boussougou » ; « Bassinko » est en fait « Basseko », etc. Des corrections ont donc été apportés dans le nom des ouvrages sur base de la correspondance avec les toponymes de la carte topographique 1/200.000 et de la base de données INO. Les noms des ouvrages sont fortement employés par la DEIE, jusqu'à servir pour nommer les fichiers MS.Excel de chronique. Néanmoins, les corrections apportées n'introduisent pas d'ambiguïtés.
- Les noms de village ont été harmonisés sur base de la BDNT et de la base de données INO. Cela permet de générer facilement les sites piézométriques.
- Les coordonnées étaient exprimées en degrés-minutes-secondes. Elles ont été nettoyées, avec une attention particulière pour les points situés à l'Est du Burkina Faso. Par exemple, la station de Sampelga présentait une incohérence entre la zone Ouest et Est. Les hémisphères et méridiens ont été précisés.
- Des dates de création ont été corrigées, les noms de lithologie ont été harmonisés. Les profondeurs ont été analysées en fonction des valeurs seuils autorisées dans la BD-OMES.

Les stations ont été importées dans la base de données de travail. Les coordonnées DMS ont été transformées en DD puis en UTM-30N via une routine SQL mise en place par le Groupement. La table finale a été chargée dans QGIS et contrôlée visuellement, par comparaison avec les cartes topographiques au 1/200.000 et les bases de données BNDT et INO. Au final, tous les points de mesure sont situés au sein du territoire national et, dans le cas d'ouvrages multiples, présentent les mêmes coordonnées.

Les fichiers de chroniques piézométriques ont été repris. D'une manière générale, ils étaient bien structurés et présentaient systématiquement le nom du piézomètre, la date de mesure et le niveau statique mesuré. Les fichiers ont été traités de manière à reconstituer un **fichier unique reprenant toutes les mesures pour tous les points de mesure**. **L'identifiant unique créé pour chaque point de mesure a été ajouté** pour chaque enregistrement, ce qui facilite à la fois les jointures avec le fichier spatial de points de mesure et les requêtes

nécessaires pour générer les statistiques.

Le fichier de chronique a été chargé dans la base de données de travail. La table a été nettoyée. Plusieurs types d'erreurs ont été détectées :

- Doublons : plusieurs enregistrements présentant la même mesure de NS à la même date pour le même enregistrement. Ces doublons ont été éliminés via requêtes SQL (cf. annexe Q.13).
- Erreurs de saisie. Dates de mesure incohérentes ou incomplètes. Mesure erronée (sur 22 chroniques, avec un delta de parfois 10 m). Les chroniques ont été parcourues visuellement par des techniciens et des corrections manuelles ont été réalisées. Les valeurs aberrantes ont été identifiées via des requêtes SQL.
- Incohérences. Hauteurs différentes mesurées le même jour à la même heure. Les enregistrements en doublon ont été identifiés via requête SQL puis éliminés manuellement. La règle à suivre était de considérer la valeur maximale, ou intermédiaire dans le cas de triplons.

K.2.2. Ajustements réalisés sur les données des autres réseaux piézométriques

Le fichier MS.Excel reprenant le jeu de données relatif au RPS-ONEA a été structuré et nettoyé, notamment au niveau des coordonnées DMS qui présentaient des confusions de zones UTM (30N Vs 31N au niveau de la station de Fada). Le résultat a été chargé dans la base de données de travail où les traitements se sont poursuivis, à savoir un contrôle qualité, la transformation des coordonnées en DD puis en UTM-30N, la spatialisation des données et le croisement avec d'autres jeux de données de référence de l'ONEA déjà capitalisés par l'Etude SEVERE (centres opérationnels, zones de compétence). Des corrections ont été réalisées, notamment au niveau de confusion entre les zones UTM 30N et UTM 31N. Les piézomètres ont été spatialisés et tombent tous dans le territoire national. Un contrôle visuel a été réalisé sur QGIS, sur base des cartes topographiques 1/200.000, des couches de l'ONEA et des bases de données de référence (BD-OMES, BD-INO).

Une recherche de coordonnées des 15 stations non localisées a été réalisée, notamment par croisement avec les ouvrages d'exploitation de l'ONEA et la BD-OMES, sans succès. Le Groupement a sollicité l'ONEA mais cette dernière ne dispose pas de bases de données ni d'un historique en la matière.

Finalement, des fichiers consolidés ont été extraits au format *.shp et MS.Excel. Ils ont été transmis au point de contact de l'ONEA (courrier du Groupement du 12/07/2021). Cet envoi a permis au Groupement d'attirer à nouveau l'attention de l'ONEA sur les coordonnées manquantes pour les 15 stations piézométriques.

Le RPS-ONEA n'est plus suivi et aucune chronique, même historique, n'a été transmise.

Concernant la reprise du réseau piézométrique de l'AEM, le défi a consisté à reconstituer le réseau global tout en respectant la littérature. L'information émanait de plusieurs sources établies par des acteurs différents en fonction du moment de leur intervention (ERES, PESO, AEM plus d'autres sources bibliographiques ponctuelles). Au niveau des réseaux, l'objectif était la reconstitution et la localisation des points de mesure. La BD-PESO a servi de référence pour la reprise mais certains manquements ont été constatés, notamment l'absence d'ouvrages réalisés dans le cadre des projets BOAD et ERES antérieurs. Le rapport ERES présentait des cartes de situation de tous les piézomètres réalisés i) avant le projet (ouvrages BOAD) ou ii) pendant la phase du projet (SOGREAH, 1994). Ces documents ont été géoréférencés et comparés avec la BD-PESO. Certains ouvrages ont ainsi pu être ajoutés au jeu de données. Cette étape a nécessité un travail conséquent de comparaison entre les différentes sources de données afin de ne pas créer de doublons et affecter les piézomètres à leurs projets et réseaux d'appartenance. Les caractéristiques techniques des ouvrages mentionnés dans le rapport ERES ont également été capitalisées. De cette manière le RPS-AEM

avant 2008 a pu être reconstruit à l'identique et est en phase avec la bibliographie.

Concernant les chroniques de mesures du RPS-AEM, un important travail de recompilation de données a été réalisé. A l'instar des points de mesure, les chroniques émanent de différentes sources de données (BD-PESO avant 2010, AEM, thèses, etc. après 2010). Là aussi, le défi a été de conserver un lien avec la littérature et les données sources tout en joignant chaque chronique au point de mesure correspondant dans le RPS-AEM. Les chroniques ont été unifiées dans un fichier MS.Excel puis chargées dans la base de données de travail. Un contrôle de qualité a permis d'éliminer les valeurs aberrantes et les doublons. De plus, certains noms de piézomètres étaient inversés ou erronés, ce qui donnaient lieu à des confusions. Des erreurs de saisie ont également été constatées et corrigées.

Enfin, la base de données VREO a permis de reconsolider le réseau piézométrique spécifique mis en place par ce projet. La principale difficulté a été de comprendre la codification des ouvrages utilisées dans VREO. Une fois la correspondance établie, une recherche bibliographique a permis de confirmer le nombre d'ouvrages. Les données issues de la base de données MS.Access de VREO étaient relativement bien structurées. Elles ont été chargées dans la base de données de travail.

K.2.3. Ajustements réalisés sur les données du RNSQES

Le Groupement a analysé les deux jeux de données relatifs au RNSQES fournis par la DEIE (cf. 0). Ils sont cohérents entre eux et vis-à-vis de la littérature, à savoir qu'ils reprennent 80 points de mesure en cumulant les réseaux de surface et souterrain et 45 stations de mesure pour le RNSQES. Cependant, l'analyse des données et surtout le croisement des points de mesure avec les stations réellement échantillonnées (c'est-à-dire figurant dans les chroniques) fait apparaitre des divergences.

Comme indiqué dans la section 0, les fichiers relatifs aux points de mesure reprennent 3 stations pour le village de Koalou : 1 ouvrage faisant partie de l'ancien réseau et 2 piézomètres de renforcement. Le Groupement a considéré ces deux derniers enregistrements comme des doublons pour plusieurs raisons :

- La station de qualité de Koalou est un piézomètre à tube unique se trouvant dans le RPN. Il ne peut donc pas y avoir deux points de mesure au niveau de cet ouvrage.
- La station envisagée comme renforcement porte les mêmes coordonnées que celle déjà suivie, ainsi que la même référence de piézomètre.
- La deuxième station de renforcement de Koalou ne porte aucun attribut, ni de coordonnées.

Dès lors, le RNSQES a été réduit temporairement à 43 stations après analyse des données sources du réseau.

Cette analyse a été suivie par le croisement « Point de mesure Vs Chroniques », ce qui a permis de faire évoluer le RNSQES et procéder à des adaptations supplémentaires. Les traitements majeurs sont détaillés ci-après.

- **Mise en correspondance des désignations**

Le piézomètre portant référence « P-14 de Bobo-Diaoulasso » et suivi depuis 2021 se trouve exactement à la même position que la station de Banakélédaga, qui n'a jamais été suivi par la DEIE. Le Groupement a considéré qu'il s'agit d'un seul et même ouvrage. Le point de mesure a été renommé « Banakélédaga (Bobo-P14) » dans chacun des fichiers. Le SQE de la DEIE a été informé de cette décision (06/08/2023).

- **Adaptation du RNQES**

Le RNSQES renforcé avait été réduit à 43 stations suite au déclassement des ouvrages de renforcement de Koalou (voir ci-avant).

L'analyse des chroniques montre que 22 stations sont effectivement suivies depuis 2020. Il s'agit d'ouvrages faisant partie du réseau initial ou de la proposition de renforcement de 2018, **excepté pour 3 stations**, à savoir :

- **Le piézomètre de Nafona-2 (Cascades)**. Il a été suivi lors des 6 campagnes menés entre 2020 et 2022 mais ne fait pas partie du RNSQES. Il figure dans le RPN. **Le Groupement a donc pris l'option de l'intégrer au RNSQES ce qui ramène le réseau à 44 ouvrages** (cf. 0).
- Le **Forage de Navielgané (Sud-Ouest)**. Il a été suivi lors des 6 campagnes menés entre 2020 et 2022 mais ne fait pas partie du RNSQES. Il se trouve à 1,5 km de la station « forage de Diébougou » qui fait partie de la proposition 2018 de renforcement du réseau mais, d'après les chroniques, n'a jamais été suivi par la DEIE. Le Groupement a donc pris le parti de substituer le forage de Diébougou par le forage de Navielgané dans le réseau officiel**.**
- Le **Forage de Kari (Hauts-Bassins)**. Il a été suivi lors des 6 campagnes menés entre 2020 et 2022 mais ne fait pas partie du RNSQES. Il se situe à 13 km de la station « forage de Houndé » qui fait partie de la proposition 2018 de renforcement du réseau mais, d'après les chroniques, n'a jamais été suivi par la DEIE. Le Groupement a donc pris le parti de substituer le forage de Houndé par le forage de Kari dans le réseau officiel**.**

La question de l'absence de suivi pour les stations de Houndé et Diébougou, ainsi que les possibles substitutions avec Navielgané et Kari a été posée au SQE (DEAI). Sa réponse est « qu'il est probable que d'autres zones que celles prévues par le renforcement du RNSQES ont dû être identifiées par le SQE lors de la visite sur le terrain, et ce pour cause des réalités rencontrées sur site et des coordonnées erronées des ouvrages choisis » (DEIE, 07/08/2023). Dès lors, le Groupement a réalisé la substitution dans le réseau officiel.

En fin de traitement, le RNQES officiel compte donc **44 stations (37 piézomètres et 7 forages)** et intègre les stations de Navielgané et Kari au détriment des forages de Diébougou et Houndé. De cette manière, tous les points de mesure échantillonnés depuis 2020 se trouvent dans le RNSQES. L'interopérabilité entre le réseau et sa chronique est donc grandement améliorée.

- **Elargissement du RNQES**

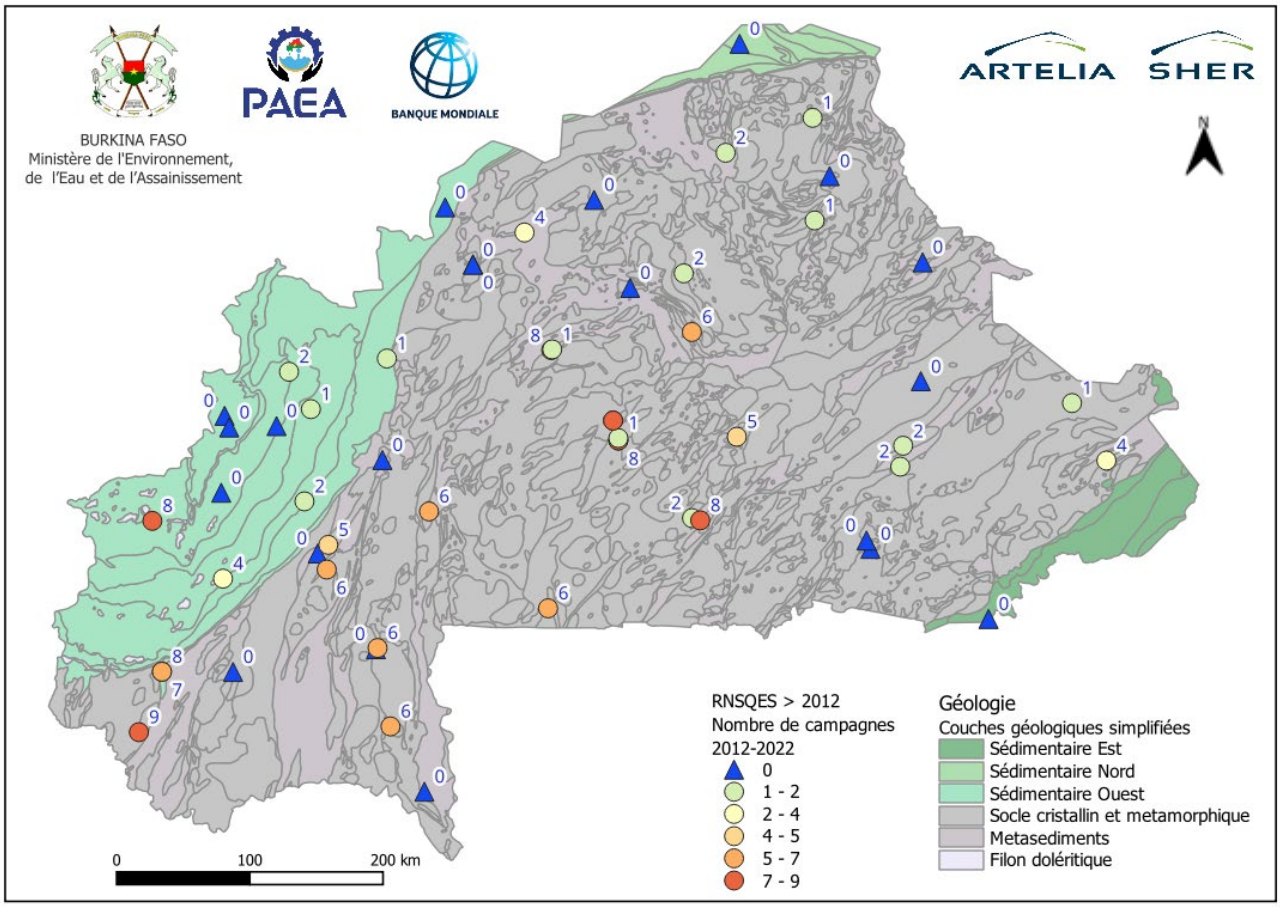
Hormis les stations de Kari et Navielgané, dix autres stations ont fait l'objet d'un suivi entre 2012 et 2017 sans pour autant figurer dans le RNSQES (cf. Tableau 71 – Navielgané et kari non pris en compte). Ces points de mesure ont été capitalisés au même titre que les autres stations du RNSQES mais sans être considérée comme faisant partie du réseau officiel. En effet, la dernière campagne de mesure est antérieure à 2018, ce qui a probablement influencé la DEIE au moment de réaliser la proposition de renforcement du réseau.

Les 10 ouvrages sont des piézomètres qui se trouvent dans le RPN. Une simple liaison sur base du nom du piézomètre a donc permis de les géoréférencer.

Cette intégration entraine la capitalisation d'un **RNSQES élargi composé de 56 stations de mesure (47 piézomètres et 9 forages** – Attention toujours à la permutation Navielgané/ Diébougou et Kari/ Houndé**)** , tenant compte de l'historique des chroniques. Rappelons que seules 44 stations font partie du réseau officiellement suivi.

Tableau 71 : Stations disposant d'une chronique de mesure de qualité sans faire partie du RNSQES

Région	Commune	Désignation de l'ouvrage	Type d'ouvrage	Fonctionnel	Date de la dernière campagne
CENTRE	KOMSILGA	Silmissin F1	Piézomètre	Oui	01/07/2016
CENTRE	KOMSILGA	Silmissin F3	Piézomètre	Oui	01/07/2016
CENTRE	OUAGADOUGOU	Basseko F1	Piézomètre	Oui	01/07/2016
CENTRE-NORD	BARSALOGHO	Kondibito F1	Piézomètre	Oui	01/07/2017
CENTRE-SUD	BINDE	Bindé	Piézomètre	Oui	01/07/2017
EST	FADA N'GOURMA	Fada N'Gourma	Piézomètre	Non	01/07/2013
EST	YAMBA	Kouadifagou F1	Piézomètre	Non	01/07/2017
NORD	ARBOLE	Tibou F3	Piézomètre	Oui	01/07/2016
SAHEL	BANI	Sampelga SE4B	Piézomètre	Oui	01/07/2013
SAHEL	GOROM-GOROM	Gorom-Gorom	Piézomètre	Non	01/07/2012



Carte 70 : RNSQES suivi par la DEIE depuis 2012 (56 stations)

A noter encore que quelques piézomètres suivis en 2013 n'ont pu être localisés et n'ont pas été pris en compte dans le réseau élargi. Il s'agit de piézomètres se situant dans les communes de Yamba (Gourma), Déou (Oudalan), Diapaga (Tapoa) et Dori (Seno). Ils ne se trouvent pas dans le RPN et les fichiers sources ne fournissent pas d'indication à leur niveau (pas d'identifiant, de coordonnées ou de nom de village).

- **Nettoyage et structuration du RNQES**

Les stations du RNSQES étaient identifiés de manière unique par une séquence alphanumérique composé i)

du code administratif du village et ii) du numéro de marque de l'ouvrage (qui peut être optionnel). La structure de cet identifiant est illustrée à la Figure 55 : Système de codification des ouvrages du RNSQES

L'identifiant est difficile à maintenir par le gestionnaire étant donné qu'il repose sur des concepts thématiques peu évidents (code du village et « marque de l'ouvrage ») et que le numéro de la marque est optionnel. En outre, l'identifiant n'est pas présent pour tous les ouvrages du RNSQES.

Dès lors, le Groupement a créé les identifiants manquants en déterminant ou en réexploitant les acronymes pour les provinces et les communes puis en complétant la séquence de chiffres par « 99-98 » ou « 99-99 ». De cette manière, chaque station est identifiée de manière unique et les règles de gestion de la DEIE en matière d'identifiant sont respectées.

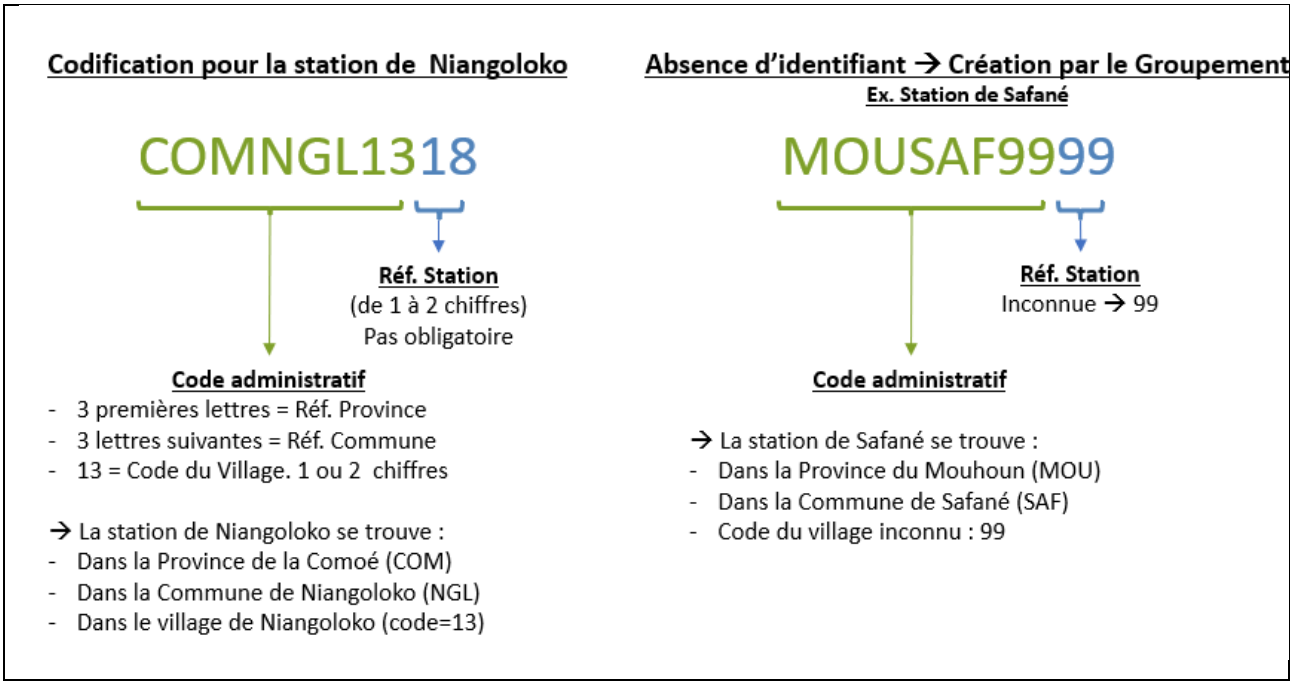
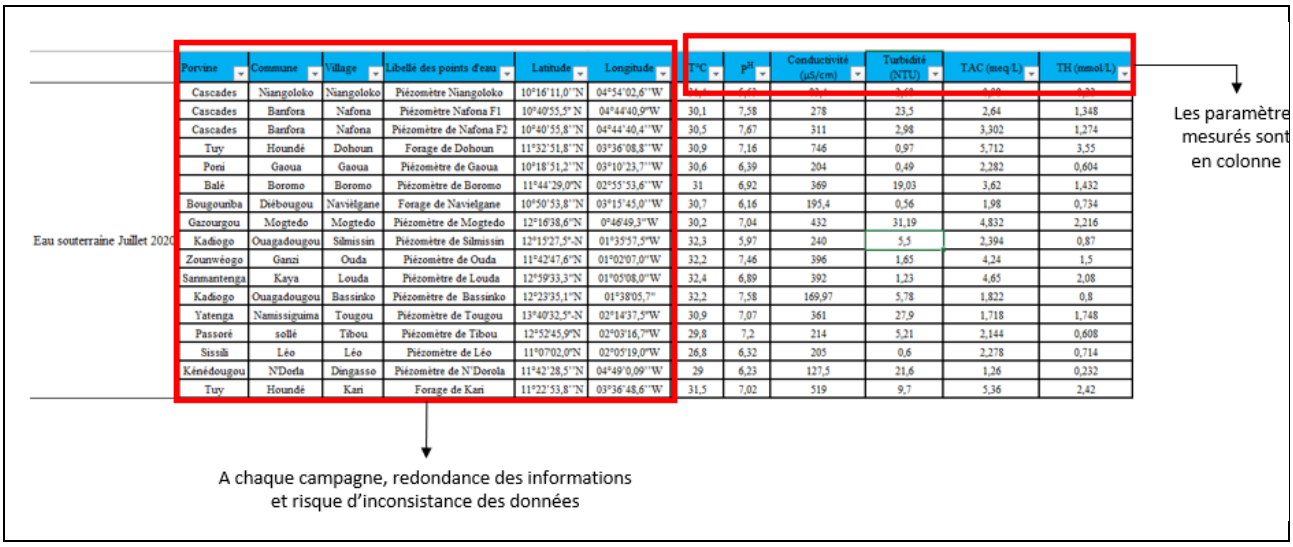


Figure 55 : Système de codification des ouvrages du RNSQES

Les chroniques du RNSQES ont été normalisées. En effet, le jeu de données brutes des chroniques reprenait, pour chaque campagne, les paramètres physico-chimiques mesurés en colonne et les points de mesure en ligne. Cette structure est peu efficace car les paramètres suivis peuvent différer d'une campagne à l'autre, rendant difficile l'interprétation des séries temporelles. De plus, il est compliqué de savoir avec précision combien de colonnes il faudra créer lors de la constitution d'une base de données. Enfin, le suivi ne s'arrête pas à la dernière année disponible et rien ne dit que des paramètres supplémentaires seront intégrés dans le futur.

La structure des données brutes entraine également un problème de redondance et de consistance des informations. Les coordonnées sont répétées, de même que le nom de la province, de la commune et du village. Au sein des chroniques, il n'y avait pas d'identifiant unique, ce qui entraine que l'identification du point de mesure se réalisait sur sa désignation textuelle, qui peut varier d'une campagne à l'autre.



	Porvine	Commune	Village	Libellé des points d'eau	Latitude	Longitude	T°C	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)	TAC (meq/L)	TH (mmol/L)
	Cascades	Niangoloko	Niangoloko	Piézomètre Niangoloko	10°16'11,0"N	04°54'02,6"W						
	Cascades	Banfora	Nafona	Piézomètre Nafona F1	10°40'55,5"N	04°44'40,9"W	30,1	7,58	278	23,5	2,64	1,348
	Cascades	Banfora	Nafona	Piézomètre de Nafona F2	10°40'55,8"N	04°44'40,4"W	30,5	7,67	311	2,98	3,302	1,274
	Tuy	Houndé	Dohoun	Forage de Dohoun	11°32'51,8"N	03°36'08,8"W	30,9	7,16	746	0,97	5,712	3,55
	Poni	Gaoua	Gaoua	Piézomètre de Gaoua	10°18'51,2"N	03°10'23,7"W	30,6	6,39	204	0,49	2,282	0,604
	Balé	Boromo	Boromo	Piézomètre de Boromo	11°44'29,0"N	02°55'53,6"W	31	6,92	369	19,03	3,62	1,432
	Bougouriba	Diébougou	Navielgane	Forage de Navielgane	10°50'53,8"N	03°15'45,0"W	30,7	6,16	195,4	0,56	1,98	0,734
	Gazourgou	Mogtedo	Mogtedo	Piézomètre de Mogtedo	12°16'38,6"N	0°46'49,3"W	30,2	7,04	432	31,19	4,832	2,216
Eau souterraine Juillet 2020	Kadiogo	Ouagadougou	Silmissin	Piézomètre de Silmissin	12°15'27,5"-N	01°35'57,5"W	32,3	5,97	240	5,5	2,394	0,87
	Zounwéogo	Ganzi	Ouda	Piézomètre de Ouda	11°42'47,6"N	01°02'07,0"W	32,2	7,46	396	1,65	4,24	1,5
	Sanmantenga	Kaya	Louda	Piézomètre de Louda	12°59'33,3"N	01°05'08,0"W	32,4	6,89	392	1,23	4,65	2,08
	Kadiogo	Ouagadougou	Bassinko	Piézomètre de Bassinko	12°23'35,1"N	01°38'05,7"	32,2	7,58	169,97	5,78	1,822	0,8
	Yatenga	Namissiguima	Tougou	Piézomètre de Tougou	13°40'32,5"-N	02°14'37,5"W	30,9	7,07	361	27,9	1,718	1,748
	Passoré	sollé	Tibou	Piézomètre de Tibou	12°52'45,9"N	02°03'16,7"W	29,8	7,2	214	5,21	2,144	0,608
	Sissili	Léo	Léo	Piézomètre de Léo	11°07'02,0"N	02°05'19,0"W	26,8	6,32	205	0,6	2,278	0,714
	Kénédougou	N'Dorla	Dingasso	Piézomètre de N'Dorola	11°42'28,5"'N	04°49'0,09"'W	29	6,23	127,5	21,6	1,26	0,232
	Tuy	Houndé	Kari	Forage de Kari	11°22'53,8"'N	03°36'48,6"'W	31,5	7,02	519	9,7	5,36	2,42

Figure 56 : Structure non normalisée du fichier de suivi RNSQES

La normalisation consiste en une transformation de la structure du fichier et à l'emploi de relations. Dans le cas du RNSQES, les adaptations suivantes ont été réalisées dans la base de données de travail.

- Les points de mesure sont listés dans une table spatiale [point_mesure], avec leurs caractéristiques en attribut : appartenance administrative, village, désignation, type d'ouvrage, etc. L'identifiant unique mis en place par la DEIE et consolidé par le Groupement est utilisé pour individualiser chaque enregistrement.
- Les paramètres physico-chimiques pouvant être mesurés sont stockés dans une table-dictionnaire [parametre]. La liste peut être étendue autant que nécessaire, sans affecter d'autres tables. Les attributs seront i) un identifiant incrémental, ii) le nom du paramètre, iii) son unité. On peut également y associer les seuils de tolérance [min-max].
- Une table de relation [point_mesure_parametre] fait le lien entre les deux tables principales afin de renseigner les mesures effectuées lors de chaque campagne. Cette table reprend les identifiants des deux tables liées (id_point_mesure et id_parametre), la date de prise de la mesure et la mesure effectuée.

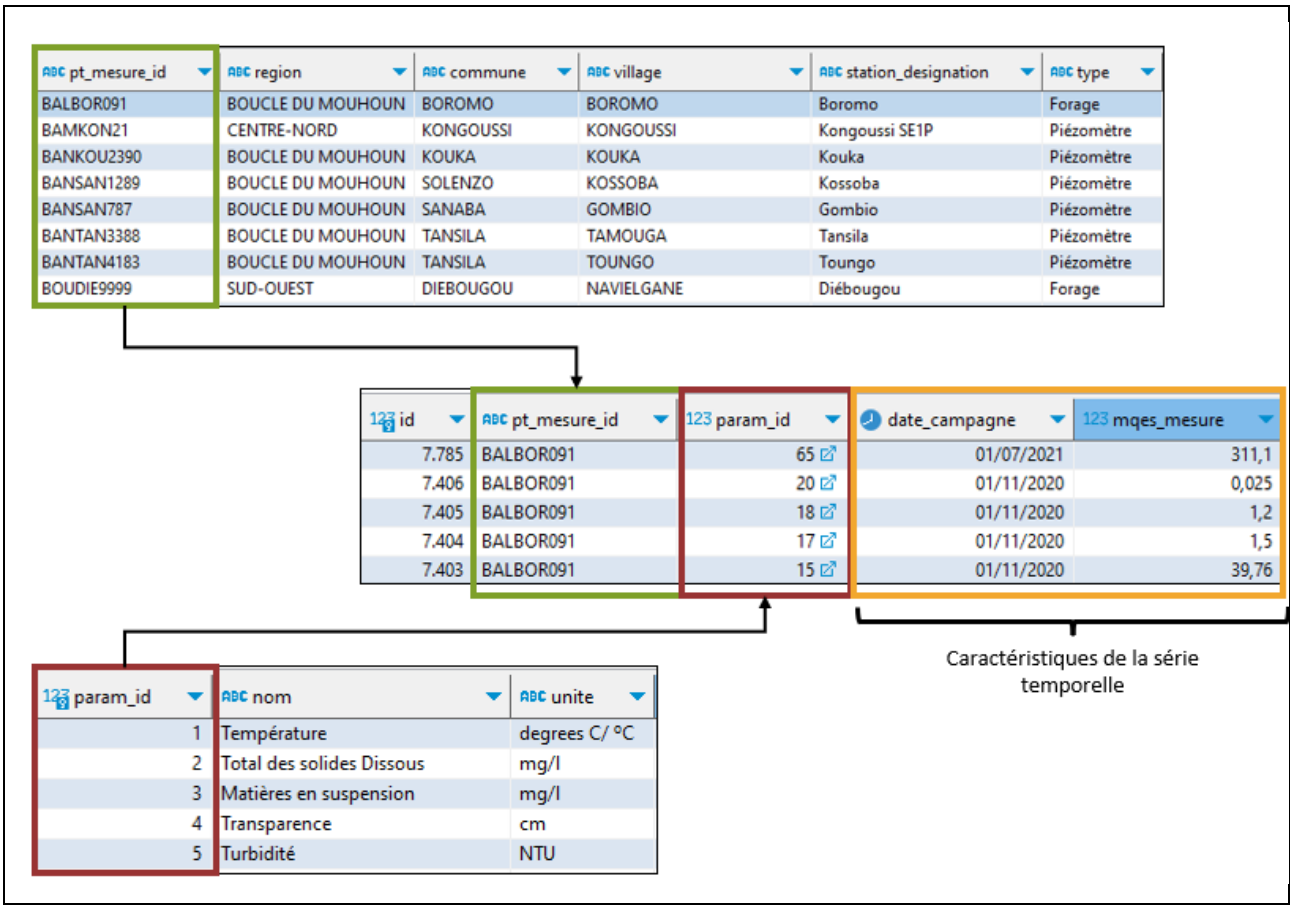


Figure 57 : Normalisation des chroniques de mesure

Suite à la normalisation, le Groupement a procédé à un nettoyage de premier niveau de la chromique. Dans le cadre de la BD-OMES, la DEIE avait fixé des valeurs seuils [min—max] pour chaque paramètre physico-chimique, tout en restant souple par rapport aux limites fixées (02/2022). Lors de la capitalisation des chroniques du RNSQES, les mesures hors tolérance n'ont pas été retenues dans la base de données de travail. Toutefois, en raison de la souplesse des limites, des mesures douteuses peuvent subsister.

En effet, l'exploitation des chroniques a montré que certains paramètres présentaient des valeurs extrêmes (soit trop élevées, soit trop faibles), tout en restant dans l'intervalle de tolérance fixé par la DEIE. Par exemple, l'évolution du Sodium pour la station de Basseko F2 montre une mesure de 0,94 mg/l en 2012 et de 67,8 mg/l en novembre 2021, ce qui dénote du reste de la série temporelle (cf. Tableau 72**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cependant, l'intervalle de tolérance fixé pour le Sodium est compris en 0 et 1.000 mg/l.

Tableau 72 : Valeurs extrêmes dans les chroniques SQES (ex. Basseko F2 – Sodium)

Campagne	Teneur en Sodium (mg/l)
2012	0,94
2016	9,867
2017	172
2020-1	9,07
2020-2	9,431

Campagne	Teneur en Sodium (mg/l)
2021-1	3,7
2021-2	67,8
2022-1	5,2
2022-2	4,9

K.2.4. Interopérabilités des réseaux de suivi

En termes d'interopérabilité des réseaux de suivi, le RNSQES élargi a été comparé au RPN, ce qui a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- Selon le SQE de la DEIE, « *toutes les stations du RNSQES de type « piézomètre » correspondent à un piézomètre intégré au RPN* ». Cela se vérifie, hormis pour 3 piézomètres qui font partie de la proposition de renforcement de 2018 : Banakélédaga (ou Bobo-P14), Doubaré F3 et Safané. Ces deux derniers n'ont jamais fait l'objet d'un suivi de la part de la DEIE. A noter également que le forage de GAOUA-F8 (au Sud-Ouest) coïncide avec un piézomètre de l'ONEA. La DEIE a été informé par le Groupement de ces divergences, sans apporter de commentaires (07/08/2023).

Tableau 73 : Piézomètres du RNSQES isolés du RPN

Région	Commune	Désignation de l'ouvrage	Type d'ouvrage	Fonctionnel	Date de la dernière campagne
NORD	KAIN	Doubaré F3	Piézomètre	?	Pas de suivi
BOUCLE DU MOUHOUN	SAFANE	Safané	Piézomètre	?	Pas de suivi
HAUTS-BASSINS	BAMA	Banakélédaga (Bobo-P14)	Piézomètre	Oui	01/11/2022

- Pour les piézomètres coïncidant dans les deux réseaux, la désignation des ouvrages du RNSQES a été mise en conformité avec celle utilisée dans le RPN. Par exemple, la station « Tin-Akoff SE4 » prévue dans la proposition de renforcement tombe exactement au même endroit que le piézomètre « Tin-Arkachen SE4 » et adopte donc sa désignation.
- Le lien RNSQES Vs RPN a permis de déterminer le degré fonctionnel des stations du RNSQES correspondante. D'autre part, les ouvrages suivis en 2022 ont tous été déclarés fonctionnels.

K.2.5. Valorisation des jeux de données d'origine

A ce stade, les jeux de données sont nettoyés, structurés et liés entre eux au moyen d'identifiants uniques. Ils peuvent donc être exploitée avec un taux de confiance accru. La structure des fichiers va servir de base à la modélisation d'une base de données de travail « BD-Réseaux » (phase 2 de la méthodologie).

D'autre part, chaque jeu de données a été importé dans une base de données de travail propre au RT.2.1. Celle-ci a permis :

- De mener des contrôles plus approfondis, notamment la prise en compte automatique de seuils de tolérance.
- De réaliser la transformation des coordonnées (DMS → DD → UTM-30N) et la spatialisation des différents réseaux. Ce processus s'est voulu itératif jusqu'à localiser autant que possible chaque ouvrage au sein du territoire national.
- De réaliser des statistiques et des produits dérivés. Les cartographies et graphiques illustrant le présent rapport sont issus de cette base de données de travail. Ces jeux de données sont venus enrichir de petites bases de données individuelles de type « Geopackage », qui peuvent être utilisées en local et sont très portables.

K.2.6. Conclusion sur le traitement des données brutes

Durant la première phase méthodologique, le Groupement a procédé à une comparaison minutieuse des jeux de données collectés, de manière à identifier la version de référence. Les fichiers MS.Excel ont été restructurés et nettoyés. Ils ont ensuite été confrontés à la bibliographie et consolidés.

Au terme de cette étape, le Groupement dispose d'une version optimisée des jeux de données, à savoir :

- Les réseaux nationaux ont été validés par les gestionnaires.
- Les points d'échantillonnage et les chroniques de mesure ont été mis en cohérence (identifiant, dénomination, etc.).
- Les fichiers ont été nettoyés. Des erreurs de saisie ont été corrigées ou éliminées.
- Les fichiers ont été structurées en format « base de données » (« lignes/colonnes »).

L'ensemble des jeux de données ont été importés dans une base de données de travail PostgreSQL/PostGIS propre au Groupement. Cette base de données a permis la réalisation d'un contrôle de qualité de deuxième niveau, la spatialisation des réseaux en UTM-30N et la constitution de produits dérivés.

Par ailleurs, le Groupement dispose d'une vision élargie des différents réseaux de suivi tant en termes de données qu'au niveau des caractéristiques qui doivent être suivies. Il est donc à même de proposer un modèle de base de données consistant pour la gestion future des réseaux de suivi des eaux souterraines.

K.3. Création d'une base de données relationnelle « BD-Réseaux »

Ce chapitre compile l'ensemble des tâches réalisées pour que la DEIE puisse dispose d'une base de données thématique de gestion des réseaux de suivi des eaux souterraines. Le résultat attendu est un modèle de données pouvant être rapidement déployé dans un SGBD.

Le chapitre détaille les aspects suivants :

- Les données et documents sources ayant permis de construire le modèle de la base de données ;
- La manière de formaliser et d'interpréter le modèle de données ;
- Les différentes règles de gestion mises en œuvre dans le modèle.

K.3.1. Méthodologie de modélisation

Lors des rencontres avec le Groupement, la DEIE a manifesté à plusieurs reprises la nécessité de disposer d'une base de données performante et dédicacée au suivi des eaux souterraines. Les services impliqués sont désireux d'évoluer vers une solution leur permettant de renforcer leur connaissance des réseaux et sont limités par les solutions informatiques exploitées à l'heure actuelle. L'analyse diagnostic des réseaux piézométriques et de qualité est venu renforcer ce constat. Une optimisation doit donc être envisagée au niveau du stockage et surtout de la gestion des données techniques sur les réseaux de suivi des eaux souterraines (points et chroniques de mesure).

Dans le cadre des activités du RT.2.1, le Groupement a collecté l'ensemble des données disponibles sur les réseaux de suivi des eaux souterraines. Le travail autour de la structuration des fichiers sources ainsi que la compilation bibliographique a amené le Consultant à élaborer un modèle de base de données relationnel. A ce stade, ce modèle doit être vu comme un prototype avancé car il capitalise déjà les différentes caractéristiques se trouvant dans les fichiers MS.Excel utilisés par les gestionnaires de réseaux.

La base de données s'appelle la « Base de données des Réseaux de Suivi des Eaux Souterraines », en abrégé la « BD-Reseaux ». Cette dénomination est appelée à évoluer, sauf si la DEIE considère judicieux d'y intégrer

les réseaux de suivi des eaux de surface.

La BD-Réseaux est organisée selon différents schémas. Le schéma doit être vu comme une sorte de répertoire qui contient toutes les tables traitant de la même thématique. Les schémas ne s'imbriquent pas mais peuvent être liés entre eux par l'intermédiaire des tables qui y sont contenues. La manière dont sont organisés les schémas permet d'améliorer la consistance thématique à la base de données.

La « BD-Réseaux » repose sur les schémas suivants :

- **Ancillaire** (*eso_ancillaire*) : Schéma de stockage des données géographiques de base : limites administratives et localités principales (BNDT), bassins et sous-bassins versants hydrographiques, espaces de compétence (Agences de l'eau, ONEA, UCIDEau), données de référence hydrogéologiques, etc.
- **Points de mesure** *(eso_point_mesure*) : Schéma contenant la table des points de mesure [d_point_mesure]. Les attributs envisagés permettent de décrire chaque station d'échantillonnage de façon complète au travers des composantes administratives, spatiales, techniques et usuelles. Toutefois, cette table ne présente pas l'ensemble des caractéristiques techniques qu'on retrouve par exemple dans la table des ouvrages de la BD-OMES. Les autres entités du modèle sont liées à la table des points de mesure par un jeu de relations. Ce schéma reprend également les tables des sources et les tables de dictionnaire.
- **Chroniques** (*eso_chronique*): Schéma reprenant toutes les chroniques de mesures, en fonction du type de réseau.
- **Temporaire** (*eso_temp*) : Ce schéma contient des tables temporaires résultant d'un traitement, d'une étape de pré-chargement de données en base ou de toutes autres opérations impliquant la création d'une table de manière temporaire.

K.3.2. Formalisme

Constituée à partir des données capitalisées par la DEIE et par les autres gestionnaires de réseau (ONEA, AEM via BD-PESO, BD-VREO, etc.), la « BD-Réseaux » est une base de données thématique focalisée sur les réseaux de suivi des eaux souterraines. Pour faciliter son exploitation, elle adopte un formalisme strict où chaque élément est documenté. En effet, une bonne compréhension de la structure permet d'interpréter correctement le Modèle Physique de Données (MPD) et d'utiliser les données de manière efficace et en connaissance de cause.

D'une manière générique, la « BD-Réseaux » exploite le formalisme et une partie de la structure de la BD-OMES. Les conventions générales suivantes sont appliquées pour le nommage des tables, des attributs et des contraintes :

- Il n'est fait usage que des 26 lettres de l'alphabet, des dix chiffres et du caractère « blanc-souligné » (underscore) ;
- L'espace ou de caractères spéciaux ne sont jamais utilisés. Le caractère « underscore » est utilisé comme espace ;
- Tous les noms sont en minuscule et au singulier.

Les tables et les attributs entrant en compte dans la définition des clés sont tous préfixés/suffixés, en utilisant les conventions suivantes.

Tableau 74 : Formalise de la BD-Réseaux

Préfixe	Exemple	Niveau	Explication
bd_	bd_eso	Base de données	Le nom de la base de données commence par "bd" pour "base de données"
d_	d_point_mesure	Table	Ce préfixe est utilisé pour désigner une table (entité) de données. Ces tables contiennent les données brutes et sont appelés à évoluer (surtout à croître) souvent
t_	t_usage	Table	Ce préfixe est utilisé pour désigner une liste de code ou une table dictionnaire. Ce sont des tables dont le contenue évolue peu et qui interviennent dans des relations de clés étrangères
r_	r_reseau_ouvrage	Table	Ce préfixe est utilisé pour désigner une table de relation entre plusieurs tables du modèle. Elles matérialisent les relations « plusieurs – à – plusieurs » du modèle
v_	v_rpn_ouvrage	Table	Ce préfixe est utilisé pour désigner une vue de tables
vm_	vm_admin	Table	Ce préfixe est utilisé pour désigner une vue matérialisée de tables
_id	eso_id	Attribut	Ce suffixe est utilisé pour désigner un identifiant, soit une clé primaire, soit un attribut qui intervient dans une relation de clés étrangères
_pk	eso_pk	Attribut	Ce suffixe est utilisé pour désigner une contrainte de clé primaire (*Primary Key*)
_fk	eso_etat_fk	Attribut	Ce suffixe est utilisé pour désigner une contrainte de clés étrangères (*Foreign Key*)
geom	geom	Attribut	Pour toutes les tables spatiales de la BD-Réseaux, l'attribut contenant la géométrie est toujours l'attribut "***geom***"

Chaque attribut thématique est préfixé par l'acronyme de la table auquel il se réfère. Dans la majorité des cas, l'acronyme est un trigramme. Toutefois ce n'est pas une règle stricte car l'essentiel est que le nom de l'attribut reste parlant.

Lorsqu'un attribut intervient dans une clé étrangère, son nom est composé de l'acronyme de la table à laquelle il appartient, de l'acronyme de la table référencée et du suffixe ***_id***.

Exemple :

Les attributs de la table « *d_point_mesure* » commencent par l'abréviation « ***eso »***

Tableau 75 : Exemple de formalise de la BD-Réseaux

eso_id	Identifiant et clé primaire de la table des points de mesure
eso_etat_id	Clé étrangère liant la table de ouvrages à la table de l'état des ouvrages (les valeurs de eso_etat_id sont référencées dans l'attribut etat_id de la table t_etat
eso_prof_tot	Profondeur totale forée

L'utilisation de ces règles permet de s'assurer que les noms de table, d'attributs et de contraintes sont uniques dans la base. Cela facilite les recherches et l'écriture de requêtes SQL. Les acronymes des tables pourront être utilisés comme abréviation dans les requêtes SQL.

K.3.3. Modèle de données (prototype)

Le modèle de la BD-Réseaux a été réalisé en tenant compte des caractéristiques reprises dans les jeux de données sources et les documents suivants :

Tableau 76 : Jeux de données de référence pour le modèle de la BD-Réseaux

Réseau	Type de données	Nom du fichier
RPN	Caractéristique techniques et équipement des piézomètres du RPN + prise en compte de la notion de site piézométrique (village de référence	reseau_piezo_deie.xlsx BD-PIEZO_15fev13.mdb
	Chroniques piézométriques consolidées	chronique_piezo_ns_1978_2023.xlsx
RPS-ONEA	Liste nettoyée des piézomètres ONEA	onea_reseau_piezo.xlsx
RPS-AEM	Liste des piézomètres issus de la BD-PESO et des documents-sources (ERES)	ESO_Bobo_20101001.mdb ERES_RapportFinal.pdf AEM_MOUHOUN_fiche de suivi_piezo.xlsx
	Chroniques piézométriques consolidées	Chroniques_piezo_aem.xlsx
RPS-VREO	Liste des piézomètres issus de la BD-VREO	BASE_VREO.accdb
RNSQES	Caractéristique techniques des points de mesure du RNSQES (réseau initial + renforcé)	reseau_sqe_deie.xlsx
	Chroniques physico-chimiques consolidées	deie_donnees_physicochimies_rsqes

Comme indiqué dans le Tableau 76, le Consultant a pris en compte la structure des bases de données existantes en matière de piézomètres (BD-Piezo, BD-PESO, BD-VREO, ONEA). De cette manière, il dispose d'une vision globale des caractéristiques recueillies par les gestionnaires de réseau ou les projets en la matière.

Un des objectifs de la modélisation est de construire une base de données relationnelle (donc contrainte) relativement directe et facile à alimenter et à gérer. Dès lors, la table des points de mesure ne doit pas être surchargée d'attributs techniques qui, par ailleurs, sont repris dans la BD-OMES. Le modèle de données est donc allégé et se concentre sur l'essentiel, à savoir :

- Connaitre le réseau, son état et ses équipements. La connaissance passe notamment par la localisation précise de chaque point de mesure ;
- Renseigner et lier les chroniques de mesure aux points d'échantillonnage correspondants ;
- Disposer de statistiques, d'indicateurs de suivi et de jeux de données finaux capables de rentrer dans un processus d'interopérabilité, notamment avec le SNIEAU.

Il est fondamental que les données émanant des différents gestionnaires (DEIE, ONEA, AEM) soient reprises dans une **base de données globale**. De cette manière, chaque gestionnaire pourra enfin disposer d'une connaissance globale des réseaux de suivi des eaux souterraines au Burkina Faso, ce qui n'est pas le cas

actuellement. L'unification des données sources au sein d'un même modèle représente donc une optimisation très importante en termes de capitalisation et d'accès à l'information. Néanmoins, cela ne signifie pas que chaque gestionnaire pourra éditer l'ensemble des données. Un mécanisme de droit d'écriture sur les données devra être mis en place dans la base de données afin que chaque institution garde le contrôle sur ses données.

L'entité centrale du modèle est la table des points de mesure [**d_point_mesure**] qui localise chaque point de mesure et présente des caractéristiques génériques, en lien avec certains tables dictionnaires. La table des points de mesure ne présente pas d'attributs propres aux réseaux. Elle compilera donc tous les piézomètres et toutes les stations de suivi de la qualité des eaux souterraines connus à ce jour. Cela ne pose pas de problèmes étant donné qu'un piézomètre ne peut être géré par deux gestionnaires différents.

Le modèle de données proposé prend en compte un certain nombre de règles de gestion propres aux réseaux de suivi. Une des règles les plus fortes est certainement qu'un même ouvrage peut appartenir à des réseaux différents (ex. RPN Vs RNSQES) et qu'un réseau est composé de plusieurs points de mesure. Cela implique donc la présence d'une table de relations [Plusieurs-Plusieurs] faisant le lien entre la table des points de mesure et une autre listant les réseaux de référence. De plus, les points de mesure peuvent présenter des informations spécifiques en fonction du réseau. Par exemple, un point de mesure peut être équipé d'une sonde automatique pour le relevé piézométrique mais ne pas avoir d'équipement dédicacé pour le suivi de la qualité. Dans le modèle, ces règles de gestion sont implémentées au niveau d'une table de relation [**Point de mesure – Réseaux**]. Elle reprend des attributs spécifiques permettent de décrire le point de mesure dans chaque de ses réseaux. Les attributs modélises sont :

- Les identifiants et désignations des points de mesure dans leurs réseaux. En effet, les points de mesure peuvent être identifiés ou nommés de façon différente en fonction du réseau d'appartenance (ex. RPN Vs RNSQES) ;
- Le niveau fonctionnel du point de mesure. Un même point peut être fonctionnel dans un réseau et pas dans l'autre ;
- Les caractéristiques relatives à la présence de sondes automatiques et à la télétransmission des informations ;
- Les liens par rapport aux niveaux hiérarchiques supérieurs par rapport au point de mesure, à savoir les ouvrages (dans le cas des piézomètres du RPN) et les sites (RPN et RNSQES).

Chaque point de mesure peut être lié à des chroniques de mesure mais pas obligatoirement. A ce niveau, le modèle comporte 2 tables de chronique :

- La table des chroniques piézométriques [**d_chronique_piezometrie**].
- La table des chroniques de la qualité des eaux souterraines [**d_chronique_qualite_eau_sout**]. Cette dernière est liée à une table-dictionnaire [**t_parametre**] reprenant une liste étendue des paramètres physico-chimiques.

On s'aperçoit donc que les chroniques de mesures piézométriques sont intégrées au sein d'une même table. Pourtant, elles peuvent provenir de différents réseaux (DEIE, ONEA, AEM). Cela implique qu'il faut prendre en compte la provenance de l'information. À tout moment, la base de données doit pouvoir dire qu'une mesure a été effectuée par tel gestionnaire ou est issue de tel fichier source, ou de tel projet s'il est question de la gestion de l'historique. Dans le modèle proposé, la provenance des données est gérée de deux manières :

- Par l'ajout d'un attribut [**provenance**] dans la table des chroniques piézométriques

[**d_chronique_piezometrie**] afin d'indiquer la source de données de la chronique (DEIE, DREA des Hauts-Bassins, BD-PESO, AEM, ONEA). Cet attribut sera également mis en place dans la table des chroniques de SQES si l'ONEA met à disposition sa base de données de suivi ;

- Par l'intégration d'une table reprenant **la liste des projets** qui ont permis la création ou le renforcement des réseaux. Il peut s'agir autant du projet de réalisation de l'ouvrage (ex. ERES, BOAD, VREO) ou de la base de données dans laquelle est référencé le point de mesure (ex. BD-PESO). Chaque point de mesure est lié à un ou plusieurs projets par l'intermédiaire d'une table de relations « **Point de mesure – Projets »** [**r_projet_pt_mesure**].

Les centres opérationnels de l'ONEA sont inclus dans le modèle via la table [**d_centre_onea**] et sont liés à une table de chronique reprenant les volumes prélevés par centre.

Les sources sont également présentes dans le modèle via la table [**d_source**]. Cette dernière est liée à une table des chroniques des débits de source.

Enfin, les autres tables représentent le contexte administratif, hydrologique ou hydrogéologique.

L'ensemble des tables et des interactions physiques sont reprises dans le modèle physique de données présenté à la Figure 58. Ce modèle fournit à l'administrateur de base de données une vue globale des entités composant la base.

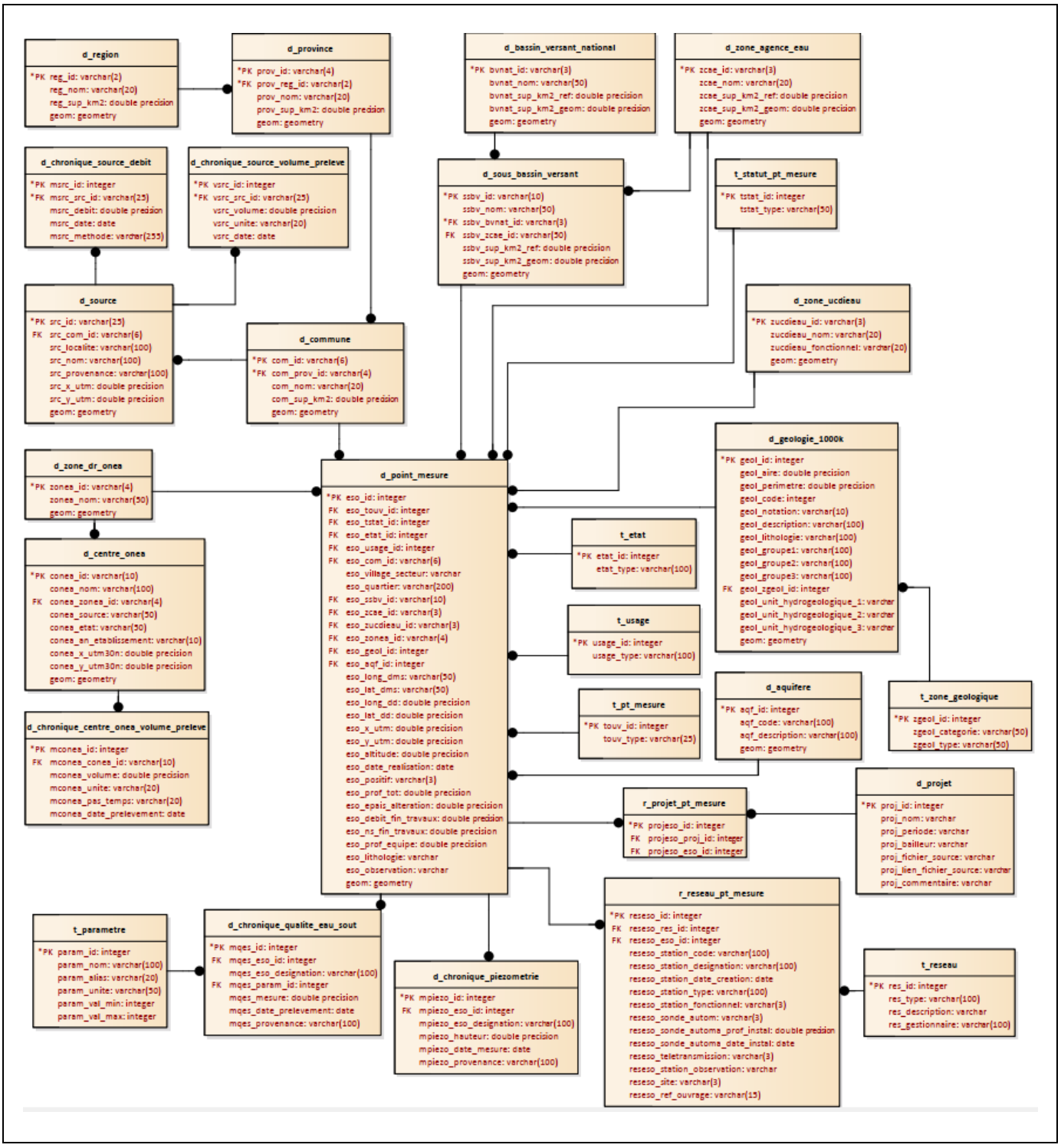


Figure 58 : Modèle de données de la BD-Réseaux

K.3.4. Conclusion sur la création de la BD-Réseaux

Un prototype de base de données relationnelle a été réalisé. Il permet de gérer les différents réseaux, qu'ils soient principaux ou secondaires, au sein d'un même référentiel thématique. Il reprend les caractéristiques essentielles souhaitées par les gestionnaires mais va plus loin en implémentant la relation inter-réseaux et inter-projets, chose qui n'a jamais été faite dans aucune base de données thématique en lien avec les ressources en eau au Burkina Faso.

En soi, le modèle représente l'optimisation des réseaux de suivi en termes de stockage et d'administration de l'information. Il représente une réponse à plusieurs problématiques identifiés dans les flux de données actuels, à savoir :

- L'établissement d'un référentiel centralisé sur les réseaux de suivi des eaux souterraines, ce qui induit de facto l'abandon de fichiers locaux et la réduction de versions concurrentes. Le gestionnaire saura garantir la provenance de l'information à tout moment, ce qui engendrera une confiance accrue dans son utilisation. La structure des fichiers en sortie sera systématiquement la même et respectera des standards, ce qui permettra une meilleure exploitation des jeux de données pour la production de produits finaux, de graphiques ou pour la réalisation d'analyses croisées.
- Outre les règles de gestion déjà implémentées par la propre modélisation, la base de données sera enrichie de contraintes thématiques et d'un mécanisme de contrôle qualité. Dès lors, les problématiques soulevées par la DEIE (existence de doublons) ou constatées lors de la reprise (coordonnées erronées, erreurs de saisie, valeurs en dehors de seuils de tolérance, etc.) seront prises en charge de manière automatique.

K.4. Optimisation des produits dérivés

Le modèle de la « BD-Réseaux » est prototypé pour générer des couches cartographiques et des statistiques agrégées ou détaillées. Ces produits constituent une plus-value importante, à tout niveau : ils peuvent étayer des rapports annuels élaborés par les gestionnaires, peuvent intervenir comme données sources dans des référentiels hydrogéologiques (ex. les cartes et notices hydrogéologiques produites dans le cadre du R.T.3.3) et permettre aux institutions de contribuer activement aux référentiels globaux, particulièrement le SNIEAU. Dès lors, c'est toute la chaine de connaissance des ressources en eaux souterraines qui se trouve valorisée.

Les produits suivants sont générés sous forme de vue dynamique dans la BD-Réseaux :

- **Tubages du RPN** : jeu de données spatial reprenant l'ensemble des tubes du RPN, avec, pour chaque enregistrement, l'état, la référence aux niveaux hiérarchiques supérieurs (site et ouvrage), les caractéristiques techniques et des statistiques agrégées liées à la chronique de mesure (date de première mesure, date de dernière mesure, nombre de mesure, premier niveau statique, dernier niveau statique, niveau statique moyen, etc.).
- **Ouvrages du RPN** : jeu de données spatial reprenant les différents ouvrages (piézomètres) du RPN, avec, pour chaque ouvrage, la référence du site piézométrique, l'état, le nombre total de tubes, le nombre de tubes fonctionnels, etc.
- **Sites du RPN** : jeu de données spatial reprenant les différents sites (ensemble de piézomètres) du RPN, avec, pour chaque site, le nombre total d'ouvrages, le nombre d'ouvrages fonctionnels, le nombre total de tubes, le nombre de tubes fonctionnels, le nombre total de mesures, etc.
- **Chronique/tubes du RPN** : jeu de données spatial reprenant les différents tubages avec, pour chacun, une représentation **annuelle** des mesures de niveau statique au travers i) du nombre de mesures, ii) du

NS min, iii) du NS max et iv) du NS moyen, soit 4 attributs par année. La série s'étendant de 1978 à 2022, la table finale est constituée d'un grand nombre de colonnes.

- **Piézomètres de l'ONEA** : jeu de données spatial reprenant les différents piézomètres suivis par l'ONEA au sein du RPS. Les ouvrages ne sont plus suivis par l'ONEA. Néanmoins, la base de données est prête à être alimentée si une reprise des activités est constatée.
- **Piézomètres de l'AEM** : jeu de données spatial reprenant les différents piézomètres sous la compétence de l'AEM. Chaque ouvrage est caractérisé par son état, sa provenance et des statistiques agrégées en lien avec la chronique.
- **Stations du RNSQES** : jeu de données spatial reprenant les points de mesure du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines élargi. Un attribut permet de déterminer si la station fait partie du réseau officiellement suivi par la DEIE (44 stations) ainsi que les stations qui faisaient partie de la proposition de renforcement de 2018. Enfin, des statistiques agrégées liées à la chronique de mesure sont disponibles (date de première campagne, date de dernière campagne, nombre de campagnes entre 2012 et 2022 et entre 2020 et 2022, etc.).
- **Chronique du RNSQES** : jeu de données alphanumérique où chaque enregistrement représente une station et une campagne de suivi (ex. Arbinda – Campagne 2012). Tous les paramètres physico-chimiques suivis par le SQE sont présents en attribut (35 paramètres = 35 colonnes). Il existe une possibilité de faire évoluer cette table vers une couche spatiale.

D'autres jeux de données agrégés peuvent être générés. Il s'agit de statistiques liés aux différents zonages : administratif, hydrographique, espaces de compétence (AE, UCDIEAU), hydrogéologique, etc.

K.5. Optimisation des flux et des échanges de données

Telle que modélisée, la BD-Réseaux induit une modification très importante en termes de gestion de l'information, à savoir l'unification de tous les gestionnaires centraux au sein d'un même système centralisé. Concrètement, cela signifie que la DEIE, l'ONEA et l'AEM, voire d'autres acteurs, alimenteraient une base de données commune.

Cette option est privilégiée au regard des données gérées par les différents gestionnaires du réseau. En effet, elles sont similaires autant d'un point de vue de la structure que de contenu. Les attentes des gestionnaires et de leur partenaire sont globalement similaires, à savoir disposer d'un système permettant une connaissance du réseau, actualiser les informations du réseau sur base des visites d'inspection et consigner les mesures de suivi pour établir des séries temporelles valides. D'un point de vue technique, la base de données pourrait donc parfaitement être déployée sur un serveur partagé et accessible à distance par les différents gestionnaires. L'accès aux données seraient quant à lui restreint sur base d'une règle de gestion afin que les administrateurs de chaque organisation n'aient accès qu'au contenu correspondant à leur réseau.

En outre, cette solution permet une optimisation des ressources et des coûts. Des formations communes pourraient être dispensées et chaque acteur disposerait du même niveau de connaissance. Par conséquent, l'interopérabilité des jeux de données serait garantie et les interactions techniques se verraient renforcées.

La Figure 59 illustre les acteurs qui interagiraient avec la BD-Réseaux. L'AEM pourrait choisir de déléguer la gestion du contenu du RPS-AEM à la DEIE. Enfin, une structure interministérielle, ou à défaut la DSI du MEEA, prendrait en charge l'administration du système.

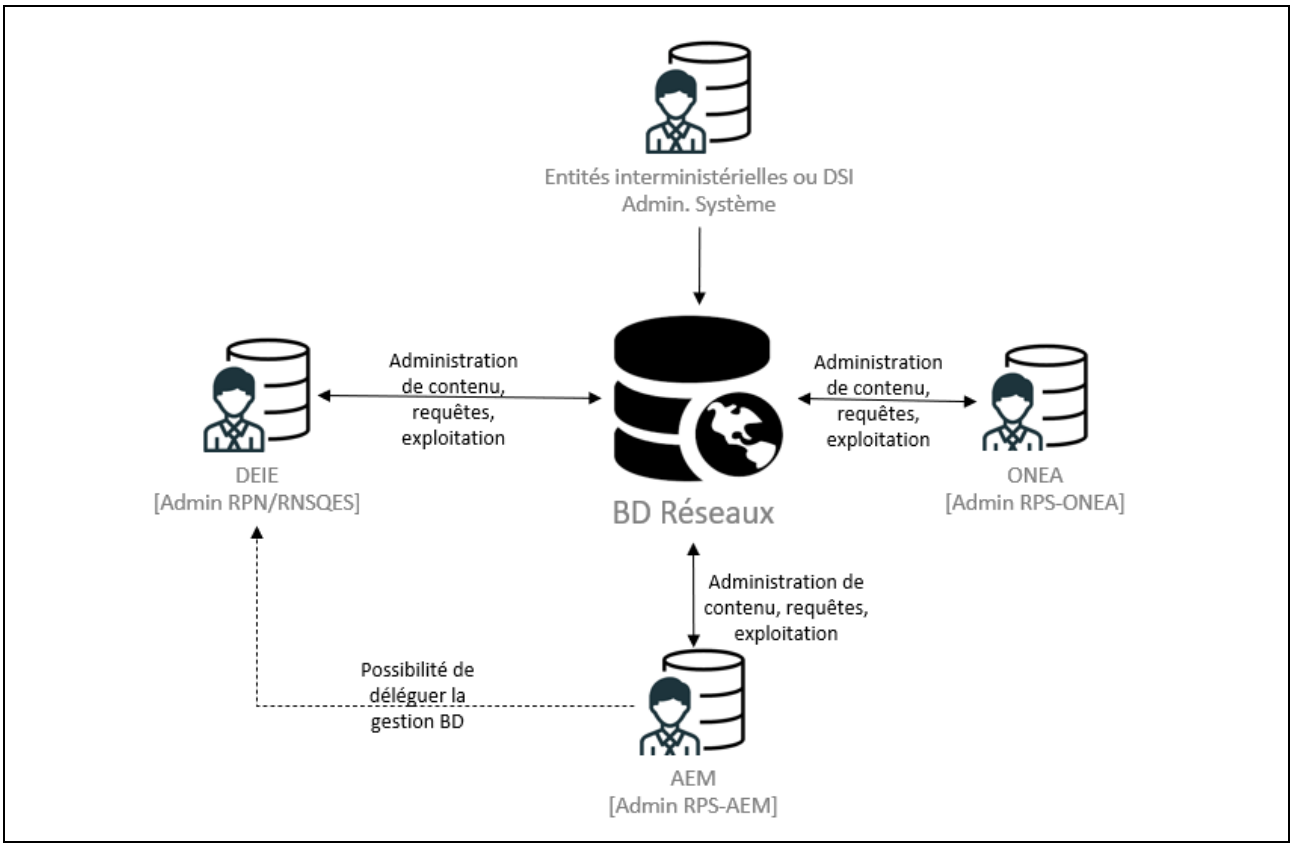


Figure 59 : Interactions autour de la BD Réseaux

La proposition d'optimisation de gestion de l'information au travers d'une BD commune parait fondamentale. Toutefois, les gestionnaires pourraient choisir l'alternative qui consisterait à gérer leur contenu propre dans des bases de données séparées. Dans ce cas, l'infrastructure technique et la base de données seraient répliquées en trois versions : i) une base de données au niveau de la DEIE pour la gestion des réseaux nationaux et ii) 2 versions respectivement pour l'ONEA et l'AEM pour la gestion des réseaux secondaires. Une structure informatique (ex. DSI) devrait chapeauter le tout

Dans le cas d'une gestion séparée, des échanges de données seront nécessairement à prévoir entre les gestionnaires, ce qui n'est pas le cas dans le cas d'une base de données commune. En effet, chaque gestionnaire doit pouvoir bénéficier d'une vue globale des réseaux et pas seulement du sien. Dans ce contexte, les flux devraient être les plus automatisés possibles, ce qui sera facilité par le fait que la structure de la base de données resterait commune même en cas de réplication du système. De ce fait, les données garderaient un degré d'interopérabilité élevé. Les transferts de données d'un écosystème à l'autre se réaliserait via une plateforme ETL. Ce flux resterait immédiat et permettrait de capter l'information dans une base de données source et la transférer à la base de données destination, tout en prenant en compte la détection de changement.

La Figure 60 illustre le mécanisme de synchronisation automatique des bases de données dans le cas de création d'écosystèmes différents selon les gestionnaires.

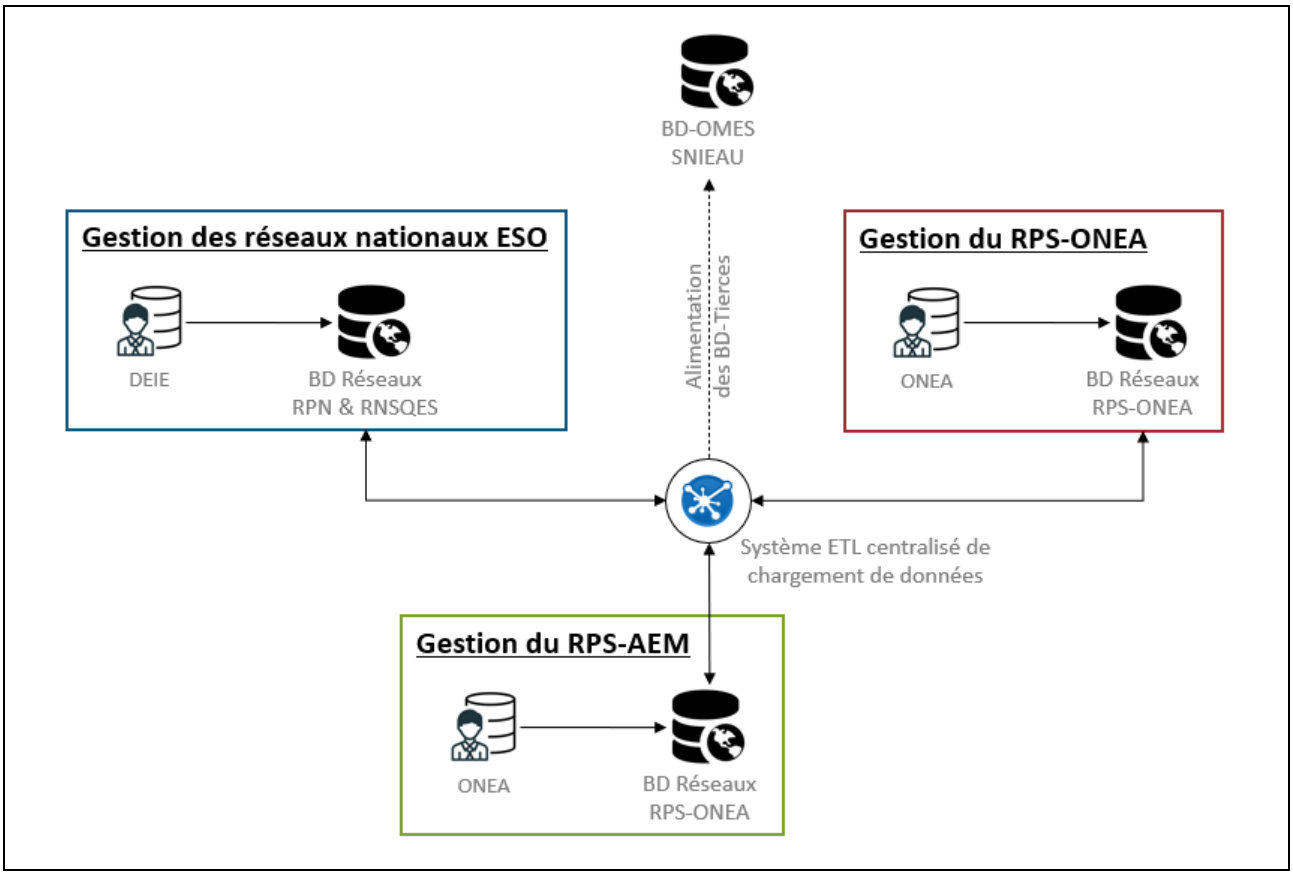


Figure 60 : Gestion décentralisée et synchronisation des réseaux de suivi

Concernant les mesures sur le terrain, l'usage de sondes automatiques incluant la télétransmission constituerait une optimisation indéniable dans le processus de collecte des données piézométriques. Cela permettra de rationaliser les visites sur le terrain et de bénéficier d'informations à jour. Le prototype de base de données prévoit l'absorption des mesures automatiques et, dans tous les cas, sera ajusté au modèle si des spécifications techniques n'ont pas été prises en compte.

L'usage de sondes télétransmettrices modifie surtout le flux de travail entre le terrain et le niveau central ainsi que les missions qui incombent aux différents acteurs. Du point de vue de la transmission, la plupart des sondes délivrent les données en format *.CSV et permettent de configurer les attributs qui seront exportés ainsi que des options de codification. Le téléchargement des données mesurées par la sonde se fait généralement via un logiciel de gestion propriétaire (ex. application mobile et bureautique LinkComm dans le cas des sondes OTT EcoLog 1000). A priori, le gestionnaire thématique, qui peut être un agent de la DEIE ou des UCDIEau, aura accès au tableau du bord des sondes et pourra donc télécharger les fichiers de mesure dans un répertoire accessible par un ETL. Il s'agira donc d'un répertoire partagé ou d'un espace serveur (cloud ou serveur physique). Une fois enregistrés, les fichiers seront lus automatiquement par l'ETL, qui réalisera les actions suivantes :

- Détection des nouveaux fichiers dans le répertoire partagé. Seules les nouvelles données seront lues par le processus de travail ;
- Structuration du fichier source au besoin, afin de le rendre conforme à la structure de la BD-Réseaux
- Réalisation d'un contrôle qualité premier niveau. Détection et individualisation de valeurs extrêmes ou nulles.

- Chargement des données dans la BD-Réseaux, au niveau de la table des chroniques correspondante.

La Figure 61 illustre le flux de données engendré par l'installation de sondes télétransmettrices sur le terrain et le lien vers la BD-Réseaux.

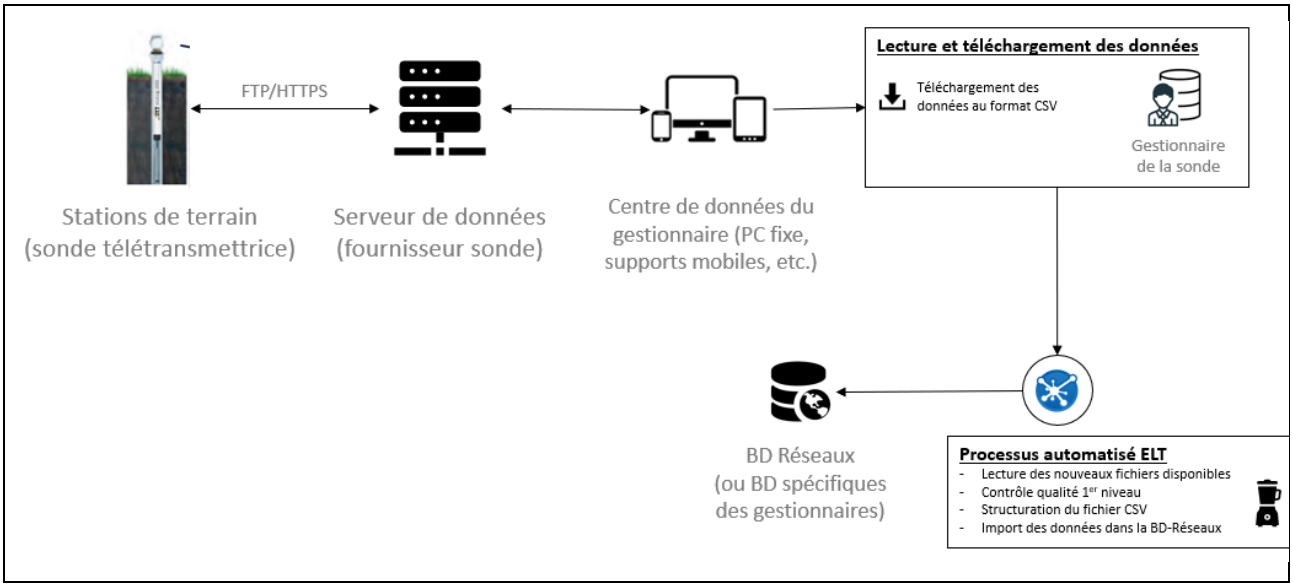


Figure 61 : Alimentation de la BD-Réseaux à partir de sondes télétransmettrices

Dans l'optique où tous les tubes piézométriques sont équipés de sondes télétransmettrices. les missions des acteurs doivent être revues. C'est particulièrement le cas des observateurs locaux car les mesures manuelles n'ont plus lieu d'être. Les agents locaux pourraient se voir confier des missions de supervision de l'équipement et interviendraient en cas de non-transmission des données. Les UCDIEau continueraient à assurer le suivi des ouvrages et bénéficieraient des mesures automatiques, de même que la DEIE, qui se verrait donc repositionner en amont de la chaîne, à l'inverse de la situation actuelle.

En l'absence de stations autotransmettrices, l'ensemble des acteurs restent impliqués avec les mêmes missions. Néanmoins, les équipements pour consigner les données doivent être modernisés. Les carnets de terrain électroniques seraient alors employés. Les données seraient consignées via une application mobile et transmises vers un serveur distant, accessible tant par les UCDIEau que par la DEIE. Les données seraient alors téléchargées en format *.CSV ou MS.Excel et transférées à la BD-Réseaux via un ETL ou un script SQL d'import.

Au niveau du RNSQES, le SQE de la DEIE prend en charge l'ensemble de la chaine de traitements. A ce niveau, les visites sur site doivent intégrer l'usage de carnets de terrain électroniques. Concernant les mesures en laboratoire, Une application web, directement connectée à la BD-Réseaux, pourrait permettre un encodage rapide et ergonomique.

K.6. Optimisation de l'infrastructure technique

L'environnement technique des gestionnaires de données doit évoluer. Le matériel actuel n'est pas en phase avec les données collectées et les systèmes employés sont peu robustes.

A l'instar de la BD-OMES et très probablement de la BD-SNIEAU, la BD Réseaux serait implémentée au sein du système de Gestion de Base de Données (SGBD) PostgreSQL, étendu par l'extension spatiale PostGIS. Il s'agit d'une solution open source, robuste, fiable et très puissante. Elle est capable de manipuler une très grande quantité de données même dans des situations difficiles.

La composante spatiale est gérée par PostGIS. Cette extension est très facile à déployer et permet de gérer tous les types de géométrie. Avec PostGIS, une base de données PostgreSQL bénéficie de fonctions spatiales étendues et est interopérable avec les SIG-logiciels, et particulièrement QGIS. PostgreSQL autorise l'import de fichiers de type « shapefile » ou de fichiers Excel sous format « .csv ».

Les versions suivantes peuvent être considérées :

- PostgreSQL : la version 12.4 ou suivant ;
- PostGIS : la version 2.5 ou suivant.

La BD-Réseaux constituera le socle d'une architecture système thématique « SI-Réseaux » plus globale. Pour que ce système fonctionne, la base de données à besoin d'être alimentée, gérée et mise à jour. Les gestionnaires de la BD-Réseaux sont des techniciens de la DEIE, de l'ONEA et de l'AEM.

Ils bénéficieront d'une série d'outils pour se connecter et administrer la base, à savoir :

- **PgAdmin 4 ou DBeaver** : il s'agit de plateformes d'administration et de développement de bases de données PostgreSQL. Il s'agit d'un client qui s'installe sur un poste fixe et qui se connecte aux bases de données locales ou distantes. Le scénario le plus probable est que la base de données soit distante. C'est même obligatoire en cas de collaboration multi-utilisateurs. En fonction des compétences présentes ou acquises, les gestionnaires de la BD-Réseaux utiliseront PgAdmin ou DBeaver pour réaliser tout type de requêtes sur les données. Il faut toutefois noter que ce type d'outils est peu convivial et requiert des compétences en gestion de base de données et en SQL.
- **Quantum GIS**[6] : il s'agit d'un logiciel SIG Open Source le plus complet sur le marché et qui s'interopérabilise très facilement avec les bases de données PostgreSQL/PostGIS. Ce logiciel sera principalement utilisé par les gestionnaires de la DEIE pour manipuler les données spatiales : actualiser de données existantes (limites administratives, bassins versants, etc.), ajouter/supprimer des points de mesure, réaliser des requêtes et des analyses spatiales, créer de produits cartographiques spécifiques, etc.

Néanmoins, une gestion optimale de la BD-Réseaux ne pourra se faire que par l'utilisation d'une **application web clé-en-main**. Ce type de solution doit permettre d'interfacer la base de données et la rendre accessible à des agents thématiques qui n'ont pas spécialement une maitrise de l'environnement informatique ni d'expérience en gestion de bases de données.

Avant d'entamer les développements, il sera nécessaire de procéder à une analyse des besoins. Ceux-ci devront être clairement exprimés par les acteurs du secteur (DEIE, ONEA, Agences de l'Eau, UCDIEau via DREA, etc.). En effet, il s'agirait d'une application unique, accessible par les gestionnaires thématiques, et ce même si la BD-Réseaux est répliquée au niveau des différentes institutions concernées par le suivi des eaux souterraines. Il est donc nécessaire que l'ensemble des partenaires collaborent au cahier des exigences.

Les besoins génériques sont bien connus et peuvent déjà être exprimés. Il s'agit de disposer d'une application web permettant de gérer les réseaux de suivi des eaux souterraines. Au niveau de la gestion, on pense directement aux fonctionnalités suivantes :

- Ajouter, éditer ou supprimer un point de mesure ;
- Ajouter, éditer ou supprimer une mesure de suivi ;

[6] https://www.qgis.org/fr/site/

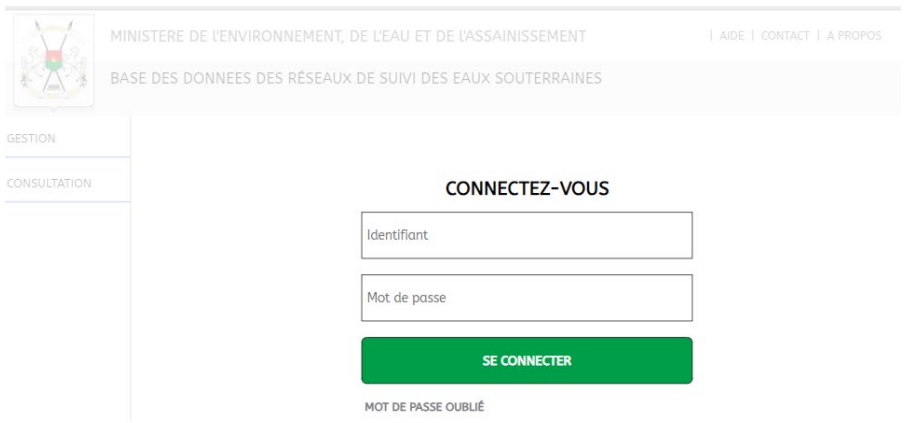
- Importer plusieurs mesures de suivi en lots
- Réaliser des requêtes basiques (sur le réseau, les dates, les points de mesure)
- Télécharger les résultats sous forme MS.Excel pour poursuivre l'analyse.

L'application web de gestion des réseaux de suivi des eaux souterraines doit être vue comme un ensemble de formulaires. Leur utilisation doit être simple et en rapport avec le modèle de données, qui lui-même est peu étendu. L'interface doit être la plus ergonomique possible, afin d'encourager les gestionnaires à saisir l'information et à participer activement à la gestion des réseaux. Elle doit également comporter des masques de saisie, des listes déroulantes et toute autre élément qui facilite et accélère la saisie. Enfin, elle doit gérer un certain nombre de règles de gestion pour éviter l'encodage de données aberrantes.

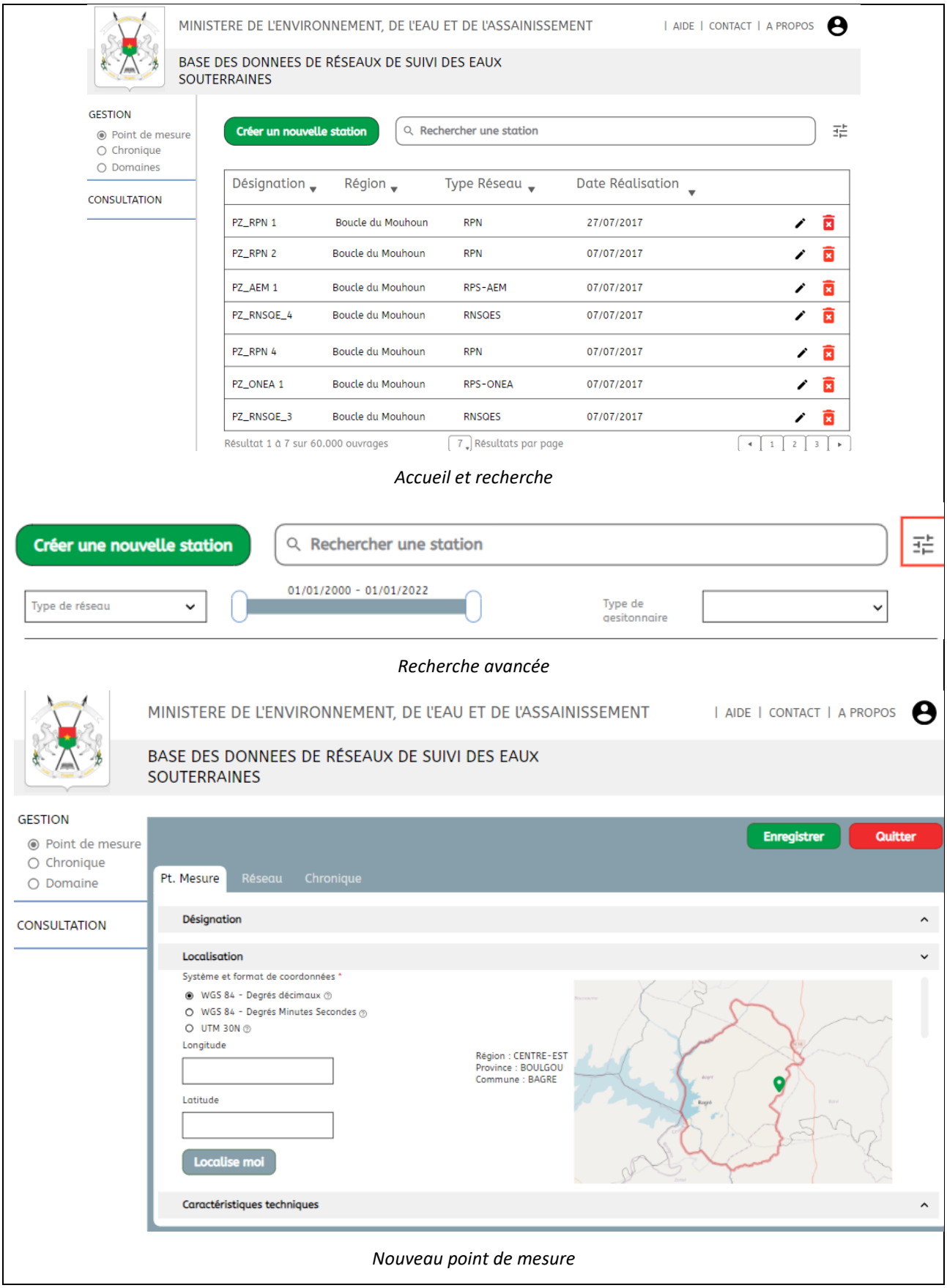
L'application devra être sécurisée. En se connectant, un utilisateur ne pourra éditer que ses données mais pourra visualiser l'ensemble des réseaux.

Il s'agira de se concentrer sur ces aspects et ne pas étendre démesurément le périmètre d'utilisation de l'application. Par exemple, elle ne permettra pas, du moins dans un premier temps, de générer des rapports ou des fiches à la volée.

A titre totalement illustratif, le Groupement a réalisé une maquette montrant le type d'interface qu'il serait possible d'envisager. L'objectif n'est pas d'illustrer toutes les fonctionnalités mais uniquement d'attirer l'attention sur l'aspect ergonomique de l'application.



Panneau de connexion



Accueil et recherche

Recherche avancée

Nouveau point de mesure



Nouvelle mesure de chronique

Une telle infrastructure nécessite la mise à disposition d'un serveur pour pouvoir être hébergée et rendue accessible à tous les gestionnaires. La question de l'hébergement devra être débattue avant d'entamer les réalisations techniques, y compris les développements autour de la base de données.

Comme pour la BD-OMES, il n'est pas préconisé au MEEA (via la DEIE ou la DSI) d'acquérir ses propres serveurs physiques. En effet, les coûts d'acquisition et de maintenance sont très élevés, de même que l'investissement en temps, en infrastructures réseau et en ressources humaines pour garantir la disponibilité des services 24h/24h. En outre, le diagnostic a montré que la DEIE a vécu une expérience peu concluante en la matière (serveurs SNIEAU non maintenus) et ne dispose pas de personnel IT pour assumer ces tâches.

D'autre part, la DSI gère ses propres serveurs mais ceux-ci sont déjà exploités par d'autres applications.

L'ANPTIC pourrait être approchée pour envisager un hébergement. Cependant, la DSI avait émis des réserves sur le fait d'héberger la BD-OMES et l'application de gestion sur les serveurs de cette dernière, et ce pour cause de non-fiabilité des solutions proposées (lenteurs, non disponibilité, manque de support, etc.).

Dans une stratégie d'optimisation et de mutualisation des ressources, l'option privilégiée se rapporte à un hébergement distant et ce pour pallier les contraintes électriques et d'infrastructure réseau. Cette solution permet plus de garantie qu'un hébergement local ou du Cloud.

K.7. Optimisation de l'interopérabilité

Le diagnostic a montré que les jeux de données maintenus par les gestionnaires des réseaux n'étaient pas suffisamment matures pour entrer dans un processus d'interopérabilité et alimenter des bases de données de référence telles que la BD-OMES (produit du R.T.3.1 de la SEVERE), la BD-CHGEO (produit du R.T.3.3 de la SEVERE) et surtout la BD-SNIEAU.

Or, ce n'est pas dans le périmètre du SNIEAU de consolider l'information thématique détenue par les institutions gestionnaires. Le SNIEAU, et sa BD sous-jacente, compile l'information de référence, au mieux réalise une modification de modèle et surtout diffuse la donnée (agrégée ou non) auprès d'un large public, et ce au travers d'une véritable infrastructure de données spatiales (IDS). En aucun cas, le SNIEAU n'altérera la donnée thématique sauf pour des opérations d'agrégation ou d'anonymisation.

Il va cependant de soi que le SNIEAU ne peut se passer de l'information relative aux réseaux de suivi des eaux souterraines. Dès lors, les travaux entrepris par le Groupement dans le cadre du R.T.2.1 ont permis d'optimiser les jeux de données et les amener à un niveau de stabilité suffisant pour enrichir les bases de données citées plus haut. Cette optimisation doit être poursuivie et consolidée par les gestionnaires, sous

peine de ne pas pouvoir produire une information de référence.

Les gestionnaires doivent aller plus loin qu'une connaissance empirique du réseau. Il s'agit de s'approprier les données et les valoriser car c'est sur cette base que tous les échanges seront organisés. C'est d'autant plus le cas lorsque la BD-Réseaux verra le jour car les gestionnaires thématiques disposeront alors d'un outil technique performant leur permettant de répondre favorablement aux demandes d'interopérabilité émanant de services tiers.

Afin de garantir et de pérenniser les flux entre bases de données de référence, et particulièrement avec le SNIEAU, il est nécessaire de considérer les points suivants :

- La structure des jeux de données doit être stable. Actuellement, ce n'est pas le cas. Lorsque la BD-Réseaux sera mise en place, les gestionnaires bénéficieront d'un modèle cohérent et fixe où les modifications feront office d'exception. Cela favorisera grandement les échanges. Le système peut atteindre une stabilité générale pour l'ensemble des jeux de données si une base de données mutualisée entre gestionnaires est implémentée.
- Les jeux de données doivent être mis à jour régulièrement. La fréquence de mise à jour peut être décidée par le niveau hiérarchique supérieur (ex. SNIEAU) mais doit aussi correspondre à des actions sur le terrain. Dans ce cadre, ce sont les gestionnaires thématiques qui fixeront la fréquence. Une mise à jour semestrielle, voire annuelle pour le RNSQES, parait un bon compromis.
- Les jeux de données doivent avoir été évalués au niveau de leur qualité avant d'être partagé. Une fois le processus de partage lancé, il est difficile d'empêcher la dissémination de la donnée et de ses potentielles erreurs. Dans le flux de données optimisé, le Groupement a introduit plusieurs niveaux de contrôle de qualité.
- Le processus d'interopérabilité doit être automatique. L'infrastructure envisagée pour la gestion des réseaux de suivi des eaux souterraines permettra d'automatiser au maximum les flux de données et partant, limitera les interventions manuelles (mail, transfert de fichiers locaux sur support physique, etc.). La solution d'optimisation à ce niveau est de recourir à une plateforme ETL. Néanmoins, la solution proposée, de même que les protocoles d'interopérabilité doivent être définis par l'infrastructure qui nécessite la donnée thématique. C'est donc au système SNIEAU a proposé une stratégie (structure, format, outils, etc.) aux gestionnaires thématiques qui tenteront d'y répondre.
- Enfin, les gestionnaires des réseaux SQES devront s'accorder sur la politique d'ouverture et les protocoles de diffusion de leurs données. Il est probable que le volet institutionnel prévu dans la mise en place du SNIEAU interpellera sur ces aspects. Le Groupement encourage fortement les institutions thématiques à se tourner vers une diffusion libre, sachant que la BD Réseaux fera toujours office de référence.

K.8. Optimisation de la capitalisation des données pour l'analyse des tendances

La capitalisation des données de piézométrie et de qualité de l'eau souterraine issues du RPN et du RNSQES au sein d'une base de données relationnelle performante telle que proposée en section K.3 permet de réaliser des traitements de données approfondis et relativement automatisés, notamment en vue de l'évaluation des tendances.

On citera essentiellement l'évaluation des tendances piézométriques, et l'évaluation des tendances de qualité. Dans les deux cas, l'évaluation des tendances peut aussi bien porter sur le point d'eau (point de mesure) que sur la masse d'eau (formation hydrogéologique).

Concernant l'état quantitatif des eaux souterraines, la procédure d'évaluation nécessite d'étudier les tendances d'évolution à long terme des niveaux piézométriques. L'identification d'une tendance à la baisse à long terme est en effet une condition initiale pour réaliser un test de balance (rapport prélèvement/ressource).

Concernant la qualité de l'eau, l'inversion de toute tendance à la hausse, significative et durable, de la concentration de tout polluant dans les eaux souterraines résultant de l'impact de l'activité humaine constitue un objectif environnemental qui peut mener à la mise en place des mesures nécessaires pour répondre à cet objectif, spécifique aux eaux souterraines.

K.8.1. Evaluation de la tendance piézométrique au point d'eau

Le calcul de tendance est déterminé à partir de 2 variables annuelles calculées : moyenne et minimum annuel des moyennes mensuelles des niveaux piézométriques.

Un test de Mann-Kendall modifie est réalisé sur les deux variables calculées. Une tendance est considérée comme significative si la p-value de ce test est inferieure a 0,05 soit un indice de confiance de 5 %.

Si aucune tendance a la baisse significative n'est détectée (tendance à la hausse ou pas de tendance significative) sur les moyennes et les minimums observes au point d'eau, il est conclu qu'il n'existe pas de tendance à la baisse et qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer les étapes suivantes.

Dans le cas contraire, il convient de s'assurer que la tendance à la baisse identifiée n'est pas liée à une fenêtre d'observation trop courte et à la présence de cycles pluriannuels dans la chronique. La figure ci-après illustre le logigramme d'évaluation de la tendance piézométrique au point d'eau.

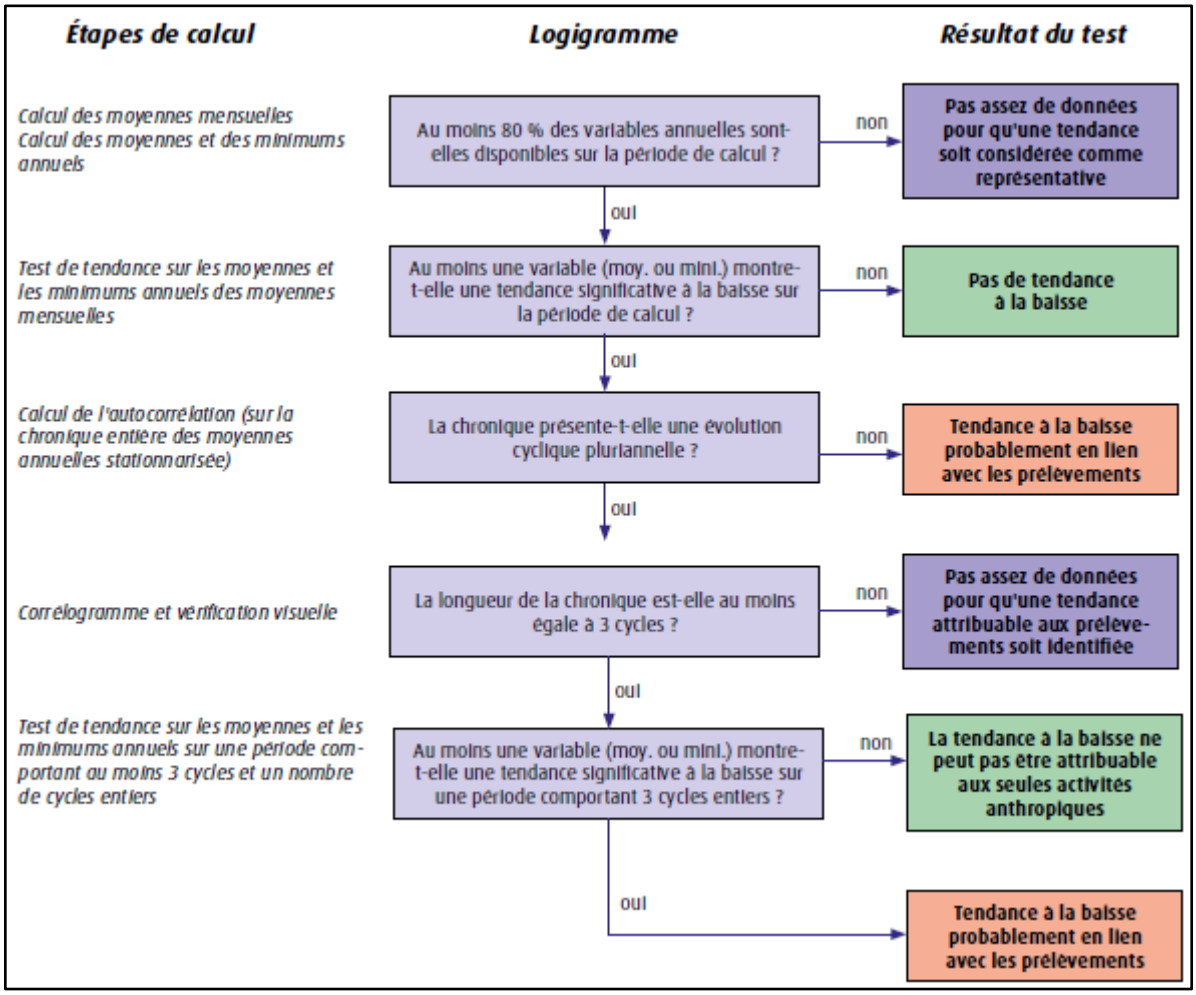


Figure 62 : Evaluation de la tendance piézométrique au point d'eau

K.8.2. Evaluation de la tendance de qualité au point d'eau

Dans un premier temps, la tendance est recherchée sur les données brutes avec le test de Mann-Kendall sur la période de référence. Une tendance est considérée comme significative si la p-value de ce test est inférieure à 0,05, soit un indice de confiance de 5 %.

Dans le cas où une tendance à la hausse significative est identifiée, il convient de s'assurer que cette tendance n'est pas liée au fonctionnement hydrogéologique : en effet, les niveaux piézométriques peuvent impacter les concentrations dans les eaux souterraines en remobilisant des éléments stockés dans la zone non saturée lors d'une remontée des niveaux par exemple.

Il est donc important d'identifier d'éventuelles variations pluriannuelles des niveaux piézométriques. Pour cela, si des données piézométriques sur un point d'eau appartenant à la même entité hydrogéologique (sont disponibles, il est nécessaire de rechercher la présence d'une composante cyclique pluriannuelle sur les données de niveaux piézométriques. Dans le cas où une composante cyclique est détectée, les mêmes règles que celle précisées pour la piézométrie seront suivies, à savoir que la période sur laquelle une tendance est recherchée doit comporter au moins 3 cycles.

La figure ci-après illustre le logigramme d'évaluation de la tendance de qualité au point d'eau.

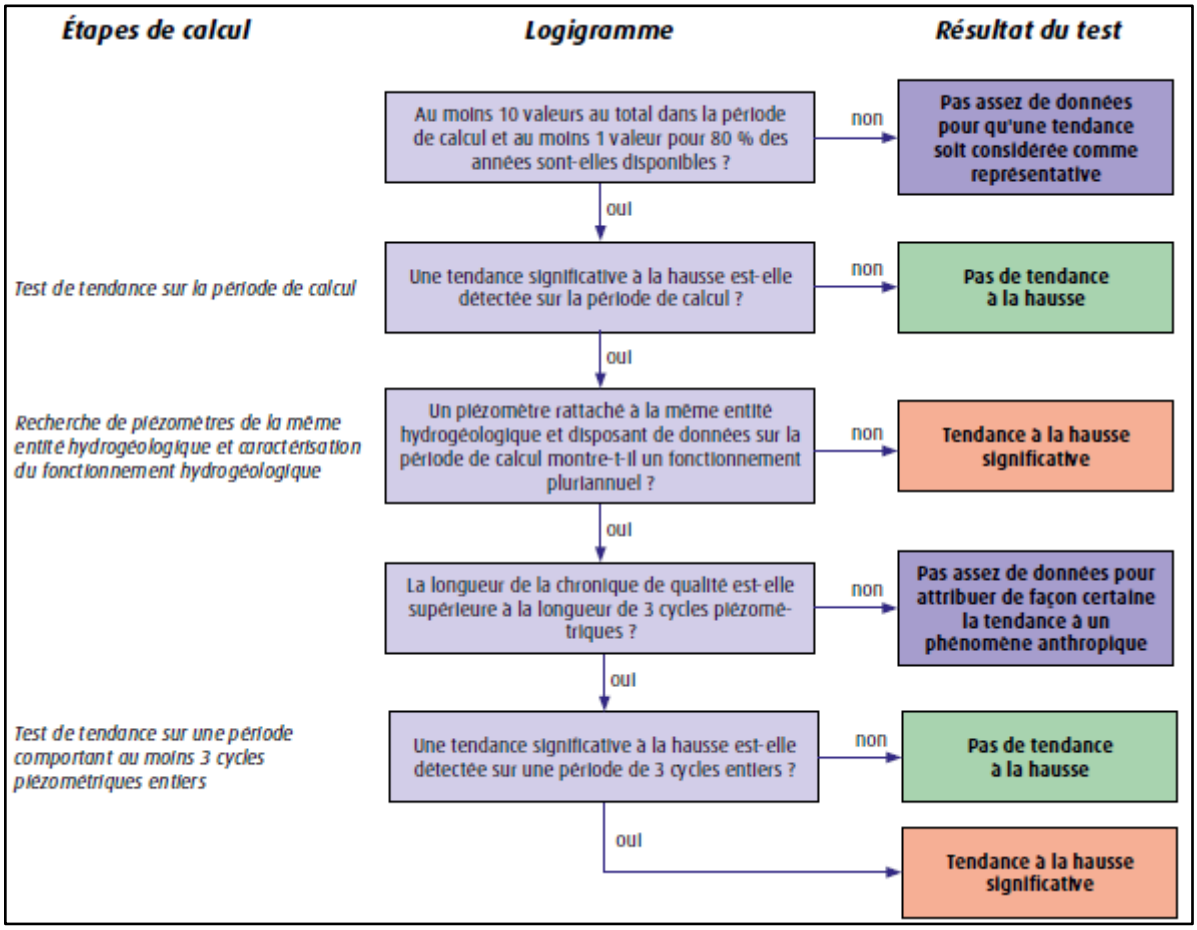


Figure 63 : Evaluation de la tendance de qualité au point d'eau

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

L.1. Travaux et équipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés

Le tableau ci-après résume les différents investissements (travaux et équipements) proposés pour la mise en place des réseaux optimisés de suivi piézométrique (RPN optimisé) et de suivi de la qualité des eaux souterraines (RNSQES). Les couts sont basés sur l'opérationnalisation des 8 UCDIEAU, ainsi que sur les investissements nécessaires au niveau de la DGRE.

Tableau 77 : Cout estimatif d'investissements pour la mise en place des réseaux RPN et RNSQES optimisés

Item	Quantité	Cout estimatif (FCFA)	Remarque
Réalisation de nouveaux piézomètres	25	250.000.000	Financement PAEA : 20 piézomètres. DAO rédigé
Réhabilitation de piézomètres existants (protection en surface, soufflage)	15	67.500.000	
Sondes automatiques de pressions (y compris accessoires et logiciel pour la gestion)	100	240.000.000	Financement PAEA : 80 sondes. DAO rédigé et publié
Sondes piézométriques à ruban gradué	40	5.000.000	Pour lecteurs additionnels - RPN
Multimètre de terrain et sondes (pH, CE, T, LDO, ORP)	10	20.000.000	Pour DGRE et UCDIEAU Offres de prix disponibles
Pompe de prélèvement (type Grundfos MP1) + accessoires	10	60.000.000	Pour DGRE et UCDIEAU Offres de prix disponibles
Equipement divers pour échantillonnage, transport et stockage (RNSQES)	10	10.000.000	Pour DGRE et UCDIEAU
Spectrophotomètre de terrain + réactifs	10	20.000.000	Pour DGRE et UCDIEAU Offres de prix disponibles
Equipement informatique et développement applicatif (BD Réseaux de suivi)	fft	75.000.000	Equipement informatique Pour DGRE et UCDIEAU (10 unités) + prestations de développements informatiques
Total estimatif		**747.500.000**	

Le cout total estimé pour les investissements (travaux et équipements) liés à l'optimisation du RPN et du RNSQES est ainsi estimé à 747 millions FCFA.

Ces couts n'intègrent pas le renforcement en équipements du laboratoire de la DGRE (Spectromètre de masse à plasma ICP-MS, Chromatographie ionique HP, etc.), ce poste ayant déjà été intégré dans le cadre de l'étude d'optimisation des réseaux hydrométrique et de qualité des eaux de surface.

L.2. Fonctionnement et maintenance

Le tableau ci-après résume les principaux postes annuels relatifs au fonctionnement et à la maintenance des réseaux optimisés de suivi piézométrique (RPN optimisé) et de suivi de la qualité des eaux souterraines (RNSQES).

Tableau 78 : Cout annuel estimatif de fonctionnement et de maintenance du RPN et du RNSQES

Poste	**Cout estimatif annuel (FCFA)**
Inspection et maintenance des stations piézométriques, y compris sondes automatiques de pression	15.000.000
Remplacement de matériel défectueux / usagé	12.000.000
Suivi du RPN optimisé	25.000.000
Rémunération des lecteurs (90)	24.000.000
Suivi du RNSQES optimisé	6.000.000
Réactifs et consommables RNSQES	10.000.000
Total estimatif	**92.000.000**

Le cout total annuel de fonctionnement et de maintenance est ainsi estimé à 92 millions FCFA, soit environ 7,7 millions FCFA/mois. Ces couts n'intègrent pas la maintenance des équipements du laboratoire de la DGRE, ce poste ayant déjà été intégré dans le cadre de l'étude d'optimisation des réseaux hydrométrique et de qualité des eaux de surface.

M. RENFORCEMENT DES CAPACITES NATIONALES DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES

M.1. Renforcement des capacités en ressources humaines

M.1.1. Personnel de la DEIE – SHGEO et SIPEAU

D'une manière générale, la mission du SHGEO est de coordonner toutes les activités et l'ensemble des flux d'informations en lien avec les ressources en eau souterraine. Il est donc question d'assurer le suivi et l'exploitation des ressources en eaux souterraines, de participer aux études et aux recherches visant à améliorer leur connaissance, de collecter, traiter et centraliser les données nécessaires, de mettre en place et optimiser les flux de collecte, d'élaborer les rapports périodiques, etc.

Le SHGEO est actuellement composé de 5 personnes : 1 Ingénieur GR responsable de service, 1 technicien supérieur, et 3 ingénieurs hydrogéologues.

Le SIPEAU joue un rôle fondamental dans la gestion des données sur l'eau puisqu'il est responsable de la mise à jour des bases de données sur l'eau. C'est notamment à ce niveau qu'est gérée la BD-SNIEAU. Le SIPEAU se dédicace également à diffuser l'information sur l'eau, sous de nombreuses formes (statistiques, rapports, services web, etc.). A ce titre, il peut être considéré comme le gestionnaire des données sur l'eau, avec des tâches transversales et génériques axées sur la transformation, l'intégration et la diffusion des informations.

Le SIPEAU est actuellement composé de 5 personnes : 1 Géomaticien responsable de service, 1 technicien supérieur, et 3 documentalistes archivistes.

Au sein de la DEIE, le SHGEO et le SIPEAU constituent donc les deux services les plus directement impliqués dans la gestion des réseaux de suivi des eaux souterraines (SHGEO) et dans la capitalisation des données qui en découlent (SIPEAU).

Le cadre actuel devrait permettre de mener à bien les tâches identifiées en relation avec les réseaux de suivi, avec un accompagnement et un renforcement de capacités en la matière.

M.1.2. Personnel des DREA / UCDIEAU

Le personnel normalement requis pour l'opérationnalisation des UCDIEau, en relation avec l'optimisation

des réseaux de suivi, est repris ci-après.

- Pour les 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 à temps plein,
    - Un (1) Ouvrier 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.

On notera que depuis ces cinq dernières années, des efforts ont été consentis par l'Etat pour renforcer les effectifs du personnel chargé du suivi des ressources en eau, notamment par l'affectation depuis 2020 de nombreux Techniciens supérieurs, d'Ingénieurs hydrologues, d'Ingénieurs du génie rural, etc.

On notera toutefois l'absence d'hydrogéologue dans les DREA, néanmoins il est estimé que les ingénieurs hydrologues prévus au niveau du personnel des DREA pourront effectuer les tâches en relation avec le suivi des eaux souterraines, moyennant des formations spécifiques en relation avec ces tâches.

M.1.3. Personnel du SQE (laboratoire de la DGRE) :

Le personnel du SQE est en charge de la gestion du RNSQES, en toutes ses étapes depuis l'échantillonnage sur le terrain jusqu'à la saisie et l'interprétation des données. Le besoin de renforcement en personnel du laboratoire est primordial. Il constitue en soi une condition nécessaire pour le renforcement en équipements. Ainsi une augmentation du nombre d'agents est indispensable, tant au niveau des ingénieurs, des techniciens supérieurs que des techniciens.

A l'état actuel, l'état du personnel pour le SQE est de 3 ingénieurs biochimistes-microbiologistes, 1 technicien supérieur de l'hydraulique et équipement rural, 1 technicien supérieur environnementaliste, et 1 technicien supérieur hydrologue.

Un bon fonctionnement du laboratoire de la DGRE nécessite au minimum 3 ingénieurs chimistes ou équivalents dont au moins un ingénieur chimiste confirmé, au minimum 3 techniciens supérieurs chimistes, 6 techniciens chimistes, ainsi que du personnel d'appui. En effet, le SQE s'occupe non seulement du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines, mais également des eaux de surface.

Compte tenu du fait que les directions régionales seront sollicitées pour des prélèvements d'échantillons et des analyses in situ, une formation adéquate devra également être dispensée aux agents des directions régionales commis à cette tâche.

M.2. Renforcement des capacités par la formation

Une bonne gestion des réseaux de suivi, et une exploitation optimale des données qui en découlent,

nécessitent des compétences spécifiques. Bien que les profils définis pour le personnel correspondent à des diplômes qualifiés dans le domaine de l'eau, il parait indispensable de prévoir des modules spécifiques de formation directement liés à la gestion et à l'exploitation des réseaux de suivi.

Nous préconisons en ce sens la mise en œuvre de modules de formation spécifique, d'une durée de 4 à cinq jours pour chacun.

Les modules prioritairement identifiés sont repris ci-après :

Module 1 : **Gestion des sondes automatiques de pression** :
Installation, maintenance, paramétrisation, récupération des données, gestion de la transmission et du stockage des données, gestion du réseau (parc de sondes)

Module 2 : **Traitement et exploitation des données piézométriques** :
Utilisation de l'applicatif de gestion des sondes et des données piézométriques, interprétation des chroniques, traitements cartographiques, évaluation des tendances piézométriques, calcul d'indicateurs d'état quantitatif des masses d'eau souterraine

Module 3 : Méthodes d'échantillonnage :
Prises de mesures physico-chimiques in-situ, utilisation d'appareils portatifs pour l'analyse sur le terrain (spectrophotomètre de terrain), échantillonnage des eaux souterraines, conditionnement et transport des échantillons

Module 4 : Traitement, interprétation et exploitation des données de qualité des eaux souterraines :
Traitement et validation des données, interprétation des résultats d'analyse (balance ionique, hydrochimie générale, faciès des eaux, etc.), comparaison aux normes, systèmes d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ-ESO), traitements cartographiques, évaluation des tendances de qualité de l'eau, calcul d'indicateurs d'état qualitatif des masses d'eau souterraine

Module 5 : Gestion et exploitation de la base de données « BD-Réseaux » :
Saisie des données, importation des données (dont gestion des flux et de la télétransmission), mise à jour des données, exploitation de l'application d'encodage, interrogation de la BD, production de produits dérivés, productions cartographiques, administration de la BD.

Outre ces modules de formation ciblés et de courte durée, nous préconisons l'élaboration d'un plan de formation structurel pour le personnel du laboratoire, avec entre-autres un accompagnement de 3 à 6 mois dans la démarche qualité, des formations continues en techniques d'analyses et en management de laboratoire, etc.

M.3. Renforcement des capacités institutionnelles

La situation institutionnelle du laboratoire de la DGRE, en tant que service d'une direction technique, ne favorise pas sa visibilité et sa légitimité. Un renforcement institutionnel consisterait à en faire une direction technique au sein de la DGRE. Le rapport de l'étude de la stratégie du suivi et de l'évaluation des ressources en eau du Burkina Faso (2019) préconise en ce sens une révision des textes organisationnels internes du ministère, visant notamment le renforcement institutionnel du statut du laboratoire de la DGRE.

M.4. Renforcement de capacités en moyens matériels

Le renforcement de capacités en moyens matériels au profit du RPN et du RNSQES a été abordé dans les sections précédentes du présent rapport. Il s'agit en particulier, et en résumé, des éléments suivants :

- Des sondes automatiques de mesure de pression, intégrées aux piézomètres du RPN
- Des sondes piézométriques à ruban gradué
- Des multimètres de terrain (sondes pH, T, CE, LDO, ORP)
- Des pompes de prélèvement de type Grundfos MP1 avec accessoires (kit enrouleur, variateur de fréquence, groupe électrogène)
- Des spectrophotomètres de terrain avec accessoires et réactifs
- Des équipements informatiques pour le stockage, la gestion et la capitalisation des données des réseaux de suivi (serveur, ordinateurs portables)
- De matériel divers pour le prélèvement, le conditionnement et le transport des échantillons (verrerie, boites-frigo, etc.).
- De réactifs, consommables et solutions d'étalonnages pour l'analyse des échantillons.
- De l'équipement additionnel d'analyse du laboratoire (Spectromètre de masse à plasma ICP-MS, Chromatographie ionique HP, etc.).

N. PLAN D'ACTION

Un plan d'action est proposé en vue d'orienter les acteurs en charge de l'opérationnalisation des réseaux optimisés sur les étapes essentielles du processus.

Le plan d'action détaille les travaux à réaliser, les équipements à acquérir, les opérations prévues de maintenance, les activités de collecte, de gestion, d'exploitation et de capitalisation des données, les renforcements de capacités, etc. Il identifie les structures responsables et associées, les échéances proposées, et les indicateurs de résultats.

Tableau 79 : Plan d'action pour l'optimisation des réseaux de suivi RPN et RNSQES

Action/Activité		Responsable	Structure associée	Échéance	Indicateur de résultat attendu
Action 1	**Réalisation de nouveaux piézomètres et réhabilitation de piézomètres existants**	**PAEA / DGRE**	**DMP**		
Activité 1.1	Réalisation de 25 piézomètres	DGRE	DMP	2023-2024	Piézomètres réalisés
Activité 1.2	Réhabilitation de 15 piézomètres	DGRE	DMP	2023-2024	Piézomètres réhabilités
Action 2	**Acquisition et installation des équipements du RPN**	**PAEA / DGRE**	**DMP, DREA**		
Activité 2.1	Acquisition des sondes piézométriques à ruban gradué	DGRE	DMP	2023	Matériel réceptionné
Activité 2.2	Acquisition des sondes automatiques de pression	DGRE	DMP	2023	Matériel réceptionné
Activité 2.3	Installation des équipements	DGRE		2023-2024	Matériel installé
Activité 2.4	Opérationnalisation du réseau RPN (paramétrisation des sondes, télégestion, etc.)	DGRE	DREA	2023-2024	Données disponibles sur le serveur DGRE
Action 3	**Acquisition des équipements de terrain du RNSQES**	**PAEA / DGRE**	**DMP**		

Activité 3.1	Acquisition des pompes de prélèvement	DGRE	DMP	2023	Matériel réceptionné
Activité 3.2	Acquisition des multimètres de terrain	DGRE	DMP	2023	Matériel réceptionné
Activité 3.3	Acquisition des spectrophotomètres	DGRE	DMP	2023	Matériel réceptionné
Action 4	**Maintenance du RPN et du RNSQES**	**DGRE**	**DREA**		
Activité 4.1	Inspecter et maintenir les sondes automatiques de pression	DGRE	DREA	Continu	Taux de fonctionnalité
Activité 4.2	Inspecter visuellement les sites du RPN et du RNSQES	DGRE	DREA	Continu	Taux de fonctionnalité
Activité 4.3	Assurer la maintenance et l'étalonnage des équipements (multimètre, etc.)	DGRE	DREA	Continu	Taux de fonctionnalité
Action 5	**Collecte des données**	**DGRE**	**DREA**		
Activité 5.1	Mettre en place une équipe de veille sur la continuité de la transmission des données au sein de la DEIE	DGRE	DREA	Continu	Note de service DGRE
Activité 5.2	Nommer un point focal dans chaque Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement et dans chaque Agence de l'Eau	DGRE	DREA	2023	Note de service DGRE
Activité 5.3	Organiser et assurer les tournées de contrôle des sondes automatiques	DGRE	DREA	Continu	Note de service DGRE
Activité 5.4	Organiser et assurer les lectures par sondes piézométriques	DGRE	DREA	Continu	Nombre tournées de lecture
Activité 5.5	Organiser et assurer les campagnes d'échantillonnage	DGRE	DREA	Continu	Nombre campagnes réalisées
Action 6	**Gestion et exploitation des données**	**DGRE**	**DMP, DREA**		
Activité 6.1	Acquisition et installation des équipements informatiques pour DGRE et DREA/UCDIEAU	DGRE	DMP, DREA	2023	Matériel réceptionné
Activité 6.2	Installation et hébergement de la BD-Réseaux	DGRE	DREA	2023-2024	BD opérationnelle et accessible
Activité 6.3	Assurer l'opérationnalisation des flux de données	DGRE	DREA	Continu	Nombre de données transférées
Activité 6.4	Assurer la gestion de la télétransmission et de l'importation des données dans la BD-Réseaux	DGRE	DREA	Continu	Nombre de données télétransmises et accessibles en BD
Activité 6.5	Contrôler et valider les données collectées	DGRE	DREA	Continu	Taux d'erreurs de données
Activité 6.6	Assurer le traitement des données validées	DGRE	DREA	Continu	Nombre de données traitées
Activité 6.7	Sécuriser les données (back up off line)	DGRE	DREA	Continu	Répertoire back up alimenté
Activité 6.8	Améliorer les accès internet pour les postes récepteurs	DGRE	DREA	2023	Débit connexion internet
Activité 6.9	Assurer la mise à niveau des logiciels de gestion des données	DGRE	DREA	Continu	Version des logiciels
Action 7	**Capitalisation et diffusion des données**	**DGRE**	**DREA**		
Activité 7.1	Elaborer les évaluations de tendances, les comparaisons aux normes, les évaluations SEQ-ESO	DGRE	DREA	Continu	Rapports périodiques
Activité 7.2	Elaborer les produits dérivés et productions cartographiques	DGRE	DREA	Continu	Rapports périodiques
Activité 7.3	Réaliser et publier des bulletins et rapports périodiques	DGRE	DREA	Continu	Bulletins publiés

Activité 7.4	Elaborer une application en ligne d'accès aux données des réseaux RPN et RNSQES	DGRE	DREA	2024	Application opérationnelle et accessible en ligne
Activité 7.5	Assurer le transfert des données capitalisées vers le SNIEAU	DGRE	DREA	2024	SNIEAU alimenté
Action 8	**Renforcement du laboratoire DGRE**	**DGRE**			
Activité 8.1	Acquisition des équipements complémentaires d'analyse	DGRE	DMP	2023-2024	Matériel réceptionné
Activité 8.2	Acquisition du petit matériel de laboratoire	DGRE	DMP	Continu	Matériel réceptionné
Activité 8.3	Réalisation des analyses physico-chimiques du RNSQES	DGRE		Continu	Nombre analyses réalisées
Activité 8.4	Collecter les données des autres structures partenaires du laboratoire	DGRE	DREA, AE, ONEA, etc	Continu	Nombre données tierces collectées
Activité 8.5	Renforcer le statut du laboratoire vers une Direction Technique	DGRE		2024	Statut actualisé
Action 9	**Renforcement des capacités**	**DGRE**	**DREA**		
Activité 9.1	Recruter le personnel complémentaire requis pour le suivi des réseaux optimisés	DGRE	DREA	2023-2024	Nombre d'agents recrutés
Activité 9.2	Organiser et tenir les modules de formation identifiés	DGRE	DREA, AE	2023-2024	Nombre de modules organisés - nombre d'agents formés
Activité 9.3	Former les lecteurs pour le RPN optimisé	DGRE	DREA	2023-2024	Nombre de lecteurs formés
Activité 9.4	Organiser et mettre en œuvre le plan de formation du personnel du laboratoire	DGRE		2023-2024	Plan de formation validé - Rapport d'activité des formations

O. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'objectif principal de la présente étude est de doter le Burkina Faso d'un réseau piézométrique national optimisé et d'un réseau national de suivi de la qualité des eau souterraines optimisé. Le renforcement est abordé sous différents angles, dont notamment sur le plan de la représentativité spatiale du réseau, de son équipement, des outils de gestion et de capitalisation des données, et des capacités des structures à en assurer une gestion performante sur le long terme.

La première phase de l'étude a permis de réaliser un diagnostic complet du suivi actuel des réseaux, incluant les aspects institutionnels, les ressources humaines, le volet financier, et l'état des réseaux actuels. Outre les réseaux de suivi homogènes sur le plan national gérés au sein de la DGRE, des réseaux secondaires d'importance significative ont également fait l'objet d'un diagnostic (réseaux de suivi de l'ONEA, réseau de suivi de l'AEM).

Dans la deuxième phase de l'étude, une méthodologie robuste d'optimisation a été établie, permettant de prendre en compte les lacunes actuelles des réseaux concernés, et d'intégrer les divers besoins identifiés.

La méthode retenue d'optimisation de la distribution spatiale des sites (densité et homogénéité), basée sur la décomposition de Voronoï, a permis d'améliorer significativement la représentativité des réseaux concernés, tout en veillant prioritairement à préserver un pragmatisme assumé permettant une mise en œuvre effective de l'optimisation à la fois (i) réaliste et (ii) envisageable dans le court et moyen terme. L'optimisation de la distribution spatiale (densité et homogénéité) a fait l'objet d'une évaluation sur base de

différents référentiels géographiques dont les zonages géologiques et hydrogéologiques, les bassins versants, les entités administratives et de gestion, l'exploitation des aquifères, et les zones climatiques.

Le RPN optimisé compte ainsi 94 sites de suivi piézométrique, contre 51 actuellement, s'appuyant prioritairement sur la valorisation de piézomètres existants et minimisant le nombre de nouveaux ouvrages à réaliser.

Le RNSQES optimisé, quant à lui, compte 60 sites de suivi de la qualité des eaux souterraines, contre 44 identifiés lors de l'optimisation menée en 2018.

L'augmentation du nombre de sites est donc très significative, tant pour le RPN (+ 84%) que pour le RNSQES (+36%). Elle se veut toutefois maitrisée et réaliste, de manière prépondérante par rapport à une volonté peu pertinente de respect de recommandations internationales jugées particulièrement excessives et souvent non-appropriées pour le contexte rencontré au Burkina Faso.

Les investissements nécessaires à l'optimisation des réseaux de suivi des eaux souterraines sont estimés à environ 750 millions FCFA. Ils concernent essentiellement la réalisation de piézomètres additionnels, la réhabilitation de piézomètres existants, et l'acquisition d'équipements. Des sondes automatiques de mesure de pression, avec télétransmission, sont prévues pour renforcer le RPN, tandis que divers équipements de prélèvement et d'analyse sont prévus pour le renforcement du RNSQES.

Le cout de maintenance opérationnelle des deux réseaux est estimé à environ 92 millions FCFA par an.

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

- Des équipements modernes adéquats ont été identifiés, leur choix justifié et proposés, y compris un système de télétransmission pour toutes les stations automatiques du RPN et divers équipements pour le prélèvement et l'analyse des eaux souterraines au profit du RNSQES ;
- Un prototype de base de données performante a été élaboré, permettant une exploitation et une capitalisation optimisées des données des réseaux concernés au sein de la DGRE ;
- Un programme de renforcement des capacités a été élaboré, au profit des gestionnaires des réseaux de suivi des eaux souterraines et des structures partenaires (DGRE, DREA/UCDIEAU, AE, etc.) ;
- Un plan d'action a été élaboré pour l'opérationnalisation des résultats de l'étude, permettant une mise en œuvre maitrisée de l'optimisation des réseaux ;
- Enfin, des dossiers d'appel d'offre ont été élaborés pour l'acquisition de 80 sondes automatiques de pression au profit du RPN, ainsi que pour la réalisation de 20 piézomètres additionnels. Des spécifications techniques ont également été proposées pour l'acquisition d'équipements divers liés au RNSQES.

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 ressources en eau, et d'autre part de mieux faire face aux défis du changement climatique et de l'augmentation des besoins rencontrés dans le secteur de l'eau.

Outre l'optimisation des réseaux homogènes nationaux gérés par la DGRE (RPN et RNSQES), la mise en place et l'optimisation de réseaux secondaires (réseaux d'impact et réseaux spécifiques) s'avère recommandée. Des études de cartographie des pressions anthropiques (forces motrices) pouvant impacter l'état quantitatif et la qualité des ressources en eau souterraine devraient être menées à l'échelle nationale préalablement à l'établissement de tels réseaux, afin de mieux identifier et caractériser les zones au sein desquelles une surveillance appropriée devrait prioritairement être mise en place. La poursuite du PAEA constitue une réelle opportunité de réaliser de telles études cartographiques des pressions environnementales, et d'élaborer sur

base des résultats obtenus des propositions de réseaux secondaires destinés au suivi spécifique de la piézométrie et de la qualité des eaux souterraines dans les zones potentiellement menacées ou impactées par les activités anthropiques (prélèvements importants, zones industrielles et minières, zones agricoles, etc.).

P. REFERENCES

- ABV, 2010 – « Etat des lieux de la situation hydrométéorologique du bassin de la Volta, bilan diagnostic des systèmes de suivi existants et recommandations pour une optimisation »
- AEM/SRE, mars 2022 – « Redéfinition du réseau piézométrique du bassin versant du Kou »
- AFNOR, 2000 – « Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage, fascicule de documentation FD X 31 615 »
- BERASE, 2017 – « Etude 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 », Décembre, 2017, 155p
- BERAC, 2019 – « Etat des lieux et plan d'opérationnalisation des activités du laboratoire d'analyse des eaux brutes de la DGRE ». Décembre, 2019, 111p
- BKF, 2009 – « Décret 2008-770/PRES/PM/MAHRH portant organisation du Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des ressources halieutiques », janvier 2009, 42p
- BKF, 2016 – « Décret 2016-342/PRES/PM/MEA portant organisation du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement », mai 2016, 21p
- BM-WPP, 2017 – « Amélioration de la connaissance et de la gestion des eaux au Burkina Faso. Plan d'actions pour les eaux souterraines », Juin, 2017, 33p
- BOSSER, 2011 – « Interpolation spatiale ». Septembre 2011, 55p
- BRGM, 1997 – « Méthode de détermination par système aquifère des niveaux de surveillance de la piézométrie et de la qualité des eaux souterraines »
- BRGM, 1988 – « Document-Guide pour la conception et l'installation de systèmes d'observation des eaux souterraines dans les pays membre du CIEH», Décembre 1988, 101p
- BRGM, 2011 – « Guide pour la détermination des indicateurs piézométriques en vue d'une gestion quantitative de la ressource »
- BROUYERE & DEROUANE, 2010 – « Appui à la gestion et à la protection des ressources en eaux souterraines exploitées dans la région de Bobo-Dioulasso. Rapport d'activités 5 – 01/11/2009-31/10/2010 », Octobre 2010, 121p
- Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines en France, 2003
- Commission Européenne, 2007 – « Documents de guidance n°07 et n°15 « Guidance on groundwater monitoring » de la Commission Européenne (2007) relatif à la Directive-Cadre européenne sur l'eau »
- COWI, 2011 – « Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans les bassins du Mouhoun et de la Comoé. Rapport sur les besoins des systèmes de suivi et équipements proposés. Volume 3/4 - Suivi de la qualité de l'eau. Version définitive », Octobre 2011, 61p
- COWI, 2013 – « Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) de l'espace de compétence de l'Agence de l'eau du Mouhoun », Décembre 2013, 252p
- COWI, 2019 – « Assistance technique aux programmes nationaux d'AEPA et de GIRE. Rapport de l'Etude de la stratégie de suivi et d'évaluation des ressources en eau. Rapport diagnostic ». Février 2019, 240p
- COWI, 2021 – « Assistance technique aux programmes nationaux d'AEPA et de GIRE. Rapport de l'Etude sur le suivi des ressources en eaux et des usages (SEREU). Document cadre (Volume 2) ». Juin 2021, 57p

- DANIDA, 2000 – « Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Burkina Faso. Connaissance des ressources en eau sur le plan quantitatif. Pertinence du système de suivi », Octobre 2000, 86p
- DANIDA, 2001 – « Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Burkina Faso. Etat des lieux des ressources en eau au Burkina Faso et de leur cadre de gestion ». Mai 2001, 256p
- DGRE, 2017 – « Etat des lieux de la qualité des eaux brutes du bassin versant hydrographique du Nakanbé ». Janvier 2017, 131p
- DGRE, 2020 – « Etat des lieux de la qualité des eaux brutes du bassin versant hydrographique du Mouhoun ». Février 2020, 191p
- DEIE, 2018 – « Rapport de synthèse de l'atelier de définition d'un réseau optimisé de suivi de la qualité des eaux brutes au Burkina Faso », Octobre 2018, 41p
- DEIE, 2020 – « Synthèse du suivi des ressources en eau, année 2019 », Octobre 2020, 235p
- DHI, 2008 – « Mission d'assistance à la DGRE en matière de suivi piézométrique », Août 2008, 111p
- GIRE, 2004 – « Etude sur l'état des lieux du laboratoire d'analyse des eaux de la DGIRH ». Février 2004, 99p
- KONE, 1989 – « Aperçu sur la piézométrie du Burkina Faso. Travail de fin d'études », Septembre 1989, 108p
- MAC DONALD M., BCEOM, SOGREAH, ORTSOM, 1993 – « Evaluation Hydrologique de l'Afrique Sub-Saharienne. Rapport du Burkina Faso », Janvier 1993, 550p
- MAHRA, 2009 – « Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, deuxième phase (2010-2015). Document d'opérationnalisation », Septembre 2009, 51p
- MEAHA, 2014 – « Proposition de formulation de la Composante Appui opérationnel au Programme GIRE pour la période 2016-2030 », Septembre 2014, 80p
- MEE-DGH, 2001 – « Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion », Mai 2001, 256p
- MILLOGO, 2018 – « Etude diagnostique de la base de données SIG-Piézométrique », Novembre 2018, 65p
- Ministère de la transition écologique et solidaire de France, juillet 2019 – « Guide de l'évaluation de l'état des eaux souterraines »
- OMM, 2012 – « Recommandations de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) issues du Guide des pratiques hydrologiques », OMM N°168, édition 2012 ;
- PADSEA-II, 2007 – « Mission d'assistance à la DGRE en matière de suivi piézométrique. Manuel d'utilisation de la BD-Piezo », Décembre 2007, 57p
- PESO, 2006 – « Appui à la gestion et à la protection des ressources en eaux souterraines exploitées dans la région de Bobo-Dioulasso. Rapport d'activités 01/11/2005-31/10/2006 ». Octobre 2006, 28p
- SHER, 2010 – « Etat des lieux de la situation hydrométéorologique dans la Bassin de la Volta ». Décembre 2010. 61p
- SILGA, 2004 – « Etude sur l'Etat des lieux du Laboratoire d'Analyse des eaux de la Direction Générale de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (DGRIH). Rapport final ». Février 2004, 99p

- SOGREAH, 1994 – « Etude des ressources en eau souterraine dans la zone sédimentaire de la Région de Bobo-Dioulasso. Rapport final », Juillet 1994, 289p
- SPW, 2008 – « Principes et méthodologie d'adaptation du réseau de surveillance des eaux souterraines en Région wallonne de Belgique »
- TIROGO, 2017 – « Etude du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère sédimentaire du Bassin du Kou au sud-ouest du Burkina Faso », janvier 2017, 261p
- UN/EC Task Force , 2000 – "Guidelines on monitoring and assessment of transboundary groundwaters"
- VREO, 2010 – « Implantation, suivi et contrôles des travaux pour la réalisation de 260 forages productifs », Avril 2010, 35p

Q. ANNEXES

Q.1. Liste et caractéristiques des sites du RPN

Région	Province	Commune	Village	Ref. Site	Fonctionnel	Num total d'ouvrages	Num d' Ouvrages Fonctionnels	Num. total de tubes	Num de tubes fonctionnels
BOUCLE DU MOUHOUN	BALE	BOROMO	BOROMO	BOROMO	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	KOUKA	KOUKA	KOUKA	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	SANABA	GOMBIO	GOMBIO	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	SOLENZO	KOSSOBA	KOSSOBA	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	TANSILA	TAMOUGA	TANSILA	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	TANSILA	TOUNGO	TOUNGO	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	KOSSI	NOUNA	NOUNA	NOUNA	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	MOUHOUN	BONDOKUY	BONDOKUY	BONDOKUY	Oui	1	1	1	1
BOUCLE DU MOUHOUN	NAYALA	GASSAN	GASSAN	GASSAN	Oui	1	1	1	1
CASCADES	COMOE	BANFORA	NAFONA	NAFONA	Oui	2	2	2	2
CASCADES	COMOE	NIANGOLOKO	NIANGOLOKO	NIANGOLOKO	Oui	2	2	2	2
CASCADES	COMOE	SIDERADOUGOU	SIDERADOUGOU	SIDERADOUGOU	Oui	2	2	2	2
CENTRE	KADIOGO	KOMSILGA	SILMISSIN	SILMISSIN	Oui	3	3	3	3
CENTRE	KADIOGO	OUAGADOUGOU	BASSEKO	BASSEKO	Oui	2	2	2	2
CENTRE	KADIOGO	OUAGADOUGOU	OUAGADOUGOU	OUAGADOUGOU	Oui	1	1	1	1
CENTRE-EST	BOULGOU	BITTOU	BITTOU	BITTOU	Oui	2	2	2	2
CENTRE-EST	BOULGOU	TENKODOGO	KOKNOGHIN	CELLA	Oui	2	2	3	3
CENTRE-EST	KOULPELOGO	YONDE	BOUSSOUGOU	BOUSSOUGOU	Oui	2	2	2	2
CENTRE-NORD	BAM	KONGOUSSI	KONGOUSSI	KONGOUSSI	Oui	2	2	2	2
CENTRE-NORD	NAMENTENGA	TOUGOURI	TAFOGO	TAFOGO	Oui	2	2	3	3
CENTRE-NORD	SANMATENGA	BARSALOGHO	DARKOA	KONDIBITO (DARKOA)	Oui	2	2	2	2

Région	Province	Commune	Village	Ref. Site	Fonctionnel	Num total d'ouvrages	Num d' Ouvrages Fonctionnels	Num. total de tubes	Num de tubes fonctionnels
CENTRE-NORD	SANMATENGA	BOUSSOUMA	LOUDA	LOUDA	Oui	2	2	3	3
CENTRE-OUEST	BOULKIEMDE	THYOU	THYOU	THYOU	Oui	2	2	4	4
CENTRE-OUEST	SISSILI	LEO	LEO	LEO	Oui	2	2	3	3
CENTRE-OUEST	SISSILI	TO	TO	TO	Oui	2	2	2	2
CENTRE-SUD	NAHOURI	PO	PO	PO	Oui	2	2	2	2
CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	BINDE	BINDE	Oui	1	1	1	1
CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	KAZANGA	KAZANGA	Oui	1	1	1	1
CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	OUDA	OUDA	Oui	2	2	3	3
EST	GNAGNA	BOGANDE	NAGARE	NAGARE	Oui	2	2	2	2
EST	GOURMA	FADA N'GOURMA	FADA N'GOURMA-SECTEUR 3	FADA N'GOURMA	Non	1	0	1	0
EST	GOURMA	MATIACOALI	PIEGA	PIEGA	Oui	2	2	2	2
EST	GOURMA	YAMBA	KOADIFAGOU	KOADIFAGOU	Non	2	0	2	0
EST	KOMANDJARI	GAYERI	GAYERI	GAYERI	Oui	2	2	2	2
EST	KOMPIENGA	PAMA	KOALOU	KOALOU	Oui	1	1	1	1
EST	TAPOA	DIAPAGA	DIAPAGA	DIAPAGA	Oui	2	2	2	2
EST	TAPOA	KANTCHARI	KANTCHARI	KANTCHARI	Oui	2	2	2	2
EST	TAPOA	TANSARGA	TCHOANTCHOANGA	KIONKIANGA	Oui	1	1	1	1
HAUTS-BASSINS	KENEDOUGOU	N'DOROLA	DINGASSO II	DINGASSO	Oui	1	1	2	2
NORD	PASSORE	ARBOLE	TIBOU	TIBOU	Oui	3	3	3	3
NORD	YATENGA	NAMISSIGUIMA	TOUGOU	TOUGOU	Oui	3	3	5	5
NORD	YATENGA	SEGUENEGA	SEGUENEGA	SEGUENEGA	Oui	2	2	2	2
NORD	YATENGA	ZOGORE	NANGO FOULCE	NANGO FOULCE	Oui	2	2	5	5
PLATEAU CENTRAL	GANZOURGOU	ZAM	MOGTEDO	MOGTEDO	Oui	2	2	2	2
PLATEAU CENTRAL	KOURWEOGO	BOUSSE	BOUSSE	BOUSSE	Oui	2	2	4	4
PLATEAU	OUBRITENGA	ABSOUYA	BARGO	BARGO	Oui	2	2	2	2

Région	Province	Commune	Village	Ref. Site	Fonctionnel	Num total d'ouvrages	Num d' Ouvrages Fonctionnels	Num. total de tubes	Num de tubes fonctionnels
CENTRAL									
SAHEL	OUDALAN	DEOU	TIN-ARKACHEN	TIN-ARKACHEN	Oui	2	2	2	2
SAHEL	OUDALAN	GOROM-GOROM	GOROM-GOROM	GOROM-GOROM	Non	1	0	1	0
SAHEL	OUDALAN	TIN-AKOFF	TIN-AKOFF	TIN-AKOFF	Oui	2	2	2	2
SAHEL	SENO	BANI	SAMPELGA	SAMPELGA	Oui	2	2	2	2
SAHEL	SENO	DORI	KATCHARI	KATCHARI	Oui	1	1	2	1
SAHEL	SOUM	ARBINDA	ARBINDA	ARBINDA	Oui	1	1	1	1
SAHEL	SOUM	POBE-MENGAO	POBE-MENGAO	POBE-MENGAO	Oui	2	2	2	2
SAHEL	YAGHA	SEBBA	SEBBA	SEBBA	Oui	2	2	2	2

Q.2. Liste et caractéristiques des piézomètres du RPN

Aquifère	Région	Province	Commune	Réf. Sites	Réf. Ouvrage	Fonctionnel	Num. Total de tubes	Num de tubes fonctionnels
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	KOUKA	KOUKA	MHN_KOU	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	SANABA	GOMBIO	MHN_GOM	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	SOLENZO	KOSSOBA	MHN_KOS	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	TANSILA	TANSILA	MHN_TAN	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	TANSILA	TOUNGO	MHN_TOUN	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	KOSSI	NOUNA	NOUNA	MHN_NOU	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	MOUHOUN	BONDOKUY	BONDOKUY	MHN_BON	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	BOUCLE DU MOUHOUN	NAYALA	GASSAN	GASSAN	MHN_GAS	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	CASCADES	COMOE	BANFORA	NAFONA	COM_NAF_F1	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	CASCADES	COMOE	BANFORA	NAFONA	COM_NAF_F2	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	EST	KOMPIENGA	PAMA	KOALOU	NAK_KOA	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	EST	TAPOA	TANSARGA	KIONKIANGA	NAK_KION	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	HAUTS-BASSINS	KENEDOUGOU	N'DOROLA	DINGASSO	NIG_DIN_F1_F2	Oui	2	2
SEDIMENTAIRE	SAHEL	OUDALAN	DEOU	TIN-ARKACHEN	NIG_TAR_SE4	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	SAHEL	OUDALAN	DEOU	TIN-ARKACHEN	NIG_TAR_SE5	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	SAHEL	OUDALAN	TIN-AKOFF	TIN-AKOFF	NIG_TIA_SE3	Oui	1	1
SEDIMENTAIRE	SAHEL	OUDALAN	TIN-AKOFF	TIN-AKOFF	NIG_TIA_SE4	Oui	1	1
SOCLE	BOUCLE DU MOUHOUN	BALE	BOROMO	BOROMO	MHN_BOR	Oui	1	1
SOCLE	CASCADES	COMOE	NIANGOLOKO	NIANGOLOKO	COM_NIA_F1	Oui	1	1
SOCLE	CASCADES	COMOE	NIANGOLOKO	NIANGOLOKO	COM_NIA_F2	Oui	1	1
SOCLE	CASCADES	COMOE	SIDERADOUGOU	SIDERADOUGOU	COM_SID_F1	Oui	1	1
SOCLE	CASCADES	COMOE	SIDERADOUGOU	SIDERADOUGOU	COM_SID_F2	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE	KADIOGO	KOMSILGA	SILMISSIN	NAK_SILM_F1	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE	KADIOGO	KOMSILGA	SILMISSIN	NAK_SILM_F2	Oui	1	1

Aquifère	Région	Province	Commune	Réf. Sites	Réf. Ouvrage	Fonctionnel	Num. Total de tubes	Num de tubes fonctionnels
SOCLE	CENTRE	KADIOGO	KOMSILGA	SILMISSIN	NAK_SILM_F3	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE	KADIOGO	OUAGADOUGOU	BASSEKO	NAK_BAS_F1	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE	KADIOGO	OUAGADOUGOU	BASSEKO	NAK_BAS_F2	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE	KADIOGO	OUAGADOUGOU	OUAGADOUGOU	NAK_OUGA	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-EST	BOULGOU	BITTOU	BITTOU	NAK_BIT_SE2	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-EST	BOULGOU	BITTOU	BITTOU	NAK_BIT_SE3	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-EST	BOULGOU	TENKODOGO	CELLA	NAK_CEL_SE1	Oui	2	2
SOCLE	CENTRE-EST	BOULGOU	TENKODOGO	CELLA	NAK_CEL_SE3	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-EST	KOULPELOGO	YONDE	BOUSSOUGOU	NAK_BOUS_SE3	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-EST	KOULPELOGO	YONDE	BOUSSOUGOU	NAK_BOUS_SE6	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-NORD	BAM	KONGOUSSI	KONGOUSSI	NAK_KONG_SE1P	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-NORD	BAM	KONGOUSSI	KONGOUSSI	NAK_KONG_SE3B	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-NORD	NAMENTENGA	TOUGOURI	TAFOGO	NIG_TAF_SE2	Oui	2	2
SOCLE	CENTRE-NORD	NAMENTENGA	TOUGOURI	TAFOGO	NIG_TAF_SE6	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-NORD	SANMATENGA	BARSALOGHO	KONDIBITO (DARKOA)	NIG_KOND_F1	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-NORD	SANMATENGA	BARSALOGHO	KONDIBITO (DARKOA)	NIG_KOND_F2	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-NORD	SANMATENGA	BOUSSOUMA	LOUDA	NAK_LOU_SE1	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-NORD	SANMATENGA	BOUSSOUMA	LOUDA	NAK_LOU_SE5	Oui	2	2
SOCLE	CENTRE-OUEST	BOULKIEMDE	THYOU	THYOU	NAK_THY_SE2	Oui	2	2
SOCLE	CENTRE-OUEST	BOULKIEMDE	THYOU	THYOU	NAK_THY_SE6	Oui	2	2
SOCLE	CENTRE-OUEST	SISSILI	LEO	LEO	NAK_LEO_SE1	Oui	2	2
SOCLE	CENTRE-OUEST	SISSILI	LEO	LEO	NAK_LEO_SE6	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-OUEST	SISSILI	TO	TO	NAK_TO_SE3	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-OUEST	SISSILI	TO	TO	NAK_TO_SE5	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-SUD	NAHOURI	PO	PO	NAK_PO_SE3	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-SUD	NAHOURI	PO	PO	NAK_PO_SE4	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	BINDE	NAK_BIND	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	KAZANGA	NAK_KAZ_F2	Oui	1	1
SOCLE	CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	OUDA	NAK_OUDA_F1_1_F2	Oui	2	2
SOCLE	CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	OUDA	NAK_OUDA_F1_2	Oui	1	1
SOCLE	EST	GNAGNA	BOGANDE	NAGARE	NIG_NAG_SE3P	Oui	1	1
SOCLE	EST	GNAGNA	BOGANDE	NAGARE	NIG_NAG_SE5	Oui	1	1

Aquifère	Région	Province	Commune	Réf. Sites	Réf. Ouvrage	Fonctionnel	Num. Total de tubes	Num de tubes fonctionnels
SOCLE	EST	GOURMA	FADA N'GOURMA	FADA N'GOURMA	NIG_FADA_3	Non	1	0
SOCLE	EST	GOURMA	MATIACOALI	PIEGA	NAK_PIE_SE2	Oui	1	1
SOCLE	EST	GOURMA	MATIACOALI	PIEGA	NAK_PIE_SE5	Oui	1	1
SOCLE	EST	GOURMA	YAMBA	KOADIFAGOU	NIG_KOA_1	Non	1	0
SOCLE	EST	GOURMA	YAMBA	KOADIFAGOU	NIG_KOA_2	Non	1	0
SOCLE	EST	KOMANDJARI	GAYERI	GAYERI	NIG_GAY_SE5	Oui	1	1
SOCLE	EST	KOMANDJARI	GAYERI	GAYERI	NIG_GAY_SE6	Oui	1	1
SOCLE	EST	TAPOA	DIAPAGA	DIAPAGA	NIG_DIA_F1	Oui	1	1
SOCLE	EST	TAPOA	DIAPAGA	DIAPAGA	NIG_DIA_F2	Oui	1	1
SOCLE	EST	TAPOA	KANTCHARI	KANTCHARI	NIG_KAN_SE1P	Oui	1	1
SOCLE	EST	TAPOA	KANTCHARI	KANTCHARI	NIG_KAN_SE3B	Oui	1	1
SOCLE	NORD	PASSORE	ARBOLE	TIBOU	NAK_TIB_F1	Oui	1	1
SOCLE	NORD	PASSORE	ARBOLE	TIBOU	NAK_TIB_F2	Oui	1	1
SOCLE	NORD	PASSORE	ARBOLE	TIBOU	NAK_TIB_F3	Oui	1	1
SOCLE	NORD	YATENGA	NAMISSIGUIMA	TOUGOU	NAK_TOUG_F1	Oui	1	1
SOCLE	NORD	YATENGA	NAMISSIGUIMA	TOUGOU	NAK_TOUG_F3_1_F_4_1	Oui	2	2
SOCLE	NORD	YATENGA	NAMISSIGUIMA	TOUGOU	NAK_TOUG_F3_2_F_4_2	Oui	2	2
SOCLE	NORD	YATENGA	SEGUENEGA	SEGUENEGA	NAK_SEG_SE2	Oui	1	1
SOCLE	NORD	YATENGA	SEGUENEGA	SEGUENEGA	NAK_SEG_SE6	Oui	1	1
SOCLE	NORD	YATENGA	ZOGORE	NANGO FOULCE	MHN_NAN_F7	Oui	2	2
SOCLE	NORD	YATENGA	ZOGORE	NANGO FOULCE	MHN_NAN_F8	Oui	3	3
SOCLE	PLATEAU CENTRAL	GANZOURGOU	ZAM	MOGTEDO	NAK_MOGT_SE3	Oui	1	1
SOCLE	PLATEAU CENTRAL	GANZOURGOU	ZAM	MOGTEDO	NAK_MOGT_SE5B	Oui	1	1
SOCLE	PLATEAU CENTRAL	KOURWEOGO	BOUSSE	BOUSSE	NAK_BOUS_SE1	Oui	2	2
SOCLE	PLATEAU CENTRAL	KOURWEOGO	BOUSSE	BOUSSE	NAK_BOUS_SE5	Oui	2	2
SOCLE	PLATEAU CENTRAL	OUBRITENGA	ABSOUYA	BARGO	NAK_BAR_SE1	Oui	1	1
SOCLE	PLATEAU CENTRAL	OUBRITENGA	ABSOUYA	BARGO	NAK_BAR_SE6	Oui	1	1
SOCLE	SAHEL	OUDALAN	GOROM-GOROM	GOROM-GOROM	NIG_GOR	Non	1	0

Aquifère	Région	Province	Commune	Réf. Sites	Réf. Ouvrage	Fonctionnel	Num. Total de tubes	Num de tubes fonctionnels
SOCLE	SAHEL	SENO	BANI	SAMPELGA	NIG_SAM_SE4B	Oui	1	1
SOCLE	SAHEL	SENO	BANI	SAMPELGA	NIG_SAM_SE9P	Oui	1	1
SOCLE	SAHEL	SENO	DORI	KATCHARI	NIG_KAT_1_2	Oui	2	1
SOCLE	SAHEL	SOUM	ARBINDA	ARBINDA	NIG_ARI_3	Oui	1	1
SOCLE	SAHEL	SOUM	POBE-MENGAO	POBE-MENGAO	NIG_POBM_SE11B	Oui	1	1
SOCLE	SAHEL	SOUM	POBE-MENGAO	POBE-MENGAO	NIG_POBM_SE15P	Oui	1	1
SOCLE	SAHEL	YAGHA	SEBBA	SEBBA	NIG_SEB_SE2	Oui	1	1
SOCLE	SAHEL	YAGHA	SEBBA	SEBBA	NIG_SEB_SE6	Oui	1	1

Q.3. Liste et caractéristiques des piézomètres du RPS de l'ONEA

Zone de compétence	Centre opérationnel	Type de centre	Région	Réf. Ouvrage	Date de réalisation	Prof.Tot (m)	Prof. Equipée (m)	Ep.Altération (m)	Niv.Statique (m)	Débit (m3/h)	Localisation
Dir.Reg. de Bobo-Dioulasso	GAOUA	Souterraine		SE1	1999-06-25	49.5	49.5		3.0	15.84	Non localisé
Dir.Reg. de Bobo-Dioulasso	GAOUA	Souterraine	SUD-OUEST	SE3	2005-06-24	92.25	90.0		15.25	6.0	Localisé
Dir.Reg. de Bobo-Dioulasso	NIANGOLOKO	Souterraine	CASCADES	NI9709	1997-05-07	58.33	58.33			1.9	Localisé
Dir.Reg. de Bobo-Dioulasso	NIANGOLOKO	Souterraine	CASCADES	NI9709	1997-05-07	58.33	58.33		6.5	1.9	Localisé
Dir.Reg. de Bobo-Dioulasso	NIANGOLOKO	Souterraine	CASCADES	SE7	2004-12-21	61.3	58.4	21.2	8.33	2.08	Localisé
Dir.Reg. de Bobo-Dioulasso	ORODARA	Souterraine	HAUTS-BASSINS	SE1	2004-12-07	73.43	73.43		25.35	18.0	Localisé
Dir.Reg. de Bobo-Dioulasso	SINDOU	Souterraine	CASCADES	NI9703	1997-04-12	55.0	55.0		2.8	2.44	Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte		F11	2002-07-03	80.6	76.0		24.74	3.77	Non localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	PY9418							Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP104		73.05	69.75		7.0		Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP106							Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP108		73.1	71.5		6.96	2.1	Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP113		72.8	70.74		12.34	0.5	Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP119							Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP121		72.8	72.8		5.63	4.5	Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP88		67.26	67.26		25.15	0.6	Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP90							Localisé

Zone de compétence	Centre opérationnel	Type de centre	Région	Réf. Ouvrage	Date de réalisation	Prof.Tot (m)	Prof. Equipée (m)	Ep.Altération (m)	Niv.Statique (m)	Débit (m3/h)	Localisation
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP94		73.05	73.05		9.67	1.2	Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP96		73.0	73.0		8.15	0.5	Localisé
Dir.Reg. de Ouagadougou	OUAGADOUGOU	Mixte	CENTRE	QP98		70.0	69.15		11.48	2.8	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	BOGANDE	Souterraine	EST	FVII (F1)	2001-01-09	68.45	68.45		12.72	3.83	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	BOGANDE	Souterraine	EST	SE1	2000-01-28	86.2	80.1		14.4	7.2	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	DORI	Mixte	SAHEL	PZF14	2014-01-16	26.0		26.25			Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	DORI	Mixte	SAHEL	PZF16							Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	DORI	Mixte	SAHEL	PzPM4							Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	DORI	Mixte	SAHEL	PzPM5							Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	DORI	Mixte	SAHEL	PzPM6B							Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	DORI	Mixte	SAHEL	PzPM7E							Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	FADA	Mixte	EST	1							Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	FADA	Mixte	EST	2	1999-11-07	85.13	85.13		2.0	1.03	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	FADA	Mixte	EST	3	1999-06-04	67.43	67.43		3.75	0.9	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GARANGO	Souterraine	CENTRE-EST	GR0101	2016-04-20	61.0		11.85	5.0	15.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine	SAHEL	FV (F1)	2000-12-18	65.6	64.95		19.62	3.79	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine	SAHEL	G09601	1996-06-05	54.59	54.59		16.0	1.6	Localisé

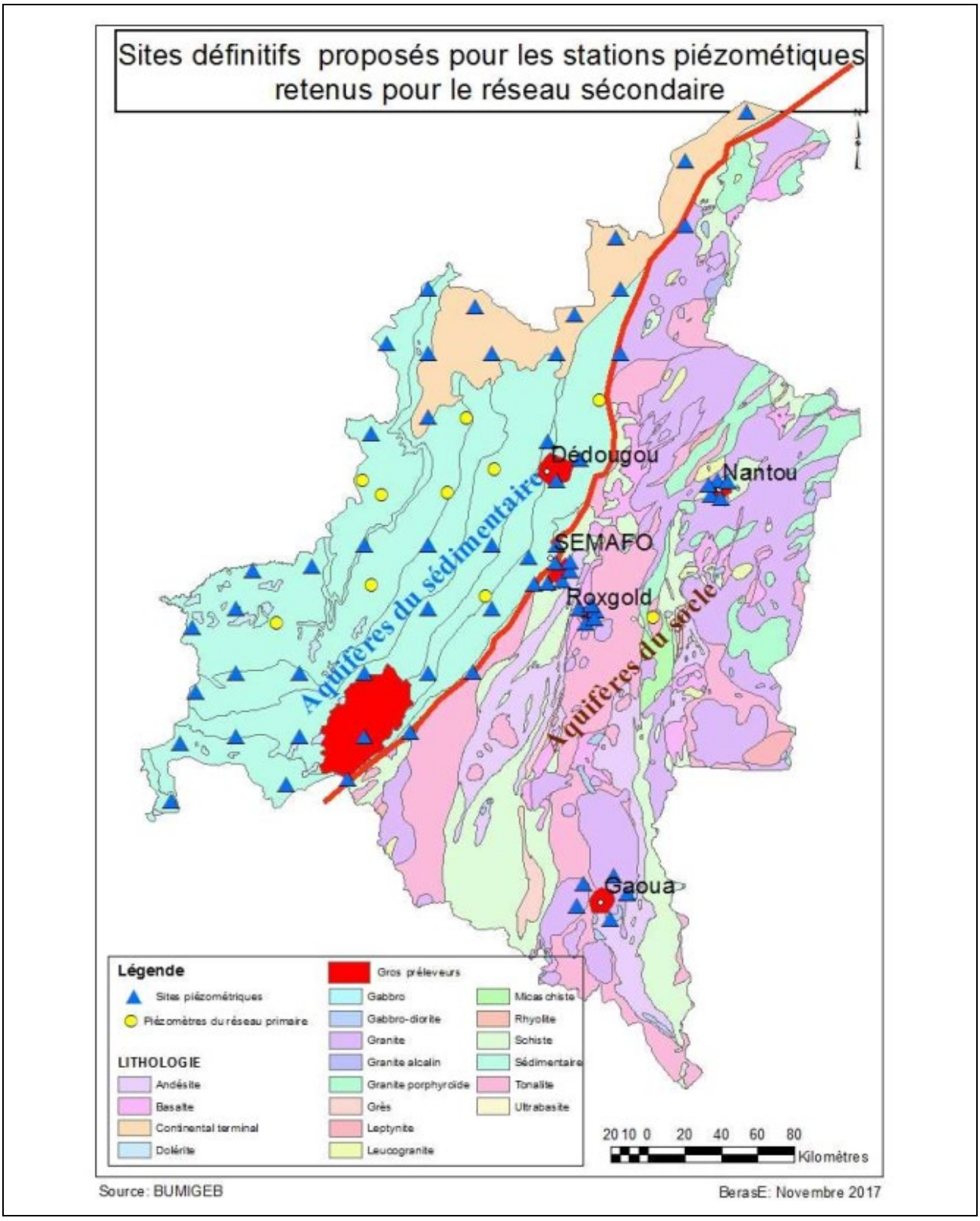
Zone de compétence	Centre opérationnel	Type de centre	Région	Réf. Ouvrage	Date de réalisation	Prof.Tot (m)	Prof. Equipée (m)	Ep.Altération (m)	Niv.Statique (m)	Débit (m3/h)	Localisation
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine	SAHEL	GO0103	2001-10-27	79.67	79.67	14.16	30.7	0.64	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine	SAHEL	GO0106	2001-11-17	67.6	67.6	12.0	23.25	1.7	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine	SAHEL	GO9604	1996-06-12	60.69	60.69		16.0	2.51	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine	SAHEL	GO9609	1996-06-17	75.85	74.85		6.25	3.17	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine	SAHEL	PzF7A	1985-12-20	61.0		13.0	20.0	15.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	GOROM-GOROM	Souterraine		SE8	2000-01-25	79.8	79.8			4.4	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KAYA	Souterraine	CENTRE-NORD	KY9605	1996-07-05	60.92	60.92		9.0	5.5	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KAYA	Souterraine		KY9613	1996-10-26	78.86	77.0		22.9	6.8	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KAYA	Souterraine	CENTRE-NORD	KY9614	1996-10-27	84.86	84.86		23.0	2.6	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KAYA	Souterraine	CENTRE-NORD	KY9617	1996-11-03	84.86	84.86		21.0	2.4	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KAYA	Souterraine	CENTRE-NORD	SE11	2004-11-20	69.37	69.37			1.5	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KONGOUSSI	Souterraine		KO9701	1997-05-28	83.42	83.42			6.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KONGOUSSI	Souterraine		KO9703	1997-07-03	84.45	84.45			6.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	KOUPELA	Mixte	CENTRE-EST	SE3	2004-11-12	81.36	80.3			2.2	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	TENKODOGO	Souterraine	CENTRE-EST	SE2	2004-11-11	90.81	89.77			3.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	TENKODOGO	Souterraine	CENTRE-EST	TE0207	2002-06-06	73.7	73.7		2.03	4.5	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	TENKODOGO	Souterraine	CENTRE-EST	TE0209	2002-06-26	73.7	73.7			1.8	Localisé

Zone de compétence	Centre opérationnel	Type de centre	Région	Réf. Ouvrage	Date de réalisation	Prof.Tot (m)	Prof. Equipée (m)	Ep.Altération (m)	Niv.Statique (m)	Débit (m3/h)	Localisation
Dir.Reg. du Nord-Est	TENKODOGO	Souterraine			2007-02-01					5.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Est	ZABRE	Souterraine	CENTRE-EST	ZA0203		61.56	61.56			4.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	BOROMO	Souterraine	BOUCLE DU MOUHOUN	FXII (F3)	2001-02-05	80.7	80.61		5.6	3.27	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	DEDOUGOU	Souterraine	BOUCLE DU MOUHOUN	SE7	2005-06-28					7.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	DJIBO	Souterraine	SAHEL	DJ0102	2001-11-28	61.7	61.7	10.74	20.45	2.1	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	DJIBO	Souterraine	SAHEL	DJ0104	2001-12-03	62.0	61.7	13.63	4.0	7.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	DJIBO	Souterraine	SAHEL	FIV (F2)	2004-12-30	62.0		18.9	5.0	8.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	DJIBO	Souterraine	SAHEL	SE8	2004-12-30	69.87	69.87	15.95	21.0	1.16	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine	NORD	GY0204	2002-02-21	91.7	91.7		24.9	1.3	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine	NORD	GY9608	1996-12-01	81.86	61.86		8.2	4.5	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine	BOUCLE DU MOUHOUN	GY9612	1996-12-22	75.0	75.0		9.2	3.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine	NORD	GY9717	1997-01-28	78.6	72.6		7.0	3.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine	NORD	YA9702	1997-02-23	81.96	81.96		17.5	3.6	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine	NORD	YA9704	1997-02-28	74.96	71.5		11.4	3.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine	NORD	YA9706	1997-03-13	60.96	60.96		14.7	3.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	GOURCY	Souterraine									Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	KOMBISSIRI	Souterraine	CENTRE-SUD	KB0205	2002-04-20	61.7	61.7	21.8	7.81	7.2	Localisé

Zone de compétence	Centre opérationnel	Type de centre	Région	Réf. Ouvrage	Date de réalisation	Prof.Tot (m)	Prof. Equipée (m)	Ep.Altération (m)	Niv.Statique (m)	Débit (m3/h)	Localisation
Dir.Reg. du Nord-Ouest	LEO	Souterraine	CENTRE-OUEST	LE0202	2002-11-30	55.3	55.3	36.0	10.0	1.88	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	LEO	Souterraine	CENTRE-OUEST	LE0301	2003-01-15	61.45	61.45		1.4	4.5	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	MANGA	Souterraine	CENTRE-SUD	FXVI (F2)	2001-03-10	74.25	73.95		15.3	5.4	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	MANGA	Souterraine	CENTRE-SUD	MA0204	2002-07-17	61.6	61.6		10.28	0.73	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	MANGA	Souterraine	CENTRE-SUD	MA0206	2002-07-23	70.95	70.95		5.14	5.14	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	NOUNA	Souterraine	BOUCLE DU MOUHOUN	SE2		120.0	108.98	45.0		6.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	OUAHIGOUYA	Mixte	NORD	GY9607	1996-11-28	87.86	84.86		8.0	3.0	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	OUAHIGOUYA	Mixte		Oa9601	1996-11-14	21.96	21.96		3.36	0.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	OUAHIGOUYA	Mixte		Oa9602	1996-11-14	21.86	21.86		2.57	0.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	OUAHIGOUYA	Mixte		Oa9703	1997-02-14	20.88	20.88		3.7	0.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	OUAHIGOUYA	Mixte		Oa9704	1997-02-15	21.96	21.96		3.18	0.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	OUAHIGOUYA	Mixte		Oa9705	1997-02-19	41.96	41.96		3.18	0.0	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	OUAHIGOUYA	Mixte	NORD	OH0201	2002-02-27	108.2	107.0	27.4	4.56	6.1	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	PO	Souterraine	CENTRE-SUD	PO0203	2002-04-29	79.7	79.7		7.95	1.8	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	PO	Souterraine	CENTRE-SUD	SE3	2004-11-03	55.1	55.1		13.27	2.4	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	PO	Souterraine		SE8	2004-04-11	104.0	89.4		19.5	3.3	Non localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	SABOU	Souterraine		SE2	1999-06-25	86.1	86.1		17.0	1.98	Non localisé

Zone de compétence	Centre opérationnel	Type de centre	Région	Réf. Ouvrage	Date de réalisation	Prof.Tot (m)	Prof. Equipée (m)	Ep.Altération (m)	Niv.Statique (m)	Débit (m3/h)	Localisation
Dir.Reg. du Nord-Ouest	TENADO	Souterraine	CENTRE-OUEST	SE2		60.4	60.4			1.3	Localisé
Dir.Reg. du Nord-Ouest	YAKO	Souterraine	NORD	YA9708	1997-05-19	65.0	65.0		14.3	3.6	Localisé

Q.4. Proposition de sites piézométriques pour le RPS-AEM



Cette carte est issue de l'« Etude 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 » menée par BERASE en 2017.

Q.5. Liste et caractéristiques des piézomètres du réseau de l'AEM

Région	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Fonctionnel	Source	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Débit (m^3/h)
HAUTS-BASSINS	BAMA	DARSALAMY	Pz12	21/01/1993	Oui	ERES	331.66	58.0	30.0
HAUTS-BASSINS	BAMA	KOKOROWE	Pz06	22/01/1993	Non	ERES	326.39	80.0	90.0
HAUTS-BASSINS	BAMA	SOHOULENI	P14		Oui	250 Forages (BOAD)	399.71	102.2	
HAUTS-BASSINS	BAMA	KIMIDOUGOU	P11		Non	250 Forages (BOAD)	319.89	20.0	
HAUTS-BASSINS	BAMA	DESSO	P12		Non	250 Forages (BOAD)	318.03	37.05	
HAUTS-BASSINS	BAMA	BANAKELEDAGA	P13		Non	250 Forages (BOAD)	399.71	25.3	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz07 bis	17/11/1992	Oui	ERES	340.1	8.0	5.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAMAGAN	Pz01	20/11/1992	Non	ERES	359.46	181.0	130.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz08	24/11/1992	Oui	ERES	346.02	76.0	200.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz09	01/12/1992	Non	ERES	346.18	66.0	120.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz10	03/12/1992	Oui	ERES	347.59	78.0	160.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DESSO	Pz11	04/12/1992	Oui	ERES	349.81	86.0	30.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KIMIDOUGOU	Pz03	10/12/1992	Non	ERES	443.28	143.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz14	24/12/1992	Oui	ERES	435.81	160.0	35.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	MOAMY	Pz02	04/01/1993	Oui	ERES	406.2	189.0	50.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz15	16/01/1993	Oui	ERES	345.92	155.5	180.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz16	17/01/1993	Oui	ERES	345.86	52.0	

Région	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Fonctionnel	Source	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Débit (m^3/h)
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz17	17/01/1993	Non	ERES	351.32	52.0	70.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	BANAKELEDAGA	Pz05	20/01/1993	Oui	ERES	344.52	60.0	70.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz19	26/01/1993	Non	ERES	373.69	100.0	20.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	MOAMY	Pz18	29/01/1993	Oui	ERES	360.3	61.0	80.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	NASSO	Pz20 bis	30/01/1993	Oui	ERES	352.15	40.0	40.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	LOGOFOUROUSSO	Pz13	16/03/1993	Non	ERES	420.93	219.0	180.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAMAGAN	F4	08/04/1993	Oui	ERES	421.52	200.4	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DARSALAMY	F3	29/04/1993	Oui	ERES	346.15	201.61	350.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAMAGAN	Pz23	08/05/1993	Oui	ERES	346.33	37.0	25.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	NASSO	Pz22	13/05/1993	Oui	ERES	350.81	67.6	15.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	PALA	Pz24	20/05/1993	Oui	ERES	438.849	96.9	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz26	05/06/1993	Oui	ERES	416.11	138.61	90.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz07	17/11/1993	Oui	ERES	339.88	37.0	110.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAMAGAN	P34 Bis	19/12/2006	Oui	PESO	443.12	36.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	P26 Bis	21/12/2006	Oui	PESO	367.6	45.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	BOBO-DIOULASSO	Pz27	18/10/2007	Oui	PESO	457.01	80.3	25.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz28	28/10/2007	Oui	PESO	428.79	115.9	

Région	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Fonctionnel	Source	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Débit (m^3/h)
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	BOBO-DIOULASSO	Pz29	09/04/2008	Oui	PESO	442.25	100.45	2.5
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	NASSO	Pnaso1		Oui	AEM	339.228		
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	NASSO	Pnaso2		Oui	AEM	337.908		
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	NASSO	Pnaso3		Oui	AEM	340.852		
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DINDERESSO	Pz04		Non	ERES		77.7	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz11bis		Non	ERES		10.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	Pz20		Non	ERES		46.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOUMI	Pz21		Non	ERES		131.0	12.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	FILANDE	P40		Non	250 Forages (BOAD)	414.23	100.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	PALA	P01		Non	250 Forages (BOAD)	488.0	83.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAKABI	P02		Non	250 Forages (BOAD)	434.61	61.4	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	TOUNOUMA	P03		Oui	250 Forages (BOAD)	393.79	25.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAKABI	P04		Non	250 Forages (BOAD)	390.23	25.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAKABI	P05		Non	250 Forages (BOAD)	382.0	20.0	0.2
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAKABI	P06		Non	250 Forages (BOAD)	388.0	61.5	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DAFINSO	P07		Non	250 Forages (BOAD)	370.33	35.1	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DAFINSO	P08		Non	250 Forages (BOAD)			

Région	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Fonctionnel	Source	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Débit (m^3/h)
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SOHOULENI	P09		Non	250 Forages (BOAD)	363.52	61.4	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KIMIDOUGOU	P10		Non	250 Forages (BOAD)	331.31	25.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	OUOLONKOTO	P15		Non	250 Forages (BOAD)	357.43	85.4	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SOHOULENI	P16		Non	250 Forages (BOAD)	439.07	77.7	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAKABI	P17		Non	250 Forages (BOAD)	425.46	7.36	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAMAGAN	P18		Non	250 Forages (BOAD)	459.0	78.26	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAKABI	P19		Non	250 Forages (BOAD)	424.07	35.1	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DINDERESSO	P20		Non	250 Forages (BOAD)	369.64	85.07	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DINDERESSO	P21		Non	250 Forages (BOAD)	344.66	100.75	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	NASSO	P22		Non	250 Forages (BOAD)	351.48	20.5	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DINDERESSO	P23		Non	250 Forages (BOAD)	389.62	30.25	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	P24		Non	250 Forages (BOAD)	345.95	25.64	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	P25		Non	250 Forages (BOAD)	358.06	43.5	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOUMI	P27		Non	250 Forages (BOAD)	421.95	85.04	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOUMI	P28		Non	250 Forages (BOAD)	359.79	30.6	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOKOROWE	P29		Non	250 Forages (BOAD)	435.81	84.17	35.0
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAMAGAN	P30		Non	250 Forages (BOAD)	443.32	45.0	

Région	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Fonctionnel	Source	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Débit (m^3/h)
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	BOBO-DIOULASSO	P31		Oui	250 Forages (BOAD)	455.763	35.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	BOBO-DIOULASSO	P32		Non	250 Forages (BOAD)	468.42	55.29	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	DINGASSO	P33		Non	250 Forages (BOAD)	448.37	85.11	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	SAMAGAN	P35		Oui	250 Forages (BOAD)	433.953	30.2	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	LOGOFOUROUSSO	P36		Non	250 Forages (BOAD)	411.62	50.3	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KODARA	P37		Non	250 Forages (BOAD)	405.61	48.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	MATOURKOU	P39		Non	250 Forages (BOAD)	400.43	25.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	FILANDE	P41		Non	250 Forages (BOAD)	479.423	67.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	KOUMI	Pkoumi		Oui	AEM	370.0	160.0	
HAUTS-BASSINS	BOBO-DIOULASSO	LOGOFOUROUSSO	Pz25		Non	ERES		85.8	22.0
HAUTS-BASSINS	PENI	MATOURKOU	P38		Oui	250 Forages (BOAD)	393.62	37.4	
HAUTS-BASSINS	PENI	DINDERESSO	P44		Non	250 Forages (BOAD)	491.32	65.0	
HAUTS-BASSINS	PENI	SOKOURANI	P43		Non	250 Forages (BOAD)			
HAUTS-BASSINS	PENI	TIEN	P42		Oui	250 Forages (BOAD)	451.171	30.0	
HAUTS-BASSINS	PENI	PENI	P45		Non	250 Forages (BOAD)			

Q.6. Liste et caractéristiques des piézomètres du programme VREO

Région	Province	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Ep.Altération (m)	Débit (m^3/h)
CASCADES	COMOE	BANFORA	SINIENA	08/VREO/213	19/04/2008	294.0	65.67	5.57	3.60
CASCADES	COMOE	MANGODARA	FARAKOROSSO	08/VREO/182	23/02/2008	291.0	75.68	13.07	3.40
CASCADES	COMOE	MANGODARA	KOFLANDE	08/VREO/202	26/03/2008	297.0	69.72	26.45	1.09
CASCADES	COMOE	MANGODARA	MADIASSO	08/VREO/229	09/05/2008	323.0	63.75	4.80	1.80
CASCADES	COMOE	MANGODARA	MANGODARA	09/VREO/319	31/01/2009	268.0	81.00	14.55	16.00
CASCADES	COMOE	MANGODARA	TOROKORO	09/VREO/316	28/01/2009	290.0	90.00	32.66	2.80
CASCADES	COMOE	NIANGOLOKO	BOKO	09/VREO/329	17/02/2009	266.0	120.74	18.19	2.60
CASCADES	COMOE	SIDERADOUGOU	DEREGOUE	08/VREO/207	22/03/2008	297.0	81.72	19.35	3.60
CASCADES	COMOE	SIDERADOUGOU	KOUERE	09/VREO/324	11/02/2009	342.0	81.76	30.00	1.64
CASCADES	COMOE	TIEFORA	TIEFORA	09/VREO/330	17/02/2009	293.0	81.80	30.66	3.20
CASCADES	LERABA	KANKALABA	DIONSO	08/VREO/169	11/02/2008	520.0	72.75	14.70	11.00
CASCADES	LERABA	KANKALABA	KANKALABA	08/VREO/244	20/05/2008	540.0	100.10	31.50	6.05
CASCADES	LERABA	NIANKORODOUGOU	FOURKOURA	08/VREO/222	29/04/2008	329.0	123.80	47.55	0.72
CASCADES	LERABA	NIANKORODOUGOU	NIANKORODOUGOU	09/VREO/306	18/01/2009	320.0	110.00	30.49	3.30
CASCADES	LERABA	NIANKORODOUGOU	ZEGNEDOUGOU	09/VREO/305	17/01/2009	312.0	110.00	36.39	2.20
HAUTS-BASSINS	HOUET	BAMA	BADARA	09/VREO/342	28/02/2009	307.0	90.75	18.20	10.08
HAUTS-BASSINS	HOUET	BOBO-DIOULASSO	DINDERESSO	09/VREO/378	27/05/2009	337.0	108.70	2.55	
HAUTS-BASSINS	HOUET	BOBO-DIOULASSO	KOTEDOUGOU	08/VREO/249	25/05/2008	364.0	75.90	22.95	2.70
HAUTS-BASSINS	HOUET	BOBO-DIOULASSO	KOUMI	09/VREO/381	27/05/2009	371.0	60.18	32.50	16.80
HAUTS-BASSINS	HOUET	BOBO-DIOULASSO	KOUMI	09/VREO/388	26/05/2009	371.0	153.86	27.04	
HAUTS-BASSINS	HOUET	BOBO-DIOULASSO	MOAMY	08/VREO/282	21/07/2008	404.0	120.95	14.48	10.00
HAUTS-BASSINS	HOUET	DANDE	KOGODJAN	08/VREO/246	22/05/2008	329.0	60.90	15.75	5.00

Région	Province	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Ep.Altération (m)	Débit (m^3/h)
HAUTS-BASSINS	HOUET	FO	FO	08/VREO/259	05/06/2008	393.0	136.20	12.40	38.13
HAUTS-BASSINS	HOUET	KARANGASSO-SAMBLA	TOROSSO	09/VREO/369	11/05/2009	524.0	254.80	7.06	0.60
HAUTS-BASSINS	HOUET	KARANGASSO-VIGUE	KARANGASSO-VIGUE	09/VREO/372	14/05/2009	328.0	96.75	36.00	3.36
HAUTS-BASSINS	HOUET	LENA	LENA	09/VREO/356	31/03/2009	292.0	100.00	32.32	2.40
HAUTS-BASSINS	HOUET	PADEMA	KIMINI	08/VREO/256	31/05/2008	289.0	63.38	14.76	46.31
HAUTS-BASSINS	HOUET	PADEMA	LAHIRASSO	08/VREO/289	12/06/2008	287.0	100.20	35.42	5.40
HAUTS-BASSINS	HOUET	PENI	MARABAGASSO	08/VREO/240	16/05/2008	305.0	60.90	27.35	2.40
HAUTS-BASSINS	HOUET	PENI	PENI	09/VREO/384	28/04/2009	546.0	179.98	81.80	3.00
HAUTS-BASSINS	HOUET	SATIRI	BALLA	08/VREO/270	14/06/2008	341.0	75.95	8.40	6.00
HAUTS-BASSINS	HOUET	SATIRI	SATIRI	08/VREO/275	18/06/2008	361.0	71.95	33.60	7.20
HAUTS-BASSINS	HOUET	TOUSSIANA	TOUSSIANA	09/VREO/337	23/02/2009	468.0	180.76	1.74	7.20
HAUTS-BASSINS	KENEDOUGOU	DJIGOUERA	DJIGOUERA	09/VREO/383	30/05/2009	425.0	45.81	5.45	4.00
HAUTS-BASSINS	KENEDOUGOU	KANGALA	LANFIERA	08/VREO/236	13/05/2008	564.0	67.79	20.72	8.00
HAUTS-BASSINS	KENEDOUGOU	KOURINION	KOURIGNON	09/VREO/382	29/05/2009	474.0	45.76	24.12	3.00
HAUTS-BASSINS	TUY	BEREBA	BEREBA	08/VREO/267	10/06/2008	303.0	69.95	48.35	1.80

Région	Province	Commune	Village	Code. Ouv.	Date Réalisation	Altitude (m)	Prof.Forée (m)	Ep.Altération (m)	Débit (m^3/h)
HAUTS-BASSINS	TUY	HOUNDE	DOHOUN	08/VREO/264	08/06/2008	311.0	66.95	16.55	1.00
HAUTS-BASSINS	TUY	KOUMBIA	MAKOGNADOUGOU	09/VREO/361	07/04/2009	280.0	120.75	24.40	5.00
HAUTS-BASSINS	TUY	KOUMBIA	PE	09/VREO/366	07/05/2009	336.0	75.80	23.55	3.60
SUD-OUEST	BOUGOURIBA	IOLONIORO	DIASSARA	07/VREO/116	24/11/2007	313.0	75.63	41.31	3.93
SUD-OUEST	IOBA	ORONKUA	ORONKUA	07/VREO/103	25/05/2007	310.0	72.75	44.60	4.00
SUD-OUEST	PONI	BOUROUM-BOUROUM	BOUROUM-BOUROUM	07/VREO/110	18/11/2007	312.0	61.21	27.47	6.17

Q.7. Liste et caractéristiques des ouvrages de suivi du RNSQES

Région	Province	Commune	Désignation	Type	Dans RPN	Fonctionnel	Observation	Prof.Forée (m)	Ep.Altération (m)
BOUCLE DU MOUHOUN	BALE	BOROMO	Boromo	Forage		Oui	RNSQES renforcé (2018)		
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	KOUKA	Kouka	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	19.0	
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	SANABA	Gombio	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	19.8	
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	SOLENZO	Kossoba	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	66.0	
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	TANSILA	Tansila	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	17.0	
BOUCLE DU MOUHOUN	BANWA	TANSILA	Toungo	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	15.0	
BOUCLE DU MOUHOUN	KOSSI	NOUNA	Nouna	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	16.0	
BOUCLE DU MOUHOUN	MOUHOUN	BONDOKUY	Bondokuy	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	21.0	
BOUCLE DU MOUHOUN	MOUHOUN	SAFANE	Safané	Piézomètre	Non		RNSQES renforcé (2018)		
BOUCLE DU MOUHOUN	NAYALA	GASSAN	Gassan	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	15.0	
CASCADES	COMOE	BANFORA	Nafona F1	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	53.0	38.0
CASCADES	COMOE	BANFORA	Nafona F2	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	42.0	38.0
CASCADES	COMOE	NIANGOLOKO	Niangoloko F2	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	53.0	11.0
CASCADES	COMOE	SIDERADOUGOU	Sidéradougou F1	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	33.0	20.0
CENTRE	KADIOGO	KOMSILGA	Silmissin F2	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	35.0	35.0
CENTRE	KADIOGO	OUAGADOUGOU	Basseko F2	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	54.0	11.0
CENTRE-EST	KOULPELOGO	YONDE	Bousgou	Forage			RNSQES renforcé (2018)	37.0	22.0

Région	Province	Commune	Désignation	Type	Dans RPN	Fonctionnel	Observation	Prof.Forée (m)	Ep.Altération (m)
CENTRE-EST	KOULPELOGO	YONDE	Boussougou SE3	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	49.24	11.03
CENTRE-NORD	BAM	KONGOUSSI	Kongoussi SE1P	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	40.0	12.68
CENTRE-NORD	SANMATENGA	BOUSSOUMA	Louda SE5G	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	55.4	38.38
CENTRE-OUEST	SISSILI	LEO	Léo SE6	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	42.95	17.38
CENTRE-SUD	ZOUNDWEOGO	BINDE	Ouda F2	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	55.0	10.0
EST	KOMANDJARI	GAYERI	Gayeri SE6	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	49.09	5.3
EST	KOMPIENGA	PAMA	Koalou	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	24.5	
EST	TAPOA	DIAPAGA	Diapaga F1	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	63.0	29.0
EST	TAPOA	KANTCHARI	Kantchari SE3B	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	49.14	24.8
HAUTS-BASSINS	HOUET	BAMA	Banakélédaga (Bobo-P14)	Piézomètre	Non	Oui	RNSQES renforcé (2018)		
HAUTS-BASSINS	KENEDOUGOU	N'DOROLA	Dingasso F1	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	103.0	16.0
HAUTS-BASSINS	TUY	HOUNDE	Dohoun	Forage		Oui	RNSQES renforcé (2018)		
HAUTS-BASSINS	TUY	HOUNDE	Kari	Forage		Oui	Station reclassée dans RNSQES		
NORD	PASSORE	ARBOLE	Tibou F1	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	67.0	44.0
NORD	YATENGA	KAIN	Doubaré F3	Piézomètre	Non		RNSQES renforcé (2018)		
NORD	YATENGA	NAMISSIGUIMA	Tougou F3/1	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	41.0	41.0
NORD	YATENGA	ZOGORE	Nango-Fulcé F7/2	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	60.0	16.0

Région	Province	Commune	Désignation	Type	Dans RPN	Fonctionnel	Observation	Prof.Forée (m)	Ep.Altération (m)
NORD	YATENGA	ZOGORE	Nango-Fulcé F8/1	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	24.0	24.0
PLATEAU CENTRAL	GANZOURGOU	ZAM	Mogtédo SE5B	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	49.19	13.65
SAHEL	OUDALAN	DEOU	Tin-Arkchen SE4	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	122.5	11.2
SAHEL	SENO	DORI	Katchari 1	Piézomètre	Oui	Non	RNSQES initial	56.0	7.0
SAHEL	SOUM	ARBINDA	Arbinda	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES initial	52.0	9.0
SAHEL	SOUM	POBE-MENGAO	Pobé Mengao SE11B	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	55.35	6.0
SAHEL	YAGHA	SEBBA	Sebba SE2	Piézomètre	Oui	Oui	RNSQES renforcé (2018)	79.64	6.48
SUD-OUEST	BOUGOURIBA	DIEBOUGOU	Navielgane	Forage		Oui	Station reclassée dans RNSQES		
SUD-OUEST	NOUMBIEL	BATIE	Batié	Forage			RNSQES renforcé (2018)		
SUD-OUEST	PONI	GAOUA	Gaoua F8	Forage		Oui	RNSQES renforcé (2018)	68.0	37.0

Q.8. Statistiques de suivi des piézomètres du RPN

Site	Désignation Piézomètre	Date de la première mesure	Date dernière mesure	NS. Min	NS. Max	Nombre Mesures
ARBINDA	NIG_ARI_3	14/06/1988	30/06/2022	28.24	45.79	1600
BARGO	NAK_BAR_SE1	09/06/2010	29/11/2021	6.25	26.05	1051
BARGO	NAK_BAR_SE6	09/06/2010	29/11/2021	2.37	20.19	1075
BASSEKO	NAK_BAS_F1	18/10/1988	17/06/2023	1.08	8.04	1582
BASSEKO	NAK_BAS_F2	15/09/1986	30/07/2022	2.34	7.33	2516
BINDE	NAK_BIND	07/01/1990	29/11/2020	24.6	32.25	966
BITTOU	NAK_BIT_SE2	17/06/2009	30/09/2022	0.68	2.78	1067
BITTOU	NAK_BIT_SE3	17/06/2009	30/09/2022	3.85	6.63	962
BONDOKUY	MHN_BON	10/12/2004	29/11/2021	15.28	17.55	995
BOROMO	MHN_BOR	17/07/2004	30/11/2021	7.08	16.18	899
BOUSSE	NAK_BOUS_SE1	09/07/2009	30/09/2022	1.9	10.7	1896
BOUSSE	NAK_BOUS_SE5	09/07/2009	30/09/2022	1.04	7.58	2070
BOUSSOUGOU	NAK_BOUS_SE3	12/01/2010	28/09/2022	3.53	8.62	594
BOUSSOUGOU	NAK_BOUS_SE6	12/01/2010	28/09/2022	3.18	8.38	600
CELLA	NAK_CEL_SE1	17/06/2009	18/10/2022	1.19	3.04	2156
CELLA	NAK_CEL_SE3	17/06/2009	18/10/2022	3.71	6.27	1087
DIAPAGA	NIG_DIA_F1	19/08/1993	30/09/2022	12.73	26.57	945
DIAPAGA	NIG_DIA_F2	19/08/1993	30/09/2022	12.54	29.71	1095
DINGASSO	NIG_DIN_F1_F2	18/08/1989	30/06/2021	0.02	4.77	2398
GASSAN	MHN_GAS	15/12/2004	30/11/2021	0.33	13.93	1115
GAYERI	NIG_GAY_SE5	10/07/2009	28/11/2022	8.28	16.58	787
GAYERI	NIG_GAY_SE6	10/07/2009	28/11/2022	0.0	1869.0	1156
GOMBIO	MHN_GOM	13/12/2004	30/11/2021	1.64	17.22	920
KANTCHARI	NIG_KAN_SE1P	09/07/2009	27/11/2022	18.75	21.47	1249
KANTCHARI	NIG_KAN_SE3B	09/07/2009	27/11/2022	18.46	21.09	1239
KATCHARI	NIG_KAT_1_2	01/12/1985	30/06/2022	18.82	36.33	3815
KAZANGA	NAK_KAZ_F2	06/09/2009	28/11/2020	0.31	7.19	586
KIONKIANGA	NAK_KION	19/11/2004	30/11/2022	1.76	11.91	1302
KOALOU	NAK_KOA	29/11/2004	27/09/2022	2.93	17.22	1310
KONDIBITO (DARKOA)	NIG_KOND_F1	26/01/2007	29/11/2021	5.72	16.21	1255
KONDIBITO (DARKOA)	NIG_KOND_F2	01/01/2007	29/11/2021	2.8	10.65	1201
KONGOUSSI	NAK_KONG_SE1P	20/06/2009	28/09/2022	11.4	15.1	1073
KONGOUSSI	NAK_KONG_SE3B	08/08/2000	28/09/2022	7.25	11.92	1109
KOSSOBA	MHN_KOS	09/12/2004	30/11/2021	3.36	8.14	1267
KOUKA	MHN_KOU	09/12/2004	29/11/2021	10.27	18.3	1047
LEO	NAK_LEO_SE1	04/09/2009	23/09/2022	13.65	16.96	1520
LEO	NAK_LEO_SE6	04/09/2009	23/09/2022	13.19	16.03	758
LOUDA	NAK_LOU_SE1	11/06/2009	28/09/2022	13.9	15.93	908

Site	Désignation Piézomètre	Date de la première mesure	Date dernière mesure	NS. Min	NS. Max	Nombre Mesures
LOUDA	NAK_LOU_SE5	11/06/2009	28/09/2022	15.62	20.16	1689
MOGTEDO	NAK_MOGT_SE3	02/09/2009	30/09/2022	30.38	31.37	1125
MOGTEDO	NAK_MOGT_SE5B	02/09/2009	30/09/2022	21.88	24.23	1154
NAFONA	COM_NAF_F1	01/12/1985	26/02/2023	1.36	11.88	1248
NAFONA	COM_NAF_F2	01/12/1985	26/02/2023	1.4	12.13	1168
NAGARE	NIG_NAG_SE3P	30/06/2009	30/06/2022	16.44	21.08	1059
NAGARE	NIG_NAG_SE5	30/06/2009	30/06/2022	14.56	19.79	933
NANGO FOULCE	MHN_NAN_F7	05/10/1988	23/09/2022	2.4	19.75	1900
NANGO FOULCE	MHN_NAN_F8	05/10/1988	25/09/2022	3.03	13.62	2890
NIANGOLOKO	COM_NIA_F1	01/12/1985	29/09/2022	9.03	17.97	797
NIANGOLOKO	COM_NIA_F2	21/10/1986	29/09/2022	8.62	17.06	1409
NOUNA	MHN_NOU	21/02/2005	30/11/2021	0.66	7.76	1298
OUAGADOUGOU	NAK_OUGA	06/04/1978	07/07/2019	6.03	10.46	749
OUDA	NAK_OUDA_F1_1_F2	23/11/1988	28/05/2017	0.62	12.65	1541
OUDA	NAK_OUDA_F1_2	23/11/1988	28/05/2017	0.48	12.86	671
PIEGA	NAK_PIE_SE2	09/07/2009	23/05/2021	6.58	11.56	965
PIEGA	NAK_PIE_SE5	09/07/2009	23/05/2021	18.23	22.99	747
PO	NAK_PO_SE3	05/09/2009	27/09/2022	14.29	21.96	721
PO	NAK_PO_SE4	11/07/2009	27/09/2022	21.97	25.99	726
POBE-MENGAO	NIG_POBM_SE11B	04/07/2009	28/06/2021	18.78	32.71	765
POBE-MENGAO	NIG_POBM_SE15P	04/07/2009	28/06/2021	20.11	34.15	747
SAMPELGA	NIG_SAM_SE4B	19/06/2009	28/06/2022	12.17	18.42	1091
SAMPELGA	NIG_SAM_SE9P	19/06/2009	28/06/2022	10.35	19.93	1060
SEBBA	NIG_SEB_SE2	30/10/2009	28/06/2022	21.14	29.59	1226
SEBBA	NIG_SEB_SE6	30/10/2009	28/06/2022	26.13	32.39	1208
SEGUENEGA	NAK_SEG_SE2	19/09/2009	30/09/2022	26.59	30.48	949
SEGUENEGA	NAK_SEG_SE6	15/09/2009	30/09/2022	23.32	25.53	955
SIDERADOUGOU	COM_SID_F1	01/12/1985	29/09/2022	1.07	7.56	1482
SIDERADOUGOU	COM_SID_F2	01/12/1985	29/09/2022	1.26	7.87	1192
SILMISSIN	NAK_SILM_F1	15/09/1986	10/06/2023	16.4	26.13	2185
SILMISSIN	NAK_SILM_F2	19/03/1988	27/11/2021	16.98	26.13	986
SILMISSIN	NAK_SILM_F3	19/03/1988	27/11/2021	17.21	26.37	991
TAFOGO	NIG_TAF_SE2	16/01/2010	14/07/2022	0.01	8.91	2225
TAFOGO	NIG_TAF_SE6	16/01/2010	14/07/2022	14.0	17.97	1151
TANSILA	MHN_TAN	21/02/2005	28/11/2021	6.87	15.33	1108
THYOU	NAK_THY_SE2	13/07/2009	29/09/2022	1.38	9.02	1655
THYOU	NAK_THY_SE6	13/07/2009	29/09/2022	1.6	9.0	1648
TIBOU	NAK_TIB_F1	15/09/1986	30/09/2022	5.55	19.05	3228
TIBOU	NAK_TIB_F2	19/07/1994	30/09/2022	5.84	24.27	1556
TIBOU	NAK_TIB_F3	23/03/1988	30/09/2022	12.31	24.37	1506
TIN-AKOFF	NIG_TIA_SE3	18/06/2009	21/09/2020	27.98	32.0	465
TIN-AKOFF	NIG_TIA_SE4	18/06/2009	21/09/2020	27.6	29.47	443
TIN-ARKACHEN	NIG_TAR_SE4	02/03/2012	30/11/2018	29.09	38.28	352

Site	Désignation Piézomètre	Date de la première mesure	Date dernière mesure	NS. Min	NS. Max	Nombre Mesures
TIN-ARKACHEN	NIG_TAR_SE5	02/03/2012	30/11/2018	26.08	36.59	167
TO	NAK_TO_SE3	13/07/2009	30/09/2022	2.45	7.92	1169
TO	NAK_TO_SE5	13/07/2009	30/09/2022	0.4	3.74	1220
TOUGOU	NAK_TOUG_F1	03/01/2007	30/11/2021	7.94	15.22	1142
TOUGOU	NAK_TOUG_F3_1_F_4_1	03/01/1990	30/11/2021	7.12	18.0	2577
TOUGOU	NAK_TOUG_F3_2_F_4_2	05/07/1988	30/11/2021	7.19	18.13	2781
TOUNGO	MHN_TOUN	18/11/2008	29/11/2021	1.92	9.5	753

Q.9. Statistiques de suivi des stations du RNSQES

Désignation	Date de la première campagne	Date de la dernière campagne	Nombre de campagnes 2012-2022	Nombre de campagnes 2020-2022	Nombre de paramètres 2012-2022	Nombre de paramètres 2020-2022	Nombre de mesures 2012-2022	Nombre de mesures 2020-2022	Observation
Arbinda	01/07/2012	01/07/2016	3 (30%)	0 (0%)	35	0	74	0	Pas de suivi lors des 3 dernières années
Banakélédaga (Bobo-P14)	01/07/2021	01/11/2022	4 (40%)	4 (67%)	13	13	52	52	Station suivie lors des 3 dernières années
Basseko F2	01/07/2012	01/11/2022	9 (90%)	6 (100%)	30	22	153	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Batié			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Bondokuy	01/07/2021	01/11/2021	2 (20%)	2 (33%)	13	13	26	26	Station suivie lors des 3 dernières années
Boromo	01/07/2020	01/11/2022	6 (60%)	6 (100%)	22	22	96	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Bousgou			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Boussougou SE3			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Diapaga F1	01/07/2012	01/07/2017	4 (40%)	0 (0%)	35	0	86	0	Pas de suivi lors des 3 dernières années
Dingasso F1	01/07/2012	01/11/2021	8 (80%)	4 (67%)	35	22	161	70	Station suivie lors des 3 dernières années
Dohoun	01/07/2020	01/07/2022	5 (50%)	5 (83%)	22	22	83	83	Station suivie lors des 3 dernières années
Doubaré F3			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Gaoua F8	01/07/2020	01/11/2022	6 (60%)	6 (100%)	22	22	96	96	Station suivie lors des 3 dernières années

Désignation	Date de la première campagne	Date de la dernière campagne	Nombre de campagnes 2012-2022	Nombre de campagnes 2020-2022	Nombre de paramètres 2012-2022	Nombre de paramètres 2020-2022	Nombre de mesures 2012-2022	Nombre de mesures 2020-2022	Observation
Gassan	01/11/2021	01/11/2021	1 (10%)	1 (17%)	13	13	13	13	Station suivie lors des 3 dernières années
Gayeri SE6			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Gombio	01/07/2021	01/07/2021	1 (10%)	1 (17%)	13	13	13	13	Station suivie lors des 3 dernières années
Kantchari SE3B	01/07/2016	01/07/2016	1 (10%)	0 (0%)	19	0	19	0	Pas de suivi lors des 3 dernières années
Kari	01/07/2020	01/11/2022	6 (60%)	6 (100%)	22	22	96	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Katchari 1			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Koalou			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Kongoussi SE1P			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Kossoba			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Kouka			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Léo SE6	01/07/2020	01/11/2022	6 (60%)	6 (100%)	22	22	96	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Louda SE5G	01/07/2020	01/11/2022	6 (60%)	6 (100%)	22	22	96	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Mogtédo SE5B	01/07/2020	01/11/2022	5 (50%)	5 (83%)	22	22	83	83	Station suivie lors des 3 dernières années
Nafona F1	01/07/2012	01/11/2022	8 (80%)	6 (100%)	34	22	151	96	Station suivie lors des 3 dernières années

Désignation	Date de la première campagne	Date de la dernière campagne	Nombre de campagnes 2012-2022	Nombre de campagnes 2020-2022	Nombre de paramètres 2012-2022	Nombre de paramètres 2020-2022	Nombre de mesures 2012-2022	Nombre de mesures 2020-2022	Observation
Nafona F2	01/07/2017	01/11/2022	7 (70%)	6 (100%)	23	22	110	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Nango-Fulcé F7/2			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Nango-Fulcé F8/1			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Navielgane	01/07/2020	01/11/2022	6 (60%)	6 (100%)	22	22	96	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Niangoloko F2	01/07/2012	01/07/2022	9 (90%)	5 (83%)	35	22	174	83	Station suivie lors des 3 dernières années
Nouna	01/07/2021	01/11/2021	2 (20%)	2 (33%)	13	13	26	26	Station suivie lors des 3 dernières années
Ouda F2	01/07/2016	01/11/2022	8 (80%)	6 (100%)	24	22	129	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Pobé Mengao SE11B			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Safané			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Sebba SE2			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Sidéradougou F1			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Silmissin F2	01/07/2016	01/11/2022	8 (80%)	6 (100%)	24	22	129	96	Station suivie lors des 3 dernières années
Tansila			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Tibou F1	01/07/2012	01/11/2022	8 (80%)	5 (83%)	30	22	138	83	Station suivie lors

Désignation	Date de la première campagne	Date de la dernière campagne	Nombre de campagnes 2012-2022	Nombre de campagnes 2020-2022	Nombre de paramètres 2012-2022	Nombre de paramètres 2020-2022	Nombre de mesures 2012-2022	Nombre de mesures 2020-2022	Observation
									des 3 dernières années
Tin-Arkchen SE4			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi
Tougou F3/1	01/07/2020	01/11/2021	4 (40%)	4 (67%)	22	22	70	70	Station suivie lors des 3 dernières années
Toungo			0 (0%)	0 (0%)					Pas de suivi

Q.10. Liste des paramètres retenus pour le suivi national de la qualité des eaux souterraines (optimisation 2018)

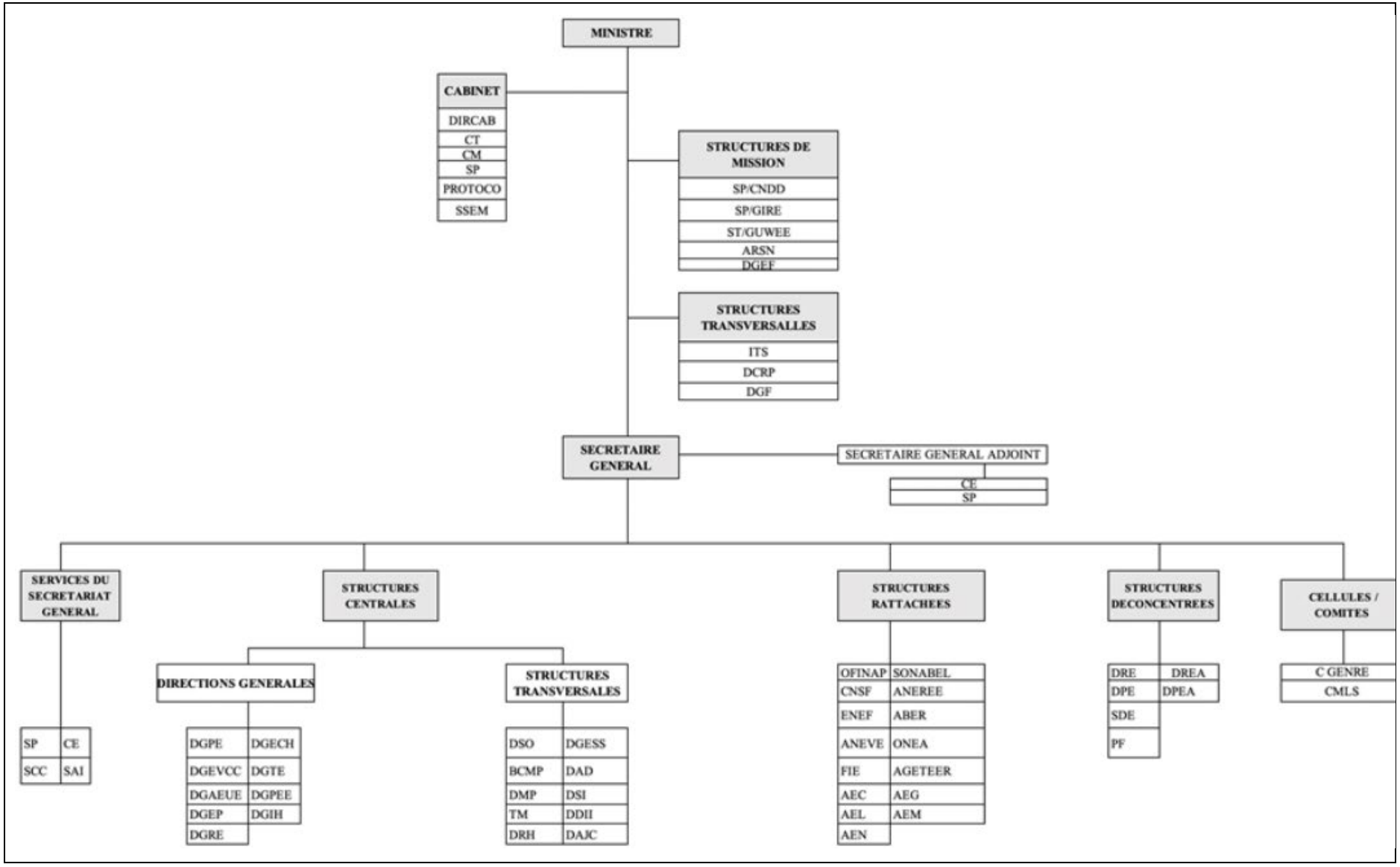
Paramètres	Capacité labo		Paramètres	Capacité labo
Paramètres in situ			Zinc	Oui
Température	Oui		Fer	Oui
Conductivité	Oui		Cobalt	Non
pH	Oui		Mercure	Oui
TAC; TA	Oui		Sélénium	Non
Turbidité	Oui		Nickel	Oui
Coloration	Non		Plomb	Oui
Odeur	Oui		Argent	Oui
Paramètres majeurs			Antimoine	Non
Calcium	Oui		Manganèse	Oui
Magnésium	Oui		Baryum	Non
TH	Oui		Tellium	Non
Potassium	Oui		Polonium	Non
Sodium	Oui		Vanadium	Non
Chlorures	Oui		Molybdène	Non
Nitrates	Oui		Uranium	Non
Nitrites	Oui		Thallium	Non
Orthophosphates	Oui		Titane	Non
Sulfates	Oui		Etain	Non
ammonium	Oui		Béryllium	Non
Fluorures	Oui		Lithium	Oui
Carbonate	Oui		***Bactériologie***	
Bicarbonate	Oui		Coliformes totaux	Oui
Borates	Non		Escherichia Coli	Oui
Iodures	Non		Streptocoques fécaux	Non
Cyanures WAD	Non		***Pesticides/Hydrocarbures***	
Cyanures libres	Non		Organochlorés	Oui
Cyanures totaux	Non		PCB	Oui
Silice	Non		Organo phosphorés	Oui
Métaux et Métalloïdes			***Isotopes***	
Aluminium	Non		Oxygène 18	Non
Arsenic	Oui		Deutérium	Non
Cadmium	Oui		Tritium	Non
Chrome	Oui		Carbone 14	Non
Cuivre	Oui			

Q.11. Liste des paramètres analytiques du laboratoire DGRE (selon état des lieux 2019 du laboratoire DGRE)

Paramètre			Suivi	Non	Observations
Analyses bactériologiques		Coliformes totaux et fécaux	X		
		Streptocoques fécaux		X	
		Salmonelles		X	
		Couleur		X	
Paramètres organoleptiques		Odeur		X	
		Goût		X	
		Conductivité	X		
Paramètres physiques		Ph	X		
		Température	X		
		Turbidité	X		
Paramètres chimiques	Anions	Cl	X		
		CO 2,	X		
		HCO 2	X		
		SO 2	X		
		NO3	X		
		NO2	X		
		PO 3	X		
		F	X		A la demande
		I		X	
		OH		X	
	Cations	Na+	X		
		K+	X		
		Ca2+,	X		
		Mg2+,	X		
		NH4+	X		
		Fer total	X		
		Fe2+	X		
		Fe3+		X	
		Mn2+	X		
		H+		X	
	Métaux lourds	Al		X	
		Pb	X		
		Cd	X		
		Cu	X		
		Cr	X		
		Co		X	
		Hg	X		
		Mo		X	
		Ni	X		A la demande
		Zn	X		
	Métalloïdes	As	X		
		Sb		X	
		Se		X	
		Sn		X	
		Te		X	

	Paramètres globaux	TA	X		
		TAC	X		
		TH	X		
		Ir	X		A la demande
		O2 dissous	X		
		CO2 libre ou agressif		X	
		SD		X	
		Sio2		X	
		SAR	X		A la demande
		Cl2 libre		X	
	Autres paramètres	DCO		X	
		TOC		X	
		DBO5		X	
		(N) total		X	
		(N) organique		X	
		(P) total		X	
		Matières organiques		X	
		Matière en suspension MES	X		
		Chlorophyllea		X	
		Les pesticides	X		En développement

Q.12. Organigramme du Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement


MINISTRE
CABINET
DIRCAB
CT
CM
SP
PROTOCO
SSEM
STRUCTURES DE MISSION
SP/CNDD
SP/GIRE
ST/GUWEE
ARSN
DGEF
STRUCTURES TRANSVERSALLES
ITS
DCRP
DGF
SECRETAIRE GENERAL
SECRETAIRE GENERAL ADJOINT
CE
SP
SERVICES DU SECRETARIAT GENERAL
SP
CE
SCC
SAI
STRUCTURES CENTRALES
DIRECTIONS GENERALES
DGPE
DGECH
DGEVCC
DGTE
DGAEUE
DGPEE
DGEP
DGIH
DGRE
STRUCTURES TRANSVERSALES
DSO
DGESS
BCMP
DAD
DMP
DSI
TM
DDII
DRH
DAJC
STRUCTURES RATTACHEES
OFINAP
SONABEL
CNSF
ANEREE
ENEF
ABER
ANEVE
ONEA
FIE
AGETEER
AEC
AEG
AEL
AEM
AEN
STRUCTURES DECONCENTREES
DRE
DREA
DPE
DPEA
SDE
PF
CELLULES / COMITES
C GENRE
CMLS

Q.13. Nettoyage des chroniques piézométriques

Le nettoyage des chroniques piézométriques a été réalisé en base. Ci-dessous, un code SQL permettant d'identifier les doublons.

```
--Identification des doublons
with cte as (
      select mpiezo_omes_id , mpiezo_hauteur , mpiezo_date_mesure,
      row_number (*) over (partition by mpiezo_omes_id , mpiezo_hauteur ,
      mpiezo_date_mesure) as doublon from
      omes_chronique.d_chronique_piezometrie dcp
      where mpiezo_provenance ='DEIE'
)
select * from cte where doublon>1

--Supresssion des doublons
with cte as (
select mpiezo_id, mpiezo_omes_id , mpiezo_hauteur , mpiezo_date_mesure,
row_number (*) over (partition by mpiezo_omes_id , mpiezo_hauteur ,
mpiezo_date_mesure) as doublon from omes_chronique.d_chronique_piezometrie dcp
where mpiezo_provenance ='DEIE'
)
delete from omes_chronique.d_chronique_piezometrie t1
using cte
where doublon>1 and mpiezo_provenance ='DEIE' and t1.mpiezo_id=cte.mpiezo_id
```

Q.14. Liste des sites proposés pour le RPN actualisé

Nom/Code	Localite	Existe	Réseau actuel	Formation hydrogéologique	Zone géol	Bassin Versant	UCDIEAU	Région
NIG_ARI	Arbinda	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	SAHEL
08/VREO/270	Balla	1	VREO	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Pz05	Banakemedaga	1	AEM	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NAK_BAR	Bargo	1	RPN	Metasediments	Socle	Nakanbé	NORD	PLATEAU-CENTRAL
NAK_BAS	Basseko	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE
Batié	Batié	0		Metasediments	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
Bekuy	Bekuy	0		Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
NAK_BIND	Binde	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-SUD
NAK_BIT	Bitou	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-EST
MHN_BON	Bondokuy	1	RPN	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
MHN_BOR	Boromo	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Boulemporo	Boulemporo	0		Continental Terminal (CT)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
07/VREO/110	Bouroum-Bouroum	1	VREO	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
NAK_BOUS	Bousse	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	NORD	PLATEAU-CENTRAL
NAK_BOUS	Boussougou	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-EST
NAK_CEL	Cella	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-EST
NIG_DIA	Diapaga	1	RPN	Metasediments	Socle	Niger	EST	EST
Diébougou	Diébougou	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
Dieri	Dieri	0		Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Comoé	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NIG_DIN	Dingasso II	1	RPN	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Niger	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
09/VREO/383	Djigouera	1	VREO	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
YATKAI9999	Doubaré	1	RNSQES 2018	Continental Terminal (CT)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	NORD
Dougoumato	Dougoumato	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	HAUTS-BASSINS
Fada NGourma	Fada NGourma	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	EST	EST
08/VREO/259	Fo	1	VREO	Formation de Fo-Bandiagara (GFB)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
MHN_GAS	Gassan	1	RPN	Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
NIG_GAY	Gayeri	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	EST	EST
MHN_GOM	Gombio	1	RPN	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Gorom-Gorom	Gorom-Gorom	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	SAHEL
kangala	Kangala	0		Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Comoé	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NIG_KAN	Kantchari	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	EST	EST
NIG_KAT	Katchari	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	SAHEL

NAK_KAZ_F2	Kazanga	1	RPN	Metasediments	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-SUD
NAK_KION	Kionkianga	1	RPN	Groupe de la Pendjari	Sedim_E	Nakanbé	EST	EST
NAK_KOA	Koalou	1	RPN	Groupe de la Pendjari	Sedim_E	Nakanbé	EST	EST
Koin	Koin	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Pz18	Kokorowe	1	AEM	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Pz15	Kokorowe	1	AEM	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NIK_KOND	Kondibito (Darkoa)	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	NORD	CENTRE-NORD
NAK_KONG	Kongoussi	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	NORD	CENTRE-NORD
MHN_KOS	Kossoba	1	RPN	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Koudougou	Koudougou	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	Mouhoun	CENTRE-OUEST
Kouéré	Kouéré	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	CASCADES	CASCADES
MHN_KOU	Kouka	1	RPN	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	BOUCLE DU MOUHOUN
Koumande	Koumande	0		Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
09/VREO/382	Kourinion	1	VREO	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
08/VREO/289	Lahirasso	1	VREO	Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	HAUTS-BASSINS
NAK_LEO	Leo	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-OUEST
Logobou	Logobou	0		Groupe de la Pendjari	Sedim_E	Nakanbé	EST	EST
NAK_LOU	Louda	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	NORD	CENTRE-NORD
Louta	Louta	0		Continental Terminal (CT)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
09/VREO/319	Mangodara	1	VREO	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Comoé	CASCADES	CASCADES
NAK_MOGT	Mogtedo	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	PLATEAU-CENTRAL
Morolaba	Morolaba	0		Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Niger	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Moussodougou	Moussodougou	0		Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Comoé	CASCADES	CASCADES
COM_NAF	Nafona	1	RPN	Formation des Grès Inférieurs (GI)	Sedim_O	Comoé	CASCADES	CASCADES
NIG_NAG	Nagare	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	EST	EST
MHN_NAN	Nango Foulce	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	NORD	NORD
COM_NIA	Niangoloko	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Comoé	CASCADES	CASCADES
MHN_NOU	Nouna	1	RPN	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
07/VREO/103	Oronkua	1	VREO	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
NAK_OUGA	Ouagadougou	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE
NAK_OUDA	Ouda	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-SUD
Padema	Padema	0		Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NAK_PIE	Piega	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	EST	EST
NAK_PO	Po	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-SUD
NIG_POBM	Pobe-Mengao	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	NORD	SAHEL

F4	Samagan	1	AEM	Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Samandeni	Samandeni	0		Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Samorogouan	Samorogouan	0		Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NIG_SAM	Sampelga	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	SAHEL
08/VREO/275	Satiri	1	VREO	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NIG_SEB	Sebba	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	SAHEL
NAK_SEG	Seguenega	1	RPN	Metasediments	Socle	Nakanbé	NORD	NORD
COM_SID	Sideradougou	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	CASCADES	CASCADES
NAK_SILM	Silmissin	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE
Sindou	Sindou	0		Formation de Kawara - Sindou (GKS)	Sedim_O	Comoé	CASCADES	CASCADES
Solenzo	Solenzo	0		Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Solimana	Solimana	0		Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Souringo	Souringo	0		Formation d'Irma	Sedim_N	Niger	SAHEL	SAHEL
NIG_TAF	Tafogo	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	CENTRE-NORD
MHN_TAN	Tansila	1	RPN	Formation de Fo-Bandiagara (GFB)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Tchériba	Tchériba	0		Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
NAK_THY	Thyou	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	CENTRE-EST	CENTRE-OUEST
NAK_TIB	Tibou	1	RPN	Metasediments	Socle	Nakanbé	NORD	NORD
NIG_TIA	Tin-Akoff	1	RPN	Formation de Sarnyéré	Sedim_N	Niger	SAHEL	SAHEL
NIG_TAR	Tin-Arkachen	1	RPN	Formation de Sarnyéré	Sedim_N	Niger	SAHEL	SAHEL
NAK_TO	To	1	RPN	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Nakanbé	CENTRE-EST	CENTRE-OUEST
09/VREO/369	Torosso	1	VREO	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
NAG_TOUG	Tougou	1	RPN	Metasediments	Socle	Nakanbé	NORD	NORD
Toukouro	Toukouro	0		Formation de Koutiala - Passe de Fo (SQ)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
MHN_TOUN	Toungo	1	RPN	Formation de Fo-Bandiagara (GFB)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
P03	Tounouma	1	AEM	Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Toussiana	Toussiana	0		Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Comoé	CASCADES	HAUTS-BASSINS

Q.15. Liste des nouveaux piézomètres à réaliser dans le cadre de l'optimisation du RPN

Localite	Formation hydrogéologique	Zone géol	Bassin Versant	UCDIEAU	Région
Batié	Metasediments	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
Bekuy	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Boulemporo	Continental Terminal (CT)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Diébougou	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
Dieri	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Comoé	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Dougoumato	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	HAUTS-BASSINS
Fada NGourma	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	EST	EST
Gorom-Gorom	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	SAHEL
Kangala	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Comoé	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Koin	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Koudougou	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	Mouhoun	CENTRE-OUEST
Kouéré	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	CASCADES	CASCADES
Koumande	Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Logobou	Groupe de la Pendjari	Sedim_E	Nakanbé	EST	EST
Louta	Continental Terminal (CT)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Morolaba	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Niger	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Moussodougou	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Comoé	CASCADES	CASCADES
Padema	Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Samandeni	Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Samorogouan	Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Sindou	Formation de Kawara - Sindou (GKS)	Sedim_O	Comoé	CASCADES	CASCADES
Solenzo	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Solimana	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Souringo	Formation d'Irma	Sedim_N	Niger	SAHEL	SAHEL
Tchériba	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Toukouro	Formation de Koutiala - Passe de Fo (SQ)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	BOUCLE DU MOUHOUN
Toussiana	Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Comoé	CASCADES	HAUTS-BASSINS

Q.16. Spécifications techniques pour la réalisation des piézomètres (extrait du DAO)

Description des travaux

Localisation et zone d'implantation des piézomètres

La localisation des travaux de forages est présentée à titre indicatif à l'article 2 du présent document.

Les sites de foration seront indiqués à l'entrepreneur sur le terrain par le représentant du maître d'œuvre, le contrôleur des travaux.

Les lieux d'implantation des ouvrages peuvent être amenés à être modifiés par le Maître d'ouvrage pendant l'exécution des travaux sans que l'entrepreneur puisse demander une plus-value tant que cette modification reste dans la zone initialement retenue pour le lot concerné.

Les profondeurs des forages indiquées sont à atteindre obligatoirement. Seul le Maître d'œuvre est habilité à arrêter ou à faire continuer les travaux.

Exécution des terrassements

Dans le cadre du Programme d'Approvisionnement en Eau et d'Assainissement, il n'est pas prévu d'aménager des accès particuliers aux sites. Il appartient à l'Entrepreneur d'aménager à ses frais l'accès et la plate-forme nécessaire à la mise en place de son matériel sur l'emplacement du forage à réaliser.

Mode d'exécution des travaux

Le choix des méthodes et des matériels à mettre en œuvre, indiqué dans les spécifications techniques doit être respectés par les entreprises.

Il est demandé que les entreprises indiquent la nature de la boue et des additifs utilisés ainsi que les produits utilisés pour la dégradation de ces boues et leur mode opératoire. Elles devront aussi fournir les fiches techniques des produits (rédigées en français ou en anglais) qu'il compte utiliser.

Dans sa méthodologie le soumissionnaire détaillera la méthode qu'il compte utiliser pour la cimentation de tête et la mise en place du massif filtrant. Tous ces compléments d'informations à fournir par les entreprises devront recevoir l'approbation du maitre d'œuvre

Typologie des ouvrages à réaliser

Les ouvrages à réaliser dans le cadre de ce projet sont pour chacun des 10 sites de chaque lot :

- Un forage productif (avec un débit d'au moins 0.5m^3/h) qui sera équipé en piézomètre. La profondeur minimale pour arrêter la foration et l'équiper en piézomètre sera d'au moins 10 m en dessous de la première venue d'eau d'au minimum 0,5 m³/h.
- Une superstructure de protection du piézomètre dotée d'un tube en acier avec fermeture amovible et un cadenas.

Implantation par méthodes géophysiques des points à forer

La prospection géophysique sera réalisée par l'entreprise sous sa responsabilité afin d'obtenir un ouvrage productif. Il précisera dans son offre les techniques qu'il mettra en œuvre à cet effet.
Précisons néanmoins que la recherche de zones favorables pour l'implantation de forages productifs en zone de socle est habituellement faite en utilisant des techniques comme l'interprétation de photographies aériennes, voire satellitaire et la prospection géophysique. Usuellement, la prospection géophysique s'effectue selon les méthodes magnétiques, électromagnétiques et/ou électriques.
Sur chacun des 20 sites, la géophysique déterminera 3 points à forer par ordre de préférence selon les résultats des interprétations des données mesurées.

Critère de la profondeur des piézomètres

La profondeur minimale pour arrêter la foration et l'équiper en piézomètre sera d'au moins 10 m en dessous de la première venue d'eau d'au minimum 0,5 m³/h.

Choix de la méthode de foration

Le choix des méthodes et matériels à mettre en œuvre relève de l'initiative de l'attributaire et est placé sous sa responsabilité ; cependant les directives suivantes devront être respectées :

- Le matériel utilisé devra permettre d'atteindre au moins 120 m de profondeur et ceci quelles que soient les conditions géologiques rencontrées ;
- La foration des formations d'altération sera réalisée au rotary à l'air, au trilame, tricône ou au marteau fond de trou ; la traversée de niveaux non consolidés pourra néanmoins nécessiter une circulation d'eau, de mousse ou de boue. Dans ce dernier cas, il sera fait usage exclusif de produits polymères biodégradables ;
- Le diamètre de foration dans les zones non consolidées sera au minimum de 9''7/8, pour permettre la mise en place de tubes provisoires de travail. Le tubage provisoire, en acier ou en PVC, devra être mis en place au droit des formations d'altération ; il devra être d'un diamètre suffisant pour permettre la continuation de la foration au diamètre requis.
- La foration se poursuivra ensuite dans les niveaux indurés au marteau fond de trou en diamètre 6'' ½.
- Le contrôle de verticalité sera effectué à la fin de la phase de foration. La déviation maximale tolérée est de 1/30 de la longueur forée. Cette opération sera à la charge de l'entreprise qui mettra à disposition le matériel nécessaire. Dans son offre, le soumissionnaire détaillera la méthodologie qu'il compte utiliser. En cas de non-conformité l'ouvrage ne sera pas réceptionné.

Choix de la méthode d'échantillonnage et mesures

Au cours de la réalisation des forages, l'Attributaire prélèvera les cuttings à chaque mètre et à chaque changement de terrain.

Il gardera les échantillons représentatifs des couches rencontrées dans des sachets en plastique durable dûment marqués. Ces échantillons seront mis à la disposition du Maître d'œuvre.

Par ailleurs, sans que la liste soit limitative, les mesures suivantes doivent être effectuées et les résultats

consignés dans le cahier de chantier :

- Description géologique précise des couches rencontrées ;
- Profondeur de l'altération ;
- Profondeur du socle ;
- Profondeurs des zones fracturées ;
- Profondeurs des venues d'eau ;
- Débits à chaque nouvelle venue d'eau, à chaque changement de tige et en fin de foration ;
- Vitesses d'avancement par tige.

Spécifications techniques de l'équipement du forage en piézomètre

Les forages positifs seront tubés promptement après leur réalisation sur toute leur hauteur en tubes PVC rigides de diamètre 110/125 mm, ce PVC sera conforme aux spécifications de la norme DIN 4925. Pour l'équipement de l'ouvrage, on procédera comme suit :

- Mise en place d'une colonne de décantation, d'un (01) mètre, obturée au fond par un bouchon de ciment fabriqué en usine de 10 cm de hauteur ;
- Mise en place de PVC crépiné au droit des arrivées d'eau composée de crépines fabriquées en usine et comportant des fentes, slot 1 mm et d'un taux d'ouverture de 9 % ;
- Mise en place d'un tube d'extension en PVC pleins qui dépassera le niveau du sol de 0.7 m ;
- Mise en place d'un massif filtrant composé de quartz roulé de granulométrie 2 à 4 mm lorsque les fissures du socle sont captées et 1 mm à 2 mm s'il s'agit des arènes grossières ou des couches meubles ; ce massif devra dépasser de 5 m le sommet des crépines ;
- Mise en place d'un bouchon étanche d'argile expansive de type montmorillonite (70 %), en pastilles cylindriques, au-dessus du massif filtrant sur une hauteur de 2 m ;
- Comblement de l'espace annulaire au-dessus du bouchon d'argile expansive par du tout-venant ;
- Cimentation en tête du piézomètre sur les 6 derniers mètres, la cimentation sera effectuée à l'aide d'un coulis de ciment ;
- Construction de la superstructure : Une dalle de 0,75×0,75x0,50m sera réalisée par l'entrepreneur en béton armé dosé à 350 kg de CPA/m³ et implanté d'au moins 0,25m dans le sol. Dans cette dalle sera solidement ancré un tube métallique DN 300 d'une hauteur de 1 m couvrant entièrement le tubage PVC. Il sera muni d'un couvercle et d'un cadenas.
- Identification du piézomètre : une place métallique comportant des indications (qui seront fournies par l'UGP/PAEA) sera scellée dans la dalle en béton.

Spécifications techniques des opérations de développement et des essais de pompage

Développement du piézomètre

Le développement des forages positifs sera réalisé par une unité indépendante de servicing, à l'aide d'une colonne d'injection d'air en tuyau souple de diamètre 1''. Le tube d'eau (refoulement) est constitué par le tube PVC du piézomètre. Le développement sera fait jusqu'à l'obtention d'une eau claire sans particules

sableuses ou argileuses (contenu de sable inférieur à 0.2g / 10 l). La teneur en sable sera contrôlée par la méthode dite de la « tâche de sable » ; le diamètre de la tâche de sable dans un seau d'eau de 10 litres ne doit pas dépasser 1 cm.

En fin de développement du forage, l'entrepreneur effectuera in situ les mesures suivantes : le pH, température et la conductivité de l'eau.

Essais de puits dans le piézomètre

Les essais de puits ou pompage courte durée seront réalisés selon la méthode simplifiée préconisée par le CIEH pour les forages d'hydraulique villageoise à la fin de l'opération de développement et après récupération du niveau.

L'essai de pompage sera fait au moyen d'une pompe électrique immergée d'un débit compris entre 0,5 m^3/h à 15 m^3/h pour une hauteur manométrique totale (HMT) de 50 mètres au minimum.

En fin d'essai, il y aura un prélèvement d'eau (échantillons) pour une analyse physico-chimique dans un laboratoire agréé de la place.

Protocole de l'essai de puits type CIEH-BURGEAP dans le piézomètre

L'essai de puits CIEH-BURGEAP est réalisé de 1 à 3 paliers de pompage selon le débit du forage au développement et une remontée :

- Si le débit du forage est d'environ 1 m^3/h : réaliser un seul palier de 4 heures à un débit voisin de 0,7 m^3 / h avec une remontée de 1 heure ;
- Si le débit du forage est compris entre 1 et 2m^3/h : réaliser 2 paliers enchaînés de 2 heures chacun aux débits Q1= 0,7 à 1 m^3/h et Q2= 1,5 à 2 m^3/h avec une remontée de 1 heure en fin de 2ème palier ;
- Si le forage a un débit supérieur à 2 m^3/h, réaliser trois paliers enchaînés comme suit :
  1. 1er palier de pompage : durée 2 h au débit Q1= 0,7 à 1 m^3/h
  2. 2ème palier de pompage : durée 1 h ; débit Q2 = 0,5 (Q1+Q3)
  3. 3ème palier de pompage enchaîné : durée 1 h au débit Q3= 70 % environ du débit maximum du développement
  4. une remontée pendant 1 heure.

Pendant l'essai, aucun arrêt du pompage ne doit survenir, sinon l'Entrepreneur recommencera l'essai après le rétablissement du niveau statique initial. La reprise d'un tel pompage est à la charge de l'Entrepreneur et l'irrégularité de l'essai de pompage sera immédiatement communiquée au Maître d'œuvre et notée dans le cahier de chantier.

La mesure du débit lors du pompage se fera à partir d'un compteur d'eau, un fût de 200 litres ou un seau de 20 ou 50 litres, en fonction de l'importance du débit mesuré pendant l'opération du développement du forage.

Les niveaux d'eau seront mesurés au moyen d'une sonde électrique avec un degré de précision de 1 cm. La profondeur du forage sera mesurée avant et après l'essai de pompage.

Avant la fin du dernier palier, l'Entrepreneur devra déterminer in situ les paramètres suivants de l'eau : la température, le pH, la conductivité, la turbidité et la teneur en sable. Les appareils pour ces mesures devront être approuvés par le Maître d'œuvre.

Après ces mesures, deux échantillons d'eau de 1 litre chacun seront prélevés. Sur chacun des deux échantillons seront inscrits le nom du site, le numéro du forage, l'heure et la date du prélèvement

et le nom de la personne responsable des prélèvements.

Les échantillons seront remis à un laboratoire agréé par le Maître d'œuvre pour une analyse physico-chimique. Les échantillons seront transportés par les soins de l'Entrepreneur.

Les résultats de l'analyse physico-chimique et microbiologiques de l'eau devront être communiqués au maître d'œuvre.

Les analyses physico-chimiques de l'eau et microbiologiques

Paramètres physico-chimiques

Les échantillons seront analysés en laboratoire, selon les paramètres suivants :

CATIONS	**ANIONS**	**AUTRES PARAMÈTRES**
Sodium : Na	Chlorures : Cl	PH
Fer : Fe	Sulfates : SO_4	Conductivité
Magnésium : Mg	Carbonates : CO^3	Turbidité
Manganèse : Mn	Phosphate : PO_4	TA
Calcium : Ca	Fluor : F	TAC
Potassium : K	Nitrates : NO^3	Dureté totale
Zinc : Zn	Nitrites : NO^2	Dureté calcique
Ammonium : NH_4	Bicarbonates : HCO_3	TDS et résidus secs

En plus de ces ions, les analyses devront fournir les paramètres suivants :

Si O_2, Arsenic (As), Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Cyanure (Cn), Mercure (Hg).

Paramètres microbiologiques

Les paramètres microbiologiques : coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux, bactéries hétérotrophes aérobiques (BHA), seront également analysés au laboratoire.

Nivellement des piézomètres

A l'issu de la réalisation de la superstructure, l'entreprise procédera au nivellement du piézomètre réalisé. De ce fait, elle devra mesurer l'altitude de la superstructure et du niveau supérieur du PVC débordant le terrain naturel.

Le nivellement devra être rattaché au système général de l'Institut Géographique du Burkina (IGB). Pour ce faire, l'entreprise procédera à une identification préalable des bornes géodésiques de l'IGB. Elle veillera à récupérer les fiches signalétiques de ces bornes auprès de l'IGB.

En outre, l'entreprise procèdera à un nivellement direct quand le piézomètre à rattacher est proche (moins du kilomètre) du point géodésique. Toutefois si le piézomètre est éloigné du point de rattachement, l'entreprise utilisera la méthode GNSS (positionnement statique).

Le rattachement altimétrique s'effectuera en utilisant le modèle global EGM96 conformes aux systèmes de coordonnées et de projection en vigueur au Burkina.

Le niveau de chaque piézomètre sera mesuré avec une précision inférieure ou égale à 2 cm.

Fourniture et pose d'une grille de protection.

En vue de sécuriser l'ouvrage et les équipements qui y sont associés, il sera installé une grille de protection de 2x2x1,5 m en tube lourd de 40*40. Elle sera encrée de 25 cm dans le sol. L'accès au piézomètre se fera par une entrée (de même nature que la grille de sécurité) de 0,75x1,5m. La porte sera munie de deux cadenas avec anse amovible en inox. La grille de protection sera maillée de 20 cm maxi.

Q.17. Liste des piézomètres existants ajoutés au RPN, soumis à examen/réhabilitation

Nom/Code	Localite	Réseau actuel	Formation hydrogéologique	Zone géol	BV	UCDIEAU	Région
Pz05	Banakemedaga	AEM	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Pz18	Kokorowe	AEM	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Pz15	Kokorowe	AEM	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
F4	Samagan	AEM	Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
P03	Tounouma	AEM	Formation de Takalédougou (GFG)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
YATKAI9999	Doubaré	RNSQES2018	Continental Terminal (CT)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	NORD
08/VREO/270	Balla	VREO	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
07/VREO/110	Bouroum-Bouroum	VREO	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
09/VREO/383	Djigouera	VREO	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
08/VREO/259	Fo	VREO	Formation de Fo-Bandiagara (GFB)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
09/VREO/382	Kourinion	VREO	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
08/VREO/289	Lahirasso	VREO	Formation de Bonvalé (GFR)	Sedim_O	Mouhoun	Mouhoun	HAUTS-BASSINS
09/VREO/319	Mangodara	VREO	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Comoé	CASCADES	CASCADES
07/VREO/103	Oronkua	VREO	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Mouhoun	SUD-OUEST	SUD-OUEST
08/VREO/275	Satiri	VREO	Formation de Tin (GGQ)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
09/VREO/369	Torosso	VREO	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	Sedim_O	Mouhoun	HAUTS-BASSINS	HAUTS-BASSINS
Fada NGourma	Fada NGourma	(RPN)	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	EST	EST
Gorom-Gorom	Gorom-Gorom	(RPN)	Socle cristallin et metamorphique	Socle	Niger	SAHEL	SAHEL

Q.18. Spécifications techniques pour l'acquisition de sondes automatiques de pression (extrait du DAO)

N°	Fourniture	Prescriptions demandées par l'Administration
01	**Enregistreur autonome pour la mesure de niveau de nappe et de température, avec télétransmission intégrée**	**Marque : à préciser** **Modèle : à préciser** **Caractéristique générale (1.1, 1.2, et 1.3)** Système conçu pour surveiller de manière efficace et à long terme le niveau et la température de l'eau de la nappe, prévu pour être installé dans un piézomètre de diamètre intérieur compris entre 3 et 6 pouces. Le système comporte : - Une sonde avec les capteurs chargés des mesures de niveau de nappe et de température - Une unité de mémorisation et de communication (datalogger avec batterie et modem) intégrant les composants nécessaires à l'enregistrement et la transmission de données, avec antenne intégrée. - Un câble de longueur ajustable reliant la sonde au datalogger - Un dispositif de fixation du système dans le tubage du piézomètre - Une antenne externe additionnelle prévue pour être fixée sur le tubage externe métallique du piézomètre Cet appareillage répondra aux caractéristiques suivantes : - Paramètres mesurés : Niveau d'eau / pression de l'eau, température de l'eau, tension d'alimentation, puissance du signal, consommation électrique de la batterie, intervalle de scrutation/mémoire - Niveau d'eau : ▪ Technologie pour la mesure de niveau d'eau : sonde de pression avec cellule de mesure céramique ▪ Précision : +/- 0.05% de la pleine échelle ▪ Résolution : 0.1 cm / 0.0001 bar ▪ Unités : m, cm, mbar, psi ▪ Stabilité long terme : +/- 0.1% de la pleine échelle / an ▪ Compensation barométrique intégrée au dispositif - Température : ▪ Résolution : 0.01 °C ▪ Précision : +/- 0.1 °C ▪ Unité : °C - Alimentation : ▪ Pile au lithium 3.6V avec connecteur, 26 Ah minimum ▪ Durée de vie minimum 10 ans (20 °C, cadence scrutation 1h, transmission 1x/jour)

		▪ Remplacement aisé de la batterie sur site, sans outil - Communication et télétransmission : ▪ Communication par réseau cellulaire : modem intégré 2G/4G compatible avec réseaux cellulaires du Burkina Faso, avec antenne penta band intégrée ▪ Antenne externe additionnelle prévue pour être fixée sur le tubage métallique du piézomètre ▪ Communication locale par bluetooth low energy BLE 5.0, en système natif intégré sur l'unité de mémorisation/communication ▪ Intervalle de télétransmission 1 min à 1 semaine ▪ Communication des données : FTP, HTTP, HTTPS, SMS ▪ Communication mobile bi-directionnelle ▪ Possibilité d'envoi simultané des données par télétransmission vers deux serveurs distincts (redondance) ▪ Réitération automatique de l'envoi des données en cas d'échec - Formats des fichiers de transfert : txt, csv, compatibles MIS - Mémoire : 28 Mo minimum - Protection : ▪ Indice IP capteur : IP68 ▪ Unité enregistreur : IP67 - submersion sans dégâts pendant une semaine / colonne d'eau de 1m - Matériau : ▪ Boitier de la sonde de pression : acier inoxydable 904L ▪ Gaine de câble : Polyuréthane certifié pour l'eau potable - Dimensions : ▪ Unité enregistreur (datalogger intégrant la mémoire, le modem avec antenne interne, la batterie, le bluetooth) : 2 pouces maximum ▪ Sonde de mesure des paramètres : 1 pouce maximum - Dispositif de fixation du système ▪ Dispositif de fixation du système sur le tubage intérieur (3 à 6 pouces) du piézomètre ou sur le tubage métallique externe (6 à 12 pouces), adapté à des diamètres variables et protégé contre le vandalisme ▪ Support de suspension ▪ Dispositif de fixation de l'antenne externe sur le tubage métallique externe du piézomètre, adapté contre le vandalisme ▪ Le dispositif de fixation doit permettre le retrait aisé et la ré-installation aisée du système ▪ Le dispositif de fixation doit permettre le passage aisé dans le piézomètre d'une sonde piézométrique manuelle (sonde électrique à ruban) en présence du système ▪ A l'exception de l'antenne externe, l'entièreté du système doit pouvoir être logé à l'intérieur du piézomètre sans élément visible depuis l'extérieur, et doit permettre l'utilisation du couvercle de protection du tubage externe métallique - Remplacement des éléments du système ▪ Le système doit permettre le remplacement aisé sur le terrain du datalogger, des batteries, de la carte SIM, et de la sonde. Ces éléments doivent pouvoir être remplacés séparément et distinctement. - Ajustement de la longueur du système et de la profondeur de la sonde

		▪ Le système doit permettre l'ajustement de la longueur du câble et de la profondeur de la sonde. A cette fin, le câble ne doit pas être soudé au datalogger et le dispositif de raccordement du câble au datalogger doit permettre la réduction de la longueur du câble. **Caractéristiques spécifiques** Les caractéristiques relatives à la plage de mesure et à la longueur du système pour chaque sous point de l'item sont reprises ci-dessous. **1.1** : Plage de mesure : 0-20 m, Longueur système : 20 m **1.2** : Plage de mesure : 0-40 m, Longueur système : 40 m **1.3** : Plage de mesure : 0-40 m, Longueur système : 60 m
02	**Tablettes pour la configuration du système sur le terrain et pour et la gestion et récupération des données sur le terrain**	**Marque : à préciser** **Modèle : à préciser** **Reference : à préciser** **Type : Standard** **Caractéristiques générales** - Capacité stockage : 128 Go au moins - Taille de l'écran : 10 à 10,9 pouces - Processeur : Octo Core 2.4 GHz au moins - RAM : 4 Go au moins - Réseaux et connectivité : ▪ Compatible 4G ou version ultérieure ▪ Wi Fi intégré : 802.11a/b/g/n ▪ Wi Fi direct ▪ Bluetooth 5.0 ▪ Synchronisation avec PC - Appareil photo : Caméra frontale de 2Mégapixels au moins, Résolution de 8 Mégapixels au moins - Système d'exploitation : iOS Android ou Windows, compatible avec les logiciels à installer de gestion des sondes sur le terrain - Audio et vidéo : ▪ Formats vidéo : 3GP, MP4 ; ▪ Résolution vidéo : Lecteur vidéo Full HD (1080p) ; ▪ Format audio : AAC, AMR, MP3, OGG, WAV, 3GP, 3GA, MP4. - Batterie : 8 heures d'autonomie au moins en lecture vidéo - Connectique : ▪ Prise jack 3.5 mm stéréo ▪ Lecteur carte Mémoire MicroSD ▪ Micro USB

		- Capteurs : Accéléromètre, Géomagnétique, Capteur de luminosité - Localisation : AGPS, GLONASS - Autres accessoires : ▪ Etui de protection et de transport ▪ Câbles ▪ Adaptateur micro USB/USB ▪ Chargeur ▪ Incassable - Logiciel préinstallé pour le paramétrage, le contrôle et la gestion sur site de chaque station - Logiciel préinstallé pour la lecture et la récupération des données sur site, et pour l'intégration des données dans le logiciel de gestion des données du réseau de suivi piézométrique - Interfaces en français
03	**Ordinateur portable pour la gestion des sondes, pour le traitement et pour l'exploitation des données mesurées.**	**Marque : à préciser** **Modèle : à préciser** **Reference : à préciser** **Type : professionnel** **Caractéristiques générales** - Affichage : Ecran LED avec une résolution de 1366 x 768 pixels au moins 15 pouces à 15,9 - Processeur : Intel Core i5 (gen11 au moins) à 3 GHz au moins ou équivalent (au soumissionnaire de prouver l'équivalence). La technologie turbo Boost doit permettre de dépasser ce minimum de 3 GHz (par exemple un processeur inférieur à 3 GHz turbo boosté à plus de 3 GHz est conforme) - RAM : 16 Go DDR4 minimum - Disque dur : SSD de 500 Go au moins - Système de pointage : Touchpad intégré (Technologie multi-touch) - Kit multimédia : Webcam avec micro numérique, carte son et hauts-parleurs stéréo intégrés - Prises externes intégrées (minimum) : 1 port vidéo ou HDMI pour écran, port RJ-45 intégré ou externe (carte d'interface réseau Ethernet 10/100/1000 base TX), au moins 02 ports USB 2.0 ou au moins 2 ports USB 3.0 - Communication sans fil : Wi-Fi 802.11 a/b/g/n, Bluetooth 5.0 - Clavier : AZERTY d'origine avec la touche supérieure/inférieure, la touche Windows (trois caractères maximums par touche) et le pavé numérique (écran

		supérieur à 15 pouces) - Souris : Optique à molette externe compatible Microsoft - Tapis de souris : A fournir - Alimentation électrique : Adaptateur externe, 100 – 240 V, 50 – 60 Hz avec un câble d'alimentation de type Français ou SHUKO - Batterie : Autonomie de 7 heures au moins (au soumissionnaire de faire la preuve) et Nombre maximal de cycles de charge est de 2 à la réception. - Housse de transport : Housse rembourrée de qualité (fournir la référence et le prospectus). - Système d'exploitation : Microsoft, Windows 11 professionnel ou version ultérieure avec licence authentique (fournir les documents d'authenticité de la licence à la réception). Deux postes à fournir. - Logiciel bureautique : Ms Office 2019 professionnel ou version ultérieure avec licence authentique (fournir les documents d'authenticité de la licence à la réception). Deux postes à fournir. - Logiciel antivirus : Logiciel Internet Security dernière version. Deux postes à fournir.
04	**Application logicielle pour la gestion des sondes et du réseau de suivi, et pour la gestion et l'exploitation des données mesurées**	**Marque : à préciser** **Modèle : à préciser** **Reference : à préciser** **Caractéristiques générales** Application logicielle pour la gestion du réseau de suivi piézométrique (gestion des sondes et enregistreurs, gestion des alarmes, etc.) et pour la gestion des données du réseau (transmission, affichage, édition, analyse, importation et exportation, etc.), présentant les caractéristiques suivantes : - Communication avec les appareils installés sur le réseau piézométrique : interrogation sur site ou à distance - Paramétrage des appareils installés sur le réseau piézométrique, et téléchargement des données de mesures à partir de ces appareils (sur site ou par télétransmission) - Gestion des stations (gestion des mesures en base de données) - Gestion des séries chronologiques - Evaluation graphique et éditeur graphique - Représentation numérique des mesures sous forme de tableaux - Evaluations statistiques - Intégration de graphiques sous forme de cartes, avec représentation des stations

		et des capteurs - Gestion des données d'information - Importation automatique ou manuelle de mesures - Exportation automatique ou manuelle de mesures (comprenant au minimum les formats txt et csv) - Gestion des utilisateurs : plate-forme multi-utilisateurs avec fonctions réseau et base de données centralisée, attribution de droits individuels - Configuration PC Windows 10 ou Windows 11. - Interfaces en français - Nombre de postes (PC) sur lesquels l'application logicielle sera installée, avec accès à la base de données centralisée sur serveur : 3 postes (la fourniture du serveur pour le stockage des données ne fait pas partie du présent marché) Installation de l'application logicielle sur les 3 PC portables, configuration de la base de données serveur et de la télétransmission, création du domaine reprenant les stations et capteurs composant le réseau de suivi, création des accès multi-utilisateurs, test opérationnel
05	**Cartes SIM et abonnements pour la télétransmission des données**	Fourniture de cartes SIM data et d'abonnements au réseau cellulaire mobile, selon les caractéristiques suivantes : - Carte SIM data d'un opérateur de réseau cellulaire disposant d'une couverture géographique performante du territoire du Burkina Faso, pour installation dans les stations de mesure aux fins de télétransmission des données de mesures - Abonnement auprès de l'opérateur de réseau cellulaire pour la transmission (1x/jour) des données pendant une durée de 3 ans. Les cartes SIM devront rester actives pendant toute la durée prévue (3 ans), y compris en cas de non-utilisation sur une longue période.
06	**Pièces de rechange**	**Marque : à préciser** **Modèle : à préciser** **Caractéristiques générales :** Les pièces de rechange suivantes seront fournies pour chaque sous point de l'item. Elles seront conformes aux prescriptions reprises dans le présent cahier des clauses techniques. **6.1 :** Sonde pression-température et système d'enregistrement/télétransmission (datalogger), plage de mesure 0-20 m, longueur du système 20 m ; **6.2 :** Sonde pression-température et système d'enregistrement/télétransmission (datalogger), plage de mesure 0-40 m, longueur du système 40 m ; **6.3 :** Sonde pression-température et système d'enregistrement/télétransmission (datalogger), plage de mesure 0-100 m, longueur du système 80 m ; **6.4 :** Pile lithium pour l'alimentation du système (datalogger et sonde) ;

		6.5 : Dessicant pour datalogger.
07	**Formation de trente (30) cadres sur la gestion et l'utilisation des sondes de mesures**	Un module de formation est obligatoire après la livraison des équipements. Cette formation se déroulera en salle à Ouagadougou, et sera couplée à une installation à titre démonstratif sur un site dans la ville de Ouagadougou. Elle se fera sur quatre (04) jours ouvrables, et concernera trente (30) agents du MEEA et de structures partenaires. La formation abordera à minima les éléments suivants : - Installation des sondes dans un piézomètre - Configuration des sondes et configuration du réseau de suivi - Maintenance des sondes et remplacement des éléments (capteur, datalogger, batterie, carte SIM, dessicant, etc.) - Ajustement des longueurs de câble - Récupération des données sur le terrain par tablette et importation des données dans la base de données, gestion des sondes sur le terrain - Utilisation des logiciels sur tablette et sur PC, pour la gestion des sondes et des données mesurées - Gestion multi-utilisateurs de l'application logicielle - Gestion, traitement et exploitation des données mesurées Le fournisseur proposera dans son offre un plan de formation qui prendra en compte les éléments ci-dessus présentés. Le formateur sera dûment accrédité par le fabricant des équipements, et disposera d'une expérience avérée de 5 ans minimum dans l'installation et la gestion des réseaux de suivi piézométrique équipés de sondes automatiques et de télétransmission. Les perdiems des participants seront pris en charge par le maître d'ouvrage. L'organisation de la formation (location de la salle, déplacement des participants sur le site, support pédagogique, pause-café, frais d'impression des attestations et frais logistiques divers, honoraires des formateurs) est à charge du titulaire du marché.
08	**Installation d'enregistreur autonome sur piézomètre**	Installation de quatre (04) enregistreurs autonomes dans quatre (04) piézomètres localisés dans les régions du Centre et du Plateau Central. L'installation des équipements inclura : - la mise en service et le test de leur fonctionnement - la paramétrisation sur le terrain - l'opérationnalisation de la télétransmission - l'opérationnalisation de la gestion des sondes et des données de ces 04 enregistreurs par l'applicatif bureautique de gestion - le test opérationnel général.

09	**Assistance technique après-vente**	Une assistance technique après-vente est requise. Elle sera assurée par le titulaire du marché et répondra aux prescriptions suivantes : - Assistance à distance (call ou visio ou mail, selon les situations rencontrées), en réponse à toute demande du gestionnaire du réseau de suivi piézométrique - Durée calendrier : 2 ans - Nombre total forfaitaire d'heures inclus : 60 heures - Délai maximal de réponse à la demande : 2 jours ouvrables

Q.19. Liste des sites proposés pour le RNSQES actualisé

Localité	Nom/Code	Type	Statut réseau	Existe	Geol	Formation hydrogeol	Région
Aribinda	Aribinda 3	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Metasediments	Metasediments	SAHEL
Banakélédaga	Banakélédaga	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	HAUTS-BASSINS
Bassinko	Bassinko F2	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE
Batié	Batié	Forage	RNSQES optimise 2018	1	Metasediments	Metasediments	SUD-OUEST
BITTOU	BITTOU	Piézomètre	Ajout depuis RPN existant	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-EST
Bondokuy	Bondokuy	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Tin (GGQ)	BOUCLE DU MOUHOUN
Boromo	Boromo	Forage	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	BOUCLE DU MOUHOUN
Boulemporo	Boulemporo	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - A forer	0	Sédimentaire Ouest	Continental Terminal (CT)	BOUCLE DU MOUHOUN
Bousgou	Bousgou	Forage	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-EST
Bousgou	Bousgou SE3	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-EST
Diapaga	Diapaga F1	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Metasediments	Metasediments	EST
Dingasso	Dingasso F1	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	HAUTS-BASSINS
Dohoun	Dohoun	Forage	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	HAUTS-BASSINS
Doubaré	Doubaré F3	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Continental Terminal (CT)	NORD
Fada NGourma	Fada NGourma	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - A forer	0	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	EST
Gaoua	Gaoua F8	Forage	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	SUD-OUEST
Gassan	Gassan	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Takalédougou (GFG)	BOUCLE DU MOUHOUN
Gayeri SE6	Gayeri SE6	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	EST
Gombio	Gombio	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Guéna-Souroukoundiga (SAC1)	BOUCLE DU MOUHOUN
Kantchari	Kantchari SE3B	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	EST
Kari	Kari	Forage	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	HAUTS-BASSINS
Katchari	Katchari	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	SAHEL
KIONKIANGA	KIONKIANGA	Piézomètre	Ajout depuis RPN existant	1	Sédimentaire Est	Groupe de la Pendjari	EST
Koalou	Koalou	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Est	Groupe de la Pendjari	EST
Kokorowe	Pz15	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - PZ AEM	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Tin (GGQ)	HAUTS-BASSINS
Kongoussi	Kongoussi SE1P	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-NORD
Kossoba	Kossoba	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Bonvalé (GFR)	BOUCLE DU MOUHOUN
Koudougou	Koudougou	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - A forer	0	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-OUEST
Kouka	Kouka	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	BOUCLE DU MOUHOUN
Koumande	Koumande	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - A forer	0	Sédimentaire Ouest	Formation de Takalédougou (GFG)	BOUCLE DU MOUHOUN
Kourinion	09/VREO/382	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - PZ VREO	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Tin (GGQ)	HAUTS-BASSINS
Léo	Léo SE6	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-OUEST

Louda	Louda SE5G	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-NORD
Mangodara	09/VREO/319	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - PZ VREO	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CASCADES
Mogtédo	Mogtédo SE5B	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	PLATEAU-CENTRAL
Nafona	Nafona F1	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation des Grès Inférieurs (GI)	CASCADES
Nafona	Nafona F2	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation des Grès Inférieurs (GI)	CASCADES
NAGARE	NAGARE	Piézomètre	Ajout depuis RPN existant	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	EST
Nango-Fulcé	Nango-Fulcé F7/2	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	NORD
Nango-Fulcé	Nango-Fulcé F8/1	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	NORD
Navielgane	Navielgane	Forage	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	SUD-OUEST
Niangoloko	Niangoloko F2	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CASCADES
Nouna	Nouna	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Samandéni - Kiébani (SAC2)	BOUCLE DU MOUHOUN
Ouda F2	Ouda F2	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Metasediments	Metasediments	CENTRE-SUD
PO	PO	Piézomètre	Ajout depuis RPN existant	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-SUD
Pobé Mengao	Pobé Mengao SE11B	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	SAHEL
Safané	Safané	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Metasediments	Metasediments	BOUCLE DU MOUHOUN
Samagan	F4	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - PZ AEM	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Takalédougou (GFG)	HAUTS-BASSINS
Sebba	Sebba SE2	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	SAHEL
Sidéradougou	Sidéradougou F1	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CASCADES
Silmissin	Silmissin F2	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE
Sindou	Sindou	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - A forer	0	Socle cristallin et metamorphique	Formation de Kawara - Sindou (GKS)	CASCADES
Tafogo	Tafogo F2	Piézomètre	Ajout depuis RPN existant	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-NORD
Tansila	Tansila	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Fo-Bandiagara (GFB)	BOUCLE DU MOUHOUN
THYOU	THYOU	Piézomètre	Ajout depuis RPN existant	1	Socle cristallin et metamorphique	Socle cristallin et metamorphique	CENTRE-OUEST
Tibou	Tibou F1	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Metasediments	Metasediments	NORD
Tin-Akoff	Tin-Akoff SE4	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Nord	Formation de Sarnyéré	SAHEL
Tougou	Tougou F3/1	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Metasediments	Metasediments	NORD
Toungo	Toungo	Piézomètre	RNSQES optimise 2018	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Fo-Bandiagara (GFB)	BOUCLE DU MOUHOUN
Tounouma	P03	Piézomètre	Ajout depuis RPN optimise - PZ AEM	1	Sédimentaire Ouest	Formation de Takalédougou (GFG)	HAUTS-BASSINS

Q.20. Directives OMS de qualité pour l'eau de boisson



DIRECTIVES DE QUALITÉ POUR L'EAU DE BOISSON

QUATRIÈME ÉDITION

INTÉGRANT LE PREMIER ADDITIF

Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]

ISBN 978-92-4-254995-9

© Organisation mondiale de la Santé 2017

Tableau A3.3 Valeurs guides affectées à des produits chimiques dont la présence dans l'eau de boisson est importante sur le plan sanitaire

Produit chimique	Valeur guide mg/l	Valeur guide µg/l	Remarques
Acrylamide	0,0005[a]	0,5[a]	
Alachlore	0,02[a]	20[a]	
Aldicarbe	0,01	10	Applicable au sulfoxyde d'aldicarbe et à l'aldicarbe sulfoné
Aldrine et dieldrine	0,00003	0,03	Applicable à l'association aldrine/dieldrine
Antimoine	0,02	20	
Arsenic	0,01 (A, T)	10 (A, T)	
Atrazine et ses métabolites chloro-*s*-triazine	0,1	100	
Baryum	1,3	1300	
Benzène	0,01[a]	10[a]	
Benzo[*a*]pyrène	0,0007[a]	0,7[a]	
Bore	2,4	2400	
Bromate	0,01[a] (A, T)	10[a] (A, T)	
Bromodichlorométhane	0,06[a]	60[a]	
Bromoforme	0,1	100	
Cadmium	0,003	3	
Carbofurane	0,007	7	
Tétrachlorure de carbone	0,004	4	
Chlorate	0,7 (D)	700 (D)	
Chlordane	0,0002	0,2	
Chlore	5 (C)	5000 (C)	Pour que la désinfection soit efficace, il doit rester dans l'eau une concentration résiduelle de chlore libre ≥ 0,5 mg/l après un temps de contact de 30 min au moins à pH < 8,0. Une concentration résiduelle de chlore doit être maintenue dans tout le réseau de distribution. Au point de distribution, la concentration résiduelle minimale de chlore libre doit être de 0,2 mg/l.
Chlorite	0,7 (D)	700 (D)	

Produit chimique	Valeur guide		Remarques
	mg/l	µg/l	
Chloroforme	0,3	300	
Chlorotoluron	0,03	30	
Chlorpyrifos	0,03	30	
Chrome	0,05 (P)	50 (P)	Applicable au chrome total
Cuivre	2	2000	Une coloration du linge et des appareils sanitaires peut apparaître au-dessous de cette valeur guide
Cyanazine	0,0006	0,6	
2,4-D[b]	0,03	30	Applicable à l'acide libre
2,4-DB[c]	0,09	90	
DDT[d] et ses métabolites	0,001	1	
Dibromoacétonitrile	0,07	70	
Dibromochlorométhane	0,1	100	
1,2-dibromo-3-chloropropane	0,001[a]	1[a]	
1,2-dibromoéthane	0,0004[a] (P)	0,4[a] (P)	
Dichloroacétate	0,05[a] (D)	50[a] (D)	
Dichloroacétonitrile	0,02 (P)	20 (P)	
1,2-dichlorobenzène	1 (C)	1000 (C)	
1,4-dichlorobenzène	0,3 (C)	300 (C)	
1,2-dichloroéthane	0,03[a]	30[a]	
1,2-dichloroéthène	0,05	50	
Dichlorométhane	0,02	20	
1,2-dichloropropane	0,04 (P)	40 (P)	
1,3-dichloropropène	0,02[a]	20[a]	
Dichlorprop	0,1	100	
Di(2-éthylhexyl)phtalate	0,008	8	
Diméthoate	0,006	6	
1,4-dioxane	0,05[a]	50[a]	Déterminé en utilisant l'approche de la dose journalière tolérable ainsi qu'un modèle multi-étapes linéarisé
Acide édétique (EDTA)	0,6	600	Applicable à l'acide libre
Endrine	0,0006	0,6	
Épichlorhydrine	0,0004 (P)	0,4 (P)	
Éthylbenzène	0,3 (C)	300 (C)	
Fénoprop	0,009	9	
Fluorure	1,5	1500	Il convient de prendre en compte le volume d'eau consommé et l'ingestion à partir d'autres sources dans la définition des normes nationales
Hexachlorobutadiène	0,0006	0,6	
Hydroxyatrazine	0,2	200	Métabolite de l'atrazine
Isoproturon	0,009	9	
Plomb	0,01 (A, T)	10 (A, T)	
Lindane	0,002	2	

Produit chimique	Valeur guide		Remarques
	mg/l	µg/l	
Mécoprop	0,01	10	
Mercure	0,006	6	Applicable au mercure inorganique
Méthoxychlore	0,02	20	
Métolachlore	0,01	10	
Microcystine-LR	0,001 (P)	1 (P)	Applicable à la microcystine-LR totale (libre + fixée sur des cellules)
Molinate	0,006	6	
Monochloramine	3	3000	
Monochloroacétate	0,02	20	
Nickel	0,07	70	
Nitrate (sous forme NO_3^-)	50	50 000	Basée sur les effets à court terme, mais prudente pour les effets à long terme
Acide nitrilotriacétique	0,2	200	
Nitrite (sous forme NO_2^-)	3	3000	Basée sur les effets à court terme, mais prudente pour les effets à long terme
N-Nitrosodiméthylamine	0,0001	0,1	
Pendiméthaline	0,02	20	
Pentachlorophénol	0,009[a] (P)	9[a] (P)	
Sélénium	0,04 (P)	40 (P)	
Simazine	0,002	2	
Dichloroisocyanurate de sodium	50	50 000	Sous forme de dichloroisocyanurate de sodium
	40	40 000	Sous forme d'acide cyanurique
Styrène	0,02 (C)	20 (C)	
2,4,5-T[i]	0,009	9	
Terbuthylazine	0,007	7	
Tétrachloroéthène	0,04	40	
Toluène	0,7 (C)	700 (C)	
Trichloroacétate	0,2	200	
Trichloroéthène	0,02 (P)	20 (P)	
2,4,6-trichlorophénol	0,2[a] (C)	200[a] (C)	
Trifluraline	0,02	20	
Trihalométhanes			La somme des rapports de la concentration de chaque trihalométhane à la valeur guide correspondante ne doit pas dépasser 1
Uranium	0,30 (P)	30 (P)	Seuls les effets chimiques de l'uranium sont considérés dans ce document
Chlorure de vinyle	0,0003[a]	0,3[a]	
Xylènes	0,5 (C)	500 (C)	

Q.21. Normes UE de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

DIRECTIVE (UE) 2020/2184 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL

du 16 décembre 2020

relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine

(refonte)

ANNEXE I

EXIGENCES MINIMALES RELATIVES AUX VALEURS PARAMÉTRIQUES UTILISÉES POUR ÉVALUER LA QUALITÉ DES EAUX DESTINÉES À LA CONSOMMATION HUMAINE

Partie A

Paramètres microbiologiques

Paramètres	Valeur paramétrique	Unité	Notes
Entérocoques intestinaux	0	nombre/100 ml	Pour les eaux mises en bouteilles ou en récipients, l'unité est le nombre/250 ml
Escherichia coli (E. coli)	0	nombre/100 ml	Pour les eaux mises en bouteilles ou en récipients, l'unité est le nombre/250 ml

Partie B

Paramètres chimiques

Paramètres	Valeur paramétrique	Unité	Notes
Acrylamide	0,10	µg/l	La valeur paramétrique de 0,10 µg/l se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.
Antimoine	10	µg/l	
Arsenic	10	µg/l	
Benzène	1,0	µg/l	
Benzo(a)pyrène	0,010	µg/l	
Bisphénol A	2,5	µg/l	
Bore	1,5	mg/l	Une valeur paramétrique de 2,4 mg/l est appliquée lorsque l'eau dessalée est la principale ressource en eau du système d'approvisionnement concerné ou dans les régions où les conditions géologiques pourraient occasionner des niveaux élevés de bore dans les eaux souterraines.
Bromates	10	µg/l	
Cadmium	5,0	µg/l	
Chlorates	0,25	mg/l	Une valeur paramétrique de 0,70 mg/l est appliquée lorsqu'une méthode de désinfection qui génère des chlorates, en particulier le dioxyde de chlore, est utilisée pour la désinfection d'eaux destinées à la consommation humaine. Si possible, sans compromettre la désinfection, les États membres s'efforcent d'atteindre une valeur inférieure. Ce paramètre n'est mesuré que dans les cas où de telles méthodes de désinfection sont utilisées.
Chlorites	0,25	mg/l	Une valeur paramétrique de 0,70 mg/l est appliquée lorsqu'une méthode de désinfection qui génère des chlorites, en particulier le dioxyde de chlore, est utilisée pour la désinfection d'eaux destinées à la consommation humaine. Si possible, sans compromettre la désinfection, les États membres s'efforcent d'atteindre une valeur inférieure. Ce paramètre n'est mesuré que dans les cas où de telles méthodes de désinfection sont utilisées.

Paramètres	Valeur paramétrique	Unité	Notes
Chrome	25	µg/l	La valeur paramétrique de 25 µg/l est respectée au plus tard le 12 janvier 2036. La valeur paramétrique pour le chrome jusqu'à cette date est 50 µg/l.
Cuivre	2,0	mg/l	
Cyanure	50	µg/l	
1,2-dichloroéthane	3,0	µg/l	
Épichlorhydrine	0,10	µg/l	La valeur paramétrique de 0,10 µg/l se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.
Fluorures	1,5	mg/l	
Acides haloacétiques (AHA)	60	µg/l	Ce paramètre n'est mesuré que dans les cas où des méthodes de désinfection qui peuvent générer des AHA sont utilisées pour la désinfection d'eaux destinées à la consommation humaine. Il est constitué de la somme des cinq substances représentatives suivantes: acide chloroacétique, dichloroacétique et trichloroacétique, et acide bromoacétique et dibromoacétique.
Plomb	5	µg/l	La valeur paramétrique de 5 µg/l est respectée, au plus tard, le 12 janvier 2036. La valeur paramétrique pour le plomb jusqu'à cette date est 10 µg/l.
			Après cette date, la valeur paramétrique de 5 µg/l est respectée au moins au point de distribution des installations privées de distribution. Aux fins de l'article 11, paragraphe 2, premier alinéa, point b), la valeur paramétrique de 5 µg/l au robinet s'applique.
Mercure	1,0	µg/l	
Microcystine-LR	1,0	µg/l	Ce paramètre n'est mesuré qu'en cas d'efflorescences potentielles dans les eaux de source (croissance de la densité cellulaire des cyanobactéries ou potentiel de formation d'efflorescences).
Nickel	20	µg/l	

Paramètres	Valeur paramétrique	Unité	Notes
Nitrates	50	mg/l	Les États membres veillent à ce que la condition [nitrates]/50 + [nitrites]/3 ≤ 1 [la concentration en mg/l pour les nitrates (NO_3) et pour les nitrites (NO_2) est indiquée entre crochets] soit respectée et que la valeur paramétrique de 0,10 mg/l pour les nitrites soit respectée par les eaux en sortie de traitement.
Nitrites	0,50	mg/l	Les États membres veillent à ce que la condition [nitrates]/50 + [nitrites]/3 ≤ 1 [la concentration en mg/l pour les nitrates (NO_3) et pour les nitrites (NO_2) est indiquée entre crochets] soit respectée et que la valeur paramétrique de 0,10 mg/l pour les nitrites soit respectée par les eaux en sortie de traitement.
Pesticides	0,10	µg/l	Par «pesticides», on entend: — les insecticides organiques, — les herbicides organiques, — les fongicides organiques, — les nématocides organiques, — les acaricides organiques, — les algicides organiques, — les rodenticides organiques, — les produits antimoisissures organiques, — les produits apparentés (notamment les régulateurs de croissance), et leurs métabolites, tels que définis à l'article 3, point 32), du règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil (1), qui sont considérés comme pertinents pour les eaux destinées à la consommation humaine. Un métabolite de pesticide est jugé pertinent pour les eaux destinées à la consommation humaine s'il y a lieu de considérer qu'il possède des propriétés intrinsèques comparables à celles de la substance mère en ce qui concerne son activité cible pesticide ou qu'il fait peser (par lui-même ou par ses produits de transformation) un risque sanitaire pour les consommateurs.
			La valeur paramétrique de 0,10 µg/l s'applique à chaque pesticide particulier. En ce qui concerne l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorépoxyde, la valeur paramétrique est 0,030 µg/l.

Paramètres	Valeur paramétrique	Unité	Notes
			Les États membres définissent une valeur indicative aux fins de la gestion de la présence de métabolites non pertinents de pesticides dans les eaux destinées à la consommation humaine. Seuls les pesticides dont la présence dans une distribution donnée est probable doivent faire l'objet d'une surveillance. Sur la base des données communiquées par les États membres, la Commission peut établir une base de données des pesticides et de leurs métabolites pertinents en tenant compte de leur présence possible dans les eaux destinées à la consommation humaine.
Total pesticides	0,50	µg/l	Par «Total pesticides», on entend la somme de tous les pesticides individuels, tels qu'ils sont définis à la ligne précédente, détectés et quantifiés dans le cadre de la procédure de surveillance.
Total PFAS	0,50	µg/l	Par «Total PFAS», on entend la totalité des substances alkylées per- et polyfluorées. Cette valeur paramétrique ne s'appliquera qu'une fois que des lignes directrices techniques pour la surveillance de ce paramètre auront été élaborées conformément à l'article 13, paragraphe 7. Les États membres pourront alors décider d'utiliser l'un ou l'autre des paramètres «Total PFAS» ou «Somme PFAS», ou les deux paramètres.
Somme PFAS	0,10	µg/l	Par «Somme PFAS», on entend la somme des substances alkylées per- et polyfluorées qui sont considérées comme préoccupantes pour les eaux destinées à la consommation humaine et dont la liste figure à l'annexe III, partie B, point 3. Il s'agit d'un sous-ensemble des substances constituant le Total PFAS qui contiennent un groupement de substances perfluoroalkylées comportant trois atomes de carbone ou plus (à savoir, –CnF2n–, n ≥ 3) ou un groupement de perfluoroalkyléthers comportant deux atomes de carbone ou plus (à savoir, –CnF2nOCmF2 m–, n et m ≥ 1).
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	0,10	µg/l	Somme des concentrations des composés spécifiés suivants: benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, et indéno(1,2,3-cd)pyrène.
Sélénium	20	µg/l	Une valeur paramétrique de 30 µg/l est appliquée pour les régions dans lesquelles les conditions géologiques pourraient occasionner des niveaux élevés de sélénium dans les eaux souterraines.

Paramètres	Valeur paramétrique	Unité	Notes
Tétrachloroéthylène et trichloroéthylène	10	µg/l	La somme des concentrations de ces deux paramètres
Total trihalométhanes	100	µg/l	Si possible, sans compromettre la désinfection, les États membres s'efforcent d'atteindre une valeur paramétrique inférieure. Il s'agit de la somme des concentrations des composés spécifiés suivants: le chloroforme, le bromoforme, le dibromochlorométhane et le bromodichlorométhane.
Uranium	30	µg/l	
Chlorure de vinyle	0,50	µg/l	La valeur paramétrique de 0,50 µg/l se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.

(*) Règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil (JO L 309 du 24.11.2009, p. 1).

Partie C

Paramètres indicateurs

Paramètres	Valeur paramétrique	Unité	Notes
Aluminium	200	µg/l	
Ammonium	0,50	mg/l	
Chlorures	250	mg/l	Les eaux ne devraient pas être corrosives.
Clostridium perfringens (y compris les spores)	0	nombre/100 ml	Ce paramètre est mesuré si l'évaluation des risques indique qu'il convient de le faire.
Couleur	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal		
Conductivité	2 500	µS cm^{-1} à 20 °C	Les eaux ne devraient pas être agressives.
Concentration en ions hydrogène	≥ 6,5 et ≤ 9,5	unités pH	Les eaux ne devraient pas être agressives. Pour les eaux plates mises en bouteilles ou en récipients, la valeur minimale peut être réduite à 4,5 unités pH. Pour les eaux mises en bouteilles ou en récipients qui sont naturellement riches ou enrichies artificiellement en dioxyde de carbone, la valeur minimale peut être inférieure.
Fer	200	µg/l	
Manganèse	50	µg/l	
Odeur	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal		
Oxydabilité	5,0	mg/l d'O_2	Ce paramètre ne doit pas être mesuré si le paramètre COT est analysé.
Sulfates	250	mg/l	Les eaux ne devraient pas être corrosives.
Sodium	200	mg/l	
Saveur	Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal		
Teneur en colonies à 22 °C	Aucun changement anormal		
Bactéries coliformes	0	nombre/100 ml	Pour les eaux mises en bouteilles ou en récipients, l'unité est le nombre total/250 ml.
Carbone organique total (COT)	Aucun changement anormal		Ce paramètre ne doit pas être mesuré pour les distributions d'un débit inférieur à 10 000 m^3 par jour.

Annexes en volumes séparés

Q.22. Graphiques des chroniques piézométriques du RPN et du réseau AEM

Voir document séparé

Q.23. Tableaux des résultats d'analyses 2012-2022 du RNSQES

Voir document séparé

Q.24. DAO pour l'acquisition et l'installation de 80 sondes automatiques de pression au profit du PAEA

Voir document séparé

Q.25. DAO pour la réalisation de 20 piézomètres au profit du PAEA

Voir document séparé