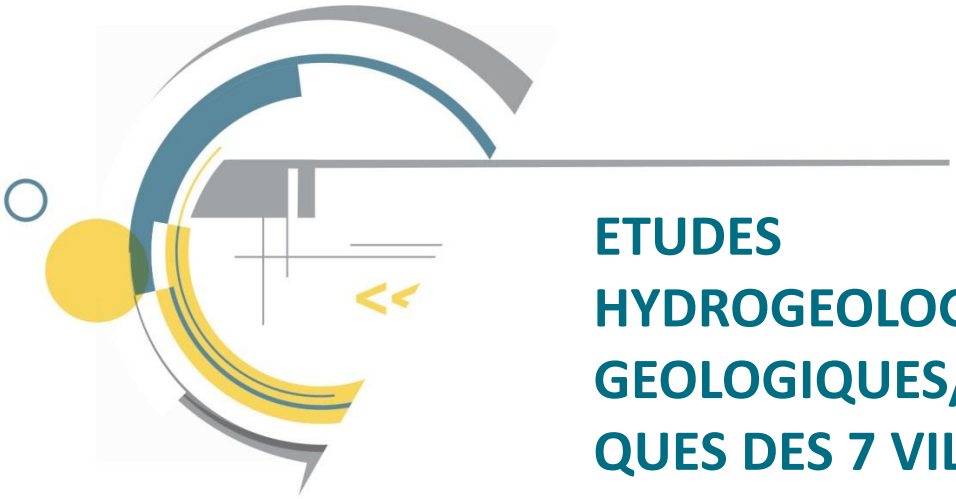
MINISTERE DE L'EAU ET DES MINES
(MEM)

REALISATION DES ETUDES HYDROGEOLOGIQUES ET GEOLOGIQUES/ HYDROLOGIQUES ET D'AVANT-PROJET DETAILLEES DU PROJET D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES VILLES DE KARIMAMA, KALALE, COBLY, GOGOUNOU, OUINHI, KPOMASSE ET ZE



ETUDES HYDROGEOLOGIQUES ET GEOLOGIQUES/HYDROLOGIQUES DES 7 VILLES NON COUVERTES PAR LA SONEB

Cabinet MERLIN
Groupe MERLIN

6 rue Grôlée
69289 Lyon Cedex 02
FRANCE
Tel : +33 472 32 56 37
Email : international@cabinet-merlin.fr

SETEM-BENIN
INGENIEURS-CONSEILS

Cité ZOPAH
Villas X21 L5
BP : 299
Abomey- Calavi
BENIN

SUIVI DU DOCUMENT :

20019-108-ETU-ME-1-001 – Etudes Hydrogéologiques et Géologiques/Hydrologiques des 7 villes non couvertes par la SONEB

D	31/05/2022	HB	Equipe		AJV		PD		Correction et prise en compte des observations de la séance de validation du 28/04/2022
C	15/11/2021	HB	Equipe		AJV		PD		Prise en compte des observations du MO
B	08/10/2021	HB	Equipe		AJV		PD		Prise en compte des observations du MO
A	30/08/2021	HB	Equipe		AJV		PD		Première émission
Rev.	Date	Chef Projet	Préparé par	Visa	Vérifié par	Visa	Approuvé par	Visa	Nature de la modification

Cabinet MERLIN
Groupe MERLIN
6 rue Grôlée 69289 Lyon Cedex 02 FRANCE
Tel : +33 472 32 56 37
Email : international@cabinet-merlin.fr

SETEM-BENIN
ingénieurs-conseils
Cité ZOPAH, Villas X21 L5, BP : 299
Abomey- Calavi, BENIN

REALISATION DES ETUDES HYDROGEOLOGIQUES ET GEOLOGIQUES/HYDROLOGIQUES ET D'AVANT-PROJET DETAILLEES DU PROJET D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES VILLES DE KARIMAMA, KALALE, COBLY, GOGOUNOU, OUINHI, KPOMASSE ET ZE

RAPPORT FINAL
ETUDES HYDROGEOLOGIQUES ET GEOLOGIQUES/HYDROLOGIQUES

Doc N°	
Contrat N°	Contrat N°1193/MEM/MEF/SONEB/PRMP/DNCMP/SP du 05/05/2021 + Avenant N°1

Table des matières

0. RESUME 13
1. INTRODUCTION 16
1.1. Contexte 16
1.2. Cadre institutionnel 16
1.3. Objectif de la mission 17
1.4. Portée du présent rapport 17
2. GENERALITE SUR LES VILLES DE L'ETUDE 18
2.1. Localisation 18
2.2. Généralité sur la commune de Cobly 19
2.2.1. Cadre physique 19
2.2.1.1. Situation géographique 19
2.2.1.2. Relief et géomorphologie 19
2.2.1.3. Sol 20
2.2.1.4. Végétation 20
2.2.1.5. Hydrographie 20
2.2.2. Conditions hydro-climatiques de la commune de Cobly 21
2.2.3. Cadre socio-économique de la ville de Cobly 21
2.2.3.1. Population et démographie 21
2.2.3.2. Organisation sociale 21
2.2.3.3. Activités économiques 22
2.2.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement 23
2.3. Généralité sur la ville de Karimama 24
2.3.1. Cadre physique 24
2.3.1.1. Situation géographique 24
2.3.1.2. Relief et géomorphologie 24
2.3.1.3. Sol 24
2.3.1.4. Végétation 25
2.3.1.5. Hydrographie 25
2.3.2. Conditions hydro-climatiques de la ville de Karimama 25
2.3.3. Cadre socio-économique de la ville de Karimama 25
2.3.3.1. Population et démographie 25
2.3.3.2. Organisation sociale 25
2.3.3.3. Activités économiques 26
2.3.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement 26
2.4. Généralité sur la ville de Gogounou 28
2.4.1. Cadre physique 28
2.4.1.1. Situation géographique 28
2.4.1.2. Relief et géomorphologie 28

2.4.1.3. Sol 28
2.4.1.4. Végétation 29
2.4.1.5. Hydrographie 29
2.4.2. Conditions hydro-climatiques de la ville de Gogounou 29
2.4.3. Cadre socio-économique de la ville de Gogounou 29
2.4.3.1. Population et démographie 29
2.4.3.2. Organisation sociale 29
2.4.3.3. Activités économiques 30
2.4.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement 31
2.5. Généralité sur la ville de Kalalé 32
2.5.1. Cadre physique 32
2.5.1.1. Situation géographique 32
2.5.1.2. Relief et géomorphologie 32
2.5.1.3. Sol 32
2.5.1.4. Végétation 33
2.5.1.5. Hydrographie 33
2.5.2. Conditions hydro-climatiques de Kalalé 34
2.5.3. Cadre socio-économique de la ville de kalalé 34
2.5.3.1. Population et démographie 34
2.5.3.2. Organisation sociale 34
2.5.3.3. Activités économiques 34
2.5.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement 35
2.6. Généralité sur la ville de Ouinhi 36
3.6.1. Cadre physique 36
3.6.1.1. Situation géographique 36
3.6.1.2. Relief et géomorphologie 37
3.6.1.3. Sol 37
3.6.1.4. Végétation 37
3.6.1.5. Hydrographie 37
3.6.2. Conditions hydro-climatiques de Ouinhi 38
3.6.3. Cadre socio-économique de la ville de Ouinhi 38
3.6.3.1. Population et démographie 38
3.6.3.2. Organisation sociale 38
3.6.3.3. Activités économiques 38
3.6.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement 38
2.7. Généralité sur la ville de Kpomassè 40
2.7.1. Cadre physique 40
2.7.1.1. Situation géographique 40

2.7.1.2. Relief et géomorphologie 41
2.7.1.3. Sol 41
2.7.1.4. Végétation 41
2.7.1.5. Hydrographie 41
2.7.2. Conditions hydro-climatiques de Kpomassè 41
2.7.3. Cadre socio-économique de la ville de Kpomassè 41
2.7.3.1. Population et démographie 41
2.7.3.2. Organisation sociale 41
2.7.3.3. Activités économiques 42
2.7.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement 42
2.8. Généralité sur la ville de Zè 43
2.8.1. Cadre physique 43
2.8.1.1. Situation géographique 43
2.8.1.2. Relief et géomorphologie 44
2.8.1.3. Sol 44
2.8.1.4. Végétation 44
2.8.1.5. Hydrographie 44
2.8.2. Conditions hydro-climatiques de Zè 44
2.8.3. Cadre socio-économique de la ville de Zè 44
2.8.3.1. Population et démographie 44
2.8.3.2. Organisation sociale 45
2.8.3.3. Activités économiques 45
2.8.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement 45
3. METHODOLOGIE ET MATERIEL 46
3.1. Méthodologie 46
3.1.1. Les mesures électriques 46
3.1.2. Les mesures de Résonnance Magnétique Protonique (RMP) 47
3.1.2.1. Prise des mesures des sondages RMP 47
3.1.2.2. Obtention des résultats hydrogéologiques à partir des résultats RMP 47
3.2. Matériel et personnel 48
4. RESULTATS HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSIQUE DES VILLES 50
4.1. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Cobly 50
4.2. Résultat des études linéamentaires de la ville de Cobly 51
4.3. Résultats des prospections de base réalisés à Cobly 53
4.4. Point des sondages RMP réalisés à Cobly 54
4.5. Points d'implantation retenus dans la ville de Cobly 55
4.6. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Karimama 57
4.7. Résultat des études linéamentaires 58

4.8. Résultats de la prospection de base réalisés à Karimama 60
4.9. Point des sondages RMP réalisés à Karimama 61
4.10. Points d'implantation retenus dans la ville de Karimama 62
4.11. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Gogounou 65
4.12. Résultat des études linéamentaires 66
4.13. Résultats de la prospection de base réalisés à Gogounou 68
4.14. Point des sondages RMP réalisés à Gogounou 69
4.15. Points d'implantation retenus dans la ville de Gogounou 70
4.16. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Kalalé 72
4.17. Résultat des études linéamentaires 73
4.18. Résultats de la prospection de base réalisés à Kalalé 75
4.19. Point des sondages RMP réalisés à Kalalé 76
4.20. Points d'implantation retenus dans la ville de Kalalé 77
4.21. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Zè 79
4.22. Points d'implantation retenus dans la ville de Zè 79
4.23. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Kpomassè 81
4.24. Points d'implantation retenus dans la ville de Kpomassè 81
4.25. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Ouinhi 83
4.26. Points d'implantation retenus dans la ville de Ouinhi 83
5. Qualité des eaux dans les zones d'étude 85
6. Caractéristiques des forages à réaliser 89
6.1. Caractéristiques de forages à réaliser en zone de socle 89
6.2. Caractéristiques de forages à réaliser en zone sédimentaire 89
6.3. TECHNIQUES ET OUTILS DE FORATION 90
6.4. Techniques de forages 90
6.5. Outils de forage 91
6.6. Dimensionnement des forages 92
6.6.1. Diamètres de forage 92
6.6.2. Tubage 92
7. CONSISTANCE DES TRAVAUX ET SPECIFICATIONS TECHNIQUES 94
7.1. Consistance des travaux 94
7.2. Spécifications techniques 94
7.2.1. Contexte géologique et hydrogéologique 94
7.2.2. Implantation des ouvrages 95
7.2.3. Verticalité du forage passage libre dans le forage 95
7.2.4. Gravillonnage de l'espace annulaire 95
7.2.5. Mesures en cours de travaux 96
7.2.6. Instruments de mesure 96
7.2.7. Prélèvement des échantillons 96

7.2.8. Traitements des forages 96
7.2.9. Développement et nettoyage des forages 96
7.2.10. Mise en place du tout-venant et cimentation 97
7.2.11. Essais de pompage 97
7.2.11.1. Généralités 97
7.2.11.2. Montage de l'atelier de pompage 98
7.2.11.3. Relevé du niveau statique et de la profondeur 98
7.2.11.4. Dispositif de pompage 98
7.2.11.5. Pompage et arrêt 98
7.2.12. Analyses d'eau 99
7.2.13. Equipements de surface 100
7.2.14. Dossier d'exécution des forages 100
8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 101
ANNEXES 102
DONNEES GEOPHYSIQUES DE KARIMAMA 103
DONNEES GEOPHYSIQUES DE KALALE 123
DONNEES GEOPHYSIQUES DE GOGOUNOU 137
DONNEES GEOPHYSIQUES DE OUINHI 175
DONNEES GEOPHYSIQUES DE Kpomasse 178
DONNEES GEOPHYSIQUES DE Zè 182
Collecte des données sur les présumés propriétaires des sites d'implantation des forages 186
I. INTRODUCTION 206
II. FACTEURS CLIMATIQUES ET HYDROLOGIQUES 207
2.1. Régime climatique 207
2.2. Pluviométries journalières et annuelles 207
2.3. Hauteur de pluie - Intensité - Durée - Fréquence 226
2.4. Détermination du coefficient de ruissellement (Cr) 226
2.5. La température 227
2.6. L'Evaporation 228
2.7. Calcul du bilan hydrologique 228
2.8. Volume annuel d'eau écoulé 230
2.9. Détermination de la lame d'eau infiltrée 230
2.10. Méthodes de détermination des débits de crues décennale 230
2.11. Appréciation des méthodes utilisées choix des débits de projet 239
2.12. Estimation des débits de pointe de crue supérieur à 10 ans 239
III. POTENTIELS HYDROLOGIQUES RELATIFS A CHAQUE ZONE DE PROJET 242
3.1. COBLY 242
3.2. GOUGOUNOU 244
3.3. KALALE 245

3.4. KARIMAMA 246
IV. DELIMITATION ET IDENTIFICATION DES BASSINS VERSANTS EXPLOITABLES 247
4.1. COBLY 247
4.1.1. Les caractéristiques physiques du bassin versant retenu : 247
4.1.2. Données climatiques 247
4.1.3. Calcul hydrologique 247
4.2. GOGOUNOU 250
4.2.1. Les caractéristiques physiques du bassin versant retenu : 250
4.2.2. Données climatiques 250
4.2.3. Calcul hydrologique 250
4.3. KALALE 253
4.3.1. Les caractéristiques physiques du bassin versant retenu : 253
4.3.2. Données climatiques 253
4.3.3. Calcul hydrologique 253
4.4. KARIMAMA 256
V. DEFINIR LE VOLUME MOYEN ANNUEL EXPLOITABLE POUR CHAQUE BASSIN VERSANT 258
VI. SYNTHESE 259
6.1. COBLY 259
6.2. GOGOUNOU 260
6.3. KALALE 261
6.4. KARIMAMA 262
VII. RECOMMANDATION ET CONCLUSION 263
7.1. Recommandations 263
7.2. Conclusion 263

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des sites de l'étude 18
Figure 2 : Carte de localisation de la commune de Cobly. 19
Figure 3 : Carte de localisation de la commune de Karimama. 24
Figure 4 : Carte de localisation de la commune de Gogounou 28
Figure 5 : Carte de localisation de la commune de Kalalé 32
Figure 6 : Carte de localisation de la commune de Ouinhi 36
Figure 7 : Carte de localisation de la commune de Kpomassè 40
Figure 8 : Carte de localisation de la commune de Zè 43
Figure 9 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Cobly 50
Figure 10 : Localisation des zones implantées dans la commune de Cobly 51
Figure 11 : Carte linéamentaire de la commune de Cobly 52
Figure 12 : Rosace directionnelle de la commune de Cobly 52
Figure 13 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Karimama 58
Figure 14 : Localisation des zones implantées dans la commune de Karimama 58
Figure 15 : Carte linéamentaire de la commune de Karimama 59
Figure 16 : Rosace directionnelle de la commune de Karimama 60
Figure 17 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Gogounou 66
Figure 18 : Localisation des zones implantées dans la commune de Gogounou 66
Figure 19 : Carte linéamentaire de la commune de Gogounou 67
Figure 20 : Rosace directionnelle de la commune de Gogounou 68
Figure 21 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Kalalé 72
Figure 22 : Localisation des zones implantées dans la commune de Kalalé 73
Figure 23 : Carte linéamentaire de la commune de Kalalé 74
Figure 24 : Rosace directionnelle de la commune de Kalalé 74
Figure 25 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Zè 79
Figure 26 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la zone de Kpomassè 81
Figure 27 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la zone de Ouinhi 83
Figure 28 : Carte de localisation des zones étudiées 206
Figure 29 : Variation des pics journaliers sur la station Synoptique de Kandi 209
Figure 30 : Variation des pics journaliers sur la station Synoptique de Natitingou 209
Figure 31 : Variation des pics journaliers sur la station pluviométrique de Banikoara 210
Figure 32 : Variation des pics journaliers sur la station pluviométrique de Bembèrèkè. 210
Figure 33 : courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Natitingou 211
Figure 34: Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Natitingou 212
Figure 35 : courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Banikoara 212
Figure 36: Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Banikoara 213
Figure 37: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Kandi 213
Figure 38 : Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Kandi 214
Figure 39: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Bembèrèkè 214
Figure 40: Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Bembéréké 215
Figure 41 : Comparaison des pics journaliers des 4 stations retenues dans le cadre de cette étude 216
Figure 42 : cumuls annuels de la pluie de 1922 à 2018 sur la station de Natitingou 218
Figure 43 : cumuls annuels de la pluie sur la station Banikoara 218
Figure 44 : cumuls annuels de la pluie sur la station de KANDI 219
Figure 45 : cumuls annuels de la pluie sur la station BEMBEREKE 219
Figure 46 : courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Natitingou 221
Figure 47 : Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Natitingou 221
Figure 48: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Banikoara 222
Figure 49: Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Banikoara 222
Figure 50 : courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Kandi 223
Figure 51: Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Kandi 223

Figure 52 : courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Kandi 224
Figure 53: Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Kandi 224
Figure 54 : Comparaison des cumuls annuels des 4 stations retenues dans le cadre de cette étude 225
Figure 55 : Graphique de détermination du coefficient de Kr_{70} 236
Figure 56: Graphique de détermination du coefficient de Kr_{100}. 237
Figure 57: Détermination des temps de base 238
Figure 58 : Carte du réseau hydrographique de COBLY et les environs 243
Figure 59 : Carte du bassin versant du réseau hydrographique de GOGOUNOU et les environs 244
Figure 60 : carte du réseau hydrographique de KALALE et environs 245
Figure 61 : Carte du réseau hydrographique de KARIMAMA et environs 246
Figure 62 : Hydrogramme de la crue décennale à l'exutoire du BV du bassin versant. 248
Figure 63: Carte du bassin versant du projet pour la localité de COBLY 249
Figure 64 : Hydrogramme de la crue décennale à l'exutoire du BV de GOGOUNOU 251
Figure 65: Carte du Bassin versant du projet pour la localité de GOGOUNOU 252
Figure 66 : Hydrogramme de la crue décennale à l'exutoire du BV de KALALE 254
Figure 67: Carte du bassin versant du projet pour la localité de KALALE 255
Figure 68 : carte du bassin versant qui contrôle la localité de Karimama 256
Figure 69 : carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine. 259
Figure 70 : carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine. 260
Figure 71 : carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine. 261
Figure 72 : carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine. 262

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition de la population par arrondissement 29
Tableau 2 : Evolution de la population de 1919 à 2013 de la commune de Kalalé 34
Tableau 3 : Localisation des zones prioritairement prospectées 51
Tableau 4 : Point des profils et sondages réalisés à Cobly 53
Tableau 5 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Cobly 55
Tableau 6 : Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Cobly 56
Tableau 7 : Localisation des zones prioritairement prospectées 59
Tableau 8 : Point des profils et sondages réalisés à Karimama 60
Tableau 9 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Karimama 62
Tableau 10 : Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Karimama 63
Tableau 11 : Localisation des zones prioritairement prospectées dans la ville de Gogounou 67
Tableau 12 : Point des profils et sondages réalisés à GOGOUNOU 68
Tableau 13 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Gogounou 70
Tableau 14 : Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Gogounou 71
Tableau 15 : Localisation des zones prioritairement prospectées dans la ville de Kalalé 73
Tableau 16 : Point des profils et sondages réalisés 75
Tableau 17 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Kalalé 77
Tableau 18 : Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Kalalé 77
Tableau 19 : Point des sondages réalisés et sites de forages réalisés pour la ville de Zè 80
Tableau 20 : Point des sondages réalisés et sites de forages réalisés pour la ville de Kpomassè 82
Tableau 21 : Point des sondages réalisés et sites de forages pour la ville de Ouinhi 84
Tableau 22 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Gogounou 85
Tableau 23 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Karimama 85
Tableau 24 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Kalalé 86
Tableau 25 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Cobly 86
Tableau 26 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Ouinhi 87
Tableau 27 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Kpomassè 87
Tableau 28 : Qualité des eaux des ouvrages BDF /Commune de Zè 88
Tableau 29 : Caractéristiques moyennes des forages à réaliser dans la zone de socle 89
Tableau 30 : Caractéristiques moyennes des forages à réaliser dans la zone sédimentaire 89
Tableau 31: les coordonnées géographiques des stations 207
Tableau 32 : Période de relevé des données pluviométriques 207
Tableau 33 : Statistiques de base des pics journaliers à Natitingou 208
Tableau 34 : Statistiques de base des pics journaliers à Banikoara 208
Tableau 35 : Statistiques de base des pics journaliers à KANDI 208
Tableau 36 : Statistiques de base des pics journaliers à BEMBEREKE 209
Tableau 37 : Pluies journalières décennales et moyennes interannuelles 211
Tableau 38 : Statistiques de base des cumuls annuels des stations de Natitingou 217
Tableau 39 : Statistiques de base des cumuls annuels des stations de Banikoara 217
Tableau 40 : Statistiques de base des cumuls annuels des stations de Kandi 217
Tableau 41 : Statistiques de base des cumuls annuels des stations de BEMBEREKE 218
Tableau 42 : Pluies maximales annuelles et moyennes interannuelles 220
Tableau 43 : Coefficients de Montana de fréquence décennale du Bénin 226
Tableau 44 : Température moyennes 227
Tableau 45 : ETP 228
Tableau 46: Détermination du type de conditions antécédentes de précipitation. 233
Tableau 47: Conversion d'un CN de type II à un CN de type I ou III 233
Tableau 48 : Liste des équations retenues pour l'étude 239
Tableau 49 : Evaluation des volumes mobilisables par bassin 258

Liste des photos

Photo 1 : Appareillage de prospection géophysique 49
Photo 2 : Matériel complet de mesure 49

0. RESUME

ETUDE HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSIQUE

Face à la croissance démographique de la population béninoise, la réponse des instances dirigeantes garantes de l'approvisionnement en eau est le renforcement de leur système d'alimentation qui de ce fait, passe de la direction des projets d'hydraulique villageoise vers les compétences de la SONEB dont les attributs nécessitent la mobilisation de grosse ressource d'eau, pour le fonctionnement des ouvrages dont elle a la charge. C'est le cas des villes de Karimama, Kalalé, Cobly, Gogounou, Ouinhi, Kpomassè et Zè pour lesquels la présente étude est réalisée en vue de mobiliser la ressource en eau souterraine pour la réalisation de leur système d'alimentation en potable.

Si les quatre (04) premières villes sus citées sont situées dans un contexte géologique caractérisé par le socle cristallin et où la ressource discontinue est relativement abondante, les villes de Ouinhi, Kpomassè et Zè située en zone du bassin sédimentaire côtier offre un meilleur potentiel hydrogéologique pour la réalisation d'ouvrages de captage.

D'après les documents liés à la présente étude, les caractères hydrogéologiques (non exhaustive) des zones d'étude se présentent comme suit :

	GEOLOGIE	PROFONDEUR FORAGES (m)	DEBIT EXCEPTIONNELS (m^3/h)	NIVEAU STATIQUE (m)	TAUX DE SUCCES %
KALALE	Socle cristallin/BS Kandi	20-90	10-25	10-11	73
KARIMAMA	Socle cristallin/BS Kandi	30 - 90	10 - 15	15-17	100
COBLY	Socle amphilolitique /BS volta	20 - 90	5 - 48	9 - 15	69 - 75
GOGOUNOU	Socle cristallin/BS Kandi	30 -100	8 -12	12 - 14	79
OUINHI	BS côtier	60-240	20-36	0,3-50	93
KPOMASSE	BS côtier	35-105	2-56	1-60	96
ZE	BS côtier	18 - 643	25-36	3-76	85

Les travaux de terrain sont constitués des investigations hydrogéologiques combinées à la prospection géophysique. En zone de socle, cette dernière a été conduite par une association des méthodes classiques (trainé et sondage électriques) avec dans un premier temps la résistivité électrique tomographique puis les sondages RMP dans un second temps. Cependant les villes du bassin sédimentaire côtier ont été investiguées grâce aux sondages électriques.

A l'issu des différentes recherches, la synthèse des résultats se présente comme suit :

- ✓ Ville de zè

N°	Sondages électriques (SE) réalisés	SE implantés retenues	Aquifère ciblé	Prof Estimée(m)
1	**SE1/ Z1**	**SE1/ Z1**	Crétacé	**170**
2	**SE4/Z1**	**SE4/Z1**	Crétacé	**250**
3	**SE5/Z1**	**SE5/Z1**	Crétacé	**240**
4	**SE2/Z2**	**SE2/Z2**	Crétacé	**185**
5	**SE3/Z2**	**SE3/Z2**	Crétacé	**220**
6	**SE6/Z3**		Crétacé	**120**

✓ Ville de Kpomassè

N°	Sondages électriques (SE) réalisés	SE implantés	Aquifère ciblé	Prof Estimée(m)
1	**SE1/ Z1**	**SE1/ Z1**	Crétacé	**250**
2	**SE2/Z1**	**SE2/Z1**	Crétacé	**180**
3	**SE3/Z2**	**SE3/Z2**	Crétacé	**250**
4	**SE4/Z2**	**SE4/Z2**	Crétacé	**150**
5	**SE5/Z2**	**SE5/Z2**	Crétacé	**180**

✓ Ville de Ouinhi

N°	Sondages électriques (SE) réalisés	SE implantés	Aquifère ciblé	Prof Estimée(m)
1	**SE1/ Z1**	**SE1/ Z1**	Crétacé	**250**
2	**SE4/Z1**	**SE4/Z1**	Crétacé	**250**
3	**SE2/Z2**	**SE2/Z2**	Crétacé	**250**
4	**SE3/Z3**	**SE3/Z3**	Crétacé	**265**

✓ Ville de Karimama

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
KARIMAMA	SE1/Z1	160	7.3%	22.5	13.5	1028	117	6 -- 10	85%	**1**
	SE4/Z3_SE8/Z3	227	0.4%	59.8	35.9	545	98	5 -- 9	55%	**2**
	SE11/Z5	211	1.0%	38.0	22.8	467	94	5 -- 8	49%	**3**
	SE10/Z5	211	0.7%	43.4	26.0	465	94	4 -- 7	49%	**4**
	SE12/Z6_SE13/Z6	127	2.3%	12.5	7.5	240	82	0 -- 1	27%	**5**

✓ Ville de Cobly

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
COBLY	SE3/Z3	310	0.7%	64.5	38.7	691	106	17 -- 28	61%	**1**
	SE1/Z1	311	1.2%	49.5	29.7	661	105	17 -- 28	58%	**2**
	SE4/Z4	281	0.4%	48.9	29.3	446	93	5 -- 9	47%	**3**
	SE6/Z6-SE8/Z6	185	0.7%	24.3	14.6	260	83	1 -- 2	29%	**4**

✓ Ville de Gogounou

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
GOGOUNOU	SE8/Z9	180	13.3%	41.0	24.6	3177	242	35 -- 60	95%	**1**
	SE1/Z8-SE2/Z8	115	3.5%	72.5	43.5	1852	170	15 --26	94%	**2**
	SE4/Z7	101	7.1%	30.4	18.2	1357	143	5 -- 8	93%	**3**
	SE6/Z9-SE7/Z9	133	1.9%	43.0	25.8	734	109	4 --7	57%	**4**
	SE5/Z7	100	1.5%	53.0	31.8	792	112	3 -- 6	66%	**5**
	SE1/Z1	66	1.0%	35.0	21.0	431	92	0 -- 2	46%	**6**

✓ Ville de Kalalé

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
KALALE	SE3/Z3	280	10.8%	50.5	30.3	3244	246	40 -- 80	32%	**1**
	SE1/Z2	234	13.9%	42.3	25.4	3412	255	20 -- 60	39%	**2**
	SE3/Z2	115	3.9%	43.0	25.8	1190	133	6 -- 11	86%	**3**
	SE5/Z4-SE6/Z4	300	3.4%	11.0	6.6	275	83	2 -- 3	33%	**4**
	SE1/Z5-SE2/Z5	117	2.4%	14.0	8.4	276	84	0 -- 2	27%	**5**

ETUDE HYDROLOGIE

L'étude hydrologique, objet du présent rapport a pour but de rechercher la disponibilité des ressources en eaux de surface et d'évaluer la quantité exploitable. L'analyse des données climatiques, topographiques et des calculs hydrologiques basés sur les méthodes empiriques et mathématiques, nous a permis de délimiter les bassins versants, de déterminer leurs caractéristiques physiques ; d'évaluer l'ETR, la pluviométrie moyenne annuelle, la pluie annuelle des années sèches et la lame d'eau ruisselée, pour aboutir au volume d'eau mobilisable par an. Les résultats issus de ladite analyse sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Ville	Surface bassin versant (km^2)	Pluie moyenne annuelle (mm)	Pluie de l'année sèche (50 ans) mm	Volume annuel écoulé en année normale (m^3)	Volume annuel écoulé en année sèche (m^3)	Aménagements à faire pour mobiliser le volume
COBLY	40.08	1260	915	8 332 632	4 767 518	Ouvrage de retenue
GOGOUNOU	309.04	1050	750	42 183 960	32 019 634	Ouvrage de retenue
KALALE	145.05	1190	795	26 978 664	14 990 917	Ouvrage de retenue
KARIMAMA		994	747			Prise dans le Niger

De l'analyse du tableau, il ressort que les réseaux hydrographiques des villes de Gogounou, Kalalé et Cobly sont caractérisés par des écoulements intermittents ou saisonniers contrairement au fleuve Niger dans la ville de Karimama et les cours d'eau rencontrés dans les villes du sud, objet de la présente étude.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

La Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) est un établissement public, à caractère industriel et commercial qui a pour objet le captage, le transfert, le traitement et la distribution de l'eau potable ainsi que l'évacuation des eaux usées. Ses activités s'étendent en milieux urbain et péri urbain sur l'ensemble du territoire national.

La Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) a été créée en Juin 2003 à l'issue d'une réforme institutionnelle des secteurs Eau et Electricité, précédemment assurés par la SBEE (Société Béninoise d'Electricité et d'Eau).

La SONEB exploite actuellement une soixantaine de système d'AEP de tailles très différentes alimentant 69 chefs-lieux de Commune sur les 77 que compte le Bénin. Dans les 7 chefs-lieux de Communes parmi les 8 non encore alimentés par la SONEB à savoir Karimama, Kalalé, Cobly, Gogounou, Ouinhi, Kpomassè et Zè, les populations accèdent à l'eau via les systèmes d'Adduction d'Eau Villageoise (AEV) et/ou de Poste d'Eau Autonome (PEA) voire des Pompes à Motricité Humaine (PMH).

Face à l'accroissement démographique et au développement socio-économique de ces sept (07) centres, les systèmes d'AEV et/ou de PEA/PMH desdites localités se relèvent insuffisants pour assurer une fourniture d'eau potable de façon pérenne et adéquate.

Ainsi, les besoins en eau potable sans cesse croissants des populations de ces localités l'obligent à se rabattre vers des sources alternatives que sont les mares, marigots et lacs, potentiels vecteurs de maladies d'origine hydrique. Cette situation peu reluisante rend ainsi indispensable la mise en place d'un système d'AEP par la SONEB afin d'améliorer la desserte en eau potable des localités suscitées qui disposent déjà de réseaux d'AEV.

Eu égard à ce qui précède, la SONEB a réalisé en 2018 une étude de faisabilité en vue de l'alimentation en eau potable des villes de Karimama, Kalalé, Cobly, Gogounou, Ouinhi, Kpomassè et Zè (7 villes non couvertes) par ses équipements et ses modes de fonctionnement.

Au cours de la séance de validation du rapport des études hydrogéologiques et géologiques/ hydrologiques (phase A), le 28 Avril 2022, le Maître d'Ouvrage Délégué (SONEB) a recommandé au Groupement Cabinet MERLIN SETEM BENIN, l'actualisation des études de faisabilité en vue de finaliser le rapport d'études hydrogéologiques et géologiques/hydrologiques.

Le présent rapport est relatif aux études hydrogéologiques et géologiques/hydrologiques des villes de Karimama, Kalalé, Cobly, Gogounou, Ouinhi, Kpomassè et Zè.

1.2. Cadre institutionnel

Le cadre institutionnel de la présente mission est la suivante :

- ✓ Autorité contractante : Le Ministère de l'Eau et des Mines ;
- ✓ Autorité contractante délégué : Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) ;
- ✓ Bénéficiaires : Les Mairies de Karimama, Kalalé, Cobly, Gogounou, Ouinhi, Kpomassè et Zè.
- ✓ Consultant : Le Groupement MERLIN-SETEM-BENIN à travers le contrat N°1193/MEM/MEF/SONEB/PRMP/DNCMP/SP du 05/05/2021 ;
- ✓ Financement : Budget national.

1.3. Objectif de la mission

La présente mission concerne généralement les études techniques pour l'approvisionnement en eau potable des villes de Karimama, Kalalé, Cobly, Gogounou, Ouinhi, Kpomassè et Zè et leurs agglomérations à l'horizon 2035 et se décline en trois phases essentielles que sont :

- ✓ Etudes hydrogéologiques et géologiques / hydrologiques ;
- ✓ Le contrôle et la surveillance des travaux d'exécution des forages ;
- ✓ Réalisation des études techniques détaillées.

Ce rapport concerne la phase A « Etudes hydrogéologiques et géophysiques / hydrologiques » dont l'objectif est d'assurer la mobilisation de la ressource en eau pour la mise en place des systèmes en potable des villes sus citées à travers la réalisation de nouveaux forages d'exploitation.

1.4. Portée du présent rapport

Le rapport présenté à l'issue de la mission est structuré comme suit :

- **Une présentation du cadre d'étude ;**
- **Une présentation des aspects méthodologiques ;**
- **Une partie consacrée à la restitution des résultats dans chaque ville ;**
- **Une partie dédiée aux spécifications techniques des forages projetés en zone sédimentaire et en zone de socle ;**
- **Une partie consacrée à la qualité des eaux dans les diverses zones d'étude ;**
- **Enfin un chapitre réservé à l'étude hydrologique.**

2. GENERALITE SUR LES VILLES DE L'ETUDE

2.1. Localisation

Les sites objets de la présente étude sont les chefs-lieux des communes de Cobly, de Karimama, de Gogounou, de Kalalé, de Ouinhi, de Kpomassè, et de Zè. Ils sont géographiquement répartis dans la partie septentrionale pour les villes de Cobly, de Karimama, de Gogounou, de Kalalé, et au sud de la république du Bénin pour ce qui concerne les villes de Ouinhi, de Kpomassè, et de Zè. Voir figure ci-dessous.

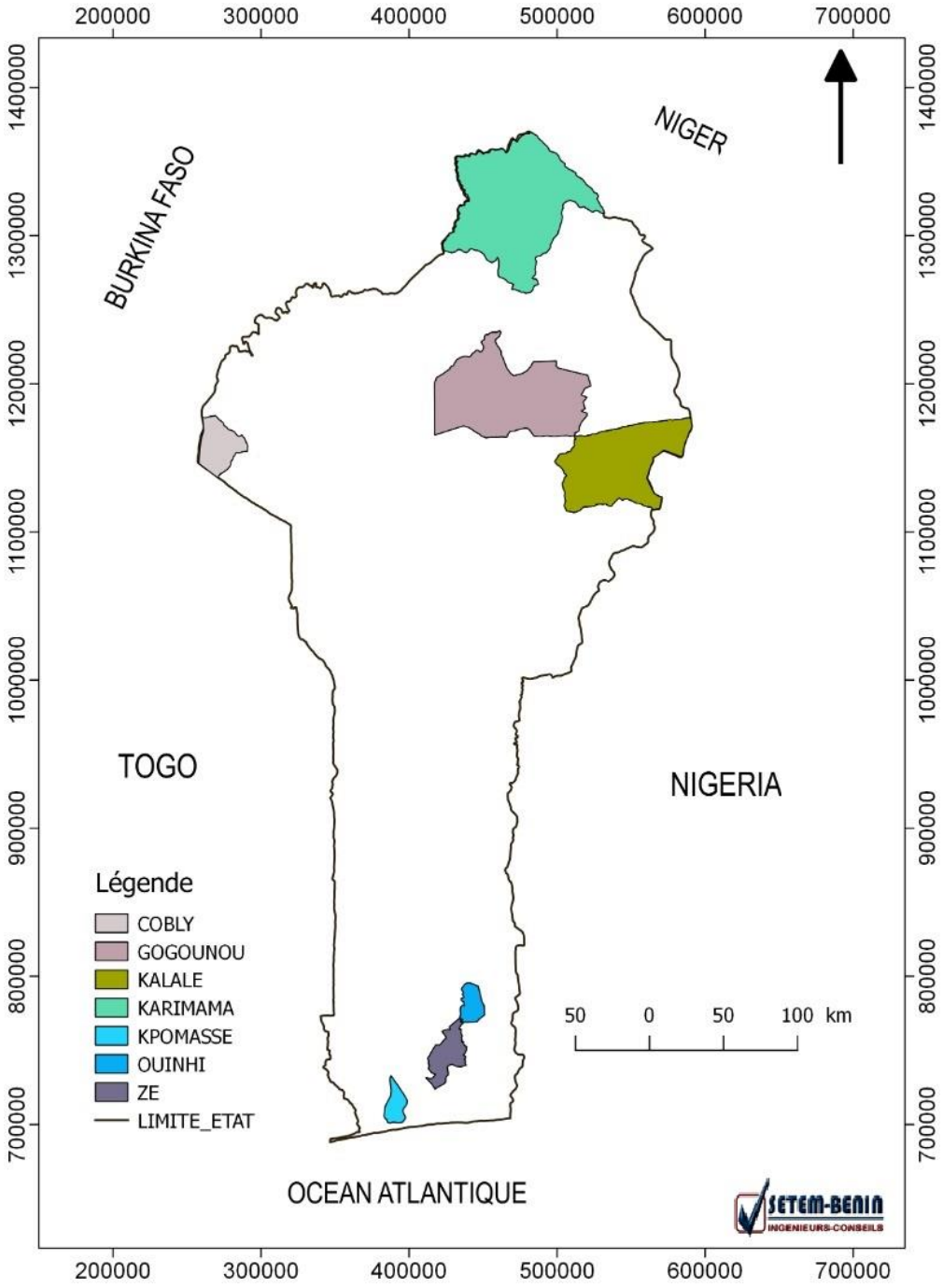


Figure 1 : Localisation des sites de l'étude

2.2. Généralité sur la commune de Cobly

2.2.1. Cadre physique

2.2.1.1. Situation géographique

La commune de Cobly, est limitée au nord par la commune de Matéri, au sud par la commune de Boukombé, à l'Est par celle de Tanguiéta et à l'Ouest par la République Togolaise. Elle compte 26 villages répartis dans quatre arrondissements que sont : Cobly centre, Tapoga, Kountori et Datori.

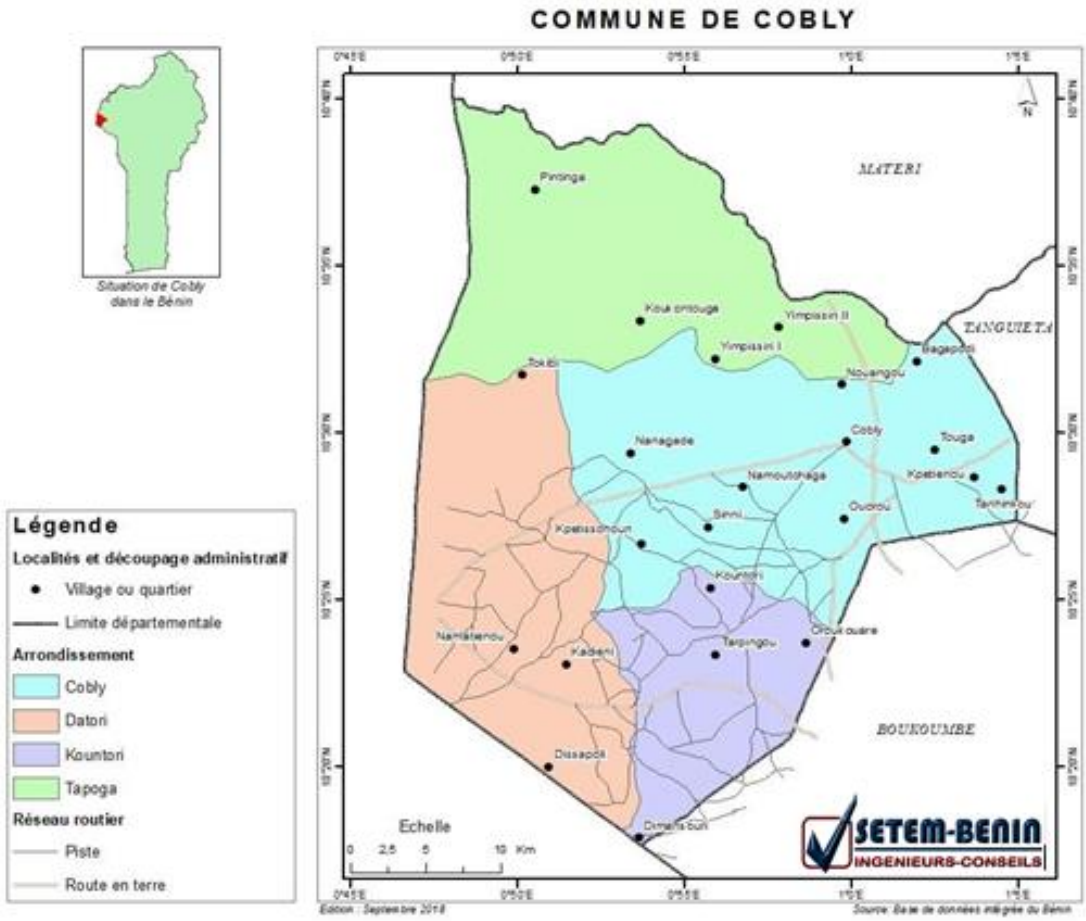


Figure 2 : Carte de localisation de la commune de Cobly.

2.2.1.2. Relief et géomorphologie

La commune de Cobly est située dans la pénéplaine du Gourma qui s'étend sur le Togo et le Burkina Faso et dont l'altitude varie entre 200 à 300 mètres. Les chaînons montagneux de Cobly vers Manta, de Cobly vers Korontière et de Kountori vers Korontière traversent et divisent cette pénéplaine en quatre franges. A ces chaînons s'ajoutent quelques dômes d'amphibolites et d'ortho gneiss parsemés dans la région. Bien que située hors de son territoire, la chaîne montagneuse de l'atacora qui atteint par endroits plus de 500 mètres d'altitude, isole Cobly du reste du Département, à l'instar des trois autres communes limitrophes.

2.2.1.3. Sol

On distingue quatre types de sols dans la Commune de Cobly :

- Les sols minéraux bruts caractérisés par une absence presque totale d'évolution pédologique. Ils se rencontrent au sommet des chaînons montagneux ;
- Les sols peu évolués à tendance ferrugineux ; ils occupent une étendue appréciable de la superficie de la Commune. Ils se subdivisent en trois sous-groupes :
    - Les sols non concrétionnés sur schistes quartzeux, riches en éléments chimiques, à hydromorphie marquée, avec une faible teneur en éléments grossiers de plus de 2 mm ;
    - Les sols non concrétionnés sur quartz à grains fins ; ils occupent les faibles pentes et certains sommets ;
    - Les sols non concrétionnés sur colluvions issues des grès-quartzites et jaspes ; ils sont souvent associés à des sols rouges moyennement concrétionnés. Ils occupent les pentes de 1 à 2 % et sont intensément cultivés.
- Les sols concrétionnés qui se subdivisent en :
    - Sols concrétionnés sur schiste en plaquettes à l'ouest et au Nord,
    - Sols concrétionnés sur schistes quartzeux vers la région de Tanguiéta.
- Les sols hydromorphes qui se présentent sous forme de bas-fonds plats et larges ; ils sont riches en éléments chimiques. Ils présentent une bonne perméabilité dans les horizons humifères et une bonne teneur en matières organiques (plus de 2% sur les sols non cultivés et 1 % sur les sols très exploités). En général, ce sont des sols sous-exploités avec des jachères allant jusqu'à plus de 20 ans. Ils se subdivisent en :
    - Sols hydromorphes sur micaschistes,
    - Sols hydromorphes sur schistes en plaquettes jeunes.

Malgré la faible vitesse d'écoulement des eaux de pluie, on observe des effets de l'érosion hydrique aux pieds des collines et sur les sols en exploitation agricole.

2.2.1.4. Végétation

Le couvert végétal de la commune est constitué du résiduel de la végétation primaire à présent disparue représenté par une savane arbustive dont les principales essences sont classées dans les différentes strates qui sont :

- **Strate graminée** : Andropogon gayanus, Impérata cylyndrica, Hyparrenia, Kempferia acthiopica, Pennisetum et des graminées hydrophiles ;
- **Strate arbustive** : Terminalia glanscena, Acacia papaya, Gardenia ternifolia, Acacia maerostachia, Cajanus cajan et Guiera senegalensis;
- **Strate arborée** : Butyrospermum pàrkii (karité), Parkla biglobosa (néré), Andansonia digitata (baobab), Borassus ethiopium (rônier), Khaya senegalensis (caïlcédra), Mangifera indica (manguier). En dehors de quelques bois sacrés, on observe de petites "forêts" galerie le long de certains cours d'eau saisonniers.

Pour la population faunique, aujourd'hui la plupart des espèces ont disparu. Le reste est constitué essentiellement de rares herbivores (biches), de quelques omnivores (singes, phacochères...), de rongeurs (agoutis, lapins, rats) et d'oiseaux (perdrix, pintades sauvages...).

2.2.1.5. Hydrographie

La morphologie de la région en forme de plaine explique l'absence de grands cours d'eau. Toutefois, de nombreux petits cours d'eau saisonniers alimentent la Commune de Cobly et tarissent en général entre Décembre et Mars.

La commune de Cobly se trouve dans la portion nationale du bassin de la Volta. Le réseau hydrographique est composé du principal cours d'eau de la région qui est la Pendjari (Oti au Togo) et ses affluents.

Le réseau hydrographique est composé des affluents de la Pendjari parmi lesquels on peut citer le Kountori, l'Akoni, le Yanauté, le Silbongo, le Kouariyaké, le Tcanimamè etc.

2.2.2. Conditions hydro-climatiques de la commune de Cobly

Elle jouit d'un climat de type soudano-guinéen avec une saison sèche allant de Novembre à Avril et une saison pluvieuse de Mai à Octobre. La température moyenne est d'environ 27° C avec des variations de 17° C à 35° C. Elle connaît de fortes amplitudes thermiques, surtout pendant l'harmattan.

Les précipitations, d'une hauteur moyenne de 1.000 mm par an, sont irrégulièrement réparties tout au long de la saison pluvieuse, ce qui constitue une entorse pour l'agriculture. De façon générale, les pluies commencent à s'installer en mars, s'affirment progressivement d'avril à août où leur intensité baisse jusqu'en octobre.

2.2.3. Cadre socio-économique de la ville de Cobly

2.2.3.1. Population et démographie

Selon le troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation de 2002 (RGPH3), la population de la Commune de Cobly est de 46 660 habitants. Cette population est passée en 2013 à 67 603 habitants, soit un taux d'accroissement moyen de 3,3 % (RGPH4). Avec ce taux, la Commune de Cobly comptait 76 556 habitants en 2016 et passera à 89 489 habitants en 2021, soit un taux d'accroissement de 3,11 %.

L'analyse des données démographiques fait ressortir que la population de la Commune de Cobly est très jeune, avec plus de 23 % de personnes âgées de moins de 30 ans (RGPH4). Sur une population générale de 67 603 habitants, on dénombre 34 819 femmes soit 51,5 %. Malgré leur poids, les femmes participent très peu à la prise de décision au niveau de la Commune et dans les ménages.

Ceci est dû à l'analphabétisme d'une part et au poids de la tradition d'autre part. De plus en plus, on note la présence de migrants (538 personnes étrangères) à cause de l'amélioration des conditions de vie et certaines infrastructures de base au niveau de la Commune. Du coup, l'exode rural se réduit avec un solde migratoire de -2 319 du fait du développement de certaines filières comme le riz, le coton et l'intervention de nombreux partenaires dans le secteur de l'agriculture.

On note aussi que l'arrondissement de Cobly, qui comptait 24 878 habitants en 2013, constitue la zone de concentration de la population avec près de 37 % des habitants de cette Commune qui vivent dans cette localité.

2.2.3.2. Organisation sociale

On dénombre dans la commune de Cobly huit (8) ethnies ; les Bebèrbè majoritaires réprésentent les 70%de la population. Le reste de la population est composée des ethnies comme les Gamgamba, les Kountimba, les Gourmantché, les Bètamaribè, les Tchokossi, les Peulh et les Dendi.

Les groupes ethniques de la commune de Cobly pratiquent les religions traditionnelles (82,8%), Catholicisme (7,0%), Islam (3,6%), Protestantisme (1,5%), autres (5,1%).

2.2.3.3. Activités économiques

La production agricole constitue la principale activité économique de la Commune de Cobly suivie de l'élevage et du commerce. L'agriculture constitue le principal secteur pourvoyeur d'emplois avec plus de 90 % de la population active de la Commune. Elle constitue, avec l'élevage, la principale source de revenus du monde rural. Ces deux secteurs peuvent donc être valorisés pour booster l'économie locale avec les investissements nécessaires pour les rendre performants et compétitifs.

Les principales cultures sont :

- Au niveau de la production céréalière : le maïs, le sorgho, le petit mil et le riz ;
- Au niveau des légumineuses : le niébé, le goussi, le sésame et le soja ;
- Au niveau des cultures maraîchères : le piment et le gombo ;
- Au niveau des cultures de rente : le coton.

La production animale concerne essentiellement l'élevage traditionnel d'ovins, de caprins, de porcins et dans une moindre mesure de bovins et de la volaille.

Les activités commerciales sont dominées essentiellement par le commerce de produits agricoles qui constituent la majeure partie des transactions sur les différents marchés de la Commune. Le marché central de Cobly et celui de Datori centre constituent les principaux pôles d'activités commerciales de la Commune.

L'artisanat demeure une activité très marginale et ne se limite qu'à la fabrication de quelques objets de poterie et de sculpture. Au cours de ces dernières années, ce secteur a connu une évolution avec la mise sur pied d'une association des artisans regroupant surtout les mécaniciens, les maçons, les menuisiers, les couturiers, couturières, les soudeurs et les coiffeurs de la Commune.

Suite à la structuration des artisans en fédération dont au niveau national la FENAB, ce secteur a bénéficié des financements des activités de formation de la part de FODEFCA et SWISS CONTACT.

Les atouts dont dispose le secteur sont :

- La meilleure position géographique de la Commune de Cobly ;
- L'existence d'un collectif d'association des artisans à Cobly.

L'artisanat à Cobly est confronté aux contraintes suivantes :

- La faible disponibilité des matières premières pour les artisans.
- L'insuffisance de bois d'œuvre pour les artisans sculpteurs
- Le manque de matières premières pour les autres catégories d'artisans
- L'accès difficile aux financements ;
- Les possibilités limitées de perfectionnement à travers les formations.

Les activités touristiques sont de faible importance dans l'économie de la Commune de Cobly parce que le potentiel est non exploité. On distingue deux (2) lieux d'hébergement à Cobly Centre et cinq (5) bars restaurants.

Les atouts dont dispose la Commune sont notamment :

- L'existence de sites touristiques ;
- La richesse du patrimoine culturel et artisanal.

Les contraintes liées au développement du secteur du tourisme et de l'hôtellerie sont :

- L'insuffisance de maison de passage ;
- Les sites touristiques non aménagés ;
- Le manque d'infrastructures hôtelières.

La grande partie des produits agricoles est vendue au moment des récoltes qui coïncident avec les fêtes de fin d'année, obligeant ainsi les producteurs à un bradage de leurs produits pour faire face aux dépenses de l'heure. Les marchés d'écoulement de ces produits sont :

- Les marchés locaux de Cobly Centre, de Nanagadé, de Tokibi, de Tapoga et de Kountori ;
- Les marchés hors de la commune : Tanguiéta, Matéri et Boukombé;
- Les marchés hors du Bénin : Gando et N'Konta au Togo.

2.2.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement

On note une absence totale du réseau de la SONEB dans la commune.

Toutefois, grâce à l'intervention de plusieurs acteurs au développement dont le Projet Hydraulique Villageoise, le Projet d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement (PAEPA) de la SNV-Bénin, HAADI et le PDRA II, Cobly dispose aujourd'hui de plus de 54 puits à grand diamètre dont 17 non fonctionnels et plus de 102 forages dont 23 non fonctionnels.

2.3. Généralité sur la ville de Karimama

2.3.1. Cadre physique

2.3.1.1. Situation géographique

La ville de Karimama est située au Nord-Ouest du département de l'Alibori. Elle est limitée au Nord par le fleuve Niger au Sud-Ouest par la commune de Banikoara, au Sud est par la commune de Kandi, à l'Est par la commune de Malanville. Sa superficie est de 6102 km² soit plus de 5/6 sont couvertes par le Parc National W. le chef-lieu de la commune de Karimama est situé à environ 780 km de Cotonou.

Administrativement Karimama est constituée de 5 arrondissements : Karimama centre, Birni-Lafia, Bogo-Bogo, Kompa et Monsey. On dénombre 2 quartiers et 16 villages.

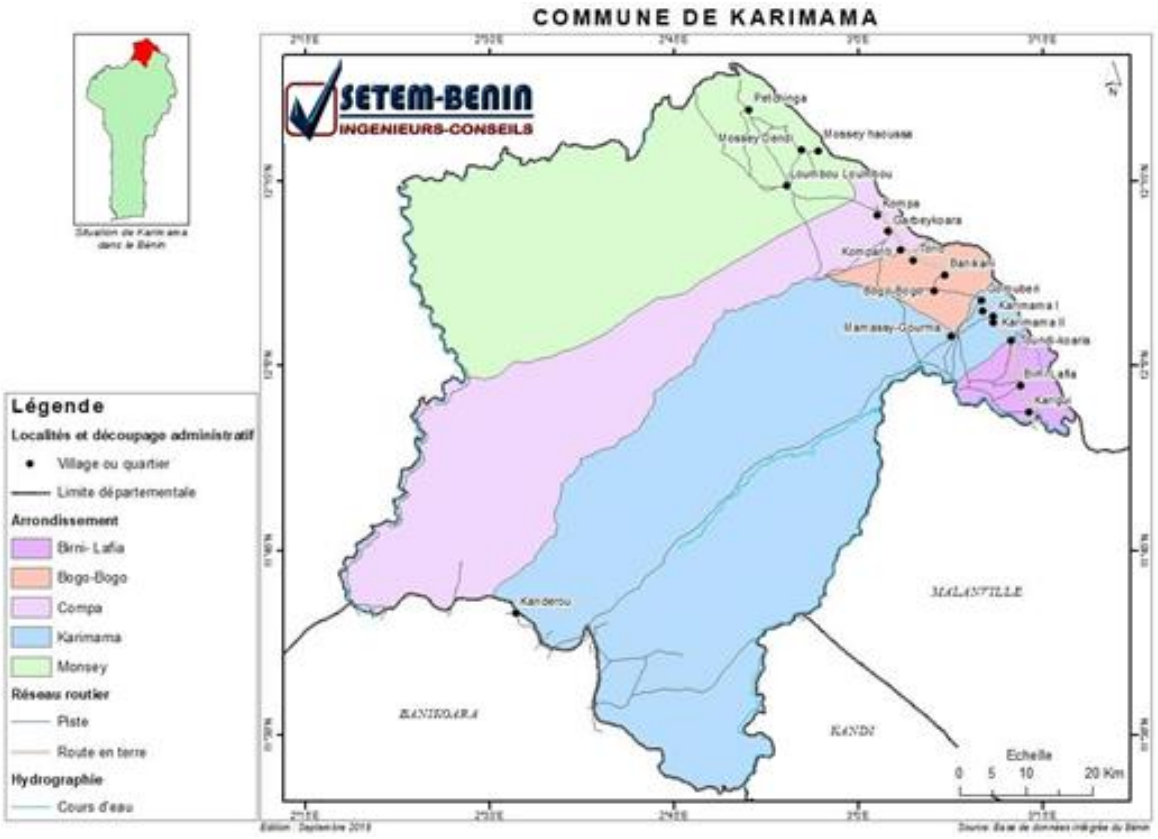


Figure 3 : Carte de localisation de la commune de Karimama.

2.3.1.2. Relief et géomorphologie

Le relief de la commune est dans l'ensemble peu accidenté avec une extension terminale de la chaîne de l'Atacora au Sud - Ouest de la zone. Ce relief est constitué de dépressions, de sols caillouteux et d'une diversité de formations édaphiques.

2.3.1.3. Sol

Le manteau pédologique de la ville est caractérisé par un continuum de dépressions, des sols caillouteux et une diversité de formation édaphique. On y rencontre sur les terrasses hautes et moyennes de la vallée du fleuve Niger, des sols ferrugineux tropicaux à texture sablo-

limoneuse, présentant par endroits des hydromorphes. Sur les terrasses basses, on observe des sols hydromorphes développés sur des alluvions récentes à dominance argileuse.

2.3.1.4. Végétation

La végétation est constituée pour l'essentiel de savanes caractérisées des zones soudanienne et soudano - sahélienne. On y trouve aussi des forêts galeries le long des cours d'eau, des 45 forêts claires, des formations édaphiques (sols caillouteux, dépressions) caractérisées d'une part par des espèces telles *Burkea africana* et *Detarium microcarpum*, et d'autre part par *Mitragyna inermis* et *Terminalia macroptura*.

Le complexe du parc '' W '' qui couvre les 2/3 de la superficie de la commune, regorge une faune riche non moins importante.

On y rencontre divers oiseaux et presque tous les mammifères de la savane soudanienne de l'Afrique de l'Ouest. Il s'agit de : l'Eléphant, Buffle, Hippotrague, Bubale, divers cobs, céphalophes, guib harnaché, damalisque, phacochère, hippopotame, pintades sauvages, lion, guépard, hyène tachetée etc.

2.3.1.5. Hydrographie

Les principaux cours d'eau traversant la commune sont :

- Fleuve Niger
- Mékrou
- Alibori

En plus, Karimama dispose de nombreux bas-fonds, marigots et autres qui constituent des potentialités non négligeables.

2.3.2. Conditions hydro-climatiques de la ville de Karimama

Par sa situation géographique, la commune de Karimama bénéficie d'un climat

Sahélo Soudanien avec deux saisons :

- Sèche : Novembre - mi-mai.
- Pluvieuse : mi-mai – Octobre.

La pluviométrie : 600 mm /an et la température moyenne 40°C (Avril Mai – Juin).

La température moyenne 12°C à 25°C. L'Harmattan s'enregistre de la période allant de novembre à mars comme dans la toute la partie septentrionale du Bénin.

2.3.3. Cadre socio-économique de la ville de Karimama

2.3.3.1. Population et démographie

La population de l'agglomération urbaine de Karimama est estimée à 11 901 habitants dont 5 837 femmes contre 6 064 hommes selon la projection de l'INSAE à l'issue du RGPH4 de 2013. Le taux d'accroissement intercensitaire 2002 - 2013 est de 4,68%.

2.3.3.2. Organisation sociale

Les premier occupant de la ville de Karimama étaient les Gourmantche venus du Burkina-Faso. Ce n'est que plus tard que sont arrivés par les Dendi du Mali passant par le Niger.

Ils se sont installés au centre de Karimama obligeant les Gourmantché à s'installer à Mamassy Peulh, à Kofounou, à Kompanti et à Louboulloubou.

La population actuelle de Karimama est composée de :

- Dendi (agriculteurs) : 70%
- Peulhs éleveurs : 13,5%
- Gourmantché (agriculteurs) : 12%
- Haoussa (pêcheurs) : 4%
- Autres : 0,50%.

La répartition de la population par sexe fait apparaître une légère dominance des hommes selon le RGPH 2013. Les femmes représentent 49% de la population contre 51% pour les hommes.

Le nombre de ménage s'élève à 1 738 ménages. La taille moyenne des ménages est de 7,7.

2.3.3.3. Activités économiques

L'économie de la ville est principalement basée sur l'agriculture et la pêche. En plus de celles citées on y trouve également l'élevage et le commerce. L'économie est du type rural axée sur la production agricole notamment les céréales (mil, maïs, sorgho, riz) et les tubercules (manioc, igname). Le coton qui constitue un produit de rente, a été introduit récemment. L'agriculture occupe les populations rurales.

L'élevage concerne les volailles, les porcs, les caprins, les ovins, et les bovins. La pêche est peu développée et se pratique dans les marigots et rivières.

Karimama en raison de son apparent enclavement constitue un important lieu d'échange avec les villes béninoises voisines (Malanville, Kandi, Banikoara) et les villages de l'ouest de la République du Niger. Chaque semaine les gens viennent de ces endroits pour vendre leurs produits et pour acheter.

Les femmes de Kandi viennent au marché de Karimama vendre du maïs, des ignames, du beurre de karité et de la poudre du fruit de néré. Elles achètent surtout du poisson fumé qu'elles revendent dans leur ville. Les commerçants en provenance de Malanville approvisionnent la population locale en produits manufacturés. Les Nigériens apportent du poisson et du niébé. Ils se ravitaillent en céréales, en tubercules igname et en produits manufacturés.

La population locale offre à ses différents partenaires, du poisson, du gombo sec et du sorgho.

La pêche continentale est ainsi une activité qui joue un rôle important dans l'économie locale. Cette activité se mène dans tous les arrondissements. C'est une pêche artisanale qui se pratique dans les cours d'eau (Niger, Alibori, Mékrou) et dans les mares. Cela fait de Karimama le principal fournisseur de poissons d'eau douce aux populations des villes de Kandi, Banikoara, Bembéréké, Parakou et même Tchaourou.

2.3.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement

L'approvisionnement en eau potable dans la ville de Karimama constitue un véritable problème.

En effet, les points d'eau existants sont non seulement insuffisants, mais saisonniers pour certains.

Le fleuve Niger et ses affluents que l'Alibori et le Mékrou qui traversent la commune de Karimama offre aussi des possibilités d'approvisionnement en eau pour les populations riveraines mais il s'agit de l'eau souillée destinée aussi à l'abreuvement du bétail.

En ce qui concerne le potentiel du fleuve Niger pour l'approvisionnement en eau potable l'étude hydrologique de la présente étude s'y appesantira.

2.4. Généralité sur la ville de Gogounou

2.4.1. Cadre physique

2.4.1.1. Situation géographique

La Commune de Gogounou est située à l'entrée sud du Département de l'Alibori entre 10°33' et 10°57' de latitude Nord et 2°15' et 3°15' de longitude Est. Elle couvre une superficie de 4910 km2, ce qui représente 18,66 % de l'ensemble du Département de l'Alibori (26.303 km^2).

Elle est limitée au Nord par les communes de Kandi et de Banikoara, au Sud par les communes de Sinendé et de Bembèrèkè, à l'Est par la commune de Ségbana, à l'Ouest par la commune de Kérou (Atacora).

Administrativement, la commune de Gogounou est divisée en 6 arrondissements : Gogounou centre, Bagou, Gounarou, Ouara, Sori et Zougou-Pantroci et subdivisée en 4 quartiers et 34 villages soit au total 38 villages.

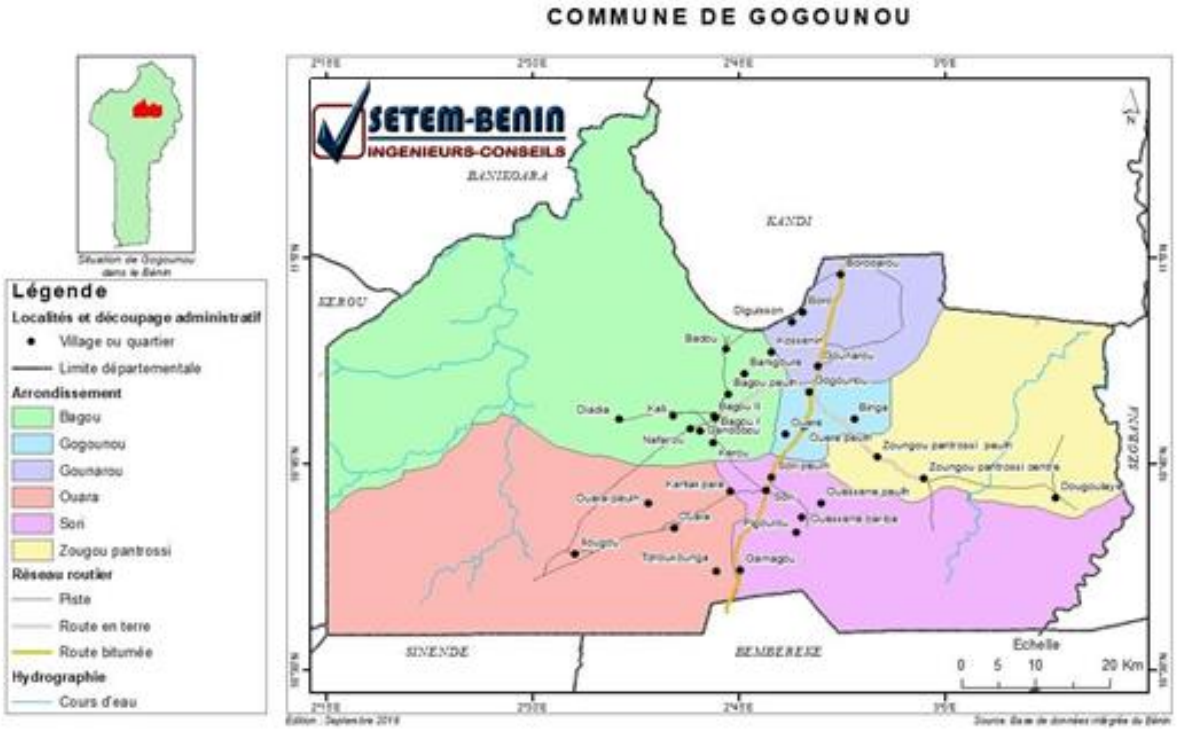


Figure 4 : Carte de localisation de la commune de Gogounou

2.4.1.2. Relief et géomorphologie

Le relief est essentiellement constitué de plaines et de plateaux surmontés par endroits de collines dont les hauteurs maximales tournent autour de 300 m.

2.4.1.3. Sol

Les sols sont ceux du socle granito – gneissique pour la plupart ferrugineux et généralement aptes à l'agriculture. Dans les plaines alluviales, dominent les sols alluviaux, argilo – sableux assez riches du fait de l'apport de matières organiques par les hautes eaux annuelles des fleuves.

2.4.1.4. Végétation

Le territoire est constitué de domaines protégés, de pâturages et de bas-fonds. Les forêts galeries qui se développent le long des cours d'eau favorisent le développement de grands arbres, tels que : *Khaya senegalensis* (caïlcédrat), *Pterocarpus erinaceus* (vène), *Afzelia africana* (lingué), *Adansonia digitata* (baobab), *Ceiba pentandra* (fromager).

Cet environnement abrite notamment les espèces animales suivantes : Hippotragus equinus (antilope cheval), Kobus kob (Cob de Buffon), les singes, Céphalophus (biche), Phacochoerus (Phacochère), Francolins (perdrix)

2.4.1.5. Hydrographie

La commune est arrosée par deux cours d'eau, la Sota et l'Alibori, et leurs affluents, qui tous appartiennent au bassin du fleuve Niger.

2.4.2. Conditions hydro-climatiques de la ville de Gogounou

Il est du type soudano-guinéen avec une saison des pluies de mai à octobre et une saison sèche, avec de l'harmattan, de novembre à avril. Les précipitations sont d'environ 1 100 mm par an, particulièrement abondantes en août, également en septembre. La température est comprise entre 18 °C et 38 °C.

2.4.3. Cadre socio-économique de la ville de Gogounou

2.4.3.1. Population et démographie

Au niveau du département, la Commune de Gogounou se place en quatrième position après Banikoara, Malanville et Kandi par rapport à son poids démographique. Elle a un dynamisme démographique puisqu'elle occupe le deuxième rang en taux de croissance au cours de la période 1992-2002 (4,78%) après Ségbana (4,94%). De 1992 à 2002, la population est passée de 50 045 habitants à 80 013 habitants. En 2013, elle était estimée à 117 523 habitants dont 14 248 habitants pour l'arrondissement principal Gougounou comme indiqué dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Répartition de la population par arrondissement

Divisions administratives	Nombre de village	RGPH4-2013			Pourcentage /Arrondissement
		Total	Homme	Femme	
COMMUNE : GOGOUNOU	**66**	**117 523**	**58 018**	**59 505**	
SORI	17	**31 334**	15 558	15 776	**26,66%**
BAGOU	18	**29 958**	14 796	15 162	**25,49%**
WARA	7	**16 061**	7 922	8 139	**13,67%**
GOGOUNOU	9	**14 248**	6 830	7 418	**12,12%**
GOUNAROU	8	**14 017**	6 893	7 124	**11,93%**
SOUGOU-KPANTROSSI	7	**11 905**	6 019	5 886	**10,13%**

Source: RGPH4, 2013.

2.4.3.2. Organisation sociale

Gogounou est composé de trois principaux groupes : Baatonou 53,8% suivi par les peulhs (41,6%) le dernier groupe est celui des étrangers venus des autres localités du Bénin (4,4%).

L'islam est la religion dominante. Elle est pratiquée par 67,1% de la population. Le Catholicisme et le Protestantisme sont pratiqués respectivement par 7,8% et 0,9% de la population. Les religions dites traditionnelles représentent 11,1% environ.

Dans la Commune de Gogounou l'on rencontre plusieurs groupes folkloriques qui font office de gardiens de la culture. Il s'agit des groupes, Boukakari de Gogounou, de Sougou Kpantrossi et de Gounarou, Sambani de Gogounou et de Wara (majoritairement animés par les femmes), Haraka de Fanan, Têkê de Ouèrè et de Dougou. Tous ces groupes puisent leurs richesses dans le fond culturel en voie de disparition ou peu valorisé. Ils sont sollicités lors des manifestations culturelles dans la Commune et hors de la Commune où ils défendent valablement la culture de Gogounou.

2.4.3.3. Activités économiques

L'agriculture est l'activité économique la plus importante. La production du coton est la plus importante suivie de celle des céréales (maïs, sorgho, haricot) ; viennent ensuite en troisième position les tubercules. Les cultures moins importantes sont les cultures maraîchères et les légumineuses.

Gogounou est une zone d'élevage avec un cheptel composé de bovins, de petits ruminants, de caprins, des équins des arsins et de volailles. L'élevage constitue la première source économique des ménages peulhs et la seconde pour les autres ménages. Il représentait en 1998, un capital estimé à cinq milliards cent quatre-vingt-quatre millions (5 184 000 000) de francs CFA.

Le commerce occupe une place importante dans l'économie de la Commune de Gogounou. Cependant la majorité des commerçants exerce leur métier dans l'informel ignorant pour la plupart leurs obligations professionnelles. Les échanges commerciaux dans la Commune de Gogounou se déroulent. Il existe sur le territoire de la Commune, une dizaine de marchés dont trois (03) marchés à Bétail à Gogounou, Petit Paris, Borodarou. Les marchés sont gérés par la Commune. Le marché central, à Gogounou d'une capacité de 400 places n'est pas équipé. La situation n'est pas plus reluisante dans les autres marchés.

D'un total de quatorze (14) marchés, seulement Gogounou, Petit Paris, Bagou et Boradarou disposent de quelques hangars construits en matériaux définitifs. Le marché international de bétail du village Petit Paris est peu loti en infrastructures ; ce qui amenuise sa rentabilité économique. Chaque marché est géré par un comité de gestion mis en place par la Commune. Ces marchés constituent un potentiel de ressources financières pour la Commune. Les activités menées dans les marchés sont soutenues par cinq types d'institutions de microfinances (la CLCAM, le SIA N'SON, le PAPME, le PADEB et l'A.S.F. du programme PROMIC.

Dans l'ensemble, les produits vendus dans ces différents marchés sont les vivriers d'origine végétale (maïs, sorgho, riz, tubercules légumineux), d'origine animale (bétail, fromage local, volailles sur pieds, viande, œuf, fromage), d'origine halieutique (poisson) et des produits manufacturés divers (tissus, matériel roulant à deux roues, quincaillerie). Le tourisme et l'hôtellerie sont deux domaines presque inexistants dans la Commune de Gogounou et donc n'apportent aucune contribution à l'économie locale. Toutefois, des sites touristiques existent. La proximité de Kandi qui dispose de 'bonnes' infrastructures hôtelières impose qu'à Gogounou, les infrastructures soient plus compétitives pour être viables.

La pêche constitue une activité secondaire pour la population de la Commune. La Commune dispose de forêts classées d'une superficie totale de 1 222 ha (Atlas monographique des futures de Commune du Bénin) répartie comme suit : vers Lougou, il y a la forêt classée de l'Alibori Superieur et du côté de Dougoulaye,

Zougou Pantrossi, ounsséné et Pigourou on a la forêt classée des Trois-Rivières. Dans ces forêts, se pratique une chasse clandestine par les populations environnantes. Pendant la saison sèche c'est la chasse à la battue qui est la plus répandue. C'est une activité qui n'est pas

valorisée dans la Commune car elle n'offre aucune opportunité pour le moment dans le cadre du développement de la localité. L'agriculture extensive crée une pression sur les forêts et entraîne des exploitations illicites des forêts. La pratique de la transhumance et les feux de brousses peu contrôlés, la chasse, de la coupe de gros arbres pour des fins de constructions de maison sont aussi des activités peu favorables à la gestion durable des forêts.

2.4.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement

Grâce à l'appui des différents programmes hydrauliques développés par différents partenaires au développement, la Commune de Gogounou dispose de 122 forages dont 20 encore non équipés. Théoriquement, la couverture en eau potable est d'environ 50% non comprise l'adduction d'eau villageoise disponible à Zougou-Pantrossi. Des programmes d'appui prévoient des interventions dans ce secteur. Pas de structures ni d'infrastructures pour la gestion des déchets avec pour résultats la prolifération des maladies tels que le paludisme et la diarrhée. Bagou présente le cas le plus alarmant. Il y a quelques canaux de drainage des eaux de ruissellement, système d'évacuation en bordure de la route inter-Etat. Le service d'hygiène est presque inexistant.

2.5. Généralité sur la ville de Kalalé

2.5.1. Cadre physique

2.5.1.1. Situation géographique

Kalalé est située dans la partie Nord-est du Département du Borgou. La ville est située au Nord du Bénin entre 10°18'et 10°45' latitude Nord et entre 3°25' et 3°45' longitude Est. Elle est limitée au Nord par la Commune de Ségbana (Département de l'Alibori), au Sud par celle de Nikki, à l'Est par la République Fédérale du Nigeria et à l'Ouest par les Communes de Bembèrèkè et de Gogounou. Elle s'étend sur une superficie de 3 586 km2 représentant 13,87% de la superficie du département et 3,18% de la superficie nationale du Bénin. La commune de Kalalé compte quarante-quatre (44) villages administratifs réparties en six (06) arrondissements. Il s'agit de : Basso, Bouka, Dérassi, Dunkassa, Kalalé, et Péonga.

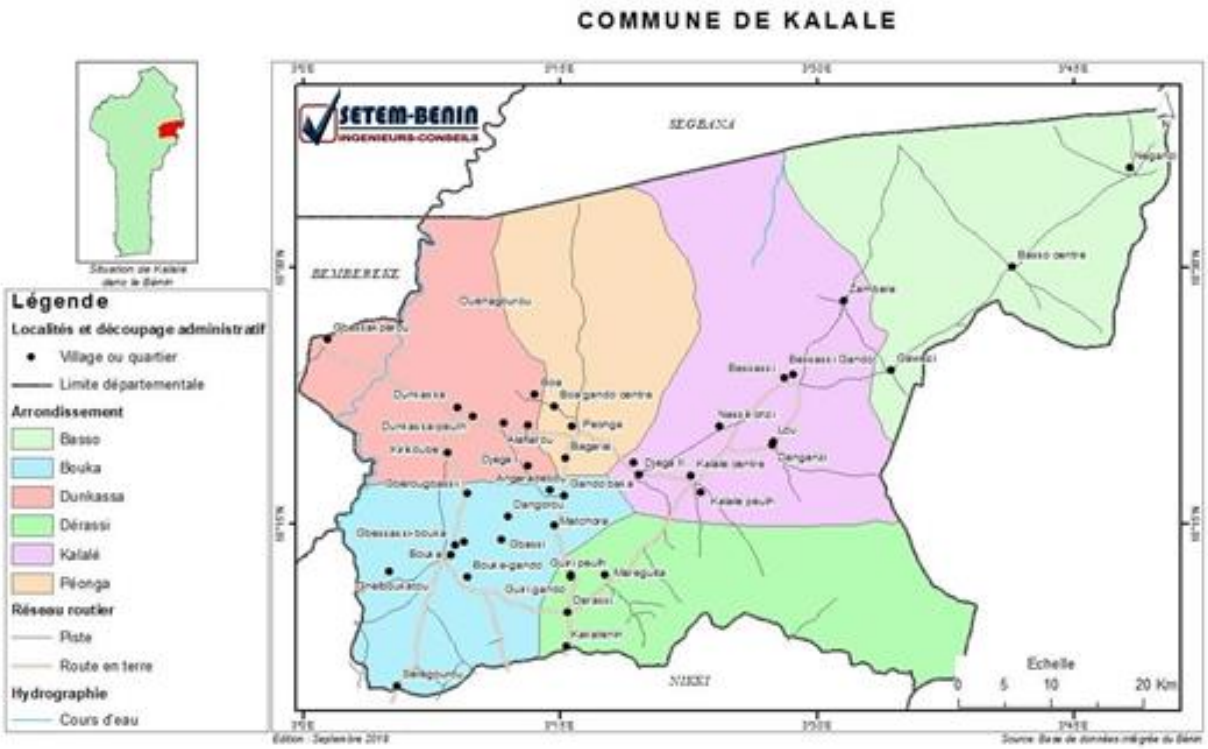


Figure 5 : Carte de localisation de la commune de Kalalé

2.5.1.2. Relief et géomorphologie

La ville de Kalalé présente un relief peu accidenté peu accidenté. Elle se caractérise par une vaste pénéplaine granito-gnéssique avec des élévations à l'ouest de la route nationale N 10 entre Dérassi et Kalalé et les collines de Kidaroukpérou, Bouca et Basso.

2.5.1.3. Sol

Les principaux types de sols sont ferrugineux tropicaux. Ce sont des sols ayant une profondeur plus ou moins importante ; leur perméabilité et leur porosité sont généralement bonnes. Par contre, ils ont des réserves minérales et une acidité forte et une saturation réduite. Ces sols apparaissent comme le résultat d'une altération intense et profonde. Presque partout, ils

manifestent une grande homogénéité physique. Les terres utilisables correspondent à des sols relativement profonds de 1 à 4 m généralement très bien drainés au moins sur 1 m de profondeur. On les rencontre en position de plateau, de sommet ou de haut de pente. Très cultivés, les sols sont sensibles à l'érosion avec d'importantes contraintes sur l'agriculture.

2.5.1.4. Végétation

La végétation est composée de savanes boisées, arborées et arbustives. On y rencontre de forêts claires par endroits. Mais l'action de l'homme y a provoqué de profonds bouleversements, faisant naître une végétation « humanisée » caractérisée par la disparition de nombreux ligneux et des ressources fauniques. C'est le cas de la Forêt classée des « Trois Rivières » qui se trouve sur le territoire de la ville de Kalalé, on y trouve une mosaïque de cultures, des aires de pâturage et de jachères.

Les savanes arborées et arbustives saxicoles sont des formations qui occupent essentiellement les affleurements rocheux, aux sols peu évolués, graveleux et peu profonds. On note la présence des arbustes aux troncs minces à frondaison lâche et quelques arbres. Les espèces fréquentes sont : *Khaya senegalensis, Parkia biglobosa, Ceiba pentandra, Combretum nigricans, Detarium microcarpum, Gardenia erubescens et Gardenia ternifolia.* Les sols de ces formations soumises aux pressions humaines et aux contraintes climatiques sont confrontés au phénomène d'érosion de plus en plus accentuée. Enfin, les champs et les jachères constituent un autre aspect de l'expression de l'action anthropique. Les sols, quoique peu profonds, sont très souvent riches en éléments minéraux et, par conséquent, sont favorables aux cultures telles que l'igname (*Dioscorea spp*), le sorgho (*Sorghum bicolor*), etc. Les espèces ligneuses rencontrées dans les champs et les jachères sont celles épargnées à cause de leur importance socio-économique. Il s'agit essentiellement du karité (*Vitellaria paradoxa*) et du néré (*Parkia biglobosa*). Les recrûs ligneux rencontrés très souvent dans les champs et les jachères sont : *Daniellia oliveri, Parinari curatellifolia* et *Pteleopsis suberosa*. La composition floristique de la strate herbacée varie avec l'âge de la formation. Les espèces dominantes sont : *Pennisetum polystachion, Indigofera spp et Tephrosia pedicellata*.

La faune de la ville de Kalalé est dominée dans les zones protégées, par quelques espèces fréquemment rencontrées. Il s'agit des reptiles, des oiseaux (perdrix, pintades et autres…) et des rongeurs auxquels on peut ajouter quelques espèces tels que les phacochères dans la forêt classée.

2.5.1.5. Hydrographie

Les principaux cours d'eau qui traversent Kalalé se répartissent en deux grands bassins :

- Le bassin Sud : formé par la rivière Oly qui se trouve au sud dans l'arrondissement de Dérassi et qui se jette dans le fleuve Niger en République Fédérale du Nigéria ;
- Le Bassin Nord : Composé des trois rivières à savoir :
- La Sota, au Nord- Est dans l'arrondissement de Kalalé qui se jette dans le fleuve Niger ;
- Le Tassinè, le Bouli et le Ouéna à l'Ouest dans l'arrondissement de Dunkassa, rejoignent la Sota en dehors de la ville (sur le territoire de la ville de Ségbana).

La plupart de ces cours d'eau tarissent en saison sèche à l'exception de la Sota. Le réseau des eaux souterraines n'est pas encore bien maîtrisé. La plupart des nappes aquifères se trouvent sous le socle cristallin. Ce qui rend difficile la construction des puits qui en majorité tarissent en saison sèche.

2.5.2. *Conditions hydro-climatiques de Kalalé*

De type soudano-guinéen, le climat de la ville de Kalalé se caractérise par une grande saison de pluies (avril à octobre) et une grande saison sèche (novembre à mars). La pluviométrie moyenne se situe entre 1 200 et 1 400 mm. Le régime des vents est assez différencié suivant la latitude.

Pendant la saison sèche, l'harmattan, vent chaud et sec, souffre du Nord-Est. Il est responsable de la baisse brutale de l'humidité relative (Hr) à compter du mois de Décembre. Cette localité du département du Borgou dispose d'un relief peu accidenté. Elle se caractérise par une vaste pénéplaine granito-gnéssique avec des élévations à l'ouest de la route nationale N°10 entre Dérassi et Kalalé et les collines de Kidaroukpérou, Bouca et Basso.

2.5.3. *Cadre socio-économique de la ville de kalalé*

2.5.3.1. *Population et démographie*

Au dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH 4) de 2013, la

Commune de Kalalé compte 168 882 habitants dont 84 078 hommes, soit 49,79% et 84 804 femmes, soit 50,21%. Signalons que le taux d'accroissement intercensitaire est de 4,72%.

Tableau 2 : Evolution de la population de 1919 à 2013 de la commune de Kalalé

RGPH1	RGPH2	RGPH3	RGPH4
38 730	57 091	100 026	168 882

2.5.3.2. *Organisation sociale*

La population de la ville de Kalalé est composée essentiellement des ethnies Boo, Bariba, Peul et Gando. Au recensement de 1992, la structure ethnique et apparentée se présente comme suit : Peulh 68,4% ; Bariba 26,2% ; Dendi 1,5 % ; Yoruba 1,1% ; Fon 0,5% ; Otamari 0,3% ; Adja 0,2% ; Yom et Lokpa 0,1% et les autres 1,7%.

La religion dominante est l'islam avec 91,2% de pratiquants. Les autres religions pratiquées par les populations sont : le christianisme (3,2%) et les religions traditionnelles (0,3%).

La Commune connaît des migrations de populations. A la recherche d'emploi, de diplômes et pour des raisons de commerce, les ressortissants de la Commune se déplacent vers d'autres telles que Nikki, Parakou, Kandi et Tchaourou et même vers d'autres pays comme le Nigeria. Il faut signaler les déplacements saisonniers (transhumance) des éleveurs Peuls vers les Communes de Tchaourou et de Ouèssè. Ces migrations, même s'ils ont des avantages tels que l'acquisition de certains biens de luxe, ils provoquent le dépeuplement de la Commune et la baisse de la production agricole.

2.5.3.3. *Activités économiques*

L'activité économique dominante dans la Commune demeure l'agriculture pratiquée majoritairement par les hommes. Plus de 80% de la population vit de l'agriculture et de l'élevage.

Les principales cultures sont le maïs, l'igname, le coton, le manioc, le sorgho, l'arachide, le haricot et le Soja. L'élevage de bétails et de volaille est très développé.

Quant aux femmes, elles ont pour principales activités la transformation agroalimentaire, le commerce des produits vivriers, de rente et manufacturés. Elles cultivent également des légumineuses et sont très actives dans le semi, la récolte, le ramassage des noix de karité et d'acajou. Ces activités constituent la principale source de revenus des populations mais compte tenu de la pauvreté des terres et des techniques rudimentaires, ces revenus demeurent

insuffisants pour la satisfaction des besoins fondamentaux des populations. En plus de l'agriculture et du commerce, la population s'adonne aux activités artisanales.

2.5.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement

En 2019, la couverture en eau potable est assurée par les ouvrages suivants : 152 puits à grand diamètre (84% fonctionnels), 72 forages équipés de pompe (72% fonctionnel) et un système d'adduction d'eau villageoise (AEV) fonctionnel. Malgré la présence de ces ouvrages, des structures d'appui (BEB / PADEAR) et la disponibilité des populations à participer à leur financement et gestion, force est de constater que l'accès de tous à l'eau potable demeure un rêve. Non seulement, le nombre d'ouvrages ne suffit pas, mais aussi ils ne sont pas tous fonctionnels, ce qui est dû parfois au mauvais fonctionnement des comités de gestion. Malgré la présence de 15 latrines publiques (73% fonctionnel), 113 puisards, 2 630 m de canalisations et un agent d'hygiène, la situation communale en matière d'hygiène et d'assainissement est loin d'être idéale. En effet, l'eau et l'environnement sont pollués par la défécation à l'air libre, la mauvaise gestion des ordures ménagères et des eaux de douches ou encore les déchets des animaux.

2.6. Généralité sur la ville de Ouinhi

3.6.1. Cadre physique

3.6.1.1. Situation géographique

D'une superficie de 483 km², la commune de Ouinhi est située au sud du département du Zou entre les latitudes 6 57 minutes et 7 11 minutes de latitude nord et 2 23 minutes et 2 33 minutes de longitude Est. Elle est limitée au Nord-Ouest par la Commune de Zagnanado, au Sud-Ouest par la Commune de Zogbodomey, au Sud par la Commune de Bonou et à l'Est par la Commune d Adja-Ouèrè. Elle est subdivisée en quatre arrondissements (Dasso, Ouinhi, Sagon, Tohouè) qui regroupent 28 villages.

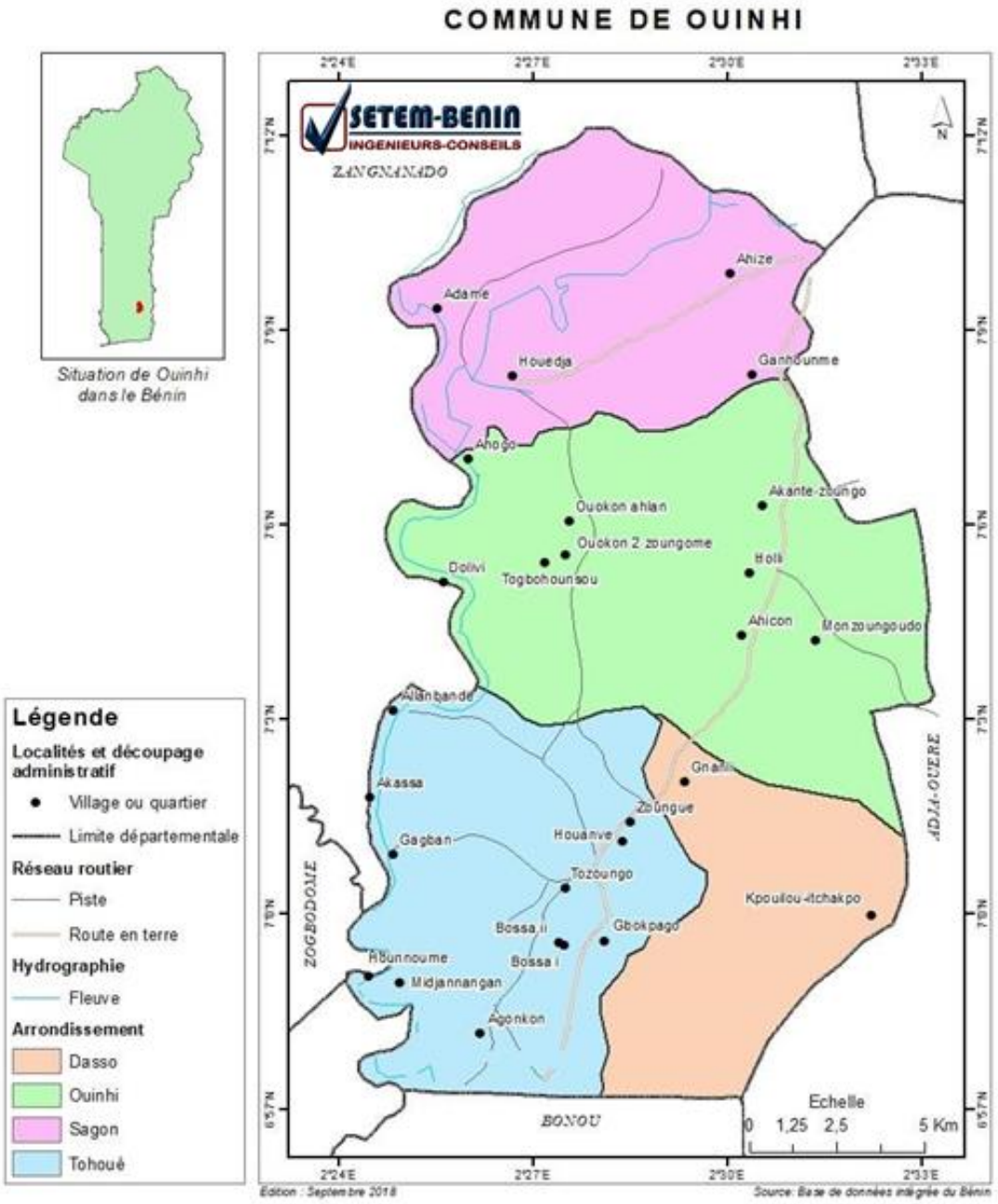


Figure 6 : Carte de localisation de la commune de Ouinhi

3.6.1.2. Relief et géomorphologie

La commune de Ouinhi est située sur un relief constitué de bas plateaux (11 à 62 mètres d'altitude) peu contraignants pour les activités économiques. On distingue trois grandes zones individualisées du point de vue du relief et de l'altitude :

- Un plateau d'une altitude de 40 à 62 mètres à l'Est. Ce plateau est taillé sur un substratum géologique constitué de matériaux accumulés au tertiaire et au quaternaire comme l'argile kaolinique à attapulgite, le calcaire, la marne et le sable et de graviers exploitables pour les bâtiments et les travaux publics ;
- Une zone de dépressions allongées au sud-est de moins de 20 m correspondant à la vallée de la rivière Monzo dans laquelle on distingue les dépôts alluvionnaires du quaternaire, des sols limoneux et sabloargileux (plus ou moins aptes pour la culture du maïs et du coton) qui deviennent hydromorphes et difficiles à travailler, même s'ils ont l'avantage d'autoriser des cultures de contre-saison ;
- La plaine alluviale du fleuve Ouémé basse d'altitude variant entre 11 et 20 mètres est un lieu d'apport d'éléments détritiques allogènes faits d'alluvions, de limons, d'argiles et de sables plus ou moins aptes pour une gamme variée de cultures comme la canne à sucre, le riz et les produits maraîchers. Les alluvions et les limons renouvelés annuellement par les hautes eaux autorisent des cultures de décrue pratiquées sur des sols hydromorphes et des vertisols qui requièrent une adaptation particulière pour leur mise en valeur (agriculture, pisciculture) alors que les sables et les gravillons constituent d'énormes gisements exploitables.

3.6.1.3. Sol

La commune de Ouinhi jouit d'un climat sub-équatorial qui a contribué à la formation de sols plus ou moins fertiles et portant une végétation variée.

On y distingue les sols ferralitiques servant de support à toutes les cultures pluviales et les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions qui manquent de profondeur utile pour les plantes. Il faut signaler Accessoirement, la présence des sols de roches inhabités et incultivables, des sols hydromorphes dans les zones de dépression et les lits des cours d'eau.

3.6.1.4. Végétation

La végétation est composée de savanes boisées, de palmeraies, des forêts galeries et quelques rares forêts naturelles en voie de disparition sous l'influence anthropique. Celles encore existantes sont réduites à quelques îlots de forêt galeries le long de quelques bas-fonds et de petites étendues de forêt associée au culte du fétiche Oro.

Le mot zoun désignant forêt est collé à de nombreux villages (Tozoungo, Zounguê, Zoungomè, Monzoungodo) et montre l'importance des ressources sylvicoles dans cette commune depuis son histoire.

Le bois de chauffe, l'installation des cultures et les feux de brousse non contrôlés sont les principaux éléments responsables de la dégradation des forêts. Le culte Oro, présent dans la plupart des villages a permis de conserver une certaine partie des forêts dont la superficie par village avoisine parfois le demi hectare.

3.6.1.5. Hydrographie

La commune de Ouinhi dispose d'une section de 40 km du fleuve Ouémé, tributaire des rivières Ouègbo, Esselé, Ahokou, Monzoun grossis de quelques ruisseaux et complétés par une quarantaine de lacs, étangs et plans d'eau de cuvettes ou basfonds couvrant un peu plus de 600 ha.

Les énormes masses d'eau véhiculées pendant les saisons pluvieuses sont encore mal maîtrisées par les populations qui subissent des sinistres qu'elles occasionnent lors des crues exceptionnelles.

Ce réseau hydrographique recèle d'énormes potentialités pour l'agriculture de décrue, et la pêche que pratiquent les populations dont l'arrivée sur les lieux s'est faite par des migrations anciennes par vagues successives.

Les difficultés rencontrées par ce secteur sont également l'ensablement ou la fermeture progressive des certains lacs comme Akoun à Tévèdji ainsi que la mauvaise qualité des pistes qui ne permettent pas d'atteindre dans les meilleurs délais les lieux d'écoulement des produits de pêche.

3.6.2. Conditions hydro-climatiques de Ouinhi

La Commune de Ouinhi connaît un climat de transition entre le climat sub- équatorial et le climat tropical humide de type soudano-guinéen. Le régime pluviométrique de Ouinhi peut varier avec deux maxima centrés sur Juin et Septembre. La station de Zagnanado qui couvre toute la région d'Agonlin reste à ce jour la référence pour caractériser le régime pluviométrique de la Commune de Ouinhi. Elle bénéficie d'une moyenne pluviométrique annuelle de 1250 mm.

3.6.3. Cadre socio-économique de la ville de Ouinhi

3.6.3.1. Population et démographie

La population totale en 2013 était estimée à 59 381 habitants répartis dans 9 617 ménages avec une taille moyenne de 6,2. La densité de population de la Commune de Ouinhi est demeurée corrélativement croissante au cours des temps et a atteint 174 habitants/km² en 2013 (avec beaucoup de disparités observées au niveau des arrondissements).

3.6.3.2. Organisation sociale

Les groupes ethniques rencontrés dans la commune de Ouinhi se composent majoritairement des Fon et apparentés (89,4%), des Holli (4,3%), des Nagot (2,1%) et des Yoruba (1,1%).

Les religions pratiquées sont principalement le catholicisme (39,4%), les religions traditionnelles (11,9%), le protestantisme (8,5%) et l'islam (8,5%).

3.6.3.3. Activités économiques

La population de la commune de Ouinhi exerce en grande majorité dans le secteur de l'agriculture, de la pêche et de la chasse (59%). Les principales activités génératrices de revenus du village sont les transformations agroalimentaires consommant beaucoup de bois de chauffe.

La filière bois de feu apparaît ainsi comme porteuse dans la Commune de Ouinhi. La régénération des forêts et l'introduction des espèces à croissance rapide serviraient à satisfaire la demande en bois de feu sans cesse croissante. Le facteur foncier pourrait constituer un véritable frein avec la pression actuelle.

3.6.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement

Bien que bénéficiant d'une pluviométrie abondante et d'un réseau hydrographique fourni, et de quelques puits artésiens, une partie de la population n'a pas accès à l'eau potable.

De manière générale, la couverture zonale n'est pas optimale dans la commune : les arrondissements de Dasso et Ouinhi sont les plus pourvus en infrastructures de l'eau et Tohouès, le moins pourvu. Les localités les plus démunies (zone rouge) sont Zoungo,

Monzoungodo, Ahogo, les hameaux d'Adamè et de Zounguè-Gnanli. On en dénombre d'autres dont les habitants sont très éloignés des points d'eau potable.

Les infrastructures qui livrent de l'eau à titre payant sont gérées par des comités dont l'inefficacité pour certains entraîne un manque ou une insuffisance de l'entretien des installations et des lieux.

2.7. Généralité sur la ville de Kpomassè

2.7.1. Cadre physique

2.7.1.1. Situation géographique

La commune de Kpomassè, est située entre 6°'20'20' et 6°37'59'' de latitude Nord et entre 1°56'32'' 2°5'18'' de longitude Est. Elle fait partie des huit communes du Département de l'Atlantique. Elle est limitée au Nord par la commune d'Allada, au Sud par la commune de Ouidah, à l'Ouest par les communes de Comè et de Bopa avec une frontière naturelle composée du lac Ahémé et d'un affluent du fleuve Couffo et à l'Est par les communes de Tori Bossito et de Ouidah.

D'une superficie de 305 km^2, la commune de Kpomassè occupe environ les 9 % du territoire de l'Atlantique et 0,271 % du territoire national.

Elle compte soixante-seize (76) villages répartis dans neuf (09) arrondissements à savoir : Agonkanmè, Aganmalomè, Agbanto, Dédomè, Dekanmè, KpomassèCentre, Sègbohoué, Sègbéya, Tokpa-Domè.

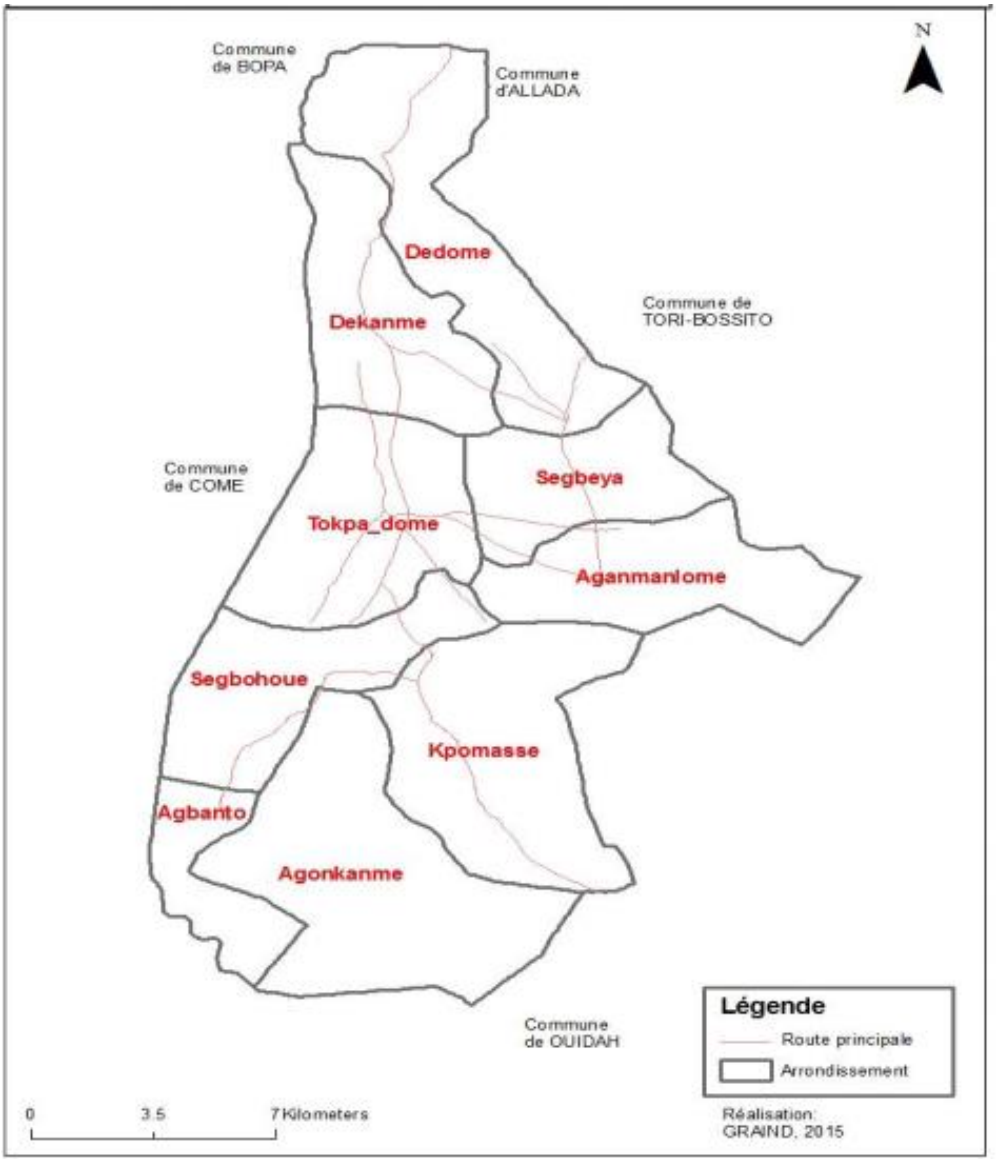


Figure 7 : Carte de localisation de la commune de Kpomassè

2.7.1.2. Relief et géomorphologie

Le relief de la commune est très peu accidenté. Elle est caractérisée par une plaine qui peut être scindée en deux ensembles. Une haute pleine avec une altitude comprise entre 38 à 70 m. Une basse plaine avec une altitude comprise entre 16 m et 38m. A ces deux ensembles s'ajoute une plaine inondable à laquelle appartient le bassin du lac Ahémé.

2.7.1.3. Sol

On y distingue les sols ferralitiques servant de support à toutes les cultures pluviales et les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions qui manquent de profondeur utile pour les plantes. Il faut signaler Accessoirement, la présence des sols de roches inhabités et incultivables, des sols hydromorphes dans les zones de dépression et les lits des cours d'eau.

2.7.1.4. Végétation

Des forêts classées parsemé de zones de savane et quelques bushes arbustifs, composent la végétation de la Commune de Kpomassè. Les arbres qu'on y rencontre en grand nombre sont les plantations de cocotiers et de palmiers à huile.

Cette végétation abrite une faune dominée par quelques oiseaux, des écureuils, des agoutis

2.7.1.5. Hydrographie

Le réseau hydrographique est dominé par le lac Ahémé, la principale ressource naturelle de la commune. Le lac Ahémé s'étend sur environ 40 km^2 et sur une distance d'environ de 30 km. A cela s'ajoute l'affluent du fleuve mono qui se jette dans le lac. Le lac Ahémé est logé dans un fossé d'effondrement subméridien à l'estuaire du Couffo, dont il reçoit les eaux tumultueuses, ainsi que quelques petites rivières sur sa rive occidentale (Boko, 1994). Il existe par endroit quelques ruisseaux comme Zouzou, Langli, Sélipoui. Il existe par endroit quelques ruisseaux. C'est le cas du ruisseau ''Amouko'' dans la Commune de Tokpa-Domè.

2.7.2. Conditions hydro-climatiques de Kpomassè

La commune de Kpomassè est dominée par un climat subéquatorial avec quatre (4) saisons : une grande saison pluvieuse de mars à juillet ; une petite saison pluvieuse de septembre à novembre ; une sèche de novembre à mars et une petite saison sèche juillet à d'août. Mais ces derniers temps avec les phénomènes de changement climatique, on assiste à un bouleversement de la pluviométrie. La hauteur d'eau recueillie au cours de l'année varie entre 950 et 1150 mm. Elle est plus importante à l'Est qu'à l'Ouest. La température moyenne est de 27°C, variant de 24° à 30°C en saison des pluies et de 23° à 33°C en saisons sèches.

2.7.3. Cadre socio-économique de la ville de Kpomassè

2.7.3.1. Population et démographie

La commune de Kpomassè connait un accroissement de la population relativement faible par rapport à la moyenne nationale. Avec une population de 41454 en 1979 (RGPH1), l'effectif de la population de la commune est passée à 50059 en 1992(RGPH2), 57190 en 2002 (RGPH3) et 67722 en 2013 (RGPH4). Cette population a connu un accroissement intercensitaire 1,51 % entre 1979 et 1992 contre 1,34 % entre 1992 et 2002. Ce taux est passé entre 2002 et 2013 à 1,36. Kpomassè fait partir des communes à faible taux accroissement au Bénin.

2.7.3.2. Organisation sociale

La population de Kpomassé est constituée de plusieurs groupes ethniques. Les Adja et les Fons sont les deux groupes ethniques les plus dominants au sein des populations. A ces

deux grands groupes s'ajoutent essentiellement les migrants allogènes et étrangers : Mina, Houèda, Sahouè, Gbessin, Yoruba, Aïzo et Autres.

Sur le plan religieux on y rencontre les groupes suivants : Musulmane (1,2%), animisme (42,5%) catholicisme (22,7%), Protestantisme (2,2%), Autres (31,4%).

2.7.3.3. Activités économiques

En dehors des services publics qui emploient quelques personnes du milieu et de la mairie qui emploie surtout les natifs de la région, il n'y a que le projet Songhaï qui utilise des jeunes. Le reste se donne aux activités d'agriculture et surtout de pêche et aussi au commerce.

L'économie des localités est basée sur l'agriculture, l'élevage, la pêche, le commerce, l'hôtellerie, le transport et l'artisanat. En effet, l'économie de la Commune est de type rural axée sur la production agricole notamment le maïs, l'arachide, le manioc, le niébé, la patate douce, la tomate, le piment, le gombo, le goussi.

L'agriculture occupe les populations des arrondissements ruraux. L'élevage concerne les volailles, les porcs, les caprins, les ovins, et les bovins.

La principale ressource naturelle de Kpomassè étant le lac Ahémé, les activités de pêche sont très développées. Le potentiel hydrographique tourne autour de 2008 tonnes de poissons avec des espèces dominantes : le tilapia, chrystchys, le mugil et les crevettes.

Dans le secteur tertiaire, le commerce est plus développé dans cette localité. Il est basé surtout sur les produits vivriers et halieutiques. On trouve les produits manufacturés, et les produits d'élevage. L'écoulement des différents produits est assuré par des marchés et des boutiques. Les deux grands marchés sont très fréquentés par les commerçants qui viennent des villes de Cotonou et de Ouidah. Certains commerçants arrivent de Lomé malgré l'état dégradé des voies d'accès, ce qui limite les échanges.

La falaise d'Agbéyékou du village de Ontoun dans l'arrondissement de Tokpa-Domè et celle de Couffonou à Dédomè peuvent tenir lieu de sites touristiques, mais la place Belvèdère de Sègbohouè est la mieux et la plus utilisée. Deux places remarquables existent en bordure du lac Ahémé à Kpomassè et Tokpa-Domè ; il s'agit de Doga avec des bancs en maçonnerie et des cocotiers, puis à Adjidjantokpa (Tokpa-Domè) avec des ombrages et le sable fin et blanc).

2.7.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement

Dans la commune de Kpomassè le Taux de desserte en milieu urbain 62.23% ; 60.50% taux de desserte en milieu rural en dehors zone non SONEB et 76% taux de desserte en zone SONEB.

2.8. Généralité sur la ville de Zè

2.8.1. Cadre physique

2.8.1.1. Situation géographique

La Commune de Zè est située dans le département de l'Atlantique et est comprise entre les parallèles 6°32' et 6°87' de latitude Nord d'une part et entre 2°13 et 2° 26 de longitude Est d'autre part. Avec une superficie de 653km², elle est la commune la plus vaste du département dont elle occupe 19,88% du territoire. Elle est limitée au Nord par les Communes de Zogbodomey et de Toffo, au Sud par les Communes d'Abomey-Calavi et de Tori-Bossito, à l'Est par les Commune d'Adjohoun et de Bonou et à l'Ouest par la Commune d'Allada. La commune de Zè compte 101 villages repartis sur de 11 arrondissements qui sont Adjan, Dawé, Djigbé, Dodji-Bata, Hêkanmè, Koundokpoé, Sèdjè-Dénou, Sèdjè Houègoudo, Tangbo, Yokpo et Zè.

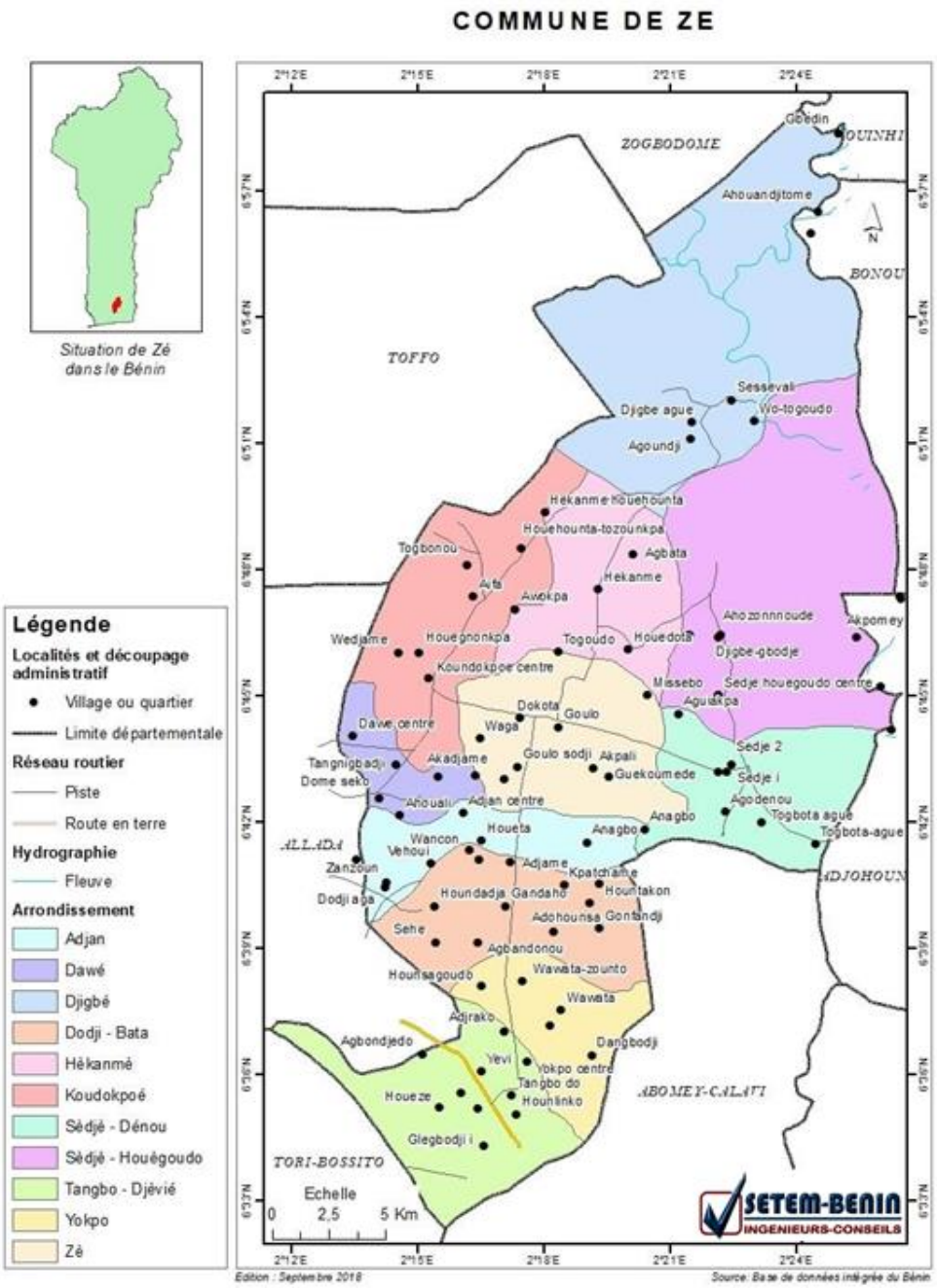


Figure 8 : Carte de localisation de la commune de Zè

2.8.1.2. Relief et géomorphologie

Le relief de la Commune de Zè est un élément du vaste plateau d'Allada d'une altitude moyenne de 100m qui s'incline légèrement vers la côte et surplombe au Nord la dépression de la Lama. Il est composé de quelques petites dépressions constituées de bas-fonds.

2.8.1.3. Sol

Le territoire de la Commune est dominé par des sols faiblement ferralitiques communément appelés terre de barre. Les terres sont de teinte rouge et servent de support à toutes les cultures pluviales. Les sols hydromorphes à horizon superficiel gris assez riche constituent le substrat des plans d'eau et des bas-fonds.

2.8.1.4. Végétation

Il existe quatre types de végétation dans la zone de la Commune de Zè.

- Forêts claires et formations boisées, i.e. forêt classée de Djigbé (3 441ha) ;
- Formations arborées et arbustives ;
- Formations aquatiques ;
- Plantations de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*).

Ces plantations de 3 056 ha ont été installées par la SONADER et sont actuellement gérées par des Coopératives d'Aménagement Rural (CAR).

Les espèces végétales les plus présentes sont l'Iroko (*Milicia Excelsa*), le Fromager (*Ceiba pentendra*), le Baobab (*Adansonia digitata*), le Lotus (*Nymphaea lotus*) ou encore le Thalia (*Thalia welwischii*).

2.8.1.5. Hydrographie

Le climat est de type béninien marqué par des hauteurs pluviométriques plus ou moins élevées, une amplitude thermique annuelle relativement faible (inférieure à 5°C) et par la succession de quatre saisons distinctes : une grande saison pluvieuse d'Avril à Juillet ; une petite saison pluvieuse de Septembre à Novembre, une grande saison sèche de Décembre à Mars et une petite saison sèche centrée sur le mois d'Août.

2.8.2. Conditions hydro-climatiques de Zè

Le climat est de type béninien marqué par des hauteurs pluviométriques plus ou moins élevées, une amplitude thermique annuelle relativement faible (inférieure à 5°C) et par la succession de quatre saisons distinctes : une grande saison pluvieuse d'Avril à Juillet ; une petite saison pluvieuse de Septembre à Novembre, une grande saison sèche de Décembre à Mars et une petite saison sèche centrée sur le mois d'Août.

2.8.3. Cadre socio-économique de la ville de Zè

2.8.3.1. Population et démographie

Selon le RGPH 4 de 2013, l'effectif de la population de la Commune de Zè est évalué à 106 913 habitants en 201

3 avec 55 209 femmes et 51 704 hommes. Cette population est dominée par le groupe ethnique « Aïzo » qui ajouté aux « Ouèmènou » font 97,4% de la population. Viennent ensuite les Yoruba (1%), les Adja (0,8%) et d'autres ethnies (0,8%). La pratique religieuse est dominée par le fait culturel Voudoun (47,1%). L'on y rencontre aussi les catholiques (21,4%), les protestants (3,2%), les musulmans (2,4%) et des évangéliques et chrétiens célestes.

2.8.3.2. Organisation sociale

Les deux groupes ethniques majoritaires sont les Aïzo et les Ouèmènou, qui représentent 97,4% de la population. Les autres ethnies présentes sont les Yoruba, les Adja etc.

Environ la moitié de la population (47,1%) pratique le Voudoun tandis que l'autre moitié est répartie entre les différentes religions monothéistes (21,4 % de catholiques, 3,2 % de protestants, 2,4 % de musulmans, évangéliques et chrétiens célestes).

2.8.3.3. Activités économiques

Les principales activités économiques sont l'agriculture, la pêche, la transformation des produits agricoles, l'élevage, le commerce, l'artisanat et le tourisme.

2.8.4. Infrastructures d'eau, d'hygiène et d'assainissement

La situation au niveau de la disponibilité en eau de la Commune de Zè est préoccupante. On note la présence d'infrastructures hydrauliques dans presque tous les arrondissements, cependant 33% sont non fonctionnelles d'une part à cause du mauvais fonctionnement des organes de gestion et d'autre part les 67 fonctionnelles ne couvrent pas toute la population. L'arrondissement de Djigbé apparaît comme le plus dépourvu en eau potable.

Quant à l'approvisionnement des écoles en eau potable, les statistiques révèlent que sur les 67 écoles primaires publiques, 21 ne disposent pas d'eau potable soit une couverture de 69%.

Le sous-sol de la Commune se caractérise par une nappe phréatique très profonde qui ne permet pas le forage de puits traditionnels susceptibles de venir en appoint aux infrastructures modernes. Ceci oblige les populations à se ruer sur les eaux de ruissellement, des rivières ou des bas-fonds, à effectuer de longues distances à la recherche d'eau potable ou à construire de citernes du moins pour ceux qui en ont les moyens.

Du point de vue de l'assainissement, les latrines publiques et familiales existent seulement au Chef-lieu de la Commune dans quelques arrondissements avec son corollaire de pollution de l'environnement. Il existe des latrines scolaires et sanitaires mais celles-ci sont inaccessibles au grand nombre. De même, les ordures ménagères sont-mal gérées car il n'existe aucun système de pré-collecte.

3. METHODOLOGIE ET MATERIEL

3.1. Méthodologie

Sur l'ensemble de toutes les communes étudiées, la prospection géophysique par la méthode de résistivité électrique en courant continu couplé avec les mesures de Résonance Magnétique Protonique RMP ont été la base des travaux réalisés pour l'implantation des futurs ouvrages d'exploitation.

3.1.1. Les mesures électriques

Avant l'intervention des mesures géophysiques, une étude linéamentaire a été faite sur chacune des communes loties sur le socle après une consultation de la base des données existantes sur chaque commune. Cette méthode a permis d'orienter la géophysique dans sa prospection idéale afin d'atteindre les objectifs prévus par le projet. Ainsi les études linéamentaires sur fond d'image satellitaire en superposition avec les cartes géologiques ont été réalisées.

A l'issu de cette étude, les zones à potentiel hydrogéologiquement favorable ont été ciblées commune par commune. A cet effet, des orientations suivantes ont été données pour les mesures géophysiques :

- Définir la direction des profils électriques ;
- Type de dispositifs à utiliser conformément au contexte géologique de chaque commune.

Une fois ces aspects théoriques réglés, la réalisation des mesures sur le terrain a pu commencer et s'est achevée au bout d'un mois et demi. La procédure utilisée a consisté à déplacer le dispositif de mesure à l'aide d'un GPS avec lequel on enregistre chaque fois la position des points mesurés. Il s'en est suivi le passage de l'équipe ERT qui a procédé, à la réalisation des mesures tomographiques afin de positionner correctement les points d'implantation.

Les mesures ont débuté le 23 juin 2021 par la commune de Karimama.

Elle a été conduite à travers :

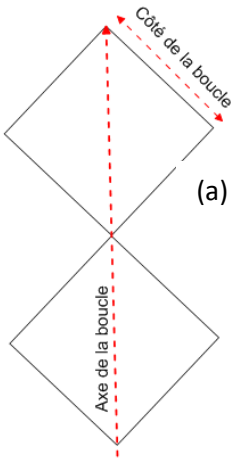
- Des profils électriques uniquement en dispositif Schlumberger dans toutes les communes. Ils ont été mis en place par le quadripôle ABMN avec une ligne d'injection du courant AB=200m, la différence de potentiel MN= 20m et au pas de mesures=10m.
- Des sondages électriques en dispositif Schlumberger dans la commune de Gogounou et de Kalalé en plus les communes loties dans le sédimentaire côtier (Kpomassè, Ouinhi et Zè) à cause de l'homogénéité des formations géologiques en place.
- Des sondages électriques en dispositif dipôle-dipôle ABMN dans les communes de Karimama et de Cobly à cause de l'hétérogénéité des roches.
- Pour optimiser les résultats, les sondages électriques ont été appuyés par les tomographies électriques afin de faire une bonne sélection des points à contrôler par les sondages de Résonnance Magnétique Protonique (RMP).
- Les mesures ont ainsi été réalisées avec des longueurs de lignes (AB/2) variant entre 3 m et 100 m et toujours orientés dans le sens des structures à sonder. Une fois exécutés, leur interprétation s'est faite en utilisant le logiciel IPI2WIN.

A l'issue de cette phase de prospection classique et au vue des premiers résultats, il a été décidé de passer en revue sur les points retenus par la tomographie les sondages RMP dans les zones cibles intéressants.

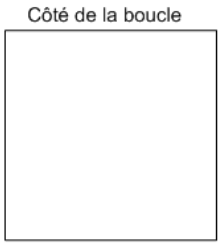
3.1.2. Les mesures de Résonnance Magnétique Protonique (RMP)

3.1.2.1. Prise des mesures des sondages RMP

Il s'agit de sondages réalisés à l'aide d'un dispositif comportant principalement un générateur avec ces accessoires et une boucle émettrice – réceptrice dont la forme et les côtés peuvent changer compte tenu des circonstances (conditions de bruits électromagnétiques notamment). Pour cette campagne deux formes de boucles ont été utilisées. Une boucle en huit sur la majorité des sites (voir "a" ci-dessous) adapté aux sites relativement bruités et une autre en forme carrée sur un seul site (voir "b" ci-dessous) moins bruité.



(a)



(b)

Nous n'entrerons pas dans l'explication des détails techniques et la mise en œuvre de ce type de mesures.

Comme précisé plus haut, la mise en route des mesures RMP s'est effectuée après les prospections classique doublée des ERT pour une meilleure priorisation des zones cibles et des sondages électriques.

3.1.2.2. Obtention des résultats hydrogéologiques à partir des résultats RMP

Sur la base des résultats d'interprétation des sondages RMP, des gammes de débit potentiel pouvant être obtenus dans l'espace délimité par la boucle RMP ont été déterminés en s'appuyant sur la relation existante entre la transmissivité RMP et le débit spécifique (Lawson, 2019).

La réserve d'eau souterraine actuellement disponible sur chaque site a été calculé à partir de l'épaisseur saturée de l'aquifère (donnée par la RMP) et la porosité de drainage Sy obtenue à travers la relation

Sy= O.53 * teneur en eau RMP (Vouillamoz et. al, 2014 ; Lawson, 2019).

En s'appuyant sur un lien observé entre la réserve et recharge dans une région de socle autre que celle concernée par la présente étude, une recharge RMP correspondant au volume d'eau pouvant être prélevé de façon pérenne sur chaque site a été estimée.

Ainsi sur la base des hypothèses et scénarios ci-dessous, des débits potentiels pérennes ont été estimés sur chaque site :

- Rabattement maximal admissible égale à la moitié de l'épaisseur saturée de l'aquifère donnée par la RMP.
- Les propriétés de l'aquifère mesurées sous la boucle RMP seraient valables sur toute l'espace embrasé par le cône de rabattement engendré par les débits estimés. Cette hypothèse sous-entend un écoulement en milieu homogène (ce qui n'est certainement pas le cas en zone de socle) et il est donc recommandé de ne pas maximiser les rabattements max admissibles.
- Les pertes de charge quadratiques qui seront liées à la qualité de l'équipement du forage ne sont pas pris en compte. Pour cette raison, il est donc recommandé de ne pas maximiser les rabattements max admissibles.
- La durée du pompage sur la base de laquelle les calculs ont été effectué est de 24/24 pendant 8 mois de l'année.
- Le volume d'eau maximal mobilisable correspond à la moitié de la recharge RMP estimée.

3.2. Matériel et personnel

Pour conduire cette étude et atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés, nous disposons de deux types de matériel destiné chacun à une méthode de prospection géophysique spécifique dont l'électrique et la résonnance magnétique. Il s'agit de :

- Deux résistivimètres ABEM SAS 1000 et SAS 4000 avec un minimum de matériel accessoire (bobines de câbles et 4 électrodes) pour les mesures électriques (voir photo ci-dessous) ;
- Un ensemble de matériel pour effectuer les sondages de résistivité électrique par la tomographie
- Un Générateur NUMIS Pro avec ses accessoires au complet (capacités, convertisseur, batteries, ordinateur portable etc.) pour les mesures de résonnance magnétique (voir Photo ci-dessous).

En complément du matériel d'acquisition des mesures RMP, on dispose en plus d'un magnétomètre pour mesurer plus précisément le champ magnétique terrestre à l'endroit du sondage.

Enfin, il y a le lot de petit matériel qui n'est pas en temps normal utilisé dans le cadre strict des mesures géophysiques, mais qui se révèle toujours indispensable. On peut citer entre autres :

- Huit (08) bobines de 100 m de câble électrique, permettant de faire des sondages AB/2=200m
- Huit (08) walkies-talkies, pour communiquer avec les opérateurs qui mettent en place les câbles électriques,
- Deux (02) GPS pour la localisation des points de mesure,
- Deux (02) véhicules type 4x4.
- Ordinateurs et logiciels techniques ;
- Topofil, Boussole, sonde électrique ;
- Nécessaires de prise de note et de dessin.





ABEM TERRAMETER

ABEM SAS 4000 S/N 2082100

RÉSISTIVIMÈTRE pour l'exploration

SOUTERREAINE

Compact et puissant

Injection automatique

1000mA, 600V, 200 W

64 électrodes

(a) Résistivimètre

(b) : Terrameter LS Imaging LUND System

Photo 1 : Appareillage de prospection géophysique



Photo 2 : Matériel complet de mesure

Le personnel est constitué de trois (03) équipes dirigées chacune par :

- Un hydrogéologue ;
- Deux géophysiciens ;
- Un expert SIG.

4. RESULTATS HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSIQUE DES VILLES

Il s'agira dans ce chapitre de la présentation de l'ensemble des résultats obtenus à l'aide des mesures électriques bien entendu qu'ils prendront en compte aussi les résultats issus des études hydrogéologiques et des résultats RMP.

4.1. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Cobly

Le contexte géologique est dominé par la famille de formations composée des séries de la Pendjari et de la Podiéga et des quartzites de l'Atacora. Ce sont des argilites, des grès fins, des schistes, des quartzites, schistes quartzeux, des jaspes et parfois des silexites.

Sur le plan structural, le bassin des Volta comporte trois grands domaines qui sont d'Ouest en Est, le domaine des formations de la Pendjari formant l'Avant-pays de la chaîne panafricaine des Dahomeyides ou la Plaine du Bénin et les deux domaines structuraux du Buem et de l'Atacorien qui constituent la zone externe de cette chaîne de l'Atacora.

Selon la nouvelle carte hydrogéologique de 2012, une analyse portant sur un échantillon de 364 forages donne les informations suivantes :

Profondeur : 20-90 m
Débits : ≥5 m^3/h dans la série de la Pendjari
Niveau Statique : 9-15 m
Taux de succès : 72-73%

Les seules données disponibles sur les ouvrages de Cobly et ses environs sont relatifs aux profondeurs des forages.

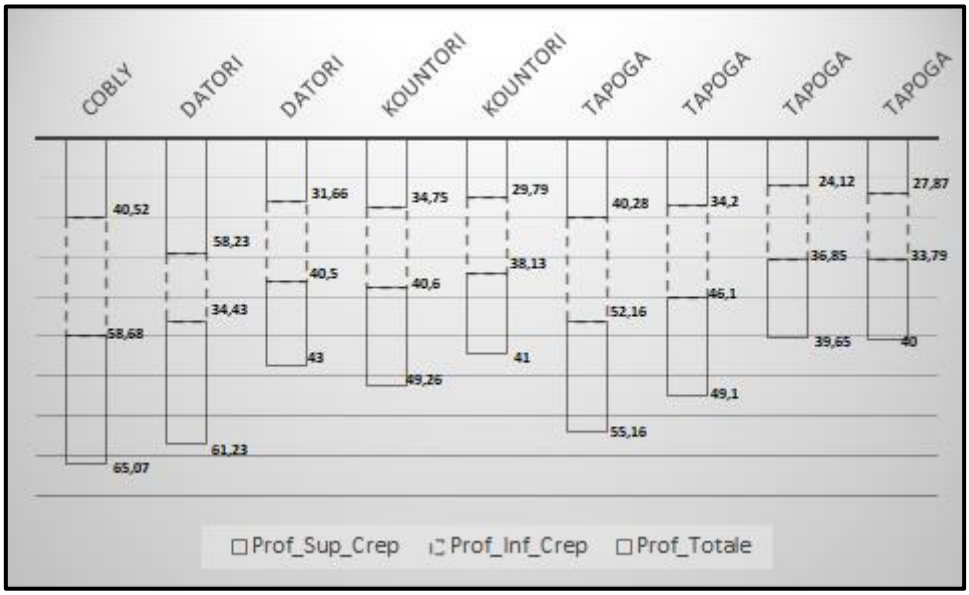


Figure 9 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Cobly

4.2. Résultat des études linéamentaires de la ville de Cobly

Sur la base de la documentation et de la géologie permettant d'obtenir des forages de gros à débit, six (06) zones cibles ont été identifiées dans la commune de Cobly (voir figure ci-d

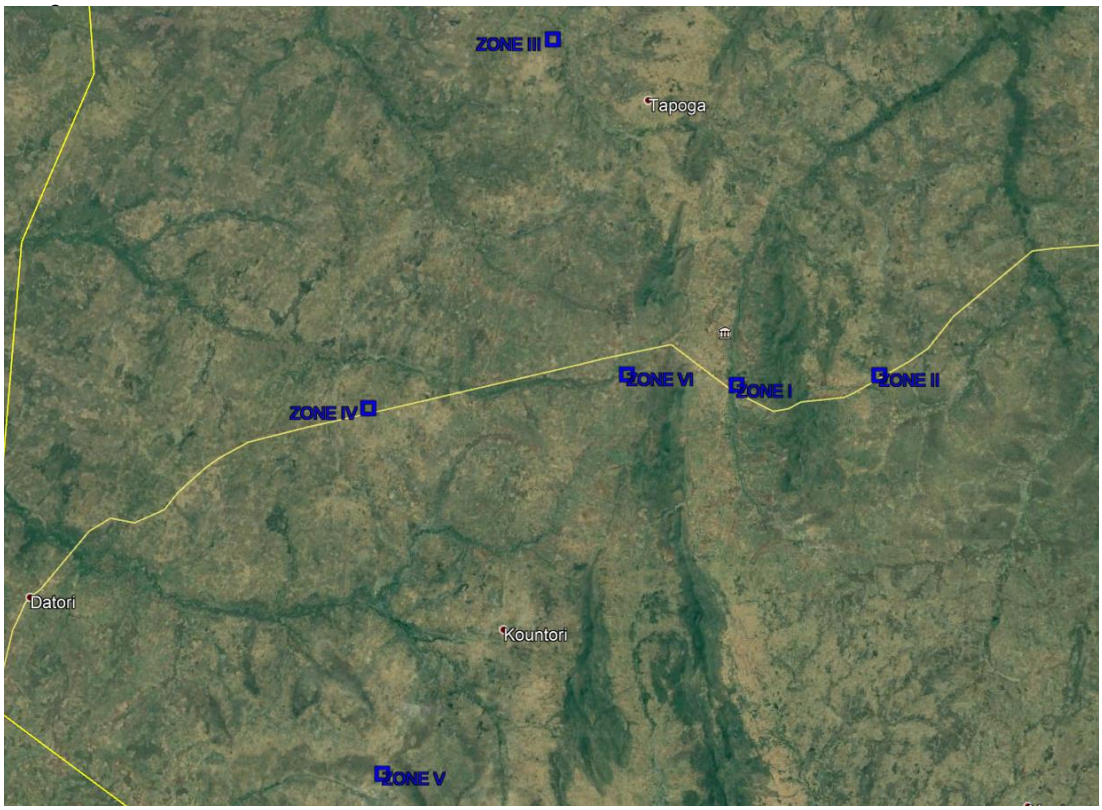


Figure 10 : Localisation des zones implantées dans la commune de Cobly

A l'issu de la visite de prospection hydrogéologique la sélection a permis de retenir les zones listées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Localisation des zones prioritairement prospectées

N°	ZONES	ARRONDISSEMENT	VILLAGE	OBSERVATIONS
1	Z1	COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	Schistes+grés
2	Z2	COBLY CENTRE	TOUGA	Schistes+grés
3	Z3	TAPOGA	PEGOU	Schistes+grés
4	Z4			Schistes+grés
5	Z5	KOUNTORI	SERHOUNGUE	Schistes quartzeux+grès
7	Z6	COBLY CENTRE	DIDANI	Schistes quartzeux

Ces différentes au contexte géologique varié, ont fait l'objet d'identification des linéaments en priorisant les lieux de concours de plusieurs linéaments, donc favorables à la disponibilité en eau souterraine (figure ci-après). Il a également permis au géophysicien de faire le choix de la zone à prospecter.

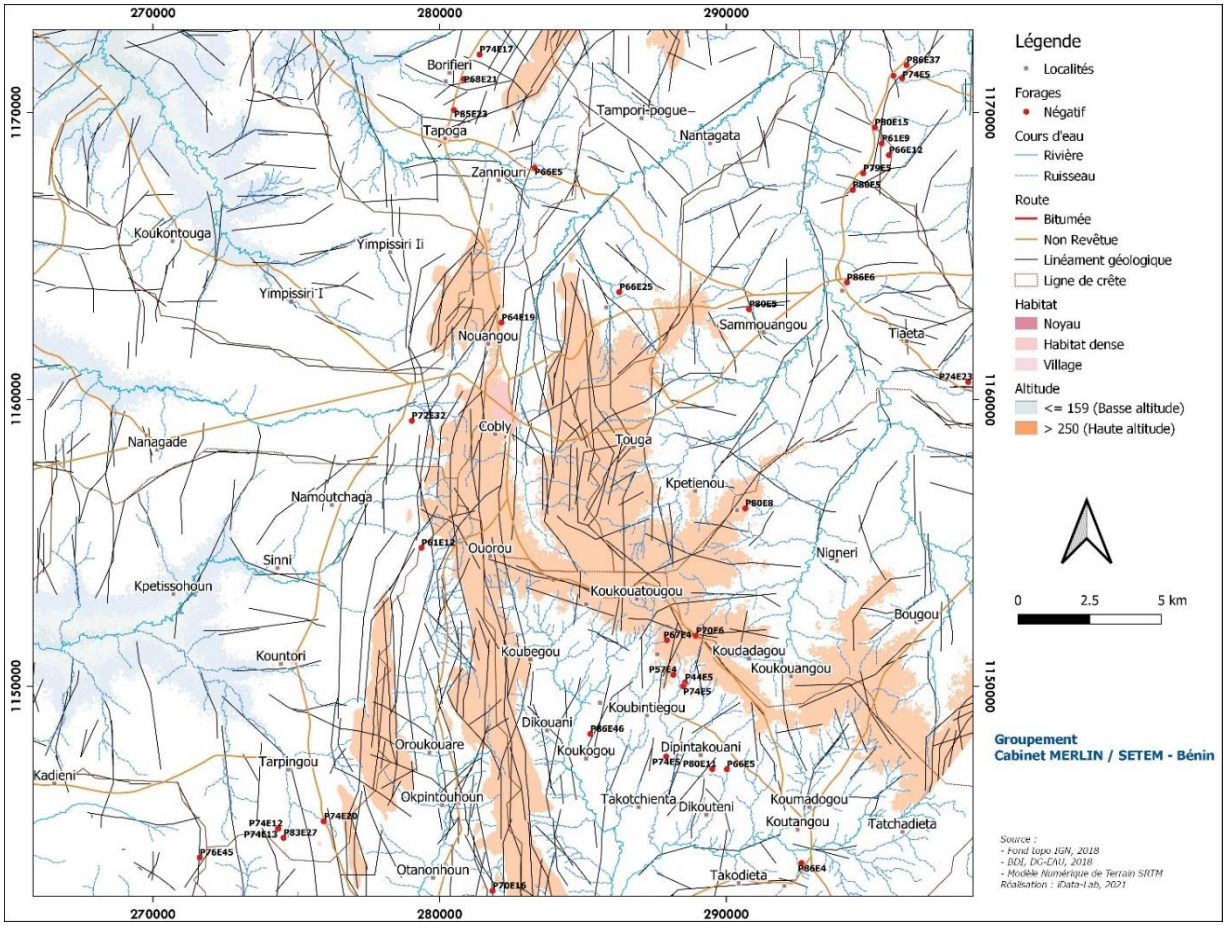


Figure 11 : Carte linéamentaire de la commune de Cobly

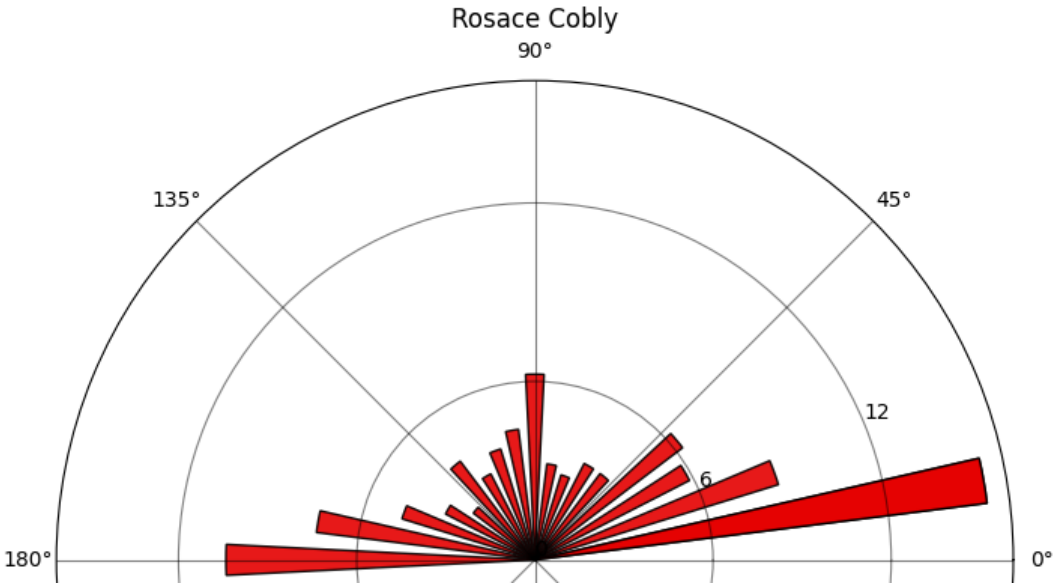


Figure 12 : Rosace directionnelle de la commune de Cobly

Le réseau de linéaments géologiques se concentre en majeur partie autour des directions N10-N20 (NS) N170-N180 (NS) suivi de N90 (EW). Les directions mineures telles que N130 N170 N40 et autres permettent de reconnaitre des blocs aquifères relativement productifs à l'exemple de ceux formés autour de Yimpissiri au Nord-Ouest de Cobly et Nignéri à l'Est. Le choix des sites de prospection doit tenir compte de la topographie en donnant priorité aux basses altitudes l'épaisseur d'altération et la porosité des couches hydrogéologiques.

4.3. Résultats des prospections de base réalisés à Cobly

Sur des zones, tous les profils ont été réalisés avec le dispositif du Schlumberger.

A Cobly (06) profils d'une longueur totale de 1 520 m et treize (13) sondages électriques en Dipôle-dipôle ont été réalisés. Parmi ces sondages électriques les 8 meilleurs ont été analysés en sondage tomographique (les diagrammes sont en annexe).

Tableau 4 : Point des profils et sondages réalisés à Cobly

N° Profil	Longueur (m)	Direction/ Azimut en °	Forme de l'anomalie	Résistivité		Sondages Electriques réalisés/ Position sur Profil (m)
				Résistivité maximale Ohm.m	Résistivité anomalie Ohm.m	
P 1/Z2	200	N60	V	86	43	SE1/180
P 2/Z3	320	N140	V.V	70	22 ; 20	SE3/70 ; SE2/300
P 3/Z5	140	N90	V	65	62	SE4/40
P 4/Z5	120	N180	V	65	28	SE5/60, SE4/150, SE5/500
P 5/Z6	180	N120	L, U	78	25 ; 20 ; 22	SE7/45 ; SE6/110 ; SE8/160
P 6/Z1	560	N 5	U ; V	132	54, 60, 61	SE1/520 ; SE2/380 ; SE3/170

Les différents profils de résistivité électrique (trainés) et les sondages réalisés pendant la prospection géophysique dans la commune de Cobly sont présentés en annexe.

4.4. Point des sondages RMP réalisés à Cobly

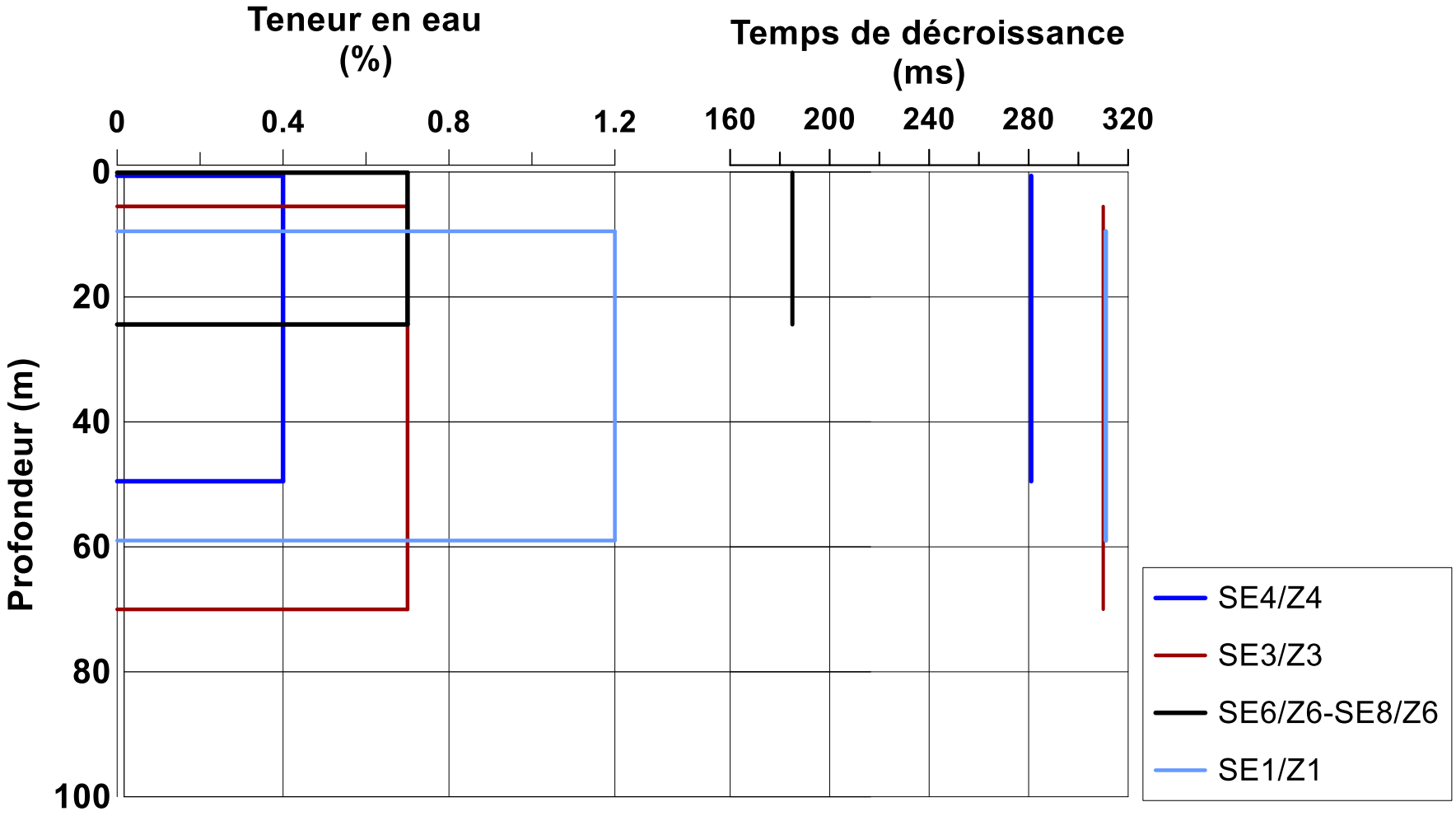


Tableau 5 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Cobly

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Transmissivité RMP (m²/s)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Débit pérenne recommandé (m3/h)	Rabattement maximal engendré	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
COBLY	SE3/Z3	310	0.7%	64.5	38.7	691	106	1.3E-04	17 -- 28	**10**	99%	61%	**1**
	SE1/Z1	311	1.2%	49.5	29.7	661	105	1.7E-04	17 -- 28	**10**	97%	58%	**2**
	SE4/Z4	281	0.4%	48.9	29.3	446	93	4.6E-05	5 – 9	**2.8**	98%	47%	**3**
	SE6/Z6-SE8/Z6	185	0.7%	24.3	14.6	260	83	1.7E-05	1 -- 2	**0.5**	89%	29%	**4**

4.5. Points d'implantation retenus dans la ville de Cobly

Les traînés et sondages dipôle-dipôle ont été dépouillés et interprétés avec Excel et les sondages électriques en dispositif Schlumberger sont interprétés à l'aide d'un logiciel Open Source IPi2_Win. Ainsi sur un total de (13) sondages électriques, 13 ont été retenus après dépouillement et analyse des données pour la réalisation des douze (12) nouveaux forages dans la ville de Cobly.

Il faut retenir qu'à Cobly tous les sondages électriques ont été réalisés en dispositif dipôle-dipôle à cause des hétérogénéités du sous-sol. Ces points constituent les sites des futurs forages. Le tableau suivant restitue la synthèse de ces travaux.

Tableau 6 : Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Cobly

N°	Nombre de forages à réaliser	Arrondissement	Village/quartier de ville	Priorisation	Sondages Electriques (SE) retenus	Coordonnées GPS	Venues d'eau probables (m)	Epaisseur altération (m)	Profondeur estimée (m)	Débit prévisionnel du forage projeté (m^3/h)	Lithologie prévisionnelle
1	12	TAPOGA	PEGOU	F1 =	SE2/Z3	X : 0°57'32,1'' Y : 10°35'26,1''	20-25 ; 30-35 ; 45-60	12	75	17 -- 28	Schistes+grés
2		TAPOGA	PEGOU	F2 =	SE3/Z3	X : 0°57'27,6'' Y : 10°35'32,2''	20-30 ; 40-60	4	80	17 -- 28	Schistes+grés
3		COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	F3 =	SE1/Z1	X : 01°1'02.1'' Y : 10°28'56.3''	20-35 ; 45-55 ; 70-85	10	95	17 -- 28	Schistes+grés
4		COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	F4 =	SE2/Z1	X : 01°1'00.4'' Y : 10°29'01.2''	20-35 ; 45-55 ; 70-85	11	90	17 -- 28	Schistes+grés
5		COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	F5 =	SE3/Z1	X :1°00'59.1" Y : 10°29'09.9''	20-35 ; 45-55 ; 70-85	10	90	17 -- 28	Schistes+grés
6		COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	F6 =	SE05/Z1	X :01°00'49.1" Y : 10°29'27,4"	40-55-70	22	100	17 -- 28	Schistes+grés
7		COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	F7 =	SE01/Z1	X : 01°00'53,7" Y : 10°29'26,4"	42-57-74	22	100	17 -- 28	Schistes+grés
8		KOUNTORI	SERHOUGUE	F8=	SE4/Z5	X : 0°54'13.8" Y : 10°21'19.8"	20-35 ; 45-55 ; 70-85	10	90	5 – 9	Schistes quartzeux+grès
9		KOUNTORI	SERHOUGUE	F9=	SE5/Z5	X : 0°53'54.3" Y : 10°21'34,9"	40-55-70	22	100	5 – 9	Schistes quartzeux+grès
10		COBLY CENTRE	DIDANI	F10=	SE6/Z6	X : 0°58'52.3" Y : 10°29'08,7"	42-57-74	22	100	5 – 9	Schistes quartzeux
11		COBLY CENTRE	DIDANI	F11=	SE7/Z6	X : 0°58'50.4" Y : 10°29'09,6"	20-35 ; 45-55 ; 70-85	10	90	5 – 9	Schistes quartzeux
12		COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	F12=	SE1/Z2	X : 01°03'47,7" Y : 10°29'07,8"	40-55-70	22	100	5 – 9	Schistes quartzeux

4.6. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Karimama

Le contexte géologique de Karimama est dominé par 4 grands ensembles suivants :

- Le Quaternaire constitué par les alluvions récentes et les plateaux cuirassés ;
- L'Eocène – Pliocène composé du Continental Terminal du socle du nord, des conglomérats, brèches, silts et argiles ;
- Le Cambro-Silurien essentiellement composé de : grès fins, grès moyens, des conglomérats, brèches, silts et argiles ;
- Protérozoïque indifférencié constitué par les formations telles que : les quartzites de l'Atacora, le complexe migmatite de Kandi (migmatites granitiques, gneiss oeillés granitiques et granodioritiques).

Selon la nouvelle carte hydrogéologique éditée en 2012, une analyse portant sur des échantillons de forages zone par zone permet de connaître les potentialités hydrogéologiques de chaque secteur géologique :

- Dans les grès Cambro-Silurien du bassin de Kandi (zone Birni-lafia), 24 forages ont été réalisés portant les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	30-90
Débits moyens (m^3/h)	5 -12
Niveau statique (m)	5
Taux de succès (%)	> 80m

- Dans l'Eocène-Pliocène (zone Bogo-Bogo), 8 forages réalisés avec les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	40-70
Débits moyens (m^3/h	2,4-4,8
Niveau statique (m)	10-12
Taux de succès (%)	100

- Dans le protérozoïque indifférencié (Karimama centre, Mamassy Gourma et Toundi koaria) 24 forages ont été réalisés dans cette unité avec les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	20- 90
Débits moyens (m^3/h)	2,7-4,5
Niveau statique (m)	8-10
Taux de succès (%)	55

- Dans le Quaternaire (Zone Est de Toundikoaria), 14 forages ont été réalisés portant les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	20-50
Débits moyens (m^3/h)	3,2-4,8
Niveau statique (m)	6-8
Taux de succès (%)	100

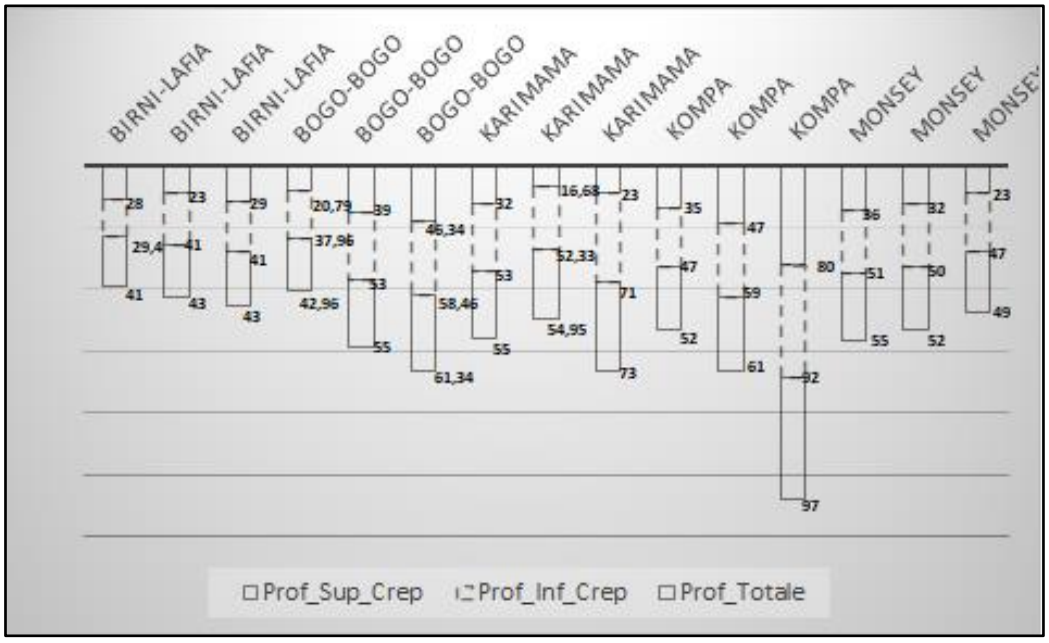


Figure 13 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Karimama

4.7. Résultat des études linéamentaires

Le Bénin a réalisé en 2016-2017, une nouvelle couverture aérienne dont les photographies ne sont pas encore en vente. En revanche des cartes ont été éditées. A défaut, des images Google Earth ont été exploitées conjointement avec les nouvelles cartes. Ceci nous a permis d'identifier sept (07) zones dans la commune de Karimama qui ont été retenu pour la réalisation de la campagne géophysique (voir figure ci-dessous).

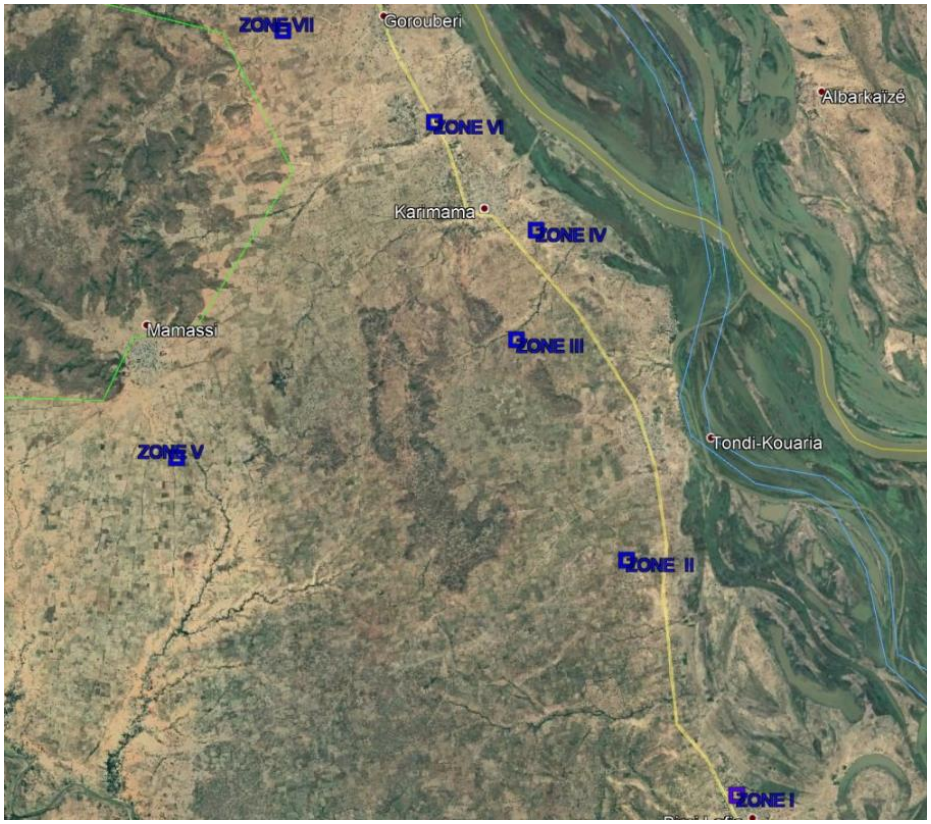


Figure 14 : Localisation des zones implantées dans la commune de Karimama

A l'issu de la visite de prospection hydrogéologique toutes les zones identifiées aux études linéamentaires ont été retenues pour la prospection géophysique avec une priorisation des unités les favorables vers les celles moins bonne.

Tableau 7 : Localisation des zones prioritairement prospectées

N°	ZONES	ARRONDISSEMENT	VILLAGE	OBSERVATIONS
1	Z1	BIRNI-LAFIA	BIRNI-LAFIA	Grès crétacé
2	Z2	BIRNI-LAFIA	TOUNDI-KOARIA	Gneiss oeillés + alluvions
3	Z3	BIRNI-LAFIA	TOUNDI-KOARIA	Gneiss oeillés
4	Z4	KARIMAMA CENTRE	KARIMAMA CENTRE	Migmatites
5	Z5	KARIMAMA CENTRE	MAMASSI GOURMA	Gneiss oeillés
6	Z6	KARIMAMA CENTRE	GOUROUBERI	Migmatites
7	Z7	KARIMAMA CENTRE	GOUROUBERI	Continental Terminal du nord

Dans ces zones les linéaments retenus sont identifiés à la fois dans le bassin sédimentaire de Kandi qu'en zone de socle franc (voir figure ci-dessous) en prenant en compte les linéaments qui forment des nœuds plus favorables à la disponibilité de la ressource en eau souterraine.

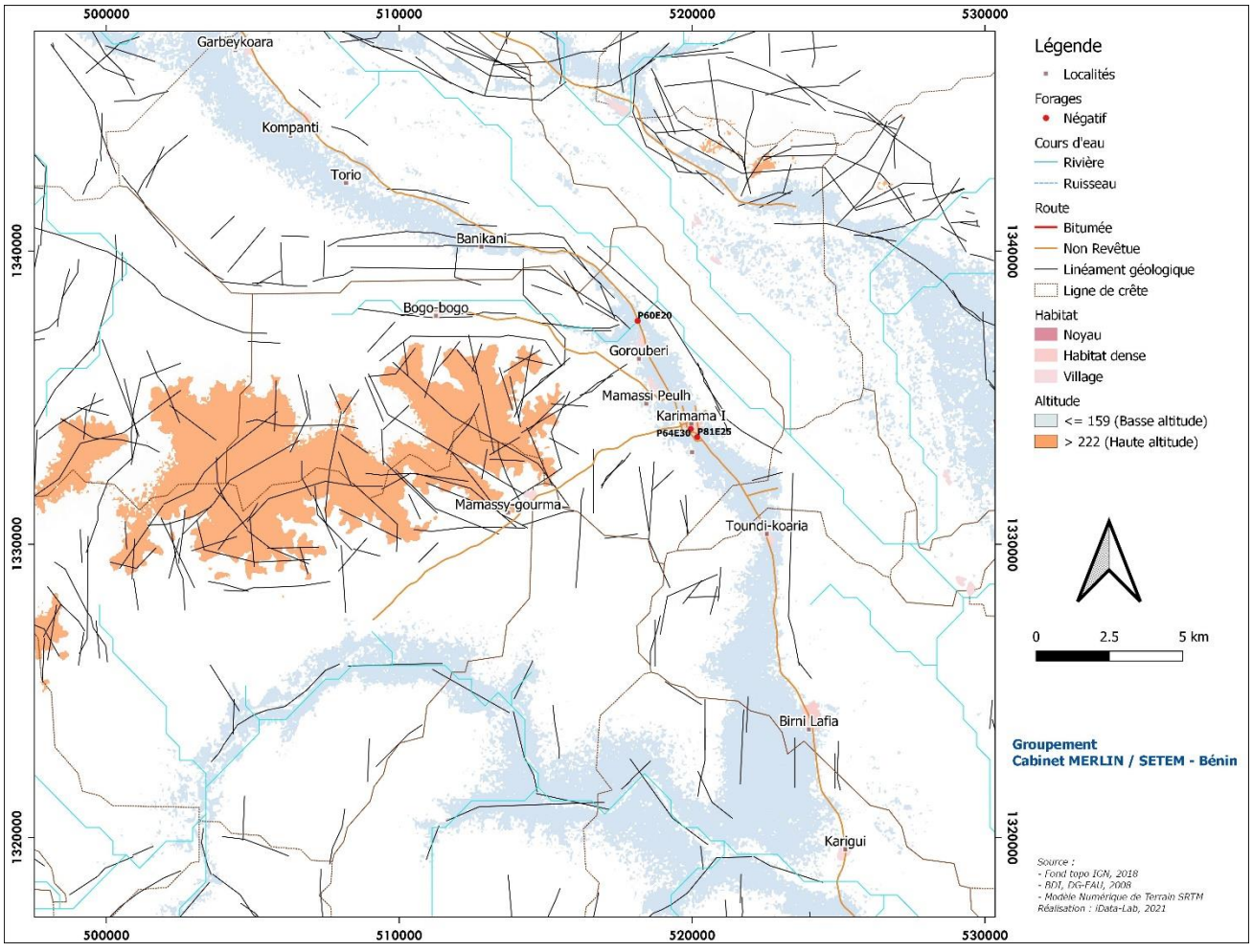


Figure 15 : Carte linéamentaire de la commune de Karimama

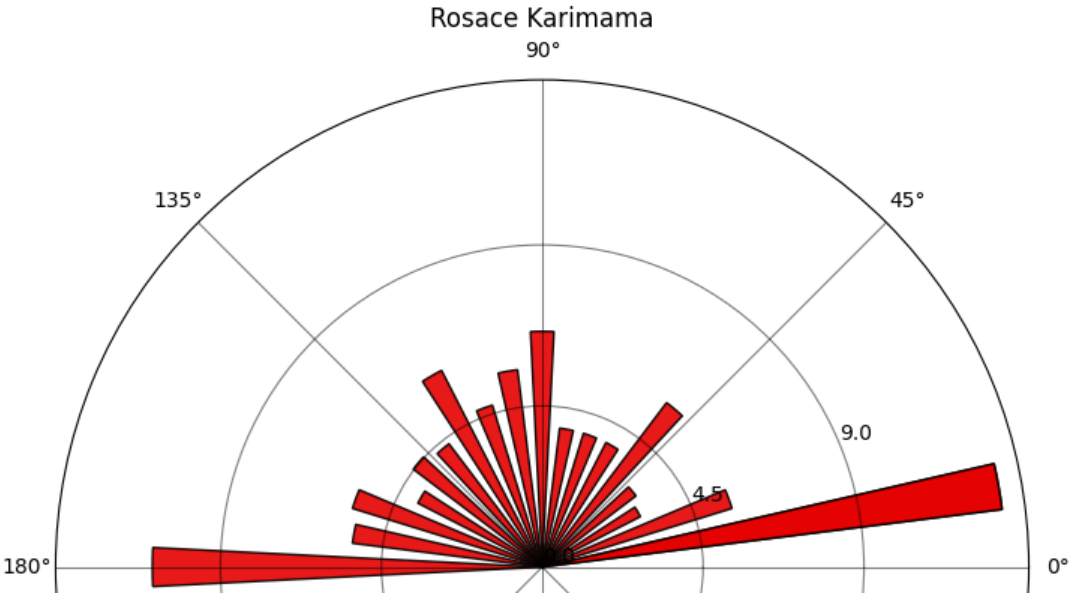


Figure 16 : Rosace directionnelle de la commune de Karimama

Le réseau de linéaments géologiques se concentre en majeur partie autour des directions N10-N20 (NS) N170-N180 (NS) suivi de N90 (EW). Les directions mineures telles que N130 N170 N40 et autres permettent de reconnaitre des blocs aquifères relativement productifs.

4.8. Résultats de la prospection de base réalisés à Karimama

Dans les zones, tous les profils ont été réalisés avec le dispositif du Schlumberger.

A Karimama, (30) profils d'une longueur totale de 5780 m et (31) sondages électriques en Dipôle-dipôle et (03) en Schlumberger ont été réalisés. Parmi ces sondages électriques les 21 meilleurs ont été analysés en sondage tomographique (les diagrammes sont en annexe).

Tableau 8 : Point des profils et sondages réalisés à Karimama

N° Profil	Longueur (m)	Direction/ Azimut	Forme de l'anomalie	Résistivité		Sondages Electriques réalisés/ Position sur Profil (m)
				Résistivité maximale Ohm.m	Résistivité anomalie Ohm.m	
P1/Z1	250	N70	V	86	28	SE1/150
		N70	U	98	37	SE5/240
P 2/Z2	70	N90	V	89	53	SE2/25
P3/Z1	100	N340	U	112	45	SE3/45
P4/Z3	290	N90	U	188	51	SE8/180
		N90	U ; V	132	47	SE4/240
P5/Z2	230	N170	V	216	80	SE6/90
P6/Z4	170	N150	V	202	59	SE7/150
P7/Z3	210	N60	U	129	48	SE9/140 ;
P8/Z5	200	N25	V ; U	171	40 ; 79	SE10/160 ; SE11/80
P9/Z6	120	N150	V. V	182	47. 78	SE12/100 ; SE13/50
P10/Z7	140	N50	U	137	67	SE14/110

Les différents profils de résistivité électrique (trainés) et les sondages réalisés pendant la prospection géophysique dans la commune de Karimama sont présentés en annexe.

4.9. Point des sondages RMP réalisés à Karimama

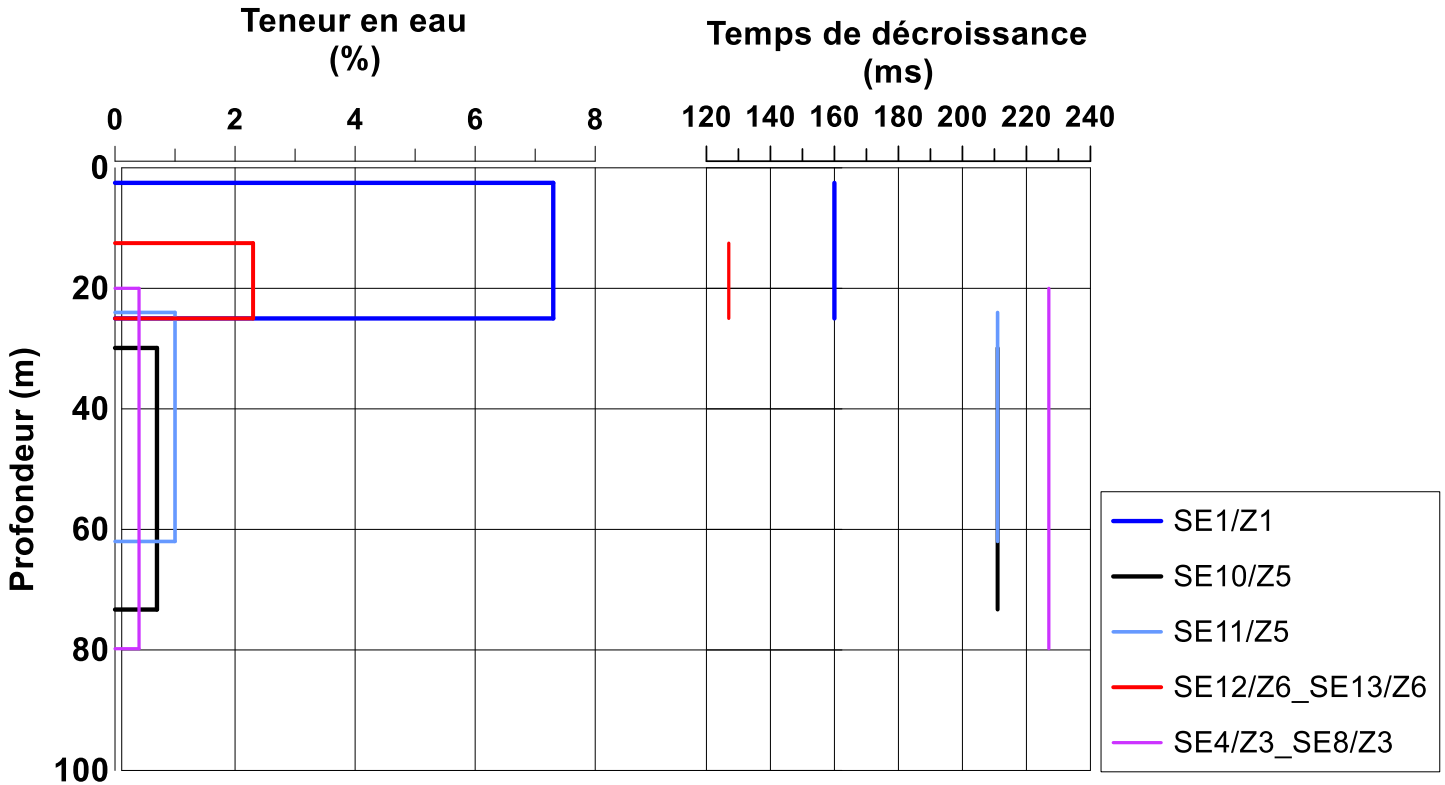


Tableau 9 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Karimama

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Transmissivité RMP (m^2/s)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Débit pérenne recommandé (m3/h)	Rabattement maximal engendré	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
KARIMAMA	SE1/Z1	160	7.3%	22.5	13.5	1028	117	1.3E-04	6 -- 10	**3.5**	95%	85%	**1**
	SE4/Z3_SE8/Z3	227	0.4%	59.8	35.9	545	98	3.7E-05	5 -- 9	**2.8**	100%	55%	**2**
	SE11/Z5	211	1.0%	38.0	22.8	467	94	5.1E-05	5 -- 8	**2.4**	98%	49%	**3**
	SE10/Z5	211	0.7%	43.4	26.0	465	94	4.1E-05	4 -- 7	**2.2**	98%	49%	**4**
	SE12/Z6_SE13/Z6	127	2.3%	12.5	7.5	240	82	1.4E-05	0 -- 1	**0.2**	83%	27%	**5**

4.10. Points d'implantation retenus dans la ville de Karimama

Les traînés et les sondages dipôle-dipôle ont été dépouillés et interprétés avec Excel et les sondages électriques en dispositif Schlumberger sont interprétés à l'aide d'un logiciel Open Source IPi2_Win. A la suite d'une analyse croisée entre les sondages électriques et les sondages RMP il convient de retenir (21) sondages électriques en prenant en compte que l'alésage des forations dans les zones de débit RMP égal à 7m^3/h permettra d'obtenir des forages de 10 m^3/h.

A la liste des sondages retenus, nous ajouterons les forages servant actuellement de captage aux AEV de Birni Lafia et de Karimama centre qui devront subir des alésages pour leur récupération dans le futur champ captant.

Le tableau n°10 restitue la synthèse de ces travaux.

Tableau 10 : Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Karimama

N°	Nombre de forages à réaliser	Arrondissement	Village/quartier de ville	Priorisation	Sondages électriques (SE) retenus	Coordonnées GPS	Venues d'eau probables (m)	Epaisseur altération (m)	Profondeur estimée (m)	Débit prévisionnel du forage projeté (m^3/h)	Lithologie prévisionnelle
1	21	BIRNI-LAFIA	BIRNI-LAFIA	F1=	SE1/ Z1	X : 3°13'12,7'' Y : 1°58'53,9''	25-35 ; 45 ; 55-60 ; 80-85	6	90	6 -- 10	Grés Crétacé
2		BIRNI-LAFIA	BIRNI-LAFIA	F2=	SE5/Z1	X : 3°13'15,6'' Y : 11°58'54,5''	20-40 ; 50-70	4	90	6 -- 10	Grés Crétacé
3		BIRNI-LAFIA	BIRNI-LAFIA	F3=	SE3/Z1	X : 3°12'52,4'' Y : 11°58'42,9''	30-45 ; 70-85	4	75	6 -- 10	Grés Crétacé
4		BIRNI-LAFIA	TOUNDI-KOARIA	F4=	SE4/Z3	X : 3°11'16,7'' Y : 12°02'51,5''	20-30 ; 35-45 ;60-95	4	90	5 -- 9	Migmatites+ intercalation Quartz
5		BIRNI-LAFIA	TOUNDI-KOARIA	F5=	SE8/Z3	X : 3°11'14,7'' Y : 12°02'51,3''	25-40 ; 55-65 ; 75-95	4	90	5 -- 9	Migmatites+ intercalation Quartz
6		BIRNI-LAFIA	TOUNDI-KOARIA	F6=	SE9/Z3	X : 3°11'06,0'' Y : 12°03'07,5''	40-55 ; 65-75 ; 80-85	8	90	5 -- 9	Migmatites+ intercalation Quartz
7		KARIMAMA CENTRE	MAMASSI GOURMA	F7=	SE11/Z5	X : 3°08'13,8'' Y : 12°01'49,0''	16-25 ; 35-40 ; 50-70	4	80	5 -- 8	Gneiss oeillés
8		KARIMAMA CENTRE	MAMASSI GOURMA	F8=	SE10/Z5	X : 3°08'15,6'' Y : 12°01'51,0''	20-30 ; 40-65	4	80	4 -- 7	Gneiss oeillés
9		BIRNI-LAFIA	TOUNDI-KOARIA	F9=	SE2/Z2	X : 3°12'14,7'' Y : 12°00'56,6''	20-30 ; 35-40 ; 55-80	10	100	3 -- 7	Gneiss oeillés
10		BIRNI-LAFIA	BIRNI-LAFIA	Forage de l'AEV ($12m^3/h$)=	SE étal/Z1	X : 3°13'15,4'' Y : 11°58'48,9''	20-30 ; 45-68	4	110	Forage à récupérer	Grés Crétacé
11		KARIMAMA CENTRE	KARIMAMA CENTRE	Forage de l'AEV ($12m^3/h$)=	SE étal/Z4	X : 3°11'15,4'' Y : 12°03'53,7''	35-40 ; 45-55 ; 65-75	8	90	Forage à récupérer	Migmatites+ Intercalation Quartz
12		KARIMAMA CENTRE	KARIMAMA CENTRE	F12	SE7/Z4	X : 3°11'27,5'' Y : 12°03'48,6''	35-40 ; 45-55 ; 65-75	8	90	Forage à récupérer	Migmatites+ Intercalation Quartz

13		**KARIMAMA CENTRE**	**BOGO-BOGO**	**F13 SE14/Z7**	**X : 3°09'13,2'' Y : 12°05'33,0''**	**20-30 ; 35-40 ; 55-80**	**10**	**100**	3 -- 7	
14		**GOROUBERI**	**MAMASSI**	**F14 SE12/Z6**	**X : 3°10'33,6'' Y : 12°04'45,0''**	**20-30 ; 40-65**	**4**	**80**	4 -- 7	Gneiss oeillés
15		**GOROUBERI**	**MAMASSI**	**F15 SE13/Z6**	**X : 3°10'39,9'' Y : 12°01'19,9''**	**20-30 ; 40-65**	**4**	**80**	4 -- 7	Gneiss oeillés
16		**TONDI KOUARA**	**TONDI KOUARA**	**F16 SE1/Z3**	**X : 3°11'20,4'' Y : 12°02'51.7''**	**20-30 ; 35-40 ; 55-80**	**10**	**100**	3 -- 7	Gneiss oeillés
17		**TONDI KOUARA**	**TONDI KOUARA**	**F17 SE1/Z5**	**X : 3°08'18.9'' Y : 12°01'53.0''**	**20-30 ; 35-40 ; 55-80**	**10**	**100**	3 -- 7	Gneiss oeillés
18		**BIRNI LAFIA**	**BIRNI-LAFIA**	**F18 SE4/Z1**	**X : 3°13'19.2'' Y : 11°58'52.0''**	**25-35 ; 45 ; 55-60 ; 80-85**	**6**	**90**	6 -- 10	Grés Crétacé
19		**BIRNI LAFIA**	**BIRNI-LAFIA**	**F19 SE6/Z1**	**X : 3°13'19.4'' Y : 11°58'36.6''**	**25-35 ; 45 ; 55-60 ; 80-85**	**6**	**90**	6 -- 10	Grés Crétacé
20		**BIRNI LAFIA**	**BIRNI-LAFIA**	**F20 SE7/Z1**	**X : 3°13'13.18'' Y : 11°58'57.5''**	**25-35 ; 45 ; 55-60 ; 80-85**	**6**	**90**	6 -- 10	Grés Crétacé
21		**BIRNI LAFIA**	**BIRNI-LAFIA**	**F21 SE8/Z1**	**X : 3°13'08.8'' Y : 11°58'36.7''**	**25-35 ; 45 ; 55-60 ; 80-85**	**6**	**90**	6 -- 10	Grés Crétacé

4.11. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Gogounou

Le manteau géologique de la commune de Gogounou est constitué de 3 faciès géologiques :

- Grès Cambro-Silurien du bassin de Kandi (Grès fins, silts et argiles) ;
- Grès Cambro-Silurien du bassin de Kandi faciès de Wèrè (Conglomérats, brèches, grès avec silts et argiles)
- Sillon gneissique de l'Ouémé composé de : Gneiss à biotites, diorites et granito-gneissique.

Selon la nouvelle carte hydrogéologique éditée en 2012, une analyse portant sur des échantillons de forages zone par zone permet de cerner les potentialités hydrogéologiques de chaque contexte géologique :

Dans le Cambro-Silurien du bassin de Kandi constitué de grès fin, silts et argiles (zone Zougou-Pantroci), 66 forages ont été réalisés portant les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	30-100
Débits moyens (m^3/h)	4-4,8
Niveau statique (m)	12-14
Taux de succès (%)	79

Dans le Cambro-Silurien du bassin de Kandi faciès de Wèrè constitué de conglomérats, brèches, grès avec silts et de l'argile (zone ouest de : Gogounou centre, Gounarou, Wèrè, Sori et Borodarou), 22 forages réalisés avec les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	30-90
Débits moyens (m^3/h)	3,7-4,4
Niveau statique (m)	8-10
Taux de succès (%)	55

Dans le Sillon gneissique de l'Ouémé caractérisé par les gneiss à biotites, diorites et les granito-gneissiques (Bagou et Boro) 190 forages ont été réalisés dans cette unité avec les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	20-90
Débits moyens (m^3/h)	2,5-3,3
Niveau statique (m)	7-8
Taux de succès (%)	57

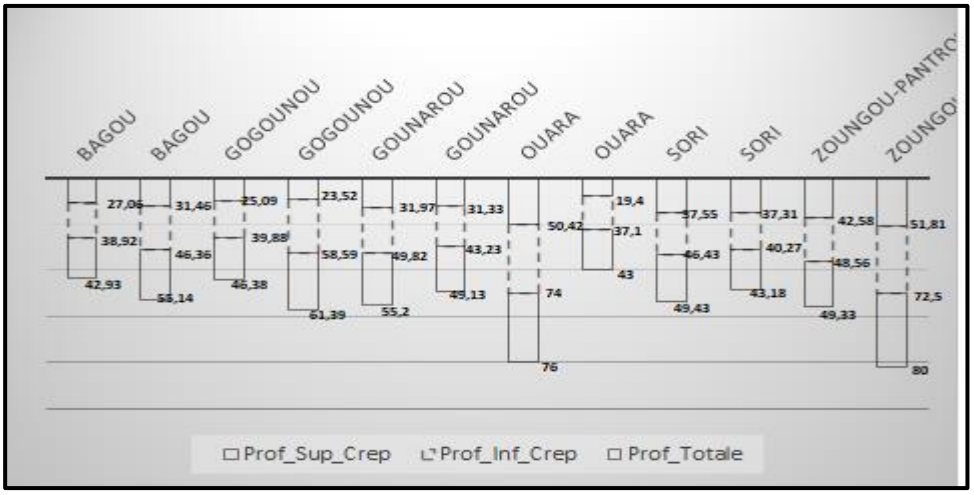


Figure 17 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Gogounou

4.12. Résultat des études linéamentaires

Conformément à la méthodologie de la réalisation de cette phase de l'étude et qui consiste au jumelage des images Google Earth avec les nouvelles cartes géologiques et hydrogéologiques, il a été identifié neuf (09) zones cibles dans la commune de Gogounou.

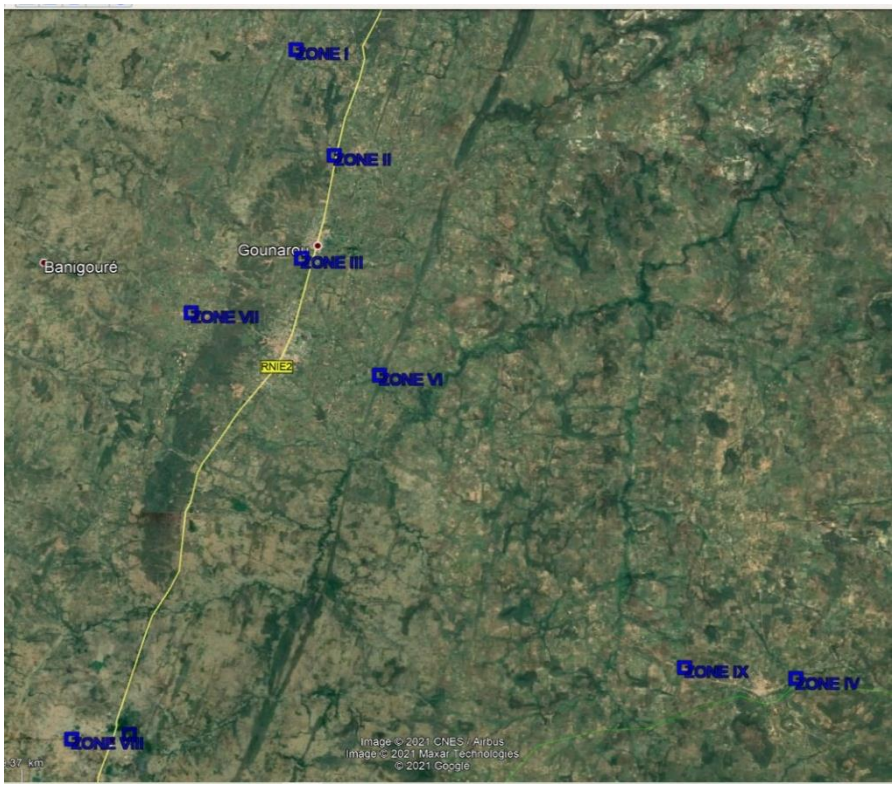


Figure 18 : Localisation des zones implantées dans la commune de Gogounou

Ces zones présentent des géologies variées et diversifiées allant des contacts de grès vers l'est de la commune à la limite de même formation vers centre de la ville. Elles ont été également identifiées dans les régions de socle ayant un potentiel hydrogéologique vérifié par des forages à gros débit qui y avaient été réalisés pour des ouvrages complexes d'alimentation en eau potable.

La prospection hydrogéologique des dites zones à confirmer la nécessité de réaliser les profils qui y avaient été proposés. Il s'agit comme l'indique le tableau ci-dessous de zones :

Tableau 11 : Localisation des zones prioritairement prospectées dans la ville de Gogounou

N°	ZONES	ARRONDISSEMENT	VILLAGE	OBSERVATIONS
1	Z1	GOUNAROU	BORO	Gneiss
2	Z2	GOUNAROU	GOUNAROU	Conglomérats+ brèches
3	Z3	GOUNAROU	GOUNAROU	Conglomérats+ Micaschistes
4	Z4	ZOUGOU-PANTROCI	ZOUGOU-PANTROCI	Contact grès/socle et grès fin
5	Z7	GOGOUNOU CENTRE	GOGOUNOU	Limites conglomérats/socle
6	Z6	BAGOU	BAGOU	Gneiss
7	Z8	SORI	SORI	Gneiss
8	Z5	SORI	SORI	Gneiss
9	Z9	ZOUGOU-PANTROCI	ZOUGOU-PANTROCI	Contact grès/socle et grès fin

Dans ces zones les linéaments retenus sont identifiés (voir figure ci-dessous) en prenant en compte les linéaments qui forment des nœuds plus favorables à la disponibilité de la ressource en eau souterraine.

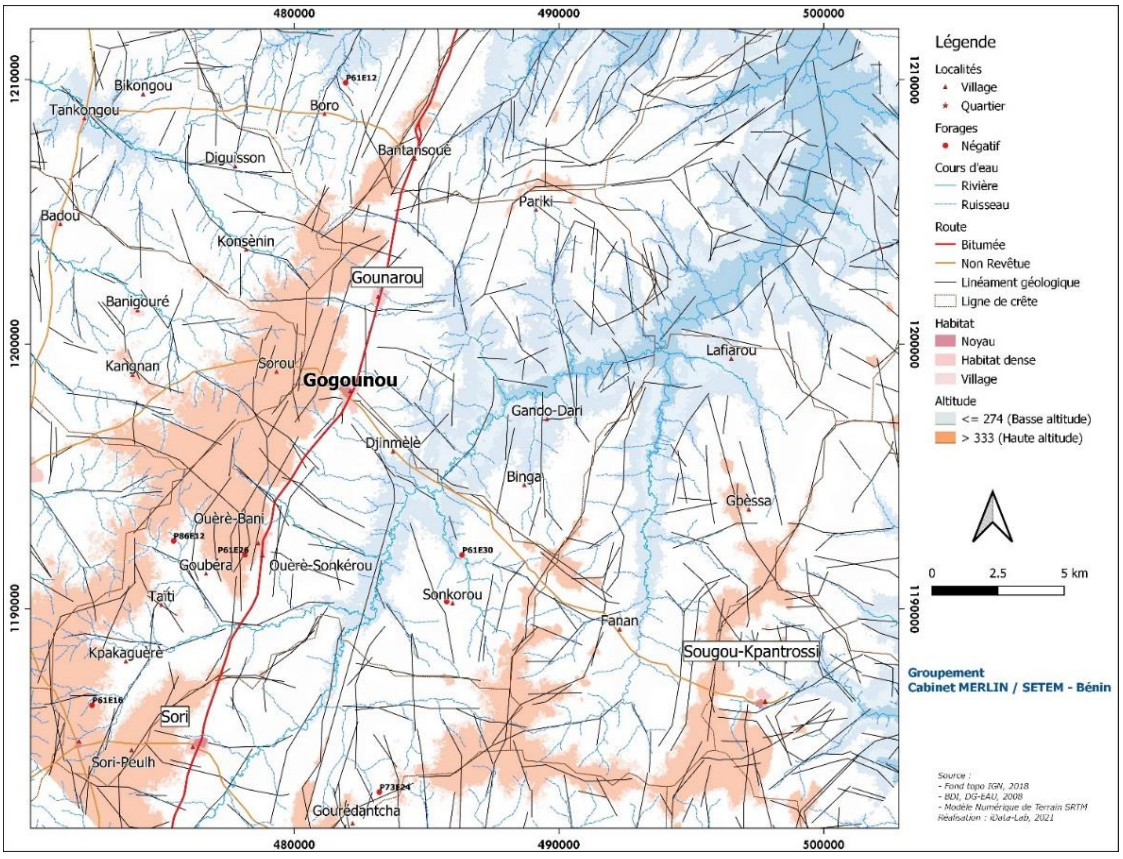


Figure 19 : Carte linéamentaire de la commune de Gogounou

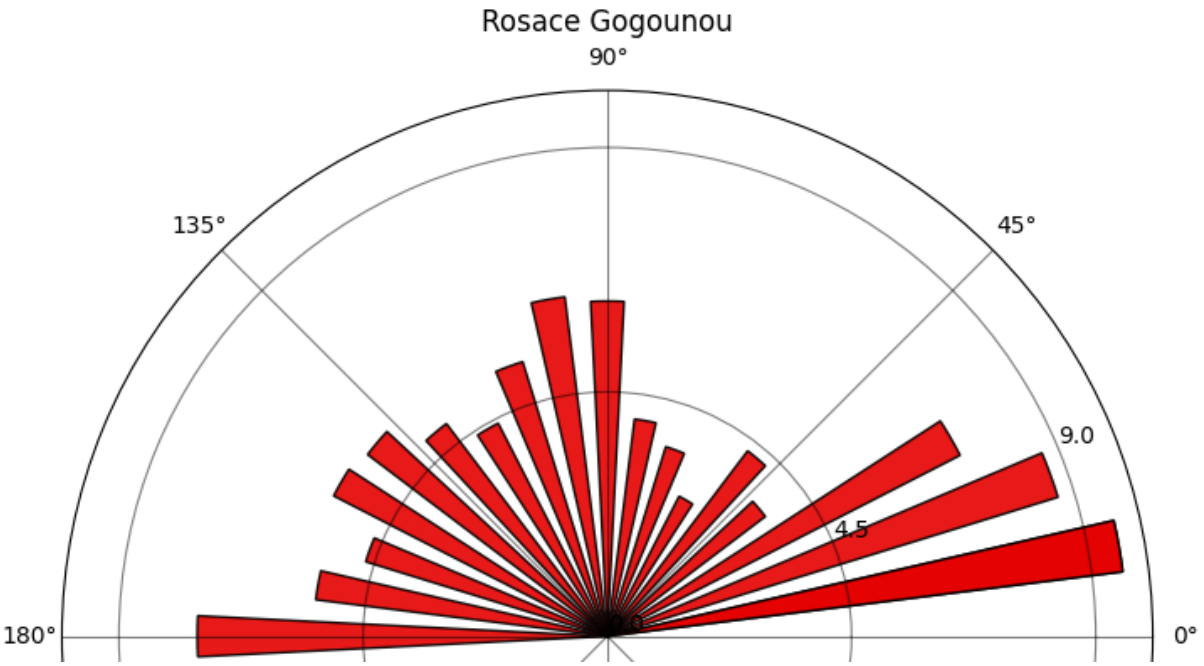


Figure 20 : Rosace directionnelle de la commune de Gogounou

Le réseau de linéaments géologiques se concentre en majeur partie autour des directions N10-N40 (NS) N90-N180 (NS) suivi de N45 – N80 (EW). Le choix des sites de prospection doit tenir compte de la topographie en donnant priorité aux basses altitudes l'épaisseur d'altération et la porosité des couches hydrogéologiques.

4.13. Résultats de la prospection de base réalisés à Gogounou

A Gogounou, onze (11) profils d'une longueur totale de 4 410 m et (15) sondages électriques en Schlumberger ont été réalisés. Parmi ces sondages électriques les 10 meilleurs ont été analysés en sondage tomographique (les diagrammes sont en annexe).

Tableau 12 : **Point des profils et sondages réalisés à GOGOUNOU**

N° Profil	Longueur (m)	Direction/ Azimut	Forme de l'anomalie	Résistivité		Sondages Electriques réalisés/ Position sur Profil (m)
				Résistivité maximale Ohm.m	Résistivité anomalie Ohm.m	
P1/Z1	90	N280°	W	1134	232	SE1/40
P2/Z2	160	N290°	contact	88	47	SE2/45
P3/Z3	200	N225°	contact	205	49	SE3/150
P4/Z7	100	N280°	V ; V	205	54 ; 72	SE4/80 ; SE5/35
P5/Z9	150	N320°	V ; V	605	268 ; 148	SE6/50 ; SE7/110
P6/Z9	100	N130°	V ouvert	1289	928	SE8/70
P7/Z6	220	N110°	V ; V ouvert	221	102 ; 119	SE9/150 ; SE10/60
P8/Z5	320	N170°	U ; U	165	68 ; 93	SE1/150 ; SE2/250
P9/Z8	290	N80°	V ; U	1001	614 ;785	SE1/160 ; SE2/220

4.14. Point des sondages RMP réalisés à Gogounou

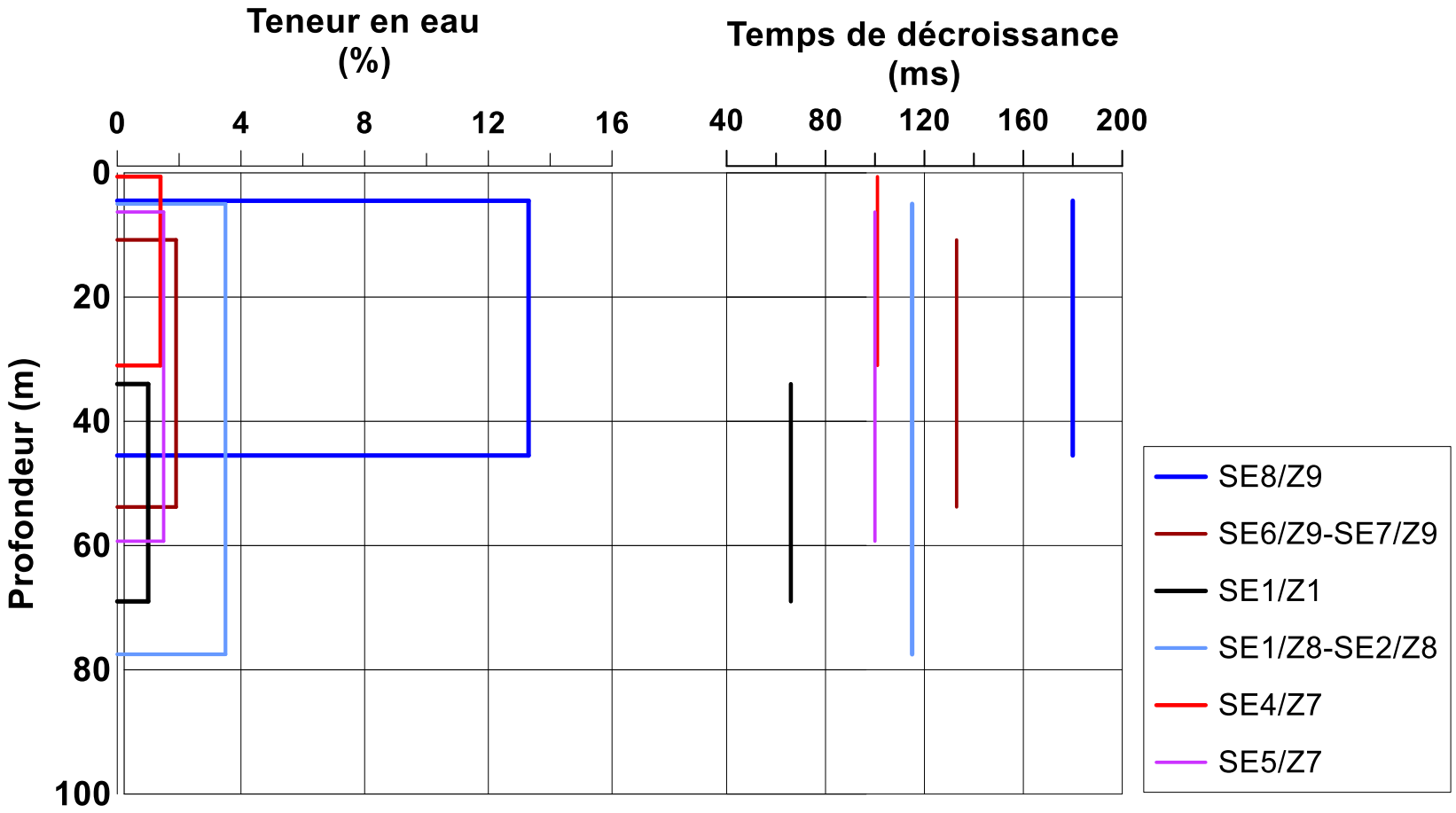


Tableau 13 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Gogounou

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Transmissivité RMP (m²/s)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Débit pérenne recommandé (m3/h)	Rabattement maximal engendré	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
GOGOUNOU	SE8/Z9	180	13.3%	41.0	24.6	3177	242	5.3E-04	35 -- 60	**20**	74%	95%	**1**
	SE1/Z8-SE2/Z8	115	3.5%	72.5	43.5	1852	170	1.0E-04	15 --26	**8**	86%	94%	**2**
	SE4/Z7	101	7.1%	30.4	18.2	1357	143	6.6E-05	5 -- 8	**2.5**	93%	93%	**3**
	SE6/Z4-SE7/Z4	133	1.9%	43.0	25.8	734	109	4.3E-05	4 --7	**2**	83%	57%	**4**
	SE5/Z7	100	1.5%	53.0	31.8	792	112	2.4E-05	3 -- 6	**1.5**	89%	66%	**5**
	SE1/Z1	66	1.0%	35.0	21.0	431	92	4.6E-06	0 -- 2	**0.2**	87%	46%	**6**

4.15. Points d'implantation retenus dans la ville de Gogounou

Les traînés et les sondages ont été dépouillés avec Excel et les sondages électriques en dispositif Schlumberger ont été interprétés à l'aide d'un logiciel Open Source IPi2_Win. Ainsi sur un total de (15) sondages électriques 10 ont été retenus après dépouillement et analyse des données. Ces points constituent les sites des futurs forages. Le tableau suivant restitue la synthèse de ces travaux.

Tableau 14 : **Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Gogounou**

N°	Nombre de forages à réaliser	Arrondissement	Village/quartier de ville	Priorisation	Sondages Electriques (SE) retenus	Coordonnées GPS	Venues d'eau probables(m)	Epaisseur altération (m)	Profondeur estimée (m)	Débit prévisionnel du forage projeté (m^3/h)	Lithologie prévisionnelle
1	**10**	**ZOUGOU-PANTROCI**	**ZOUGOU-PANTROCI**	**F1=**	**SE8/Z9**	**X : 02°59'21.6'' Y : 10°44'11.7''**	**25-40 ; 60-100**	10	110	35 -- 60	Grès crétacé
2		**ZOUGOU-PANTROCI**	**ZOUGOU-PANTROCI**	**F6=**	**SE9/Z9**	**X : 02°59'15.2'' Y : 10°44'18.9''**	**25-40 ; 60-100**	10	110	35 -- 60	Grès crétacé
3		**ZOUGOU-PANTROCI**	**ZOUGOU-PANTROCI**	**F7=**	**SE10/Z9**	**X : 02°59'06.7'' Y : 10°44'07.6''**	**25-40 ; 60-100**	10	110	35 -- 60	Grès crétacé
4		**SORI**	**SORI**	**F2=**	**SE1/Z8**	**X : 2°46'19,7'' Y : 10°43'07,7''**	**30-45 ; 68-80**	8	80	15 --26	Gneiss
5		**SORI**	**SORI**	**F3=**	**SE2/Z8**	**X : 2°46'23,6'' Y : 10°43'07,8''**	**30-60 ; 75-85**	6	90	15 --26	Gneiss
6		**SORI**	**SORI**	**F8=**	**SE3/Z8**	**X : 2°46'13,9'' Y : 10°43'21.9''**	**30-60 ; 75-85**	6	90	15 --26	Gneiss
7		**SORI**	**SORI**	**F9=**	**SE2/Z8**	**X : 2°46'00,2'' Y : 10°43'05,1''**	**30-60 ; 75-85**	6	90	15 --26	Gneiss
8		**BAGOU**	**BAGOU**	**F4=**	**SE9/Z6**	**X :2°43'33.1" Y : 10°49'49.1''**	**25-50 ; 70-80**	10	90	7--10	Gneiss
9		**BAGOU**	**BAGOU**	**F5=**	**SE10/Z6**	**X : 02°43'30.2'' Y : 10°49'49.7''**	**25-50 ; 70-80**	5	90	7--10	Gneiss
10		**BAGOU**	**BAGOU**	**F10=**	**SE11/Z6**	**X : 02°49'33.1'' Y : 10°49'49.7''**	**25-50 ; 70-80**	5	90	7--10	Gneiss

4.16. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Kalalé

Deux grandes unités géologiques gèrent la commune de Kalalé que sont :

- Grès Cambro-Silurien du bassin de Kandi faciès de Ouèrè (Conglomérats, brèches, grès avec silts et argiles) ;
- Migmatites du complexe Nikki-Pèrèrè composé de : Gneiss pyroxénites, Syénites et granites.

Selon la nouvelle carte hydrogéologique éditée en 2012, une analyse portant sur des échantillons de forages zone par zone permet de cerner les potentialités hydrogéologiques de chaque contexte géologique :

- **Dans le Cambro-Silurien du bassin de Kandi faciès de Ouèrè constitué de conglomérats, brèches, grès avec silts et de l'argile** (zone de Kalalé centre, Nassiconzi, Lou, Daganzi, Bessassi et Kidaroukpérou), 22 forages réalisés avec les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	**20-90**
Débits moyens (m3/h	**3,7-4,3**
Niveau statique (m)	**10-11**
Taux de succès (%)	**73**

- **Dans les Migmatites du complexe Nikki-Pèrèrè composé de : Gneiss pyroxénites, Syénites et granites** (zone de Derassi, Basso, Kakaténin…) 381 forages ont été réalisés dans cette unité avec les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	**20-120**
Débits moyens (m^3/h)	**2,2-3,3**
Niveau statique (m)	**9**
Taux de succès (%)	**60**

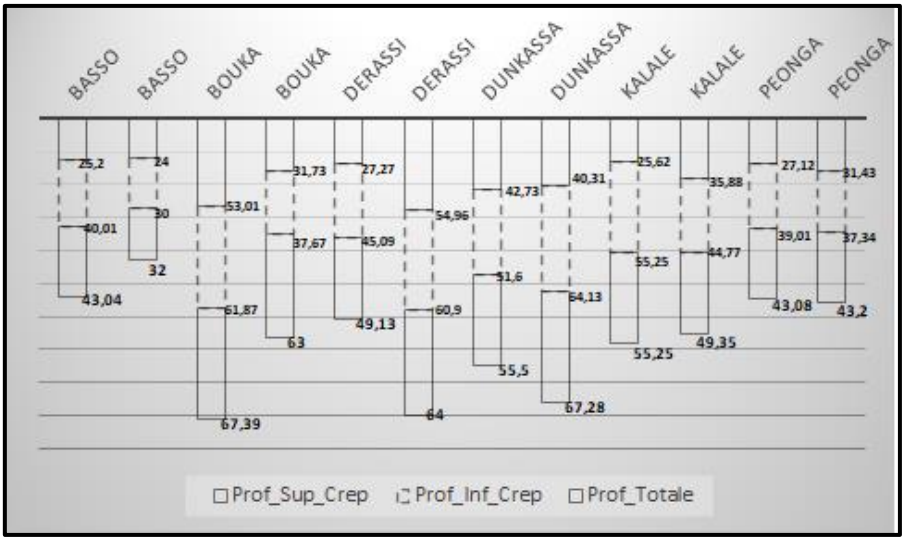


Figure 21 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Kalalé

4.17. Résultat des études linéamentaires

Conformément à la méthodologie de la réalisation de cette phase de l'étude et qui consiste au jumelage des images Google Earth avec les nouvelles cartes géologiques et hydrogéologiques, il a été identifié cinq (05) zones cibles dans la commune de Kalalé.

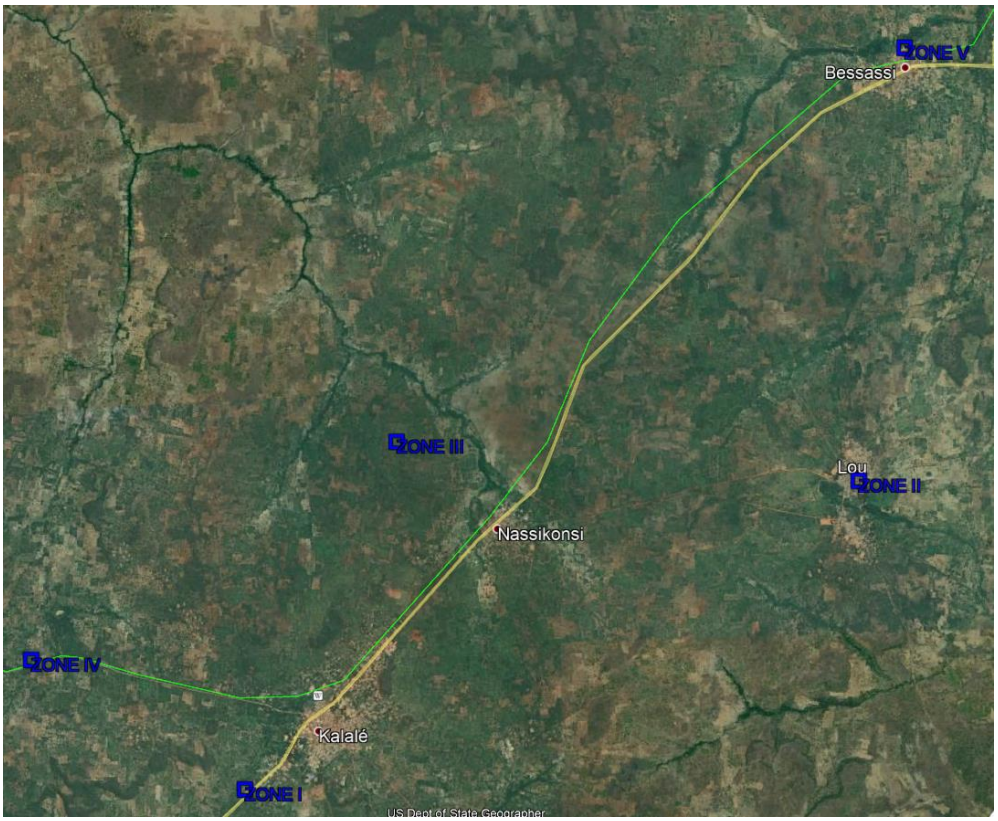


Figure 22 : Localisation des zones implantées dans la commune de Kalalé

Ces zones présentent des géologies variées et diversifiées allant des contacts de grès vers les régions de contact entre les roches métamorphiques ou migmatiques et le grès du bassin de Kandi.

La prospection hydrogéologique desdites zones à confirmer la nécessité de réaliser les profils qui y avaient été proposés. Il s'agit comme l'indique le tableau ci-dessous de zones:

Tableau 15 : Localisation des zones prioritairement prospectées dans la ville de Kalalé

N°	ZONES	ARRONDISSEMENT	VILLAGE	POINTS IMPLANTES	OBSERVATIONS
1	Z1	KALALE CENTRE	Entrée Kalalé. A l'opposé de l'antenne GSM écroulée	SE4	Contact migmatites/grès
2	Z2	KALALE CENTRE	LOU	3POINTS	GRES
3	Z3	KALALE	NASSICONZI	SE3	GRES
4	Z4	KALALE	KIDAROUKPEROU	SE5, SE6, SE7	GRES+CONTACT SOCLE
5	Z5	KALALE	BESSASSI	SE1 et SE2	GRES

Dans ces zones les linéaments retenus sont identifiés (voir figure ci-dessous) en prenant en compte les linéaments qui forment des nœuds plus favorables à la disponibilité de la ressource en eau souterraine.

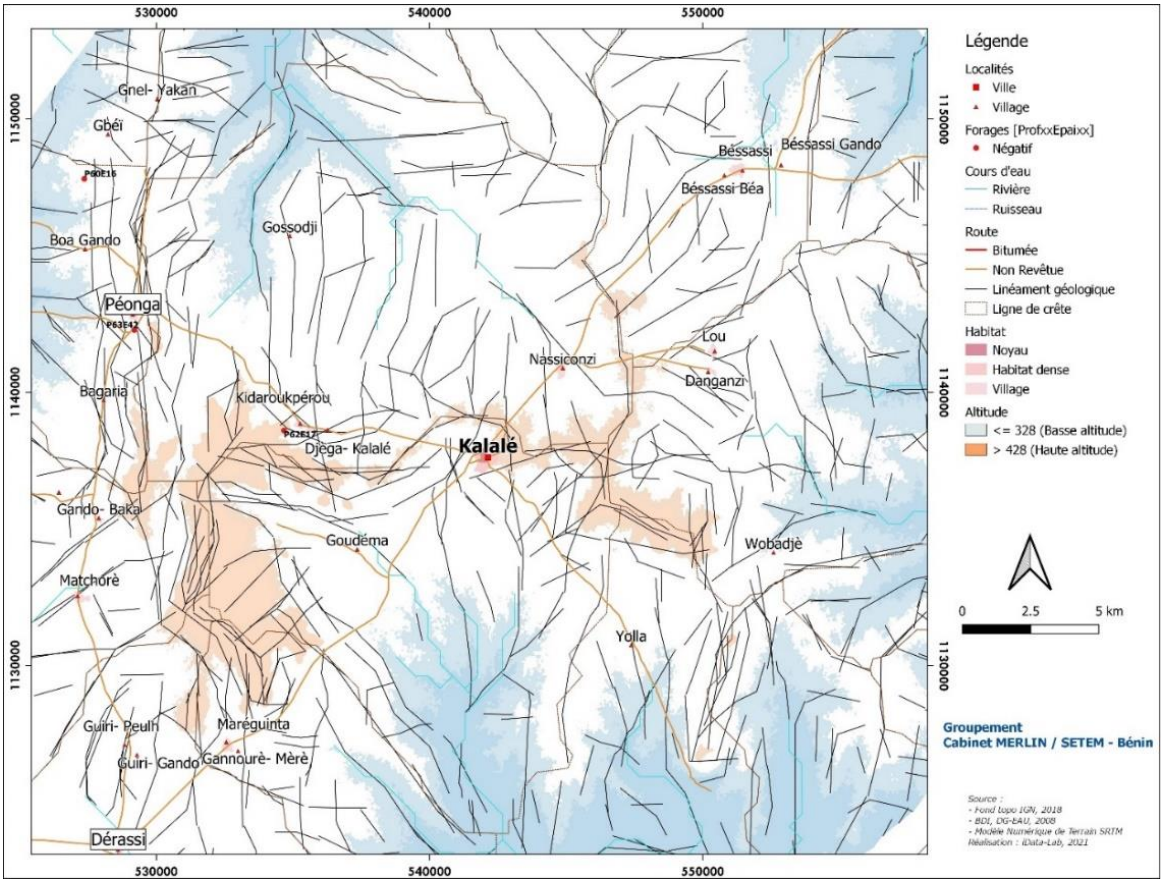


Figure 23 : Carte linéamentaire de la commune de Kalalé

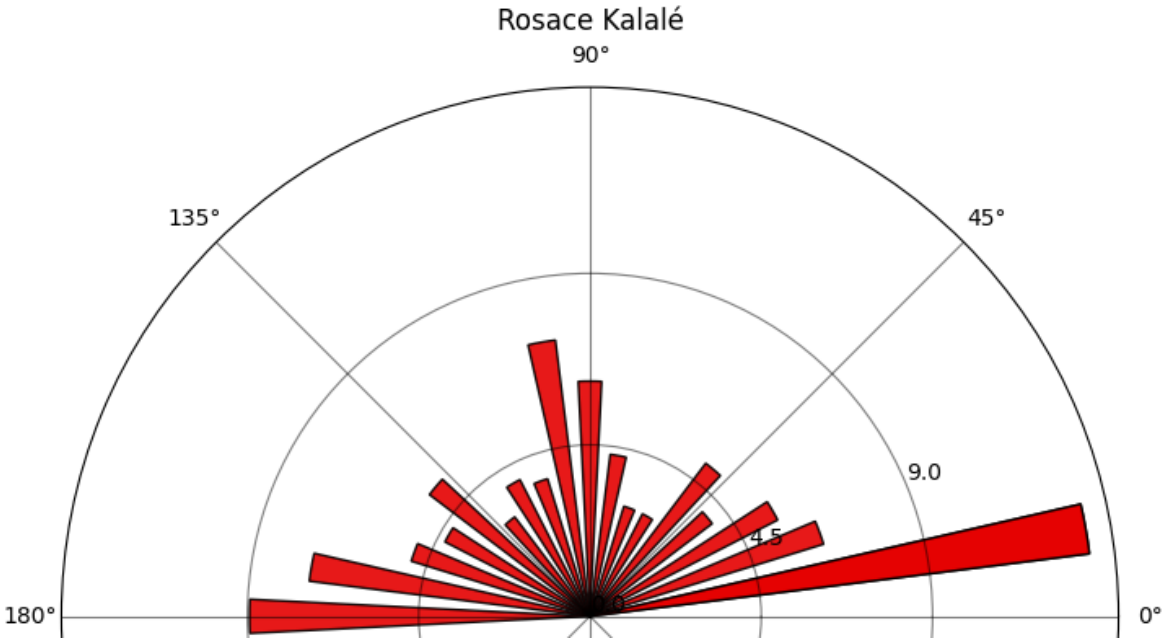


Figure 24 : Rosace directionnelle de la commune de Kalalé

Le réseau de linéaments géologiques se concentre en majeur partie autour des directions N10-N20 (NS) N170-N180 (NS) suivi de N90 (EW). Les directions mineures telles que N130 N170 N40 et autres permettent de reconnaitre des blocs aquifères relativement productifs.

4.18. Résultats de la prospection de base réalisés à Kalalé

Sur tous les sites les profils ont été réalisés avec le dispositif du Schlumberger.

A Gogounou, onze (11) profils électriques d'une longueur totale de 2 710 m et (15) sondages électriques en Schlumberger ont été réalisés. Parmi ces sondages électriques les 12 meilleurs ont été analysés en sondage tomographique (les diagrammes sont en annexe).

Tableau 16 **: Point des profils et sondages réalisés**

N° Profil	Longueur (m)	Direction/ Azimut	Forme de l'anomalie	Résistivité		Sondages Electriques réalisés/ Position sur Profil (m)
				Résistivité maximale Ohm.m	Résistivité anomalie Ohm.m	
P 1/Z5	210	N85°	W ; U ouvert	478	277 ; 364	SE1/150 ; SE2/110
P2/Z3	80	N150°	V	2699	1857	SE3/60
P3/Z1	110	N190°	V	549	329	SE4/70
P4/Z4	170	N50°	V ; V	162	74 ; 87	SE5/150 ; SE6/50
P5/Z4	130	N130°	V ; V	123	65	SE7/75
P1/Z2	250	N10°	V ; V	7595	3225, 3663	SE1/90 ; SE2/350
P2/Z2	350	N50°	V ; U ; V	1712	292 ; 295 ; 372	SE3/250 ; SE4/200 ; SE5/160

4.19. Point des sondages RMP réalisés à Kalalé

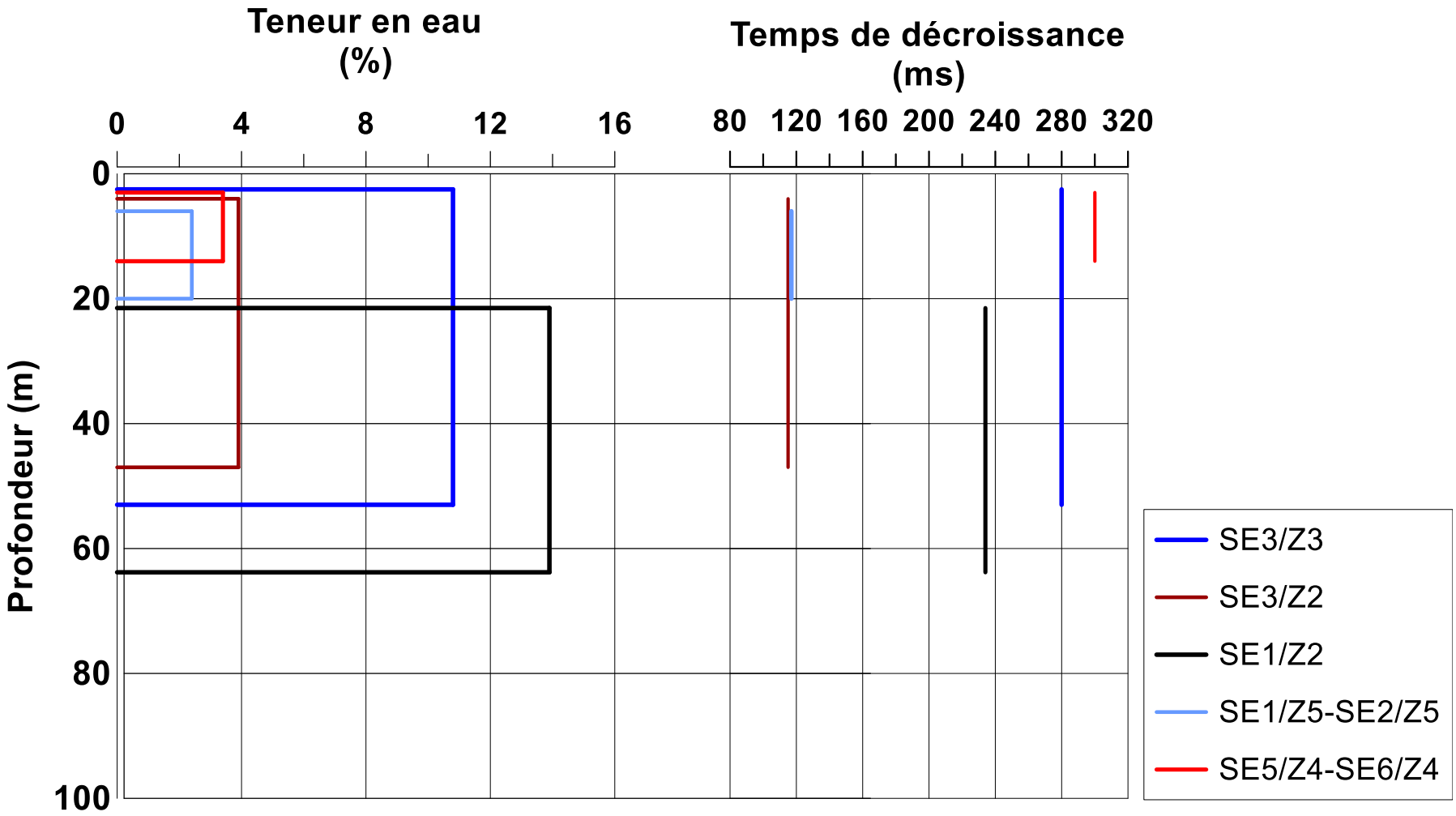


Tableau 17 : Synthèse des résultats RMP pour la ville de Kalalé

Ville	site	T2* (ms)	W (%)	Epaisseur RMP (m)	Rabattement RMP maximal admissible (m)	Réserve (mm)	Recharge RMP (mm)	Transmissivité RMP (m²/s)	Débit théorique dans la boucle RMP (m3/h)	Débit pérenne recommandé (m3/h)	Rabattement maximal engendré	Mobilisation de la réserve engendrée	Priorisation par potentialité décroissante
KALALE	SE3/Z3	280	10.8%	50.5	30.3	3244	246	1.3E-03	40 -- 80	**20**	26%	32%	**1**
	SE1/Z2	234	13.9%	42.3	25.4	3412	255	9.7E-04	20 -- 60	**15**	30%	39%	**2**
	SE3/Z2	115	3.9%	43.0	25.8	1190	133	6.7E-05	6 -- 11	**3.5**	94%	86%	**3**
	SE5/Z4-SE6/Z4	300	3.4%	11.0	6.6	275	83	1.0E-04	2 -- 3	**1.4**	99%	33%	**4**
	SE1/Z5-SE2/Z5	117	2.4%	14.0	8.4	276	84	1.4E-05	0 -- 2	**0.2**	75%	27%	**5**

4.20. Points d'implantation retenus dans la ville de Kalalé

Les traînés et les sondages ont été dépouillés avec Excel et les sondages électriques en dispositif Schlumberger ont été interprétés à l'aide d'un logiciel Open Source IPi2_Win. Ainsi sur un total de (15) sondages électriques douze (12) ont été retenus après dépouillement et analyse des données les résultats des sondages RMP.

Tableau 18 : **Point des sondages réalisés et sites de forages retenus pour la ville de Kalalé**

N°	Nombre de forages à réaliser	Arrondissement	Village/quartier de ville	Priorisation	Sondages Electriques (SE) retenus	Coordonnées GPS	Venues d'eau probables (m)	Epaisseur altération (m)	Profondeur estimée (m)	Débit prévisionnel du forage projeté (m^3/h)	Lithologie prévisionnelle
1	12	KALALE	NASSICONZI	F1=	SE3/Z3	X : 3°24'216'' Y : 10°19'551''	30-40 ; 60-80	8	100	40 -- 80	Grès conglomératique
2		KALALE CENTRE	LOU	F2=	SE1/Z2	X : 3°26'204'' Y : 10°19'285''	25-40 ; 60-100	20	110	20 -- 60	Grès conglomératique
3		KALALE CENTRE	Entrée Kalalé. A l'opposé de l'antenne GSM écroulée	F3=	SE4/Z1	X : 3°22'149'' Y : 10°16'540''	25-40 ; 50-80	5	80	10 -- 25	Migmatites
4		KALALE CENTRE	LOU	F4	SE4/Z2	X : 3°27'44,3'' Y : 10°19'34,0''	25-50 ; 70-80	8	90	20 -- 60	Grès conglomératique
5		KALALE CENTRE	LOU	F5	SE3/Z2	X : 3°26'20,4'' Y : 10°19'33,4''	25-50 ; 70-80	10	90	20 -- 60	Grès conglomératique
6		KALALE CENTRE	LOU	F6	SE5/Z2	X : 3°27'36.7'' Y : 10°19'22.8''	25-50 ; 70-80	10	90	20 -- 60	Grès conglomératique
7		KALALE CENTRE	LOU	F7	SE6/Z2	X : 3°27'20.0'' Y : 10°19'31.6''	25-50 ; 70-80	10	90	20 -- 60	Grès conglomératique
8		KALALE	KIDAROUKPEROU	F8	SE5/Z4	X : 3°20'21,8'' Y : 10°18'02,2''	30-50 ; 60-80	20	85	10 -- 25	Grès conglomératique reposant sur du socle
9		KALALE	KIDAROUKPEROU	F9	SE6/Z4	X : 3°20'19,2'' Y : 10°18'00,0''	25-40 ; 60-90	33	85	10 -- 25	Grès conglomératique reposant sur du socle
10		KALALE	KIDAROUKPEROU	F10	SE7/Z4	X : 3°19'25,5'' Y : 10°18'14,7''	25-40 ; 60-90	25	90	10 -- 25	Grès conglomératique reposant sur du socle
11		KALALE	BESSASSI	F11	SE1/ Z5	X : 3°28'07,4'' Y : 10°23'19,6''	30-50 ; 63-90	11	100	10 -- 25	Grès crétacé
12		KALALE	BESSASSI	F12	SE2/Z5	X : 3°28'06,0'' Y : 10°23'19,5''	30-50 ; 63-85	12	100	10 -- 25	Grès crétacé

4.21. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Zè

La commune Zè appartient sur le plan géomorphologique au plateau d'Allada Nord où prédomine l'unité hydrogéologique **15a ou 15b du Mio-Pliocène ou du Crétacé.**

Selon la nouvelle carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier au 1/200000è en 2012, une analyse portant sur un échantillon de 102 forages réalisés dans cette unité donne des informations suivantes :

Profondeur (m)	**18 - 643 avec une moyenne de 98**
Débits moyens (m^3/h)	**10-15**
Niveau statique (m)	**28**
Taux de succès (%)	**96**

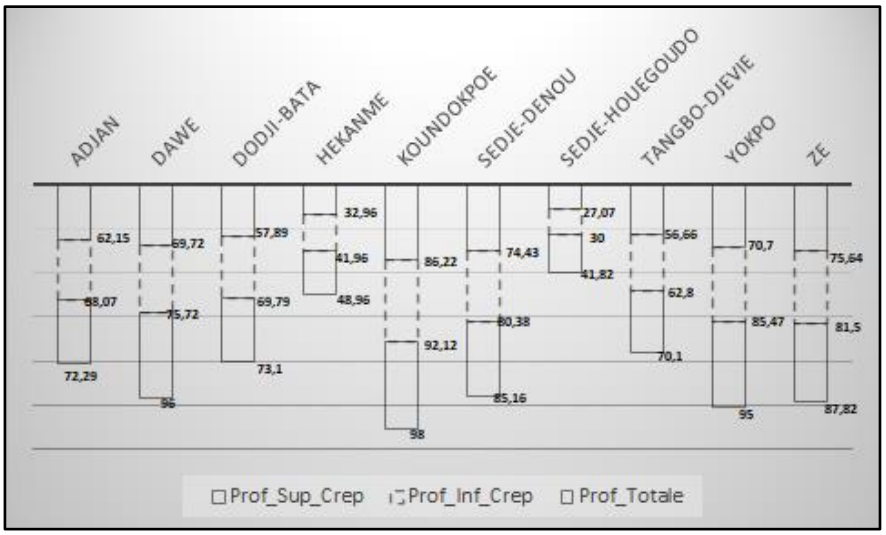


Figure 25 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la commune de Zè

4.22. Points d'implantation retenus dans la ville de Zè

Seules les investigations verticales (sondages électriques) en configuration Schlumberger

ont permis d'étudier les différentes couches de roches sédimentaires constituant le sous-sol dans cette commune. Compte tenu des résultats antérieurs des ouvrages dans cette commune et l'objectif de débits attendu le dispositif utilisé avec AB=800m a permis d'investiguer jusqu'à une profondeur comprise entre 80 et 200m.

Les sondages électriques en dispositif Schlumberger ont été interprétés à l'aide d'un logiciel Open Source IPi2_Win. Ainsi, sur les 6 sondages électriques réalisés 5 ont retenu notre attention après analyse et interprétation des résultats. Les diagrammes de ces sondages sont en annexe du document.

Tableau 19 : **Point des sondages réalisés et sites de forages réalisés pour la ville de Zè**

N°	Nobre de nouveaux forages à réaliser	Arrondis.	Village/quartier de ville	Priorisation Sondages électriques (SE) réalisés	Coordonnées GPS	Aquifère ciblé	Prof Estimée(m)	Débit prévisionnel du forage projeté (m^3/h)
1	05	ADJAN	ADJAN HOUETA	F2= SE1/ Z1	X : 2°17'10,0'' Y : 6°42'35,8''	Crétacé	170	150
2		ADJAN	ADJAN HOUETA	F3= SE4/Z1	X : 2°16'41,6'' Y : 6°42'41,3''	Crétacé	250	150
3		ADJAN	ADJAN HOUETA	F4= SE5/Z1	X : 2°16'51,0'' Y : 6°42'37,4''	Crétacé	240	150
4		ADJAN	ANAGBO	F1= SE2/Z2	X : 2°18'11,5'' Y : 6°42'23,7''	Crétacé	185	150
5		ADJAN	ANAGBO	F6= SE3/Z2	X : 2°18'20,8'' Y : 6°42'22,1''	Crétacé	220	150
6		ADJAN	ANAGBO	F5= SE6/Z3	X : 2°17'25,8'' Y : 6°42'10,1''	Crétacé	120	150

Dans la commune de Zè pour mener à bien les études, trois axes ont été respectivement exploités :

- L'axe Ouest quittant le carrefour SBEE vers l'arrondissement Adjan ;
- L'axe Est du carrefour SBEE vers Anagbo ;
- L'axe Sud du carrefour SBEE vers Tangbo –Djèvié.

Au total six (06) sondages électriques en Schlumberger ont été réalisés. Parmi ces sondages électriques 5 ont retenu notre attention après analyse.

Au nombre de ses implantations nous retenons les **sondages électriques des villages de Anagbo (SE2) et de ADJAN HOUETA (SE1) pour les nouveaux forages à réaliser dans la commune de Zè.**

4.23. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Kpomassè

Kpomassè appartient au plan géomorphologique au plateau d'Allada où prédomine l'unité hydrogéologique **18a du Mio-Pliocène.**

Selon la nouvelle carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier au 1/200000è en 2012, une analyse portant sur un échantillon de 191 forages réalisés dans cette unité donne des informations suivantes :

Profondeur (m)	**35-105 avec une moyenne de 70**
Débits moyens (m^3/h)	**56**
Niveau statique (m)	**< 40**
Taux de succès (%)	**96**

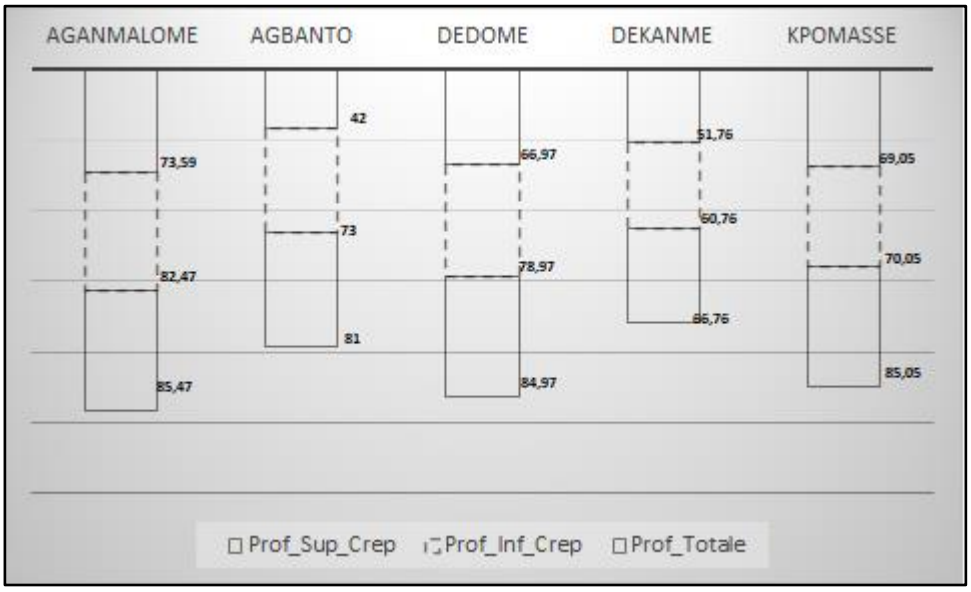


Figure 26 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la zone de Kpomassè

4.24. Points d'implantation retenus dans la ville de Kpomassè

Seules les investigations verticales (sondages électriques) en configuration Schlumberger ont permis d'étudier les différentes couches de roches sédimentaires constituant le sous-sol dans cette commune. Compte tenu des résultats antérieurs des ouvrages dans cette commune et l'objectif de débits attendu le dispositif utilisé avec AB=800m a permis d'investiguer jusqu'à une profondeur comprise entre 80 et 200m.

Les sondages électriques en dispositif Schlumberger ont été interprétés à l'aide d'un logiciel Open Source IPi2_Win. Ainsi, les 5 sondages électriques réalisés ont été retenus après analyse et interprétation des résultats. Les diagrammes de ces sondages sont en annexe du document.

Tableau 20 : **Point des sondages réalisés et sites de forages réalisés pour la ville de Kpomassè**

N°	Nombre de nouveaux forages	Arrondis.	Village/quartier de ville	Priorisation	Sondages électriques (SE) réalisés	Coordonnées GPS	Aquifère ciblé	Prof Estimée(m)	Débit prévisionnel du forage projeté (m^3/h)
1	02	**Kpomassè1**	**Gbètohoué**	**F2=**	**SE1/ Z1**	**X : 2°00'30,2'' Y : 6°27'49,4''**	Crétacé	**250**	**150**
2		**Kpomassè1**	**Gbètohoué**	**F1=**	**SE2/Z1**	**X : 2°00'36,4'' Y : 6°27'41,7''**	Crétacé	**180**	**150**
3		**Kpomassè2**	**Kpomassè centre**	**F5=**	**SE3/Z2**	**X : 2°00'43,8'' Y : 6°26'23,0''**	Crétacé	**250**	**150**
4		**Kpomassè2**	**Kpomassè centre**	**F4=**	**SE4/Z2**	**X : 2°40'11,5'' Y : 6°26'12,8''**	Crétacé	**150**	**150**
5		**Kpomassè2**	**Kpomassè centre**	**F3=**	**SE5/Z2**	**X : 2°00'39,5'' Y : 6°26'11,5''**	Crétacé	**180**	**150**

A Kpomassè les travaux se sont concentrés au centre. Au total cinq (05) sondages électriques en Schlumberger ont été réalisés et implantés (voir tableau ci-dessus).

Au nombre de ses implantations nous retenons le **sondage électrique (SE2) du village de Gbétouhoué pour le nouveau forage à réaliser dans la commune de Kpomassè.**

4.25. Caractéristiques hydrogéologiques de la ville de Ouinhi

La commune de Ouinhi appartient au plan géomorphologique à la dépression de la Lama où prédomine l'unité hydrogéologique **12** correspondant au sable du Crétacé. Cet aquifère dans cette commune donne à majorité des forages artésiens souvent jaillissants.

Selon la nouvelle carte hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier au 1/200000è de 2012, une analyse portant sur un échantillon de 42 forages réalisés dans les sables du Crétacé donne des informations suivantes :

Profondeur (m)	**60-240 avec une moyenne de 140**
Débits moyens (m^3/h)	**18**
Niveau statique (m)	**0,3-50 avec une moyenne de 17m**
Taux de succès (%)	**100**

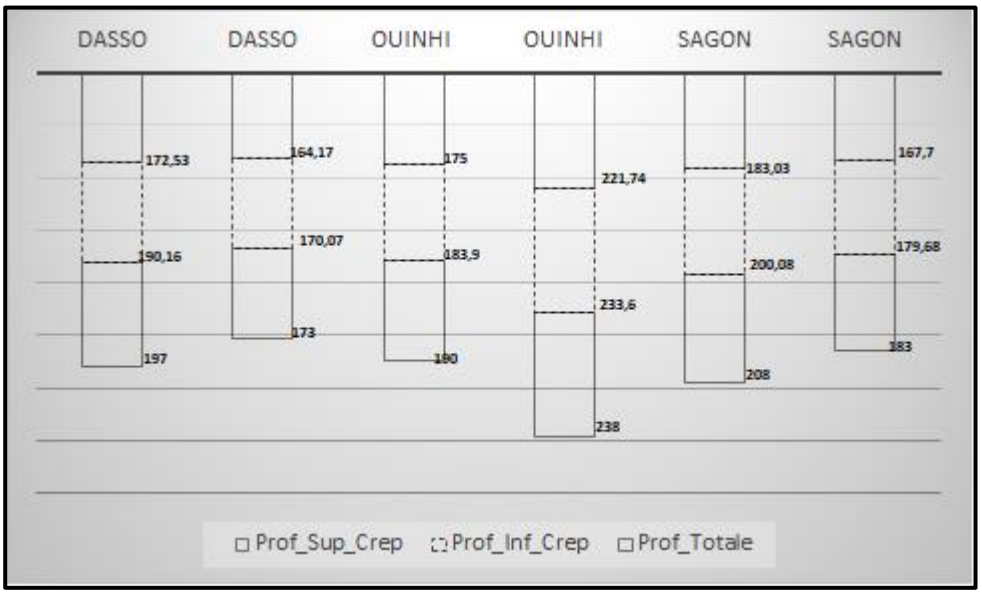


Figure 27 : Caractéristiques de l'équipement des forages existant dans la zone de Ouinhi

4.26. Points d'implantation retenus dans la ville de Ouinhi

Seules les investigations verticales (sondages électriques) en configuration Schlumberger ont permis d'étudier les différentes couches de roches sédimentaires constituant le sous-sol dans cette commune. Compte tenu des résultats antérieurs des ouvrages dans cette commune et l'objectif de débits attendu le dispositif utilisé avec AB=800m a permis d'investiguer jusqu'à une profondeur comprise entre 80 et 200m.

Les sondages électriques en dispositif Schlumberger ont été interprétés à l'aide d'un logiciel Open Source IPi2_Win. Ainsi, les 4 sondages électriques réalisés ont été retenus après analyse et interprétation des résultats. Les diagrammes de ces sondages sont en annexe du document.

Les travaux se sont concentrés sur 3 zones (Ahizè 2, Ouokon et Ayigbamantin).

Tableau 21 : **Point des sondages réalisés et sites de forages pour la ville de Ouinhi**

N°	Nombre de nouveaux forages	Arrondis.	Village/quartier de ville	Priorisation	Sondages électriques (SE) réalisés	Coordonnées GPS	Aquifère ciblé	Prof Estimée(m)	Débit prévisionnel du forage projeté (m^3/h)
1	02	Sagon	Ahizè 2	F4=	SE1/ Z1	X : 2°29'11,5'' Y : 7°09'21,4''	Crétacé	250	150
2		Sagon	Ahizè 2	F1=	SE4/Z1	X : 2°28'37,3'' Y : 7°09'07,4''	Crétacé	250	150
3		Ouinhi centre	Ouokon	F2=	SE2/Z2	X : 2°28'57,5'' Y : 7°06'07,3''	Crétacé	250	150
4		Ouinhi centre	Ayigbamatin	F3=	SE3/Z3	X : 2°30'23,1'' Y : 7°03'23,7''	Crétacé	265	150

Au total quatre (04) sondages électriques en Schlumberger ont été réalisés et implantés (voir tableau ci-dessus).

Au nombre de ses implantations nous retenons le **sondage électrique (SE4) du village de Ahizè 2 pour le nouveau forage à réaliser dans la commune de Ouinhi.**

5. Qualité des eaux dans les zones d'étude

Par faute d'existence d'ouvrages de la SONEB dans les villes d'étude les bases d'information utiles à l'analyse de la qualité des eaux souterraines sont les résultats d'analyse d'eau du laboratoire de Parakou et ceux de Base de Données de Forages de la Direction Générale de l'Eau (DG Eau).

Les tableaux suivants donnent des renseignements partiels sur les paramètres physiques et les éléments polluants fréquemment rencontrés en territoire béninois. Pour rappel les normes admissibles des différents se présentent comme suit :

- Fluorure F^- ≤ 1.5mg/L
- Nitrate NO^-_3 ≤ 50 mg/L
- Chlorure Cl^- ≤ 250mg/L
- Sulfate SO^{2-}_4 ≤ 240 mg/L
- Fer $Fe^{2+/3+}$ ≤ 0.2 mg/L
- Conductivité ≤ 2000µs/cm
- Potentiel Hydrogène pH 6.5 – 9.5

Tableau 22 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Gogounou

ID_Saisie	Date_Prélèvement	pH	Conductivitéé	Fer	Chlore	Nitrates	Sulfates	Fluor
070_019	23/08/2006	7,14	283	-	10,65	16,72	0,16	0,2
070_028	22/08/2006	7,87	353	-	10,65	10,12	0,41	0,74
071_030	22/02/2007	7,4	467	0,13	10,65	-	0,78	0,68
072_017	08/11/2007	7,5	476	0,01	17,75	**73,48**	32	-

Les différents paramètres physico-chimiques répondent aux normes de potabilité indiquées par l'OMS. Il convient de souligner le taux de nitrates élevé sur certains ouvrages dans cette ville du septentrion, qui est probablement dû aux pollutions exogènes ayant pour vecteur les infiltrations préférentielles puisque les emplacements actuels de ces ouvrages ne présentent pas de potentielle source de pollution.

Tableau 23 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Karimama

ID_Saisie	Date_Prélèvement	PH	Conductivité	Fer	Chlore	Nitrates	Sulfates	Fluor
071_023	25/01/2007	**5,5**	13	0,01	8875	70,4	0,28	
070_018	26/08/2006	**6,32**	31	-	71	30,8	0,18	0,45
103_001	19/02/2008	7,98	342	0,11	246	01,2	2,12	0,45
103_002	19/02/2008	7,35	277	0	1595	**55,35**	4,26	0,13
103_004	25/04/2008	7,2	200	0,02	1065	39,6	1	0,27
103_005	18/02/2008	8,22	578	0,01	4802	**107,6**	9,63	0,79
103_006	12/03/2008	7,96	320	0,05	1	0,04	0,87	0,58
103_007	12/03/2008	7,09	230	0	155	0,45	0,12	0,19
071_016	15/06/2007	8,45	430	0,01	532	0,44	0,34	0,23
Bello Tounga	14/01/2020	-	-	-	-	63,8	-	-
Centre Barka	25/02/2020	-	-	-	-	**106,48**	-	-

La qualité des eaux relevée à travers les résultats d'analyse d'eau (dans le tableau ci-dessus) a parfois un caractère acide et les différents paramètres physico-chimiques répondent aux normes de potabilité indiquées par l'OMS. Il convient de souligner aussi le taux de nitrates élevé sur certains ouvrages de cette ville.

Tableau 24 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Kalalé

ID_Saisie	Date_Prélèvement	PH	Conductivitéé	Fer	Chlore	Nitrates	Sulfates	Fluor
103_029	06/05/2008	6,59	192	0,03	10,65	11	1	11
072_032	11/11/2007	**5,2**	13	0,3	30,5	39,6	-	-
072_033	10/11/2007	**6,4**	112	0,01	12,42	14,08	3	-
072_034	11/11/2007	**5,8**	35	**0,29**	88,7	0,44	1	-
072_035	10/11/2007	**5,8**	40	0,01	12,42	0,44	2	-
103_008	13/03/2008	7,32	720	0,06	54,98	**164,87**	17,43	0,93
103_025	17/02/2008	7,2	179	0,06	0,98	-	17	0,7
103_027	25/04/2008	7,11	261	0,01	10,65	12,76	2	0,05
103_030	14/02/2008	8,49	386	0,09	69,2	-	14,28	0,89
103_035	15/02/2008	7,87	353	0,05	11,8	0,09	12,33	0,94
103_036	15/02/2008	7,08	178	0,06	18,7	15,3	0,39	0,25
105_010	16/04/2008	7,36	266	0,16	71	35,2	-	22
071_016	15/06/2007	8,45	430	0,01	53,2	0,44	0,34	0,23
Gbérou Gbassi	30/06/2020	-	-	-	-	**12,5**	-	-
Gnel Boukatou	30/06/2020	-	-	-	-	**100**	-	-
Bouka Centre	30/06/2020	-	-	-	-	50	-	-
Dadi	30/06/2020	-	-	-	-	**110**	-	-
Bagaria	30/06/2020	-	-	-	-	50	-	-
AEV Péonga	15/01/2020	-	-	-	-	**305,8**	-	-

La qualité des eaux relevée à travers les résultats d'analyse d'eau (dans le tableau ci-dessus) a parfois un caractère acide et les différents paramètres physico-chimiques répondent aux normes de potabilité indiquées par l'OMS. Il convient de souligner aussi le taux de nitrates et de fer élevé sur certains ouvrages de cette ville.

Tableau 25 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Cobly

ID_Saisie	Date_Prélèvement	PH	Conductivité	Fer	Chlore	Nitrates	Sulfates	Fluor
090_031	14/02/2009	7,02	337	-	35,5	48,4	0,54	0,25
092_115	23/02/1999	7,3	383	0,04	71	13,2	-	-
093_060	18/12/1997	7,5	840	0,06	71	48,4	2,9	-
094_031	22/04/1998	8,63	758	0,05	99,4	48,4	3	-
100_044	22/05/2008	7,95	613	0,01	71	-	2,2	0,36
107_003	29/11/2009	7,99	480	0,02	14,2	22,44	0,33	0,83
107_009	30/11/2009	7,92	410	0,03	10,65	48,4	0,5	0,34
107_011	21/11/2009	7,55	258	0,03	10,65	48,4	17,8	0,6
107_012	29/11/2009	7,54	263	0,01	10,65	66	41,5	0,8
107_029	07/12/2009	7,74	547		53,2	44	18	0,57

Les paramètres physico chimiques révèlent une qualité d'eau propre à la consommation humaine pour les ouvrages sélectionnés dans la BDF. Cependant ce caractère irréprochable n'exclus pas la possibilité d'avoir des ouvrages pollués dans cette commune où la culture de coton qui utilise des engrais chimiques et des pesticides potentielles source des eaux souterraines.

Tableau 26 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Ouinhi

ID_Saisie	Date_Prélèvement	PH	Conductivité	Fer	Chlore	Nitrates	Sulfates	Fluor
047_037	06/09/2006	**5,5**	45	**0,84**	39	35,2	-	0,12
053_018	23/06/2009	8,16	581	-	35,5	22	-	0,51
095_023	12/06/2007	6,78	67	0,02	15,97	52,8	1	0,045

La qualité des eaux relevée à travers les résultats d'analyse d'eau (dans le tableau ci-dessus) a parfois un caractère acide et les différents paramètres physico-chimiques répondent aux normes de potabilité indiquées par l'OMS. Il convient de noter le taux de fer élevé dans certains ouvrages.

Cependant dans le cadre de la présente étude les eaux du crétacé que capteront les ouvrages à venir ne risquent pas au-delà de l'acidité des eaux du bassin sédimentaire côtier de souffrir d'autres pollutions comme c'est le cas de certains ouvrages qui captent dans le paléocène caractérisé par des eaux dures.

Tableau 27 : Qualité des eaux des ouvrages BDF/ Commune de Kpomassè

ID_Saisie	Date_Prélèvement	pH	Conductivitéé	Fer	Chlore	Nitrates	Sulfates	Fluor
044_059	19/04/1990	**5,4**	315	-	20	-	-	-
046_017	09/01/1997	**5,8**	40	-	15	5	-	-
053_003	26/05/2009	8,23	392	0,12	12,43	35,2	26	0,55
056_094	18/05/1999	**5,91**	81	0,1	14,2	52,8	-	-
056_098	20/05/1999	**5,33**	654	0,05	21,3	17,6	-	-
060_010	04/04/2008	**5,99**	101	0,08	24,85	11	6	0,04
060_075	18/02/2009	**5,38**	34	-	10,65	26,4	3	0,22
061_009	26/11/2008	**5,95**	77	0,03	14,2	10,12	9	0,21
062_010	15/07/2003	**6,23**	170	**0,77**	21,3	48,4	1,2	0,39
086_063	05/02/2008	7,52	880	**1,55**	46,15	52,8	1,10	0,23
093_011	11/11/1997	7,33	361	-	10,65	44	-	-
100_077	13/11/2005	7,19	480	0,04	10,65	48,4	10	0,62

La qualité des eaux relevée à travers les résultats d'analyse d'eau (dans le tableau ci-dessus) a parfois un caractère acide et les différents paramètres physico-chimiques répondent aux normes de potabilité indiquées par l'OMS. Il convient de noter le taux de fer élevé dans certains ouvrages.

Cependant dans le cadre de la présente étude les eaux du crétacé que capteront les ouvrages à venir ne risquent pas au-delà de l'acidité des eaux du bassin sédimentaire côtier de souffrir d'autres pollutions comme c'est le cas de certains ouvrages qui captent dans le paléocène caractérisé par des eaux dures.

Tableau 28 : Qualité des eaux des ouvrages BDF /Commune de Zè

ID_Saisie	Date_Prélèvement	PH	Conductivité	Fer	Chlore	Nitrates	Sulfates	Fluor
044_004	06/02/1989	**5,4**	708	-	20	5	-	-
044_036	11/10/1989	**6,2**	1825	0,2	40	-	-	-
044_052	29/03/1990	**6**	1364	-	20	-	-	-
060_064	10/02/2009	**5,45**	40	0,02	12,65	52,8	1	0,12
061_028	08/08/2008	**5,45**	40	0,09	10,65	41,8	3	0,09
061_043	14/10/2006	**5,39**	55	0,01	53,25	52,8	3	-
061_044	16/10/2006	**5,3**	35	0,01	88,75	35,2	1	-
065_040	04/02/1990	**6,42**	1882	**0,8**	10	52	5	-

La qualité des eaux révélée à travers les résultats d'analyse d'eau (dans le tableau ci-dessus) a parfois un caractère acide et les différents paramètres physico-chimiques répondent aux normes de potabilité indiquées par l'OMS. Il convient de noter le taux de fer élevé dans certains ouvrages.

Cependant dans le cadre de la présente étude les eaux du crétacé que capteront les ouvrages à venir ne risquent pas au-delà de l'acidité des eaux du bassin sédimentaire côtier de présenter d'autres pollutions comme c'est le cas de certains ouvrages qui captent dans le paléocène caractérisé par des eaux dures.

6. Caractéristiques des forages à réaliser

En tenant compte des données hydrogéologiques des sites et des contraintes de standardisation des équipements des forages de la SONEB nous proposons en fonction du contexte hydrogéologique de socle et de zone sédimentaire d'équiper les forages comme l'indique les tableaux suivants **:**

6.1. Caractéristiques de forages à réaliser en zone de socle

Tableau 29 : Caractéristiques moyennes des forages à réaliser dans la zone de socle

N° d'ordre	RUBRIQUES	DONNEES
1	**Site**	Ville de Karimama, Gogounou, Kalalé, Cobly
2	Profondeur du forage moyenne	*100m*
3	Nature du tubage	*PVC renforcé*
4	Diamètre du tubage	*179/196 mm*
5	Longueur tubage plein	*Acier DN 300 de 00 à 15m ; PVC 179/196 mm ; 00 à 25m ; 31m à 45m ; 51m à 80m ; 86m à 90m*
6	Longueur Tubage crépiné	*25m à 31m ; 45m à 51m ; 80m à 86m.*
7	Epaisseur fente crépines	*1,5mm*

Nous tenons à faire remarquer que les estimations présentées dans le tableau ci-dessus tiennent compte les différents résultats d'interprétation des sondages électriques effectués dans chaque ville. Il a été donc retenu les différentes venues d'eau observées sur la majorité de ces sondages électriques obtenus dans les zones cibles prospectées. Par conséquent nous admettons une marge d'imprécision de l'ordre de 20% à 25% comme c'est le cas pour toute inspection géophysique de ce type.

6.2. Caractéristiques de forages à réaliser en zone sédimentaire

Tableau 30 : Caractéristiques moyennes des forages à réaliser dans la zone sédimentaire

N° d'ordre	RUBRIQUES	DONNEES
1	Profondeur du forage	*250m*
2	Débit d'exploitation recommandé	*115m^3/h*
3	Nature du tubage	*PVC renforcé*
4	Diamètre du tubage	*285/315*
5	Longueur tubage plein	*Acier DN 500 de 00 à30m ; PVC 285/315 : 00 à 58m ; 70m à 238m ; 249 à 250m.*
6	Longueur Tubage crépiné	*58m à 70m ; 238m à 249m*
7	Epaisseur fente crépines	*1mm*
8	Hauteur sabot	*0,30m*

Dans les communes de Ouinhi, Kpomassè et Zè les estimations ont concerné les points de sondages électriques qui captent au moins deux niveaux d'aquifère à savoir ceux du continental terminal et du paléocène inférieur. Nous recommandons comme c'est le cas de la majorité des prospections géophysiques la prise en compte d'une incertitude de l'ordre de 20% à 25%.

6.3. TECHNIQUES ET OUTILS DE FORATION

Dans le cadre de la mobilisation de la ressource en eau pour les futurs systèmes, il est prévu la réalisation de soixante-quatre (64) forages d'exploitation et de trente-deux (32) piézomètres dans les communes de Karimama, Gogounou, de Kalalé, et de Cobly en zone de socle et de Ouinhi, Kpomassè et Zè en zone sédimentaire et réparti comme suit :

Ville	Nombre de forages d'exploitation	Nombre de piézomètres
KARIMAMA	21 dont deux (02) récupérations	10
GOGOUNOU	10	6
KALALE	12	6
COBLY	12	6
OUINHI	2	1
KPOMASSE	2	1
ZE	5	2

Nous retiendrons l'utilisation de machines Rotary pour le forage.

6.4. Techniques de forages

Chaque nouveau forage d'exploitation et piézomètre sera réalisé suivant les étapes ci-après :

Ouvrages	Avant trou		Forage		Tuyauterie en PVC (mm)
	Diamètre (")	Profondeur (m)	Diamètre (")	Alésage (")	
Zone sédimentaire					
Nouveau forage d'exploitation	26	30	9"7/8	17"1/4	315
Piézomètre	15	10	9"7/8		140
Zone de socle					
Nouveau forage d'exploitation	15	15	6"1/2	10	196
Piézomètre	9"7/8	15	6"1/2		140

En zone sédimentaire :

1ère phase : Avant puits : forage de 0 à 30 m de profondeur à partir du TN au diamètre 26" ;

2ème phase : Cimentation au laiton pour l'isolement de l'annulaire entre le tubage et l'avant trou ;

3ème phase : Forage de 30 m jusqu'à environ 250 m de profondeur à partir du TN au diamètre 17"1/4.

Et en zone de socle :

1ère phase : Avant puits : forage de 0 à 10 m de profondeur à partir du TN en diamètre 9"7/8 puis alésage au diamètre 15" ;

2ème phase : Forage de 10 m jusqu'à fin foration en diamètre 6"1/2

3ème phase : Alésage du forage en 10" jusqu'en fin de foration pour permettre l'équipement du forage en diamètre de 179/196 mm.

Toutes les observations courantes qui accompagnent un forage d'exploration sont à faire : venues d'eau fluidité ou perte de boue vitesse d'avancement de l'instrument prélèvement d'échantillons de terrain chaque mètre etc.

Il sera également procédé du fait de la nature géologique du sol (sédimentaire) à :

- l'analyse granulométrique sommaire des échantillons de sables remontés lors de la foration ;
- l'enregistrement d'une diagraphie rayonnement Gamma résistivité petite et grande normale polarisation spontanée en fin de forage afin de mieux préciser le long de chaque forage les couches les plus perméables après comparaison avec les échantillons prélevés et l'analyse granulométrique sommaire.

6.5. Outils de forage

Pour la réalisation des travaux il est recommandé l'utilisation :

- d'une sondeuse ;
- d'un compresseur (débit et pression) pour le développement du forage après la mise en place des tubages ;
- de masse tige
- de tiges de forages (diamètre diamètre intérieur poids) ;
- de trépans (trilame tricone) pour le forage et l'alésage ;
- de marteau fond-de-trou pour le forage et l'alésage ;
- d'outils de mesure qui permettront la lecture de :
    - la profondeur de la nappe (sonde électrique de 250 m de longueur) ;
    - le débit de foration du développement et des pompages d'essai (débitmètre);
    - la viscosité de la boue de forage ;
    - la qualité de l'eau ;
    - les longueurs et les dimensions métriques ;
    - la température ;
    - la conductivité
    - …

En ce qui concerne la sondeuse les caractéristiques seront les suivantes :

- Modèle : polyvalent permettant l'utilisation des techniques Rotary à la boue circulation directe et éventuellement circulation inverse ;
- Capacité : profondeur de 150 m à 250 m environ en diamètre de 26" à 17"3/4" dans les formations sédimentaires ;
- Pompe à boue : Pression = 15 à 20 bars

La boue de forage utilisée devra permettre de maximiser l'efficacité du forage tout en préservant la santé la sécurité et l'environnement. Les caractéristiques minimales de la boue de forage sont les suivantes :

- non toxique ;
- non polluante ;

- biodégradable en quelques jours (moins de 15 jours) et adaptée aux régions écologiquement sensibles;
- adaptée aux forages de diamètres similaires à ceux du présent projet ;
- de durée de vie adaptée aux conditions climatiques de la zone du projet (températures notamment etc.).

Il est à noter que l'entrepreneur devra disposer des matériels de sécurité suivants :

- Panneaux de signalisation ;
- Boîte à pharmacie de chantier ;
- Banderole de chantier ;
- Equipements de Protection Individuel (casque de chantier bottes chaussures de sécurité lunette de protection etc. …).

6.6. Dimensionnement des forages

La profondeur des ouvrages et la définition des horizons à capter est fonction de la lithologie des terrains.

Leurs caractéristiques techniques seront fonction des débits attendus.

6.6.1. Diamètres de forage

Les diamètres de forage seront adaptés aux préconisations d'équipement :

- Pour recevoir un tubage provisoire de diamètre de 20'' l'avant-trou sera réalisé pour les forages d'exploitation en zone de sédimentaire en un diamètre de 26''et sera équipé en acier noir et en diamètre 20", en zone de socle pour recevoir un tubage provisoire de 11"7/8 après la foration au diamètre de 15".

- Pour les piézomètres, un tubage de soutènement 11"7/8 devra être posé pour les premières couches en zone sédimentaire ou après l'altération en zone de socle.

6.6.2. Tubage

Les forages d'exploitation seront équipés comme suit :

- de tubes pleins en acier noir de diamètre 20'' en zone sédimentaire et de 12" en zone de socle et en éléments de 6 m soudés bout à bout de 30 m de longueur totale et ayant les caractéristiques suivantes :

Pour les tubes de 20"

- ∅ extérieur = 508 mm;
- épaisseur paroi = 4 mm ;
- résistance à la compression = 02 MPa.

Pour les tubes de 12"1/4

- ∅ extérieur = 315 mm;
- épaisseur paroi = 15 mm ;
- résistance à la compression = 02 MPa.

L'espace annulaire de l'avant trou sera cimenté sur toute sa longueur (30 m) et le ciment devra se consolider (3 jours maximum) avant de poursuivre la foration en un diamètre inférieur.

- d'une colonne de captage en PVC renforcé comportant :

des tubes pleins en PVC de diamètre variant de 12"1/4 en éléments de 6 m vissés bout à bout et ayant les caractéristiques suivantes :

- ∅ extérieur = 315 mm ;
- ∅ intérieur = 283 mm;
- épaisseur paroi = 15mm;
- résistance à la compression = 07MPa

des crépines en PVC de diamètre variant de 12"1/4 en éléments de 6 m vissés bout à bout et ayant les caractéristiques suivantes :

- ∅ extérieur = 315 mm ;
- ∅ intérieur = 283 mm ;
- épaisseur paroi = 15mm ;
- résistance à la compression = 07 MPa ;
- résistance = 110 KN ;
- largeur des fentes = 1 mm

des tubes de 3m et de 1m (crépines et PVC plein afin de mieux ajuster la position des crépines aux venues d'eau) ;

un tube décanteur en PVC plein muni d'un sabot en PVC de hauteur 3 m ;

un hors sol de 80 cm en PVC plein.

La colonne de captage sera munie de centreurs placés tous les 5 m au niveau des crépines et tous les 10 m au niveau des tubes pleins.

Le positionnement définitif des crépines et tubes pleins sera déterminé à la lumière des résultats et de l'analyse des échantillons de terrain et les données de la diagraphie.

En zone de socle

- des tubes pleins en PVC de diamètre 179/196 mm et de longueur approprié en élément de 6 m vissés bout à bout et ayant les caractéristiques requises dans le bordereau des prix et dans le CPT.
- des tubes crépinés en PVC de diamètre 179/196 mm et de longueur approprié en élément de 6 m vissés bout à bout de slot compris entre 0.75mm et 1mm et ayant les caractéristiques requises dans le bordereau des prix et dans le CPT
- un tube décanteur en PVC plein muni d'un sabot en PVC de hauteur 6 m (pour les gros débit) et 3 m (pour les débits faibles);
- un hors sol de 50 cm en PVC plein ;
- la colonne de captage sera munie de centreurs placés tous les 5 m au niveau des crépines et tous les 10 m au niveau des tubes pleins.

Le forage devra être soigneusement fermé par un bouchon pendant les travaux et avant l'installation de la tête de forage.

Il sera disposé contre la colonne de captage une colonne de (3/4 ou 1 ¼ de pouce) destinée à faciliter le passage d'une sonde piézométrique.

7. CONSISTANCE DES TRAVAUX ET SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Le présent marché entre dans le cadre du projet d'alimentation en eau potable des villes de Karimama, Gogounou, Kalalé, Cobly, Ouinhi, Kpomassè et de Zè (7 villes non couvertes).

7.1. Consistance des travaux

Les travaux programmés dans la cadre du présent APD se présentent ainsi qu'il suit :

- l'amené et le repli du matériel ;
- l'ouverture des voies d'accès aux forages ;
- le débroussaillage éventuel de l'emplacement des ouvrages ;
- le montage de l'atelier de forage ;
- L'exécution des forages de reconnaissance ;
- L'exécution de soixante-quatre (64) forages d'exploitation et de trente-deux (32) piézomètres à une profondeur variant de 90m à 100m et un débit moyen d'exploitation de 10m^3 /h en zone de socle et de 250m en moyenne pour un débit de moyen de 115 m^3/h en zone sédimentaire ;
- La réalisation de la diagraphie ;
- la fourniture et la pose de tubages ;
- le gravillonnage de l'espace annulaire ;
- le test de verticalité de l'ouvrage ;
- le développement et le nettoyage/désinfection des forages ;
- Pompage d'essai par paliers enchainés (4)
- Pompage d'essai de longue durée (48h) en continu l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau ;
- la construction de margelle pour forage d'exploitation et pour piézomètre ; et d'une enceinte de protection ;
- l'inspection caméra de chaque forage après la fin des travaux d'exécution des forages ;
- la remise en état des sites des forages après les travaux ;
- l'établissement des fiches techniques dossiers de forages et la livraison des ouvrages.

7.2. Spécifications techniques

7.2.1. Contexte géologique et hydrogéologique

Les sites objets de la présente étude sont les chefs-lieux des communes de Cobly, de Karimama, de Gogounou, de Kalalé, de Ouinhi, de Kpomassè, et de Zè. Ils sont géographiquement répartis dans la partie septentrionale pour les villes de Cobly, de Karimama, de Gogounou, de Kalalé, et au sud de la république du Bénin pour ce qui concerne les villes de Ouinhi, de Kpomassè, et de Zè.

Le manteau géologique de chacun de ces milieux d'étude est un continuum caractérisé par la zone sédimentaire côtier, la zone de socle et la zone du bassin sédimentaire de Kandi.

Dans les villes situées en zone sédimentaire, plusieurs horizons aquifères plus ou moins différenciés sont distingués dans le Continental Terminal et dans dans le paléocène inférieur. Ils sont identifiés approximativement dans les trois cents premiers mètres. Ces horizons aquifères sont constitués de couches de sable et de gravier dont l'épaisseur varie considérablement d'un endroit à un autre. Ils sont séparés par des couches d'argile plus ou moins silteuses à sableuses qui se comportent par endroits comme du matériel semi-poreux ou poreux entraînant des communications hydrauliques entre les horizons.

7.2.2. Implantation des ouvrages

Les ouvrages seront implantés en tenant compte des possibilités d'accès de la topographie des terrains et des données hydrogéologiques identifiées suite à la campagne de prospection hydrogéologique et géophysique réalisée.

L'implantation de ces ouvrages tiendra compte des sujétions et conditions environnementales et sociales qui pourront être rencontrées localement (accès aux propriétés lieux de culte anciens cimetières etc.) ou signalées par les Autorités locales.

7.2.3. Verticalité du forage passage libre dans le forage

L'attention de l'Entrepreneur est attirée sur la nécessité de la verticalité du forage et du passage libre dans le forage tubé. La verticalité du forage et du passage libre doivent être déterminés dans la partie qui abritera la pompe immergée plus 5 m. Celle-ci sera vérifiée par l'Entrepreneur en présence du Maître d'Œuvre. A cette fin il fera passer un calibre rigide en acier de 6 m de longueur et du diamètre minimum du tubage moins 20 mm. Le calibre sera fourni par l'Entrepreneur. Cette fourniture ne sera pas rémunérée.

La tolérance admise sur la verticalité du forage est de 2%. Si le test vertical prescrit n'est pas satisfaisant l'Entrepreneur recommencera le forage à ses frais.

7.2.4. Gravillonnage de l'espace annulaire

L'espace annulaire des forages sera rempli d'un massif de gravier filtrant dont la granulométrie sera déterminée en fonction des résultats des analyses granulométriques des terrains traversés (a priori 2-5 mm) depuis le fond du forage jusqu'à une hauteur permettant de dépasser de 5m au minimum la cote supérieure des crépines. Ce massif de gravier sera composé de sables siliceux à grains arrondis (éléments concassés anguleux proscrits) il sera préalablement désinfecté avant sa mise en place afin d'éviter tout risque de contamination bactériologique. Il sera mis en place soigneusement par petites quantités afin d'éviter la formation de "ponts" dans l'espace annulaire entre le terrain et la crépine ainsi que la ségrégation en gros éléments et éléments fins. L'Entrepreneur devra soumettre à l'approbation du Maître d'Œuvre le mode de mise en place du gravier qu'il propose (trémie circulation etc.). Une sonde à gravier devra toujours être disponible sur le chantier afin de contrôler la bonne mise en place du gravier. Le massif de gravier sera placé de façon que après tassement il assure un filtre continu au droit des crépines (massif de gravier mis en place 5 mètres minimum au-dessus des crépines) en particulier si la formation sableuse à capter est surmontée par des terrains argileux.

Après le développement de l'ouvrage si le contrôle constate un affaissement ou un tassement du gravier filtrant il sera demandé à l'Entrepreneur de le compléter afin que le niveau de ce dernier dépasse de 10 m la côte supérieure des crépines. Il est important de préciser que la mise en place du bouchon et du tout-venant ne doit se faire qu'à la suite du développement.

7.2.5. Mesures en cours de travaux

Pendant la réalisation du forage l'Entrepreneur devra consigner dans un cahier les vitesses d'avancement pour chaque changement de terrain ou chaque changement de tiges ainsi que les venues d'eau pertes éventuelles chute d'outils…

Ces différentes mesures devront être consignées dans le cahier de chantier et seront visées par le Maître d'Œuvre avant l'équipement du forage.

7.2.6. Instruments de mesure

L'Entrepreneur maintiendra en permanence sur les chantiers les instruments de mesure adéquats et les mettra à la disposition du Maître d'Œuvre pour que celui-ci puisse effectuer à tout moment les contrôles nécessaires. Il s'agit notamment de l'équipement pour la mesure de :

- la profondeur de la nappe (sonde électrique de 250 m de longueur) ;
- le débit de foration du développement et des pompages d'essai ;
- la viscosité de la boue de forage ;
- la qualité chimique et bactériologique de l'eau ;
- les longueurs et les dimensions métriques ;
- la température;
- la conductivité.

7.2.7. Prélèvement des échantillons

Pendant les travaux de forage l'Entrepreneur procèdera au prélèvement des échantillons d'un décimètre cube mètre par mètre ou selon les instructions du Maître d'Œuvre.

Les échantillons provenant du forage seront recueillis suivant les règles de l'art : déversés dans une goulotte métallique sur un tamis à mailles fines (maille inférieure à 1 mm) lavés soigneusement mis en bocaux de plastique transparent avec bouchon étanche et étiquetés. Une deuxième série d'échantillons sera directement classée dans des caisses (bacs ou tableaux d'échantillonnage) fournies par l'Entrepreneur.

Les échantillons dans les bocaux seront mis à la disposition du Maître d'Œuvre qui peut les faire expédier aux frais de l'Entrepreneur au siège du Maître d'Ouvrage.

Sur demande du Maître d'Œuvre l'Entrepreneur devra faire établir des courbes granulométriques des échantillons distincts par un laboratoire agréé par le Maître d'Ouvrage et selon une procédure approuvée par le Maître d'Œuvre.

7.2.8. Traitements des forages

Il sera procédé au traitement des forages en cas de force majeure. Cette opération sera effectuée à l'aide d'hexamétaphosphate mis en place au moyen de cannes d'injection susceptibles d'être descendues jusqu'au fond du forage.

Ce traitement sera réalisé en 2 ou 3 passes en fonction des niveaux à développer préférentiellement. Le dosage de dilution sera de l'ordre de 3% en fonction du type de produit utilisé. Cette opération se déroulera sous les directives du Maître d'Œuvre.

7.2.9. Développement et nettoyage des forages

Les opérations de développement et nettoyage auront une durée minimale de 4 heures. Le développement se fera à l'air-lift par l'atelier de forage. Le débit sera mesuré de façon sommaire en utilisant un récipient de capacité connue et un chronomètre en vue d'évaluer la productivité de l'ouvrage.

Les fréquences des mesures de niveau de débit seront déterminées par le Maître d'Œuvre sur le terrain. Le niveau d'eau dans le forage sera mesuré en fin de développement pour estimer le rabattement.

Le matériel pour le développement aura les caractéristiques suivantes :

- compresseurs Q= 20 m^3/min ; 15 à 30 bars ;
- sondes de niveau d'eau ;
- chronomètres ;
- fûts de 500 litres et de 1000 litres minimum.

Le développement sera poursuivi jusqu'à l'obtention d'une eau claire sans particules sableuses ou argileuses.

L'entrepreneur devra contrôler la teneur en sable par la méthode de la tache de sable observée dans un seau de 10 litres. Le diamètre de la tâche ne devra pas excéder 5mm en fin de développement.

Si les défauts d'exécution apparaissent lors de la réalisation d'un forage ou pendant le développement la poursuite des opérations de développement au-delà de 4 heures sera à la charge de l'Entrepreneur et si elles ne peuvent aboutir à l'obtention d'eau claire l'ouvrage ne sera pas réceptionné. Dans le cas d'un développement par une unité indépendante le retour de l'atelier de forage pour reprise partielle ou totale de l'ouvrage restera à la charge de l'Entrepreneur au même titre que les opérations de reprise.

Le débit sera mesuré toutes les 15 minutes. Le niveau statique et la profondeur de l'ouvrage seront mesurés avant et après développement.

La précision exigée pour les mesures sera de :

- 5 % pour les débits ;
- 1 cm pour les niveaux d'eau ;
- 5 cm pour les mesures de profondeur.

7.2.10. Mise en place du tout-venant et cimentation

Un bouchon d'argile de 2 m de hauteur sera posé sur la couche de gravier et le reste de l'espace annulaire sera comblé de tout venant de foration jusqu'à 10m du sol. Pour tenir compte de la granulométrie du massif filtrant le tout-venant sera passé au tamis de 3 mm avant d'être injecté dans l'espace annulaire. Le reste de l'espace annulaire sera cimenté sur les 10 m restants.

7.2.11. Essais de pompage

7.2.11.1. Généralités

Les pompages d'essais seront effectués en deux phases :

1ère phase : Pompages par paliers de débits enchaînés ou non (par exemple 25 - 50 - 80 - 100 m^3/h) selon les directives de l'hydrogéologue représentant le Maître d'Œuvre afin de déterminer la courbe caractéristique de chaque forage et le débit critique. Ces pompages seront réalisés à l'aide d'une pompe immergée adaptée (entre 20 et 250 m^3/h environ pour une HMT minimum de 80m). La durée totale de ces paliers y compris la (ou les) remontée (s) est évaluée à 8 heures.

2ème phase : Il est prévu un pompage de longue durée (3 jours) en continu au débit qui sera défini à l'issue des pompages par paliers.

Une attention particulière sera portée sur la précision des mesures tant de niveaux que de débits.

Au cours de ces essais les niveaux seront mesurés aux endroits et selon un rythme qui sera défini par le Maître d'Œuvre.

La distance de rejet des eaux sera comprise entre 300 et 500 m en aval de l'ouvrage.

7.2.11.2. Montage de l'atelier de pompage

L'entreprise devra être en mesure de posséder un matériel de pompage dont les caractéristiques techniques seront adaptées à celles du forage et de l'aquifère à étudier. Les paramètres de pompage figureront dans une fiche technique.

7.2.11.3. Relevé du niveau statique et de la profondeur

Il est prévu le pompage d'eau dans le forage et le suivi du niveau dans un ou deux autres ouvrages qui feront office de piézomètres. Avant le début du pompage le niveau statique et la profondeur dans les forages et dans des piézomètres seront mesurés.

Un tube guide placé dans l'espace annulaire de chaque forage permettra la mesure des niveaux.

Les mesures auront pour origine un repère fixe soigneusement choisi par rapport au socle en béton et seront effectuées à l'aide d'une sonde électrique en parfait état de marche. Une seconde sonde devra être disponible par sécurité.

Il est demandé impérativement que le chantier dispose de deux (2) sondes pour lire les niveaux d'eau dans le forage et son piézomètre.

7.2.11.4. Dispositif de pompage

Le forage sera équipé d'une pompe immergée (10" de diamètre) de plage de débit capable de réaliser les deux phases des pompages d'essais sur les forages. En aucun cas la pompe ne pourra être placée au droit des crépines L'eau pompée sera refoulée à plus de 150 m en aval du forage.

Les mesures de débit pourront se faire dans une bâche d'un volume minimal de 1500 litres avec dispositif de déplacement latéral du tuyau d'exhaure ou avec un compteur volumétrique étalonné et correctement monté.

Des bacs à déversoir ou des tubes de Pitot pourront également être utilisés à condition qu'ils soient bien dimensionnés et que leur installation soit irréprochable. Rappelons que la précision exigée est de 5 %.

Les mesures du temps relatif et du temps absolu seront notées à partir d'un chronomètre.

7.2.11.5. Pompage et arrêt

Les conditions d'exécution des essais seront fixées par l'hydrogéologue du Maître d'Œuvre suivant un programme qui sera remis à l'Entrepreneur. Ce programme pourra être modifié à tout moment par le Maître d'Œuvre en fonction des résultats obtenus.

Les mesures de niveau seront prises au centimètre près en regard d'un temps relatif exact. Toutes les observations seront mentionnées sur des fiches d'essais.

L'Entrepreneur devra garantir la régularité du débit de pompage et l'exécution correcte et intégrale des mesures. Il s'engagera à prendre toutes les précautions nécessaires à la bonne interprétation des essais. Tout pompage insuffisamment observé ou à débit non soutenu pourra être refusé.

Le pompage d'essai (2ème phase) se fera pendant 5 à 6 jours. Les variations du niveau statique seront suivies dans le (ou les) ouvrage(s) servant de piézomètres et dans le forage en pompage. Les fréquences de relevé de niveau pourront être les suivantes :

Forage :

- toutes les 2' pendant 10' ;
- toutes les 5' pendant 30' ;
- toutes les 10' pendant 2 h ;
- toutes les 15' jusqu'à 12 h ;
- toutes les 30' jusqu'à la fin du pompage (48 h).

A la fin du pompage la remontée est suivie selon le schéma suivant :

- toutes les 2' pendant 10' ;
- toutes les 5' pendant 30' ;
- toutes les 10' pendant 2 h.

Piézomètre :

Dès l'observation de la baisse de niveau la fréquence des essais sera identique à celle adoptée pour le forage à savoir toutes les 2' 5' 10' etc.

7.2.12. Analyses d'eau

En cours d'essais des prélèvements d'eau seront réalisés selon le programme suivant :

- un échantillon à la fin de chaque palier et analyse des éléments suivants : conductivité Fe, Mn, Cl, ceci afin d'étudier l'évolution de ces éléments en fonction du temps et du débit ;
- à la fin du dernier palier il faudrait effectuer des mesures complémentaires : pH conductivité température turbidité ;
- à la fin des essais de longue durée : prélèvements et analyses en laboratoire agréé au minimum des éléments suivants : Fe, Mn, Ca, Mg, K, C03H, Cl, SO4, NO3, NO2, NH4, PO4, O2, dissous SiO2 pesticides et analyses bactériologiques (Coliformes totaux Escherichia Coli Streptocoques fécaux et Clostridium sulfito-réducteur).

Une attention particulière sera portée aux prélèvements. Pour les analyses bactériologiques les flacons devront être stériles les cols flambés au moment du prélèvement aucun contact de l'eau avec les doigts etc. durant le transport jusqu'au laboratoire les échantillons seront placés dans une glacière et enfin les échantillons devront être mis en culture dès réception au laboratoire. Ce n'est qu'à ces conditions que les résultats pourront être représentatifs et fiables.

Les paramètres suivants seront analysés sur le terrain (in situ) :

- Température goût odeur ;
- Fer ;
- pH ;
- $C0_2$ libre ;
- Oxygène dissous ;
- Conductivité.

Les autres paramètres : Ca, Mg, Na, K, NH4, Fe, Mn, P, Si02, AI, Cl, C02, HCO3, S04, N03, P04, Si03, F, Hg, Zn, Cr, Ba, Se, B, As, Sr, Ou, Ni, Pb, Cd, germes coliformes germes totaux etc.… seront analysés au Laboratoire.

7.2.13. Equipements de surface

Pour chaque forage testé positif l'Entrepreneur réalisera une margelle en béton armé avec chape bouchardée autour de la tête du forage en bride en acier.

Elle aura pour dimension 2 m x 2 m. La margelle dont l'épaisseur sera de 02 m au-dessus de la cote du terrain naturel (TN) sera coulée sur du béton de propreté de 01 m. Elle comportera une embase support de pompe avec une pente de 5 % dirigée de l'embase de la pompe vers l'extérieur.

Les efforts à prendre en compte sont ceux résultant du poids de la pompe et de la colonne de refoulement remplie d'eau majoré de 250 kg environ pour prendre en compte le poids du treuil. Le béton de la margelle devra résister à une pression de 270 bars.

Après réalisation de la margelle une plaque métallique pleine sous forme de couvercle fournie par l'Entrepreneur sera fixée sur le tubage pour fermer provisoirement le forage en attendant la pose de la pompe.

Chaque forage sera identifié par un numéro alphanumérique indiquant le code du champ captant le numéro d'ordre le titre du projet le nom du Maître d'Ouvrage et le nom du ou des bailleurs de fonds.

Le numéro de référence qui sera fourni par le Maître d'Œuvre sera soigneusement gravé dans le béton de la margelle sur une profondeur de 6 mm environ.

7.2.14. Dossier d'exécution des forages

L'entrepreneur devra pour tous les forages fournir au Maître d'Ouvrage un dossier technique comprenant :

- un plan détaillé d'implantation du forage avec indication des coordonnées définitive d'implantation;
- la coupe géologique et technique du forage ;
- le plan d'équipement ;
- la fiche de résultat du développement ;
- la fiche de résultat de l'essai de débit ;
- la courbe caractéristique de l'ouvrage (S, Q) et la définition du débit d'exploitation et de la côte de pose de la pompe ;
- l'interprétation des courbes rabattement/temps pour la détermination de la transmissivité ;
- l'interprétation des résultats des analyses chimiques et bactériologique.

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Aux termes des travaux hydrogéologique et géophysique la revue documentaire révèle que les zones d'étude peuvent être regroupées suivant deux (02) contextes hydrogéologiques à savoir le milieu sédimentaire et la zone de socle.

Les forages seront équipés en PVC 315mm et en 196mm avec respectivement en zone sédimentaire et en milieu de socle et auront des profondeurs moyennes de 250m (i) et 100m (ii) pour des débits d'équipement de 115m^3/h (i) et de 10m^3/h (ii).

Il est proposé qu'en dehors des nouveaux forages dans la Commune de Karimama, la récupération des forages de l'AEV de Birni Lafia et de Karimama centre.

Aussi est-il prévu la réalisation dans chaque zone cible d'investigation, la réalisation d'un piézomètre de suivi des impacts de pompage sur les nappes.

A cet effet, il est impérativement recommandé que les chantiers de pompage d'essai soient munis d'au moins deux sondes de mesure afin de relever éventuellement les impacts des pompages sur les ouvrages hydrauliques existant dans les voisinages des nouveaux ouvrages.

A la fin des chantiers, il est recommandé la restauration des sites de façon à ce qu'ils retrouvent sensiblement leur aspect initial (exception faite de l'éventuel empierrement de la plate-forme) ; tous les détritus et déblais provenant de la réalisation de chaque ouvrage seront évacués.

Une clôture de 20mx20m entourera chaque forage afin d'en constituer à titre temporaire un périmètre de protection immédiat.

Au vu de la pression foncière qui s'exerce de plus en plus sur les terres et des intérêts économiques qu'elle représente le consultant recommande à la SONEB de prendre toutes les dispositions administratives et juridiques nécessaires à l'acquisition de ces parcelles.

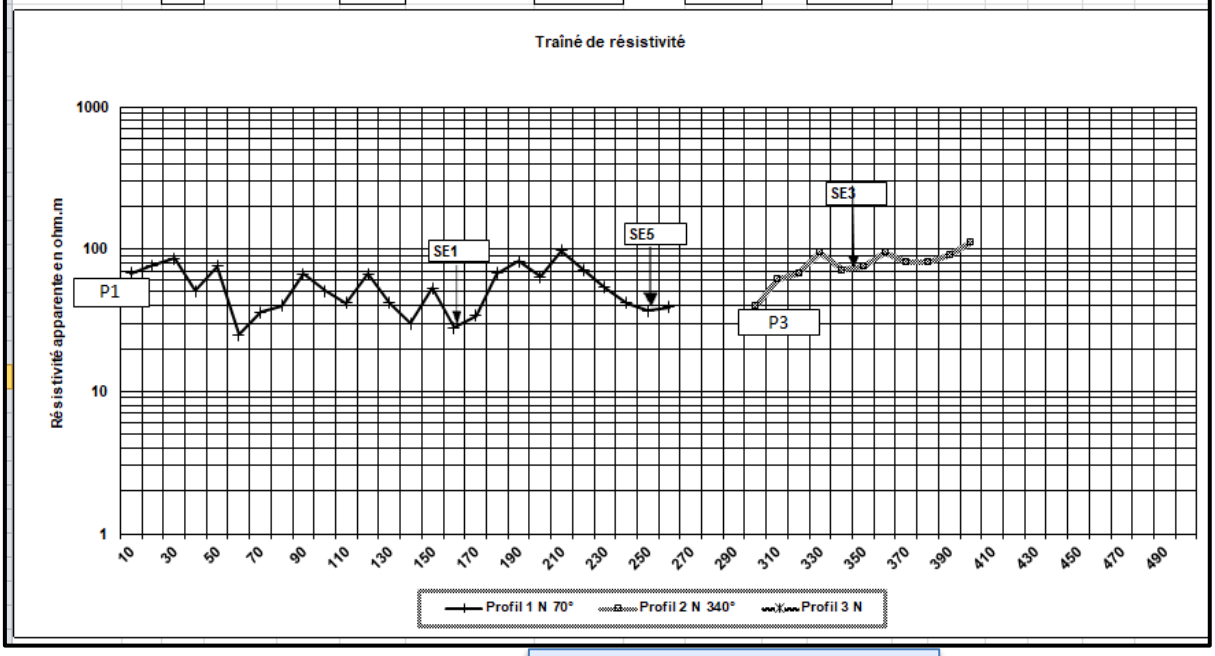
ANNEXES

DONNEES GEOPHYSIQUES DE KARIMAMA

1. DIAGRAMMES DE PROFILS ELECTRIQUES
2. DIAGRAMMES DE SONDAGES ELECTRIQUES SCHLUMBERGER INTERPRETES
3. DIAGRAMMES DE SONDAGES TOMOGRAPHIQUES
4. DIAGRAMMES DE SONDAGES ELECTRIQUES EN DIPOLE-DIPOLE
5. DONNEES ET RESULTATS DE SONDAGES RMP

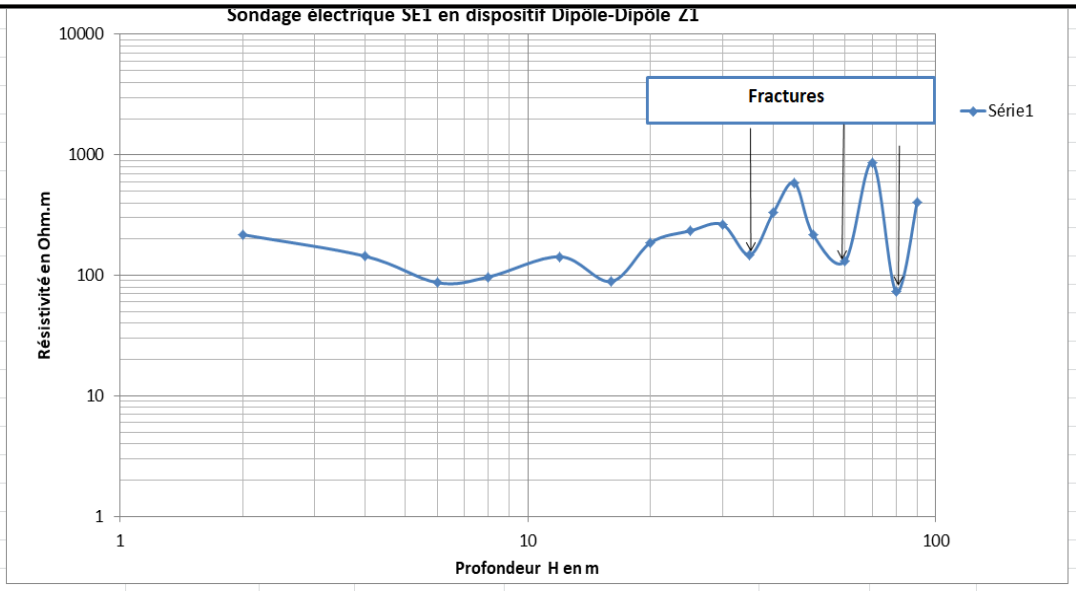
P1 et P3

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN		
Département	ALIBORI		Coordonnées et date						
Commune	KARIMAMA		X	3	°	13	'	08.0	"
Arr/ Village	BIRNI-LAFIA		Y	11	°	58	'	52,3	"
Localité	BIRNI-LAFIA		Date	28	/	06	/	2021	
AB =	200 mètres		Géophysicien			ANATO Cyprien			
MN =	20 mètres	P1 N° 70°	P2 N° 340°	P3 N° 0	K = 1 555				



SE1 DD Z1

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	218
4	144
6	87
8	97
12	143
16	89
20	187
25	234
30	264
35	148
40	333
45	588
50	219
60	132
70	865
80	73
90	403



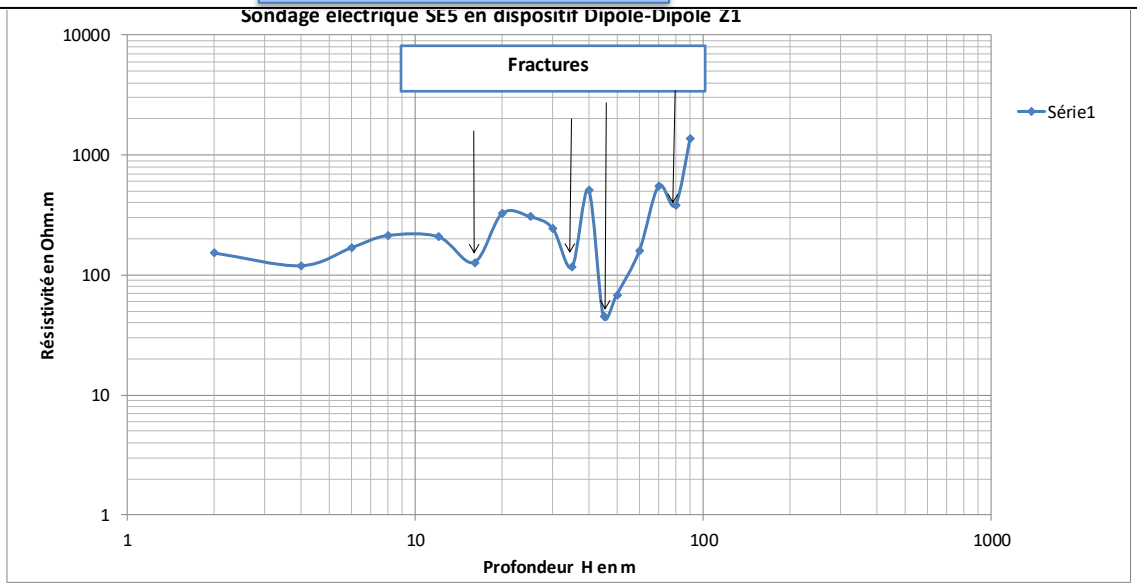
Projet: SONEB
Direction: 70°-250°
Département : B ALIBORI
Commune : KARIMAMA
Arrondissement: BIRNI-LAFIA
Village : BIRNI-LAFIA
Localité : BIRNI-LAFIA

DATE: 28/06/2021
Profondeur estimée : 90m
Epaisseur altérée: 6m
Géophysicien: Cyprien D. ANATO

Coordonnées:
X= 03°13'12,7"
Y= 11°58'53,9"
Z= 165m

SE5 DD Z1

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	152
4	119
6	168
8	212
12	208
16	127
20	323
25	305
30	244
35	116
40	507
45	45
50	68
60	158
70	549
80	380
90	1357
105	



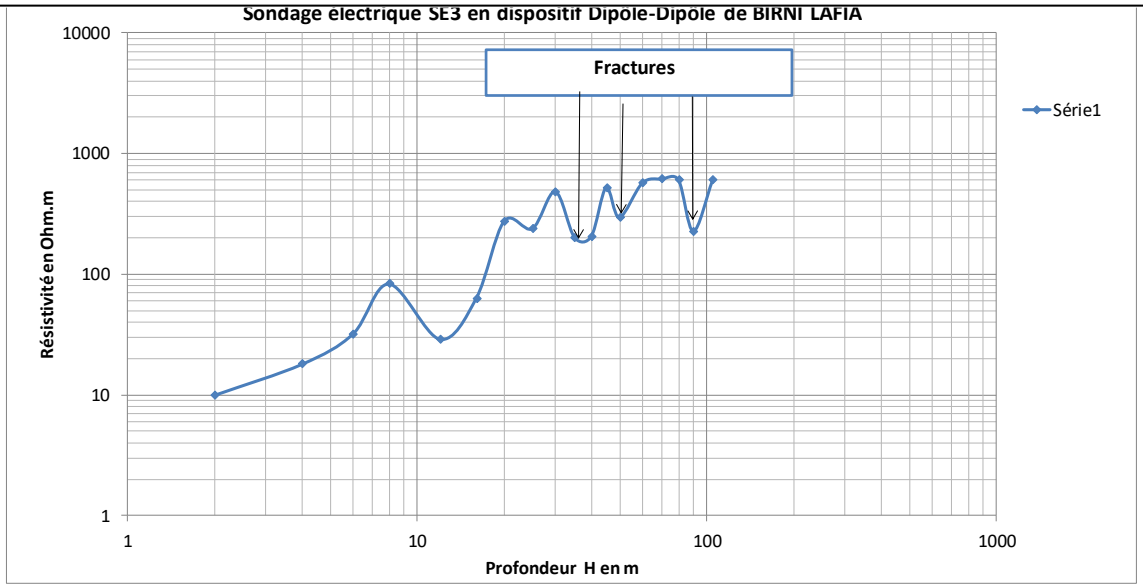
Projet: SONEB
Direction: 180°-360°
Département : B ALIBORI
Commune : KARIMAMA
Arrondissement: BIRNI-LAFIA
Village BIRNI-LAFIA
Localité EPP

DATE: 1er/07/2021
Profondeur estimée : 90m
Epaisseur altérée: 4m
Géophysicien: Cyprien D. ANATO

Coordonnées:
X= 03°13'15,6"
Y= 11°58'54,5"
Z= 162m

SE3 DD Z1

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	10
4	18
6	32
8	83
12	29
16	63
20	275
25	238
30	482
35	201
40	206
45	520
50	295
60	567
70	612
80	602
90	227
105	602

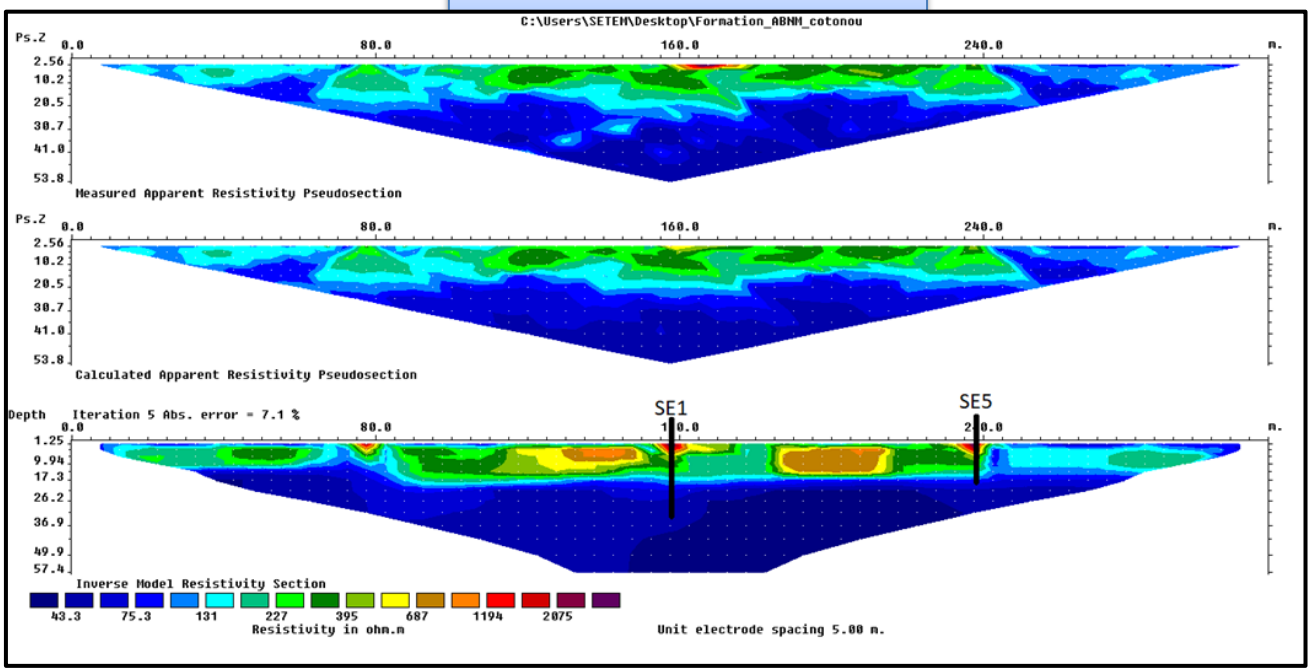


Projet: SONEB
Direction: 180°-360°
Département : B ALIBORI
Commune : KARIMAMA
Arrondissement: BIRNI-LAFIA
Village BIRNI-LAFIA
Localité : BIRNI-LAFIA

DATE: 30/06/2021
Profondeur estimée : 110 r
Epaisseur altérée: 2m
Géophysicien: Cyprien D. ANATO

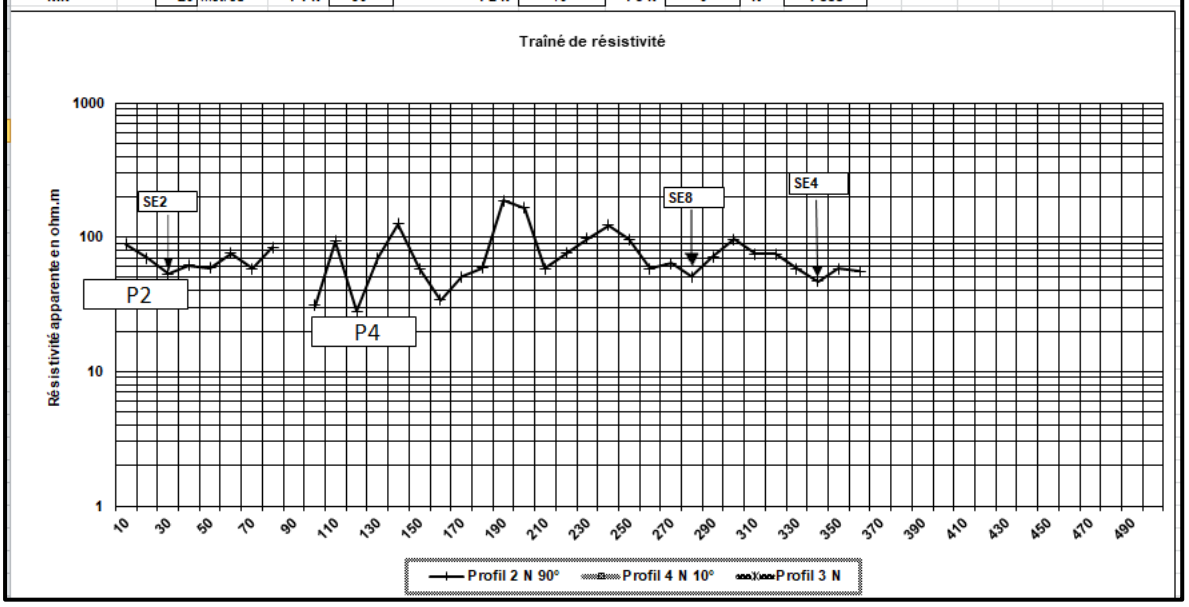
Coordonnées:
X= 03°12'52,4"
Y= 11°58'42,9"
Z= 167m

TOMOGRAPHIE SE1 et SE5



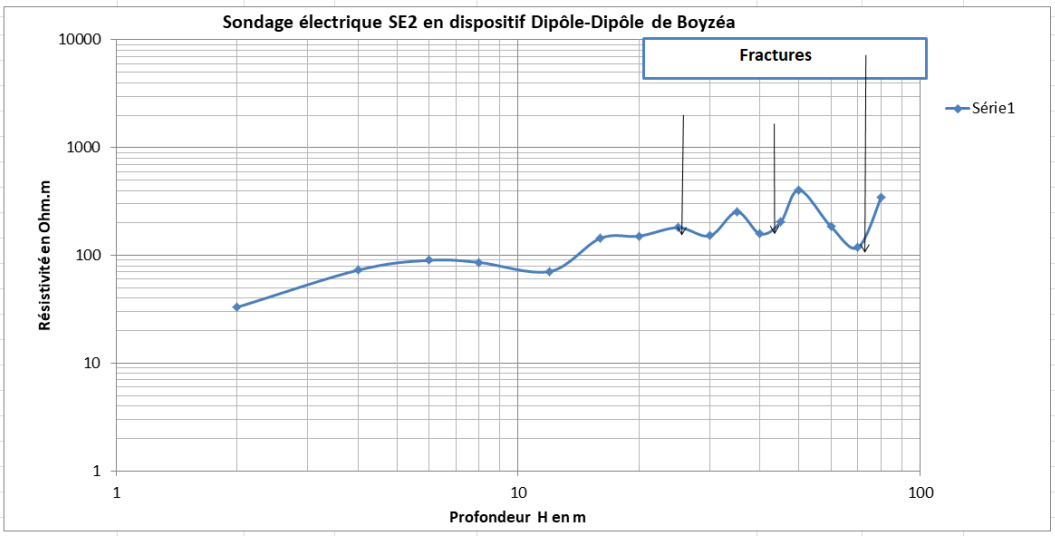
P2 et P4

Projet:	GROS DEBIT SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	ALIBORI		Coordonnées et date							
Commune	KARIMAMA		X	3	°	12	'	14.7	"	
Arr/ Village	BIRNI-LAFIA		Y	12	°	0	'	56,6	"	
Localité	BOYIZEA		Date	30	/	06	/	2021		
AB =	200 mètres		Géophysicien	ANATO Cyprien						
MN =	20 mètres	P1 N° 90°	P2 N°	10°	P3 N°	0	K =	1 555		



SE2 DD Z2

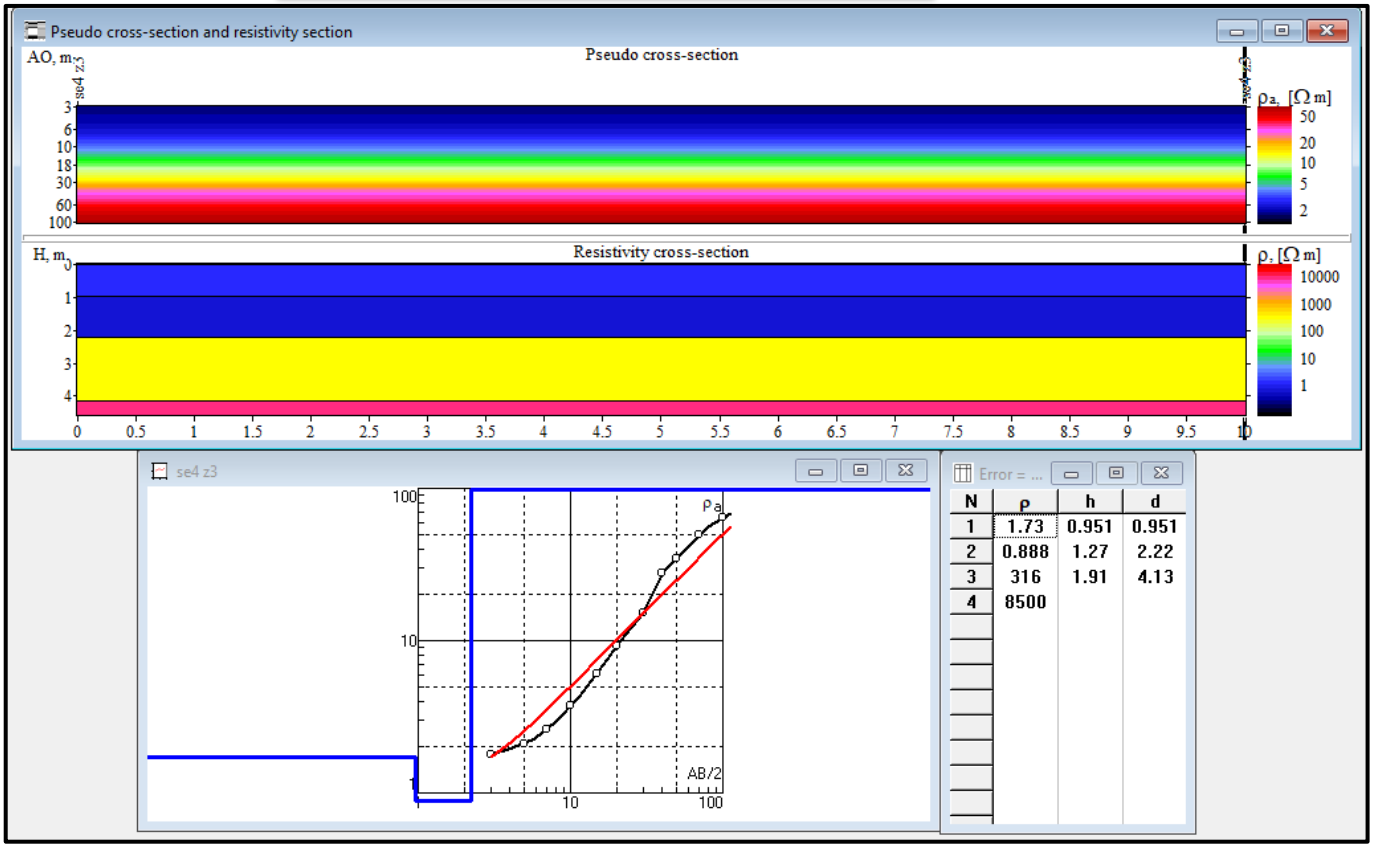
Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	33
4	73
6	90
8	86
12	71
16	144
20	151
25	181
30	152
35	253
40	158
45	204
50	404
60	185
70	118
80	348
90	



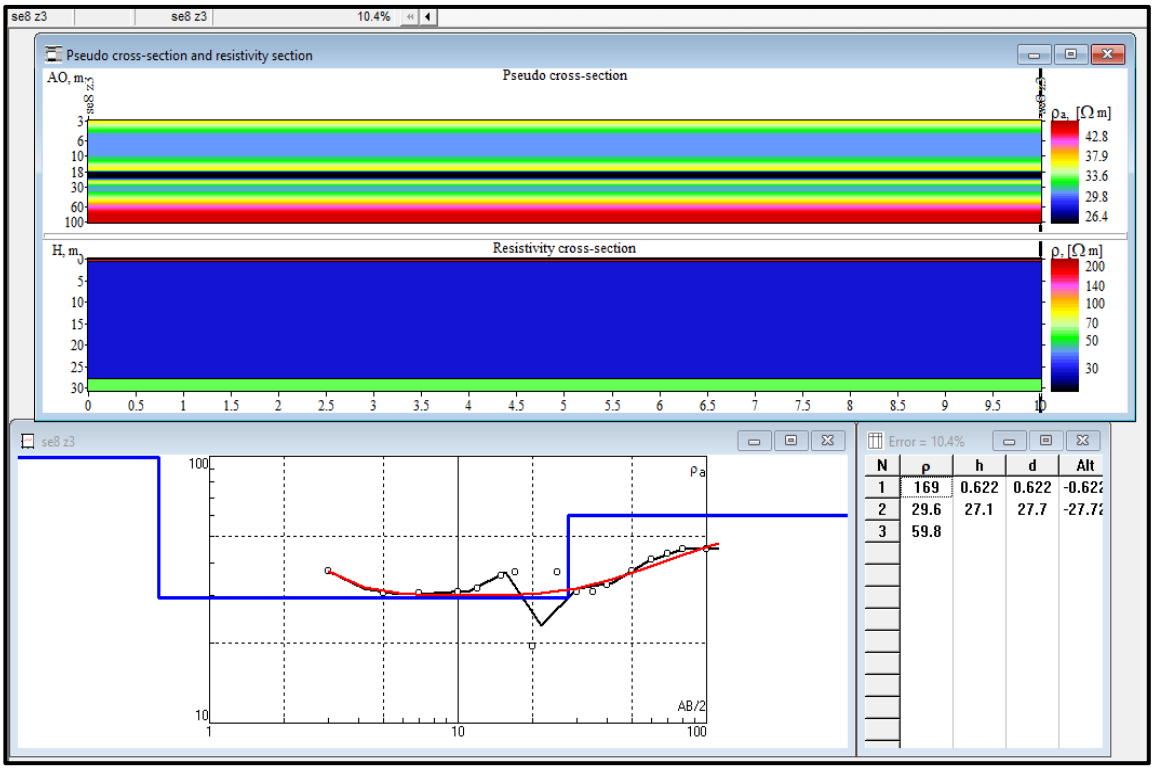
Projet: SONEB

Direction: 180°-360°		**DATE: 30/06/2021**	**Coordonnées:**
Département : B ALIBORI		**Profondeur estimée : 80 m**	**X= 03°12'17,4"**
Commune :	**KARIMAMA**	**Epaisseur altérée: 4m**	**Y= 12°00'56,6"**
Arrondissement:	**BIRNI-LAFIA**	**Géophysicien: Cyprien D. ANATO**	**Z= 164m**
Village	**TONDIKOARIA**		
Localité	**: BOYZEA**		

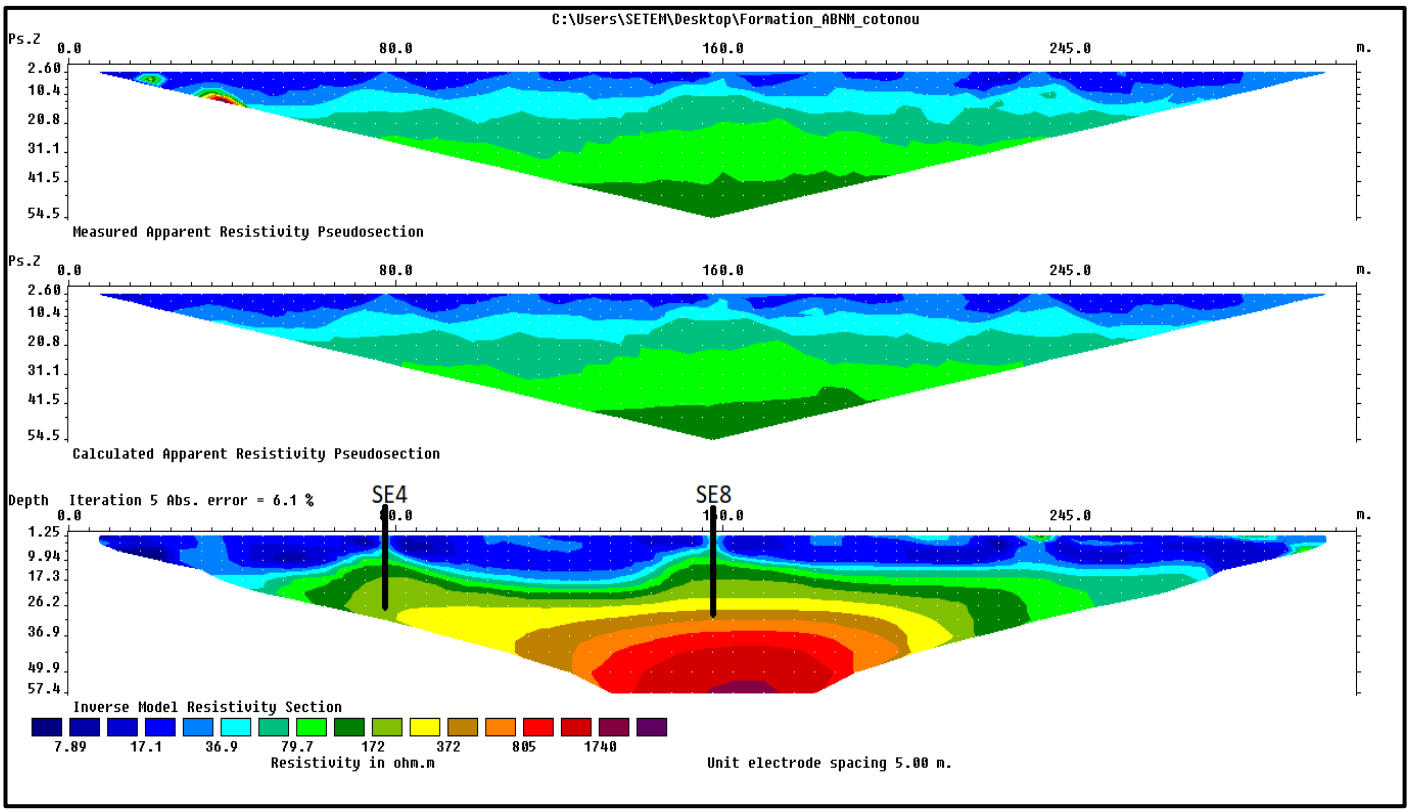
SE4/Z3



SE8/Z3

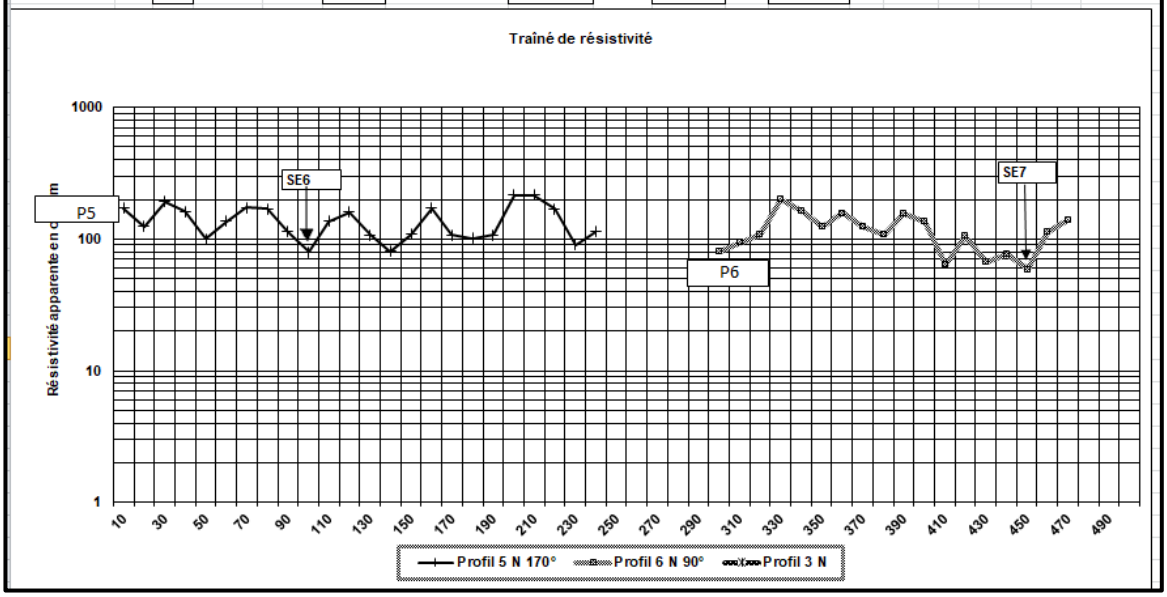


TOMOGRAPHIE SE4 et SE8



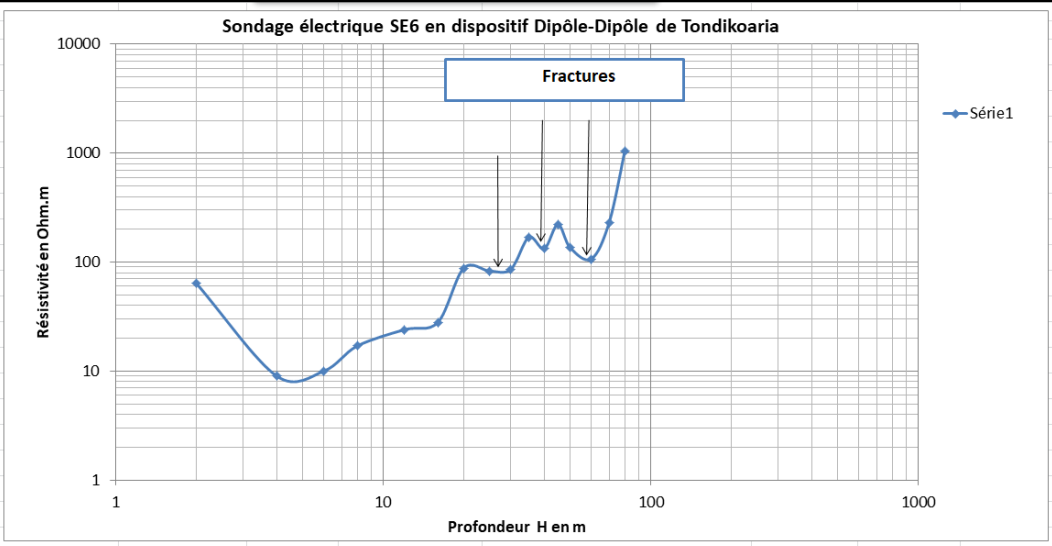
P5 et P6

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN		
Département	ALIBORI		Coordonnées et date						
Commune	KARIMAMA		X	3	°	13	'	15.6	"
Arr/ Village	BIRNI-LAFIA		Y	11	°	58	'	54,5	"
Localité	BOYIZEA		Date	1	/	07	/	2021	
AB =	200 mètres		Géophysicien			ANATO Cyprien			
MN =	20 mètres	P1 N° 170°	P2 N°	90°	P3 N°	0	K =	1 555	



SE6 DD Z2

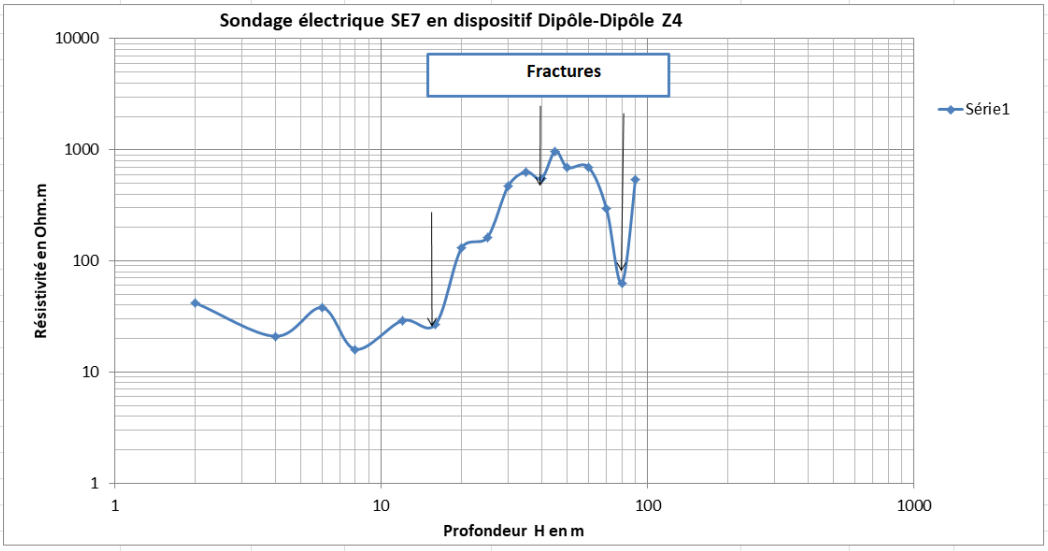
Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	64
4	9
6	10
8	17
12	24
16	28
20	88
25	83
30	86
35	169
40	133
45	222
50	136
60	107
70	232
80	1045
90	
105	



Projet: SONEB			
Direction: 180°-360°		DATE: 1er/07/2021	Coordonnées:
Département : BALIBORI		Profondeur estimée : 80 m	X= 03°12'39,9"
Commune :	KARIMAMA	Epaisseur altérée: 2m	Y= 12°01'54,5"
Arrondissement:	BIRNI-LAFIA	Géophysicien: Cyprien D. ANATO	Z= 161m
Village	TONDIKOARIA		
Localité	: Tondikoaria		

SE7 DD Z4

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	42
4	21
6	38
8	16
12	29
16	27
20	130
25	162
30	475
35	633
40	554
45	973
50	694
60	699
70	296
80	63
90	543
105	

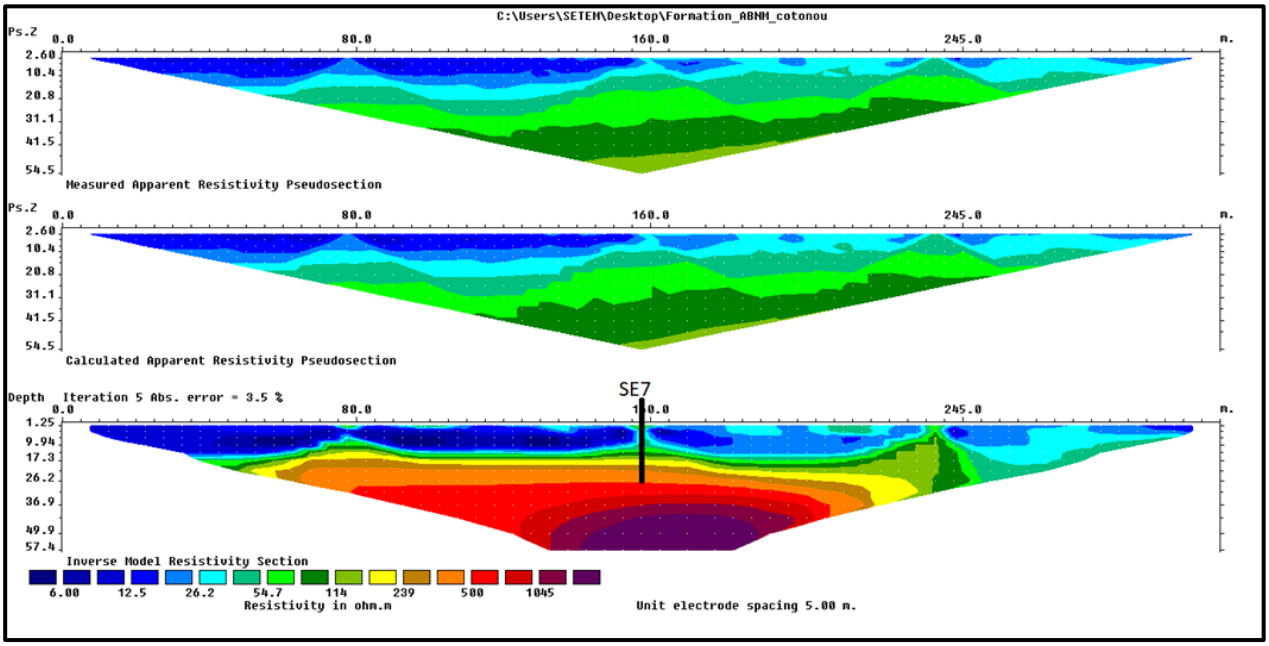


Projet: SONEB
Direction: 90°-270°
Département : B ALIBORI
Commune : KARIMAMA
Arrondissement: KARIMAMA
Village KARIMAMA
Localité : Entrée derrière l'antenne

DATE: 1er/07/2021
Profondeur estimée : 90m
Epaisseur altérée: 8m
Géophysicien: Cyprien D. ANATO

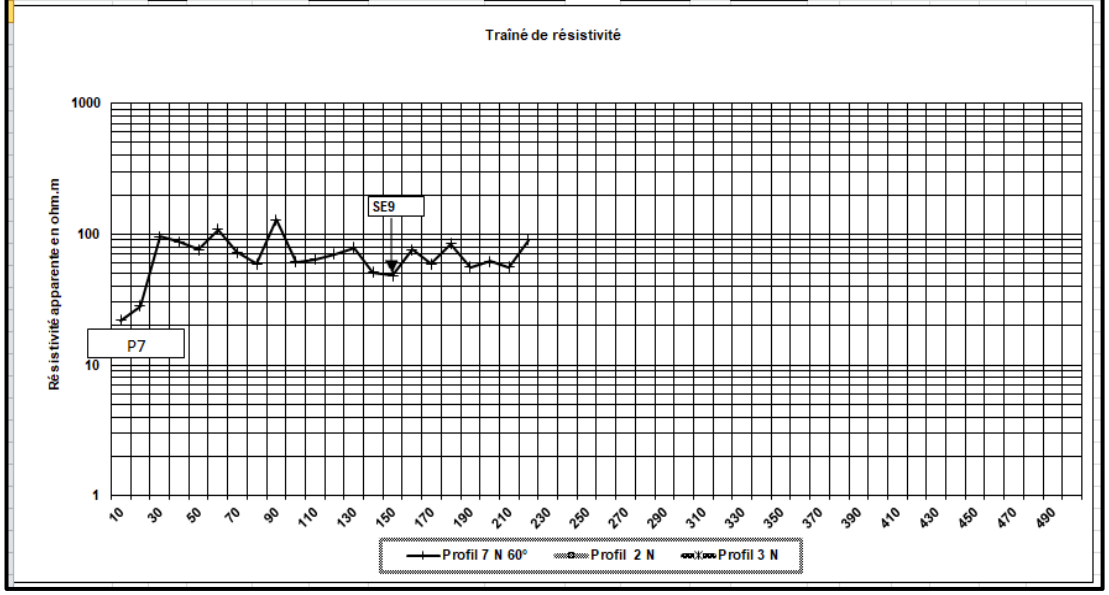
Coordonnées:
X= 03°11'27,5"
Y= 12°03'48,6"
Z= 167m

TOMOGRAPHIE SE7

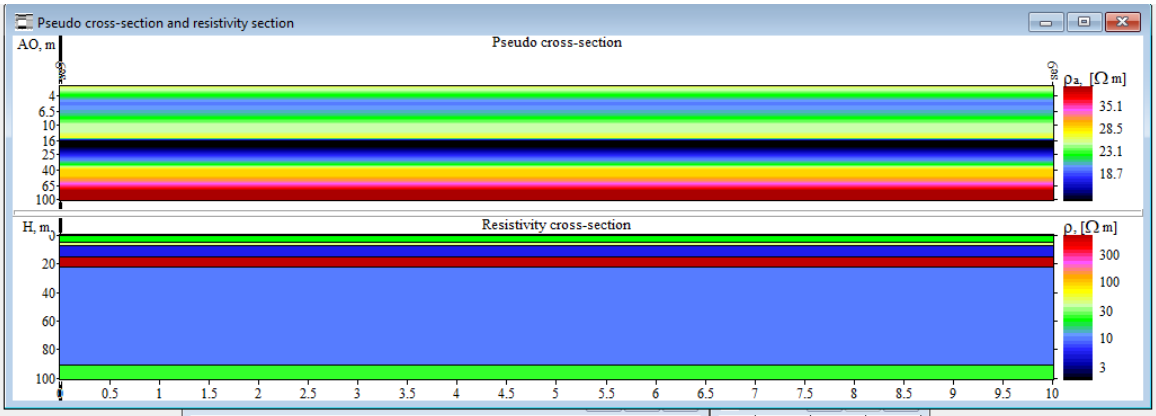


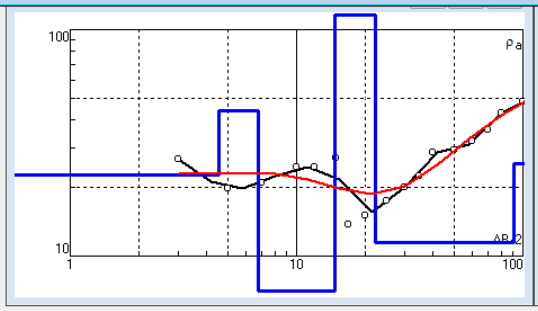
P7

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	ALIBORI		Coordonnées et date							
Commune	KARIMAMA		X	3	°	11	'	06.0	"	
Arr/ Village	BIRNI-LAFIA		Y	12	°	3	'	7,5	"	
Localité	BOYIZEA		Date	30	/	06	/	2021		
AB =	200 mètres		Géophysicien	ANATO Cyprien						
MN =	20 mètres	P1 N° 60°	P2 N° 0	P3 N° 0	K = 1 555					



SE9/Z3

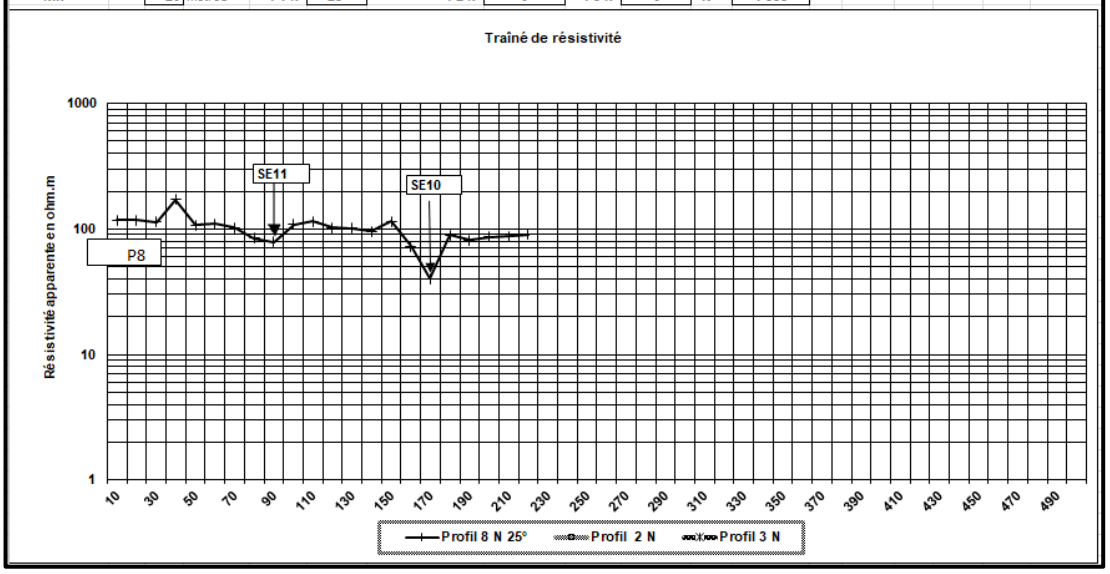




N	ρ	h	d
1	22.9	4.53	4.53
2	43.9	2.22	6.75
3	6.27	7.98	14.7
4	1508	7.53	22.3
5	11.5	68.9	91.2
6	25.6		

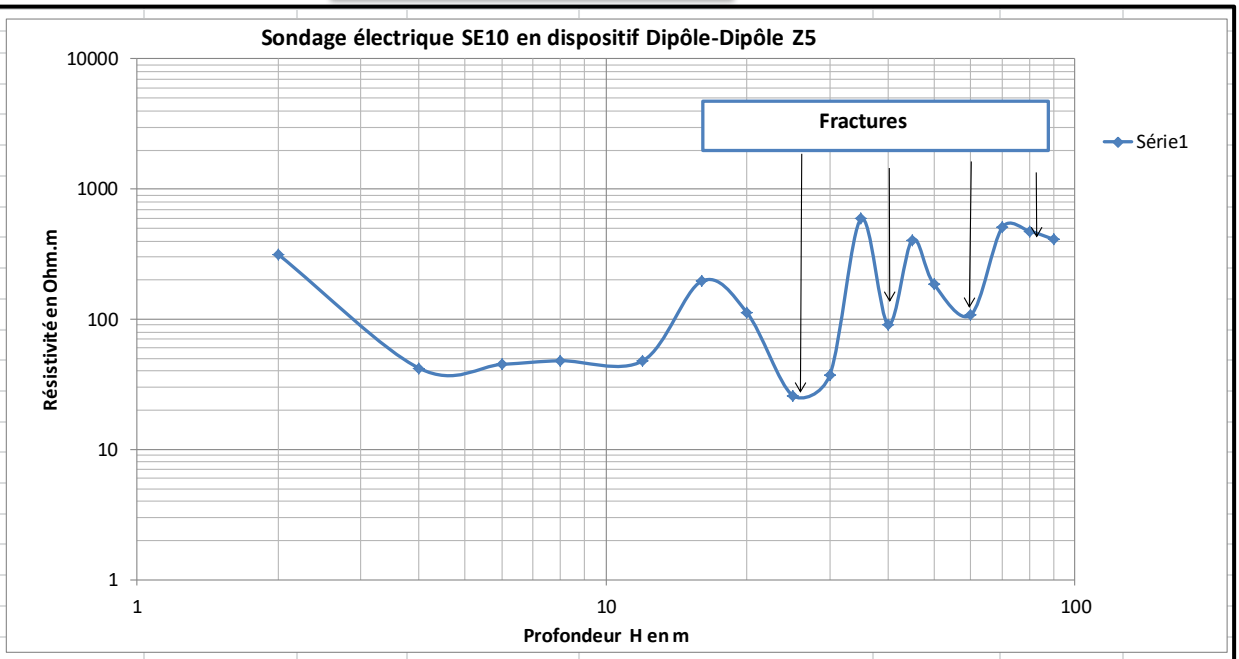
P8

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN		
Département	ALIBORI		Coordonnées et date						
Commune	KARIMAMA		X	3	°	8	'	15.6	"
Arr/ Village	KARIMAMA		Y	12	°	1	'	51,7	"
Localité	MAMASSI GOURMA		Date	3	/	07	/	2021	
AB =	200 mètres		Géophysicien			ANATO Cyprien			
MN =	20 mètres	P1 N° 25°	P2 N° 0		P3 N° 0		K = 1 555		



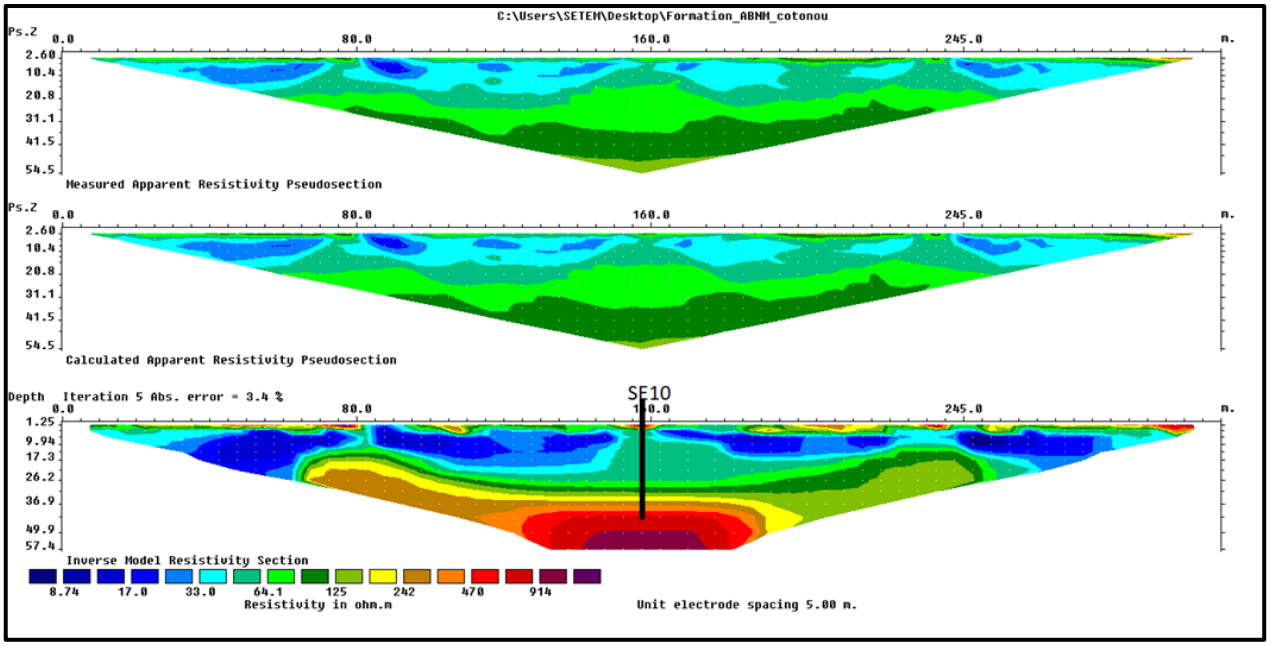
SE10 DD Z5

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	316
4	42
6	45
8	48
12	48
16	196
20	112
25	26
30	37
35	591
40	91
45	407
50	187
60	108
70	507
80	475
90	412



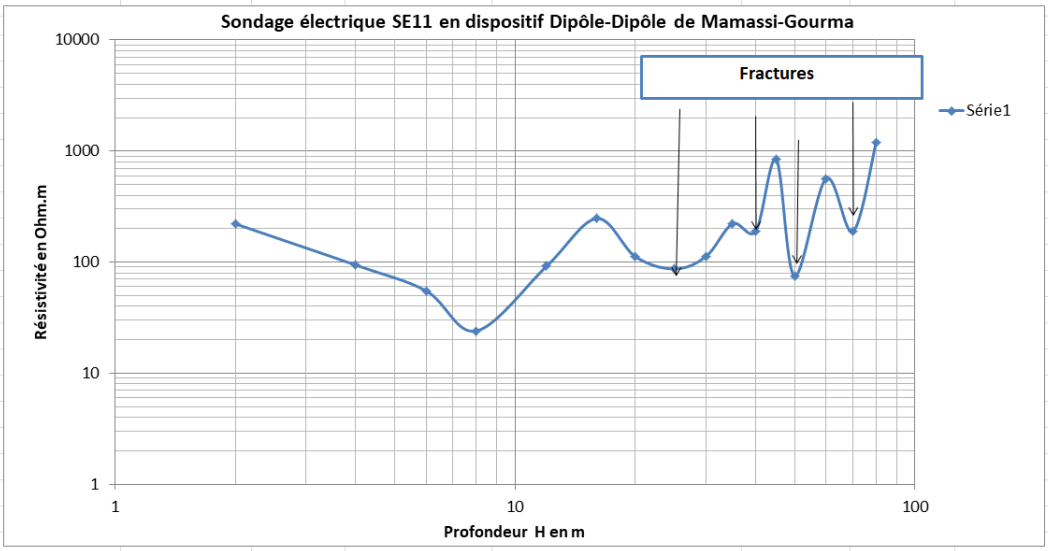
Projet: SONEB				
Direction: 25°-205°			DATE: 03/07/2021	Coordonnées:
Département : B	ALIBORI		Profondeur estimée : 100m	X= 03°08'15,6"
Commune :	KARIMAMA		Epaisseur altérée: 12m	Y= 12°01'51,0"
Arrondissement:	KARIMAMA		Géophysicien: Cyprien D. ANATO	Z= 190m
Village	MAMASSI-GOURMA			
Localité	MAMASSI-GOURMA			

TOMOGRAPHIE SE10



SE11 DD Z5

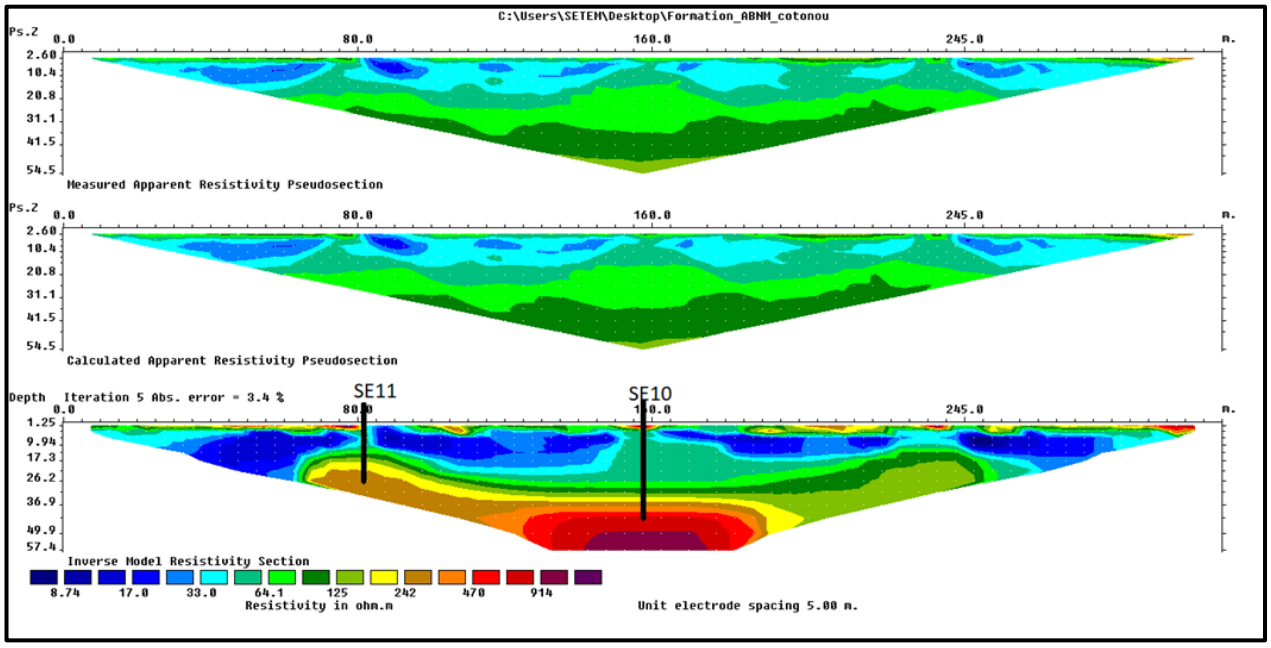
Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	221
4	94
6	55
8	24
12	92
16	247
20	112
25	87
30	112
35	222
40	190
45	837
50	75
60	567
70	188
80	1203
90	



Projet: SONEB

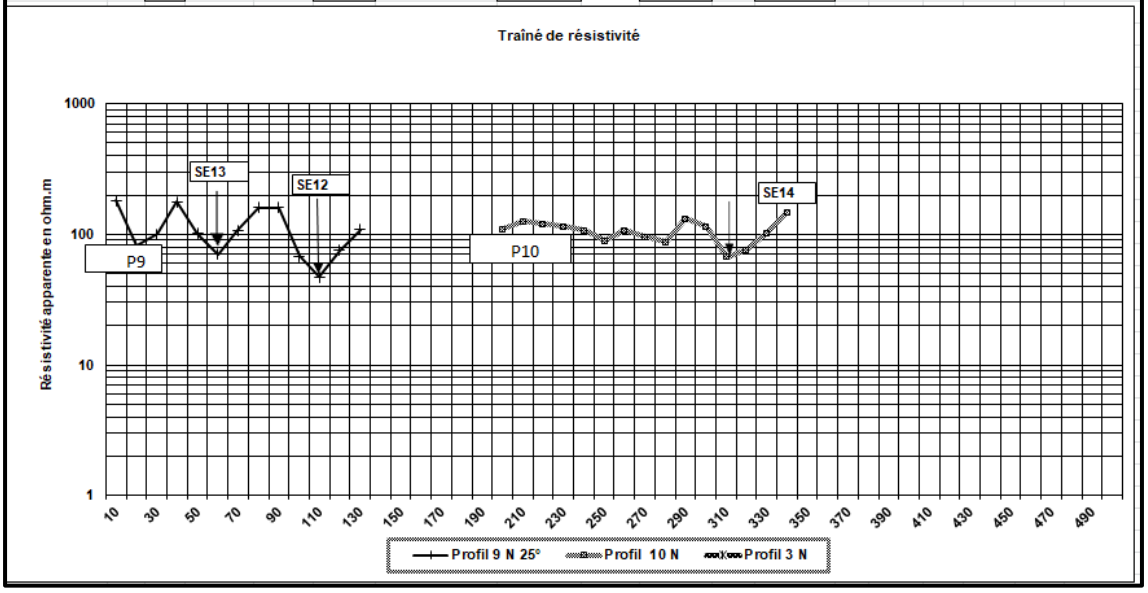
Direction: 25°-205°		DATE: 03/07/2021	Coordonnées:
Département : B ALIBORI		Profondeur estimée : 90m	X= 03°08'13,8"
Commune :	KARIMAMA	Epaisseur altérée: 8m	Y= 12°01'49,0"
Arrondissement:	KARIMAMA	Géophysicien: Cyprien D. ANATO	Z= 191m
Village	MAMASSI-GOURMA		
Localité	MAMASSI-GOURMA		

TOMOGRAPHIE SE11



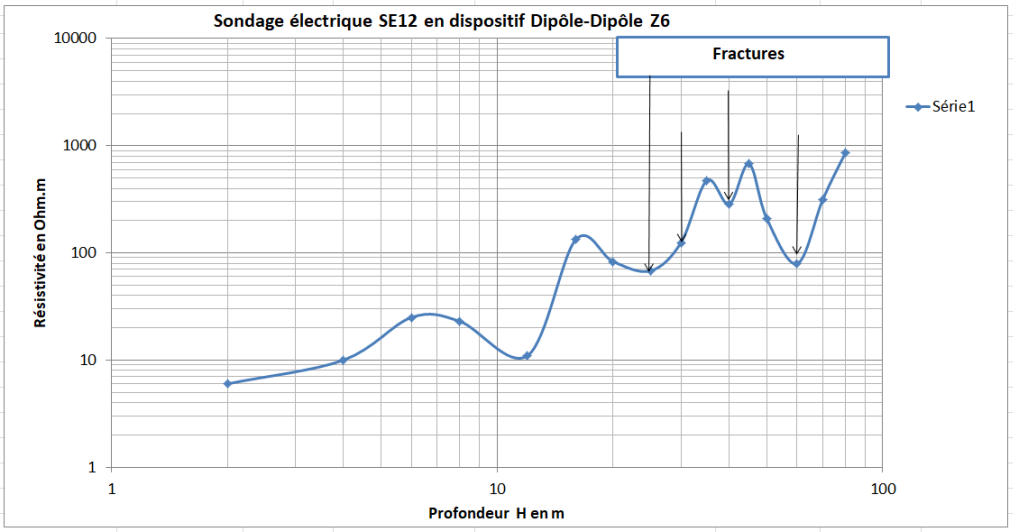
P9 et 10

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN				
Département	ALIBORI			Coordonnées et date							
Commune	KARIMAMA		X	3	°	8	'	15.6	"		
Arr/ Village	KARIMAMA		Y	12	°	1	'	51,7	"		
Localité	MAMASSI GOURMA		Date	3	/	07	/	2021			
AB =	200 mètres		Géophysicien			ANATO Cyprien					
MN =	20 mètres	P1 N° 25°	P2 N°	0	P3 N°	0	K =	1 555			



SE12 DD Z6

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	6
4	10
6	25
8	23
12	11
16	133
20	83
25	68
30	125
35	475
40	285
45	679
50	211
60	79
70	317
80	855
90	



Projet: SONEB
Direction: 150°-330°
Département : B ALIBORI
Commune : KARIMAMA
Arrondissement: KARIMAMA
Village : GOROUBERI
Localité : ZONE A 1,6km de KARIMAMA

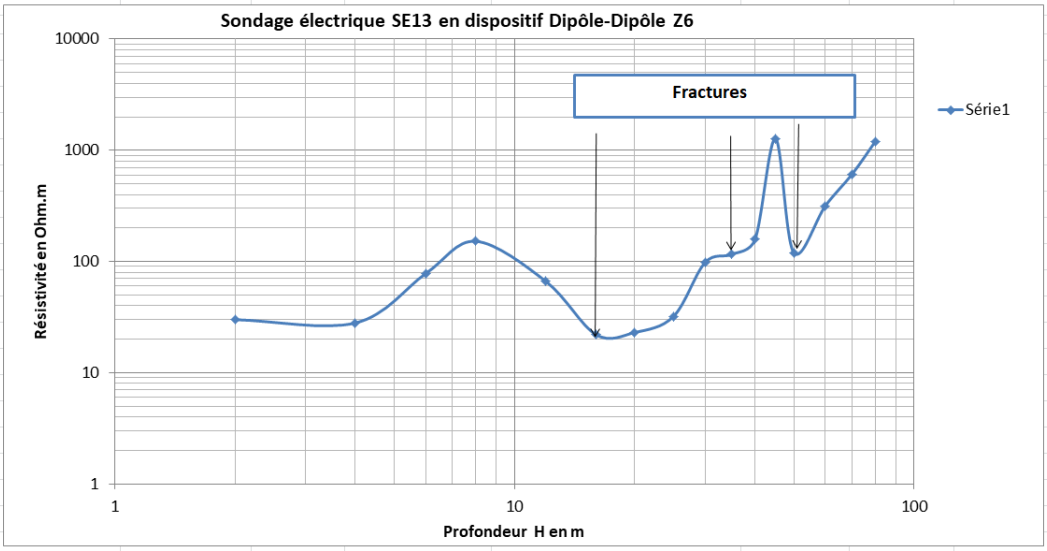
DATE: 03/07/2021
Profondeur estimée : 80m
Epaisseur altérée: 12m

Géophysicien: Cyprien D. ANATO

Coordonnées:
X= 03°10'33,6"
Y= 12°04'45,0"
Z= 171m

SE13 DD Z6

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	30
4	28
6	78
8	152
12	66
16	22
20	23
25	32
30	98
35	116
40	158
45	1266
50	120
60	317
70	611
80	1203
90	



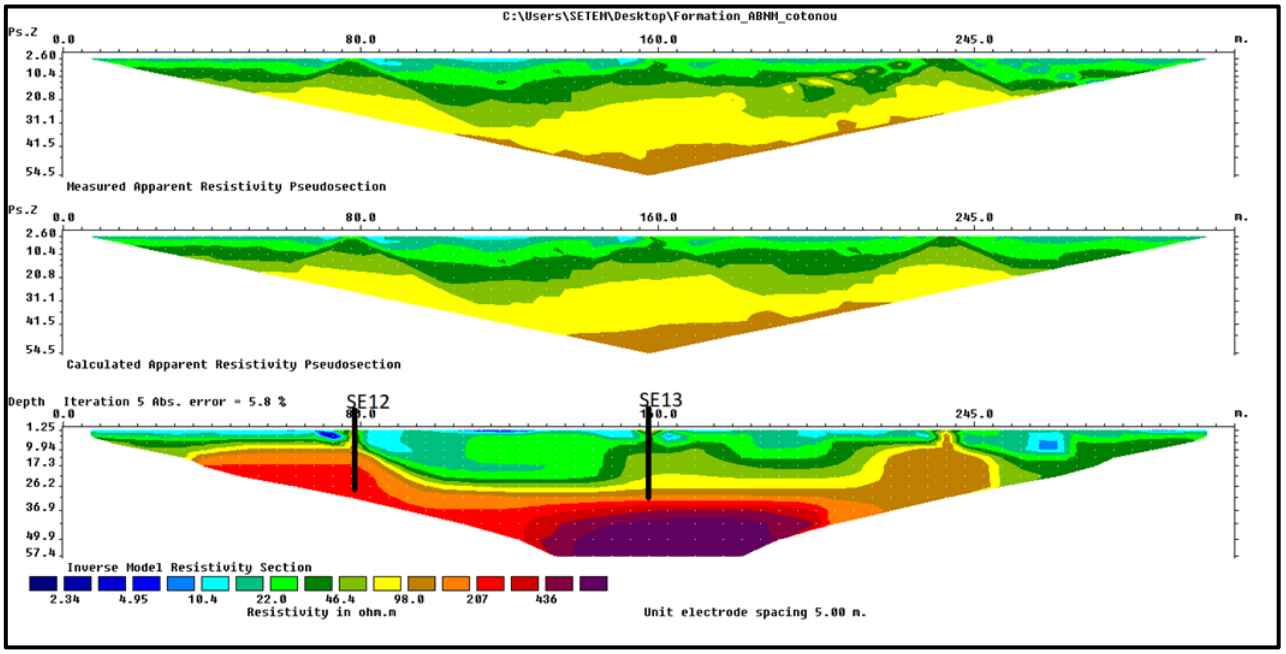
Projet: SONEB
Direction: 150°-330°
Département : B ALIBORI
Commune : KARIMAMA
Arrondissement: KARIMAMA
Village GOROUBERI
Localité ZONE A 1,6 km de KARIMAMA

DATE: 03/07/2021
Profondeur estimée : 80m
Epaisseur altérée: 4m

Géophysicien: Cyprien D. ANATO

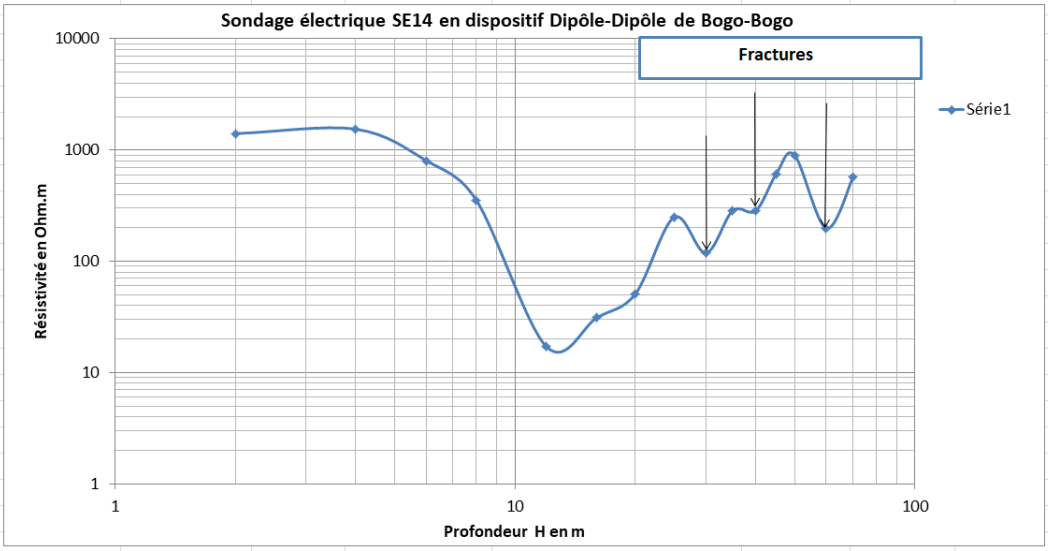
Coordonnées:
X= 03°10'32,8"
Y= 12°46'45,0"
Z= 170m

TOMOGRAPHIE SE12 _SE13



SE14 DD Z7

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	1409
4	1542
6	804
8	355
12	17
16	31
20	51
25	249
30	119
35	285
40	285
45	611
50	902
60	198
70	570
80	
90	



Projet: SONEB
Direction: 50°-230°
Département : BALIBORI
Commune : KARIMAMA
Arrondissement: KARIMAMA
Village : KARIMAMA
Localité : KARIMAMA

DATE: 04/07/2021
Profondeur estimée : 90m
Epaisseur altérée: 12m
Géophysicien: Cyprien D. ANATO

Coordonnées:
X= 03°09'13,2"
Y= 12°05'33,0"
Z= 176m

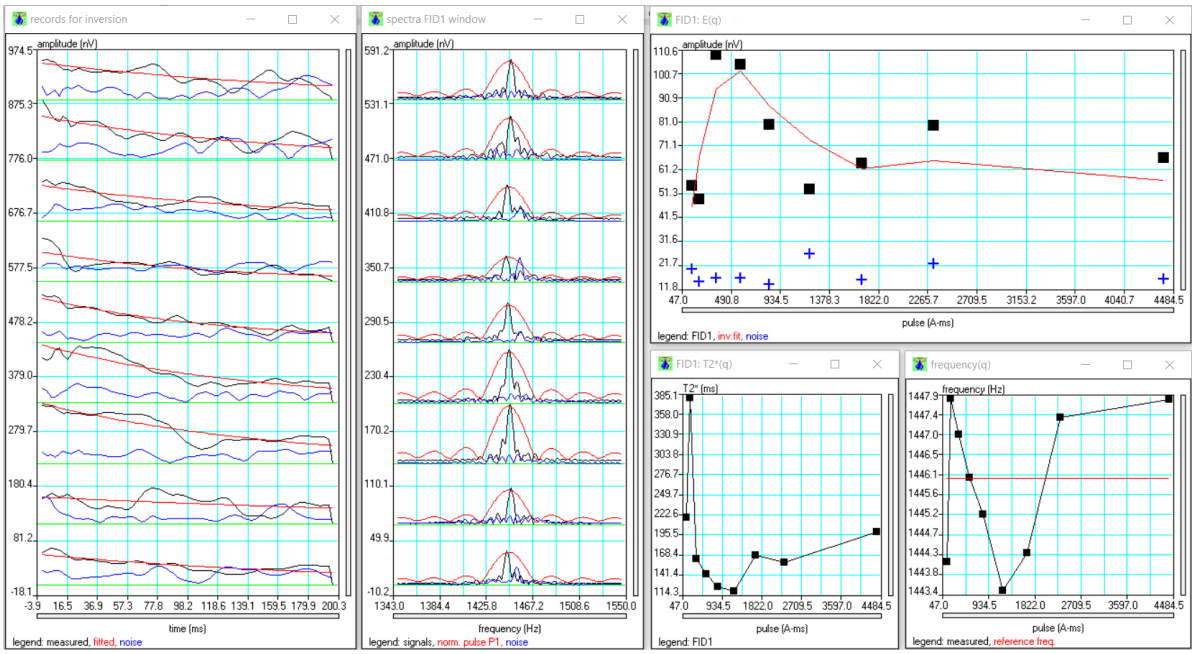


Figure : présentation graphique des données du sondage SE1/Z1-SE5/Z1

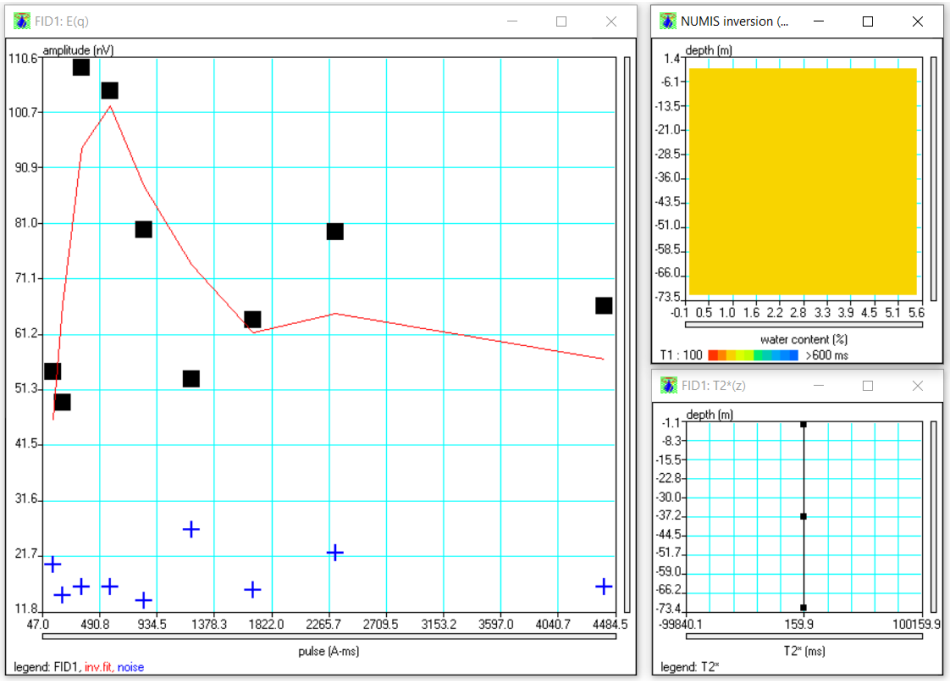


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE1/Z1-SE5/Z1

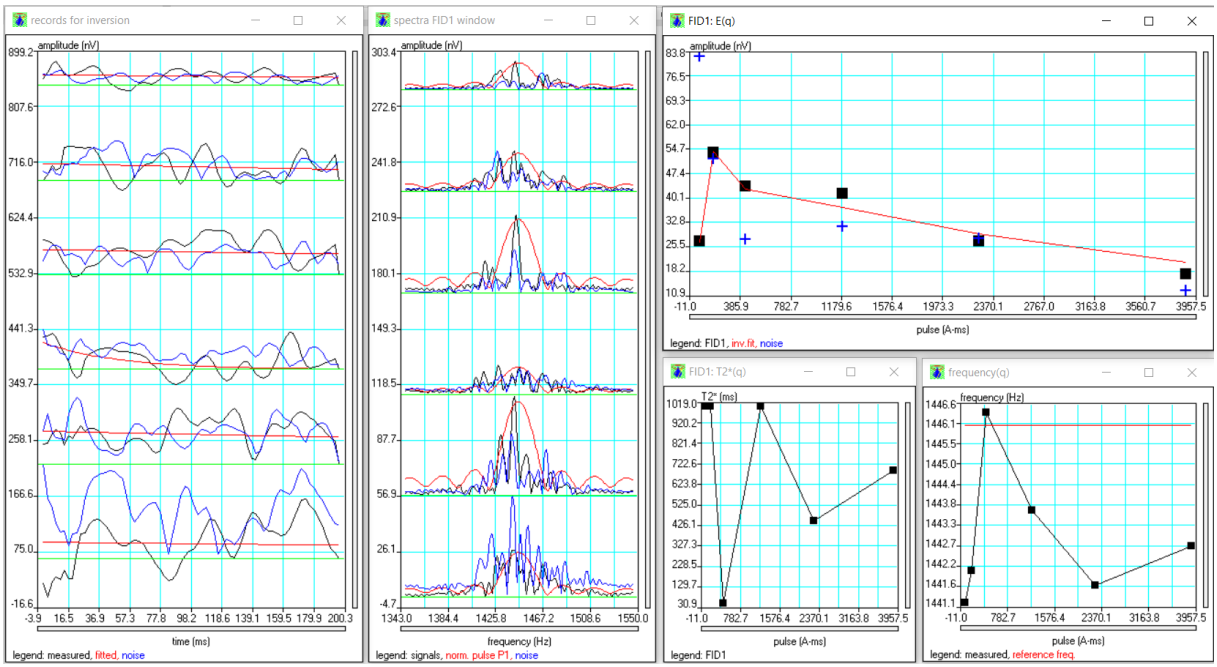


Figure : présentation graphique des données du sondage SE7/Z4

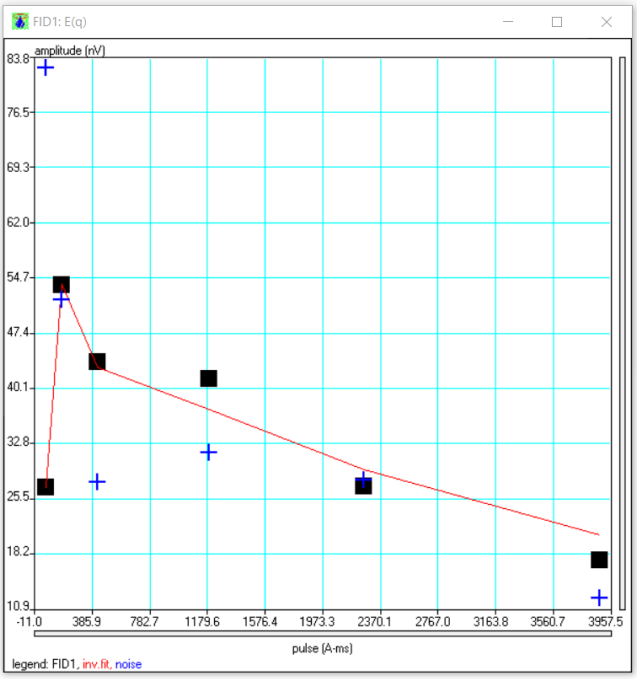


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE7/Z4

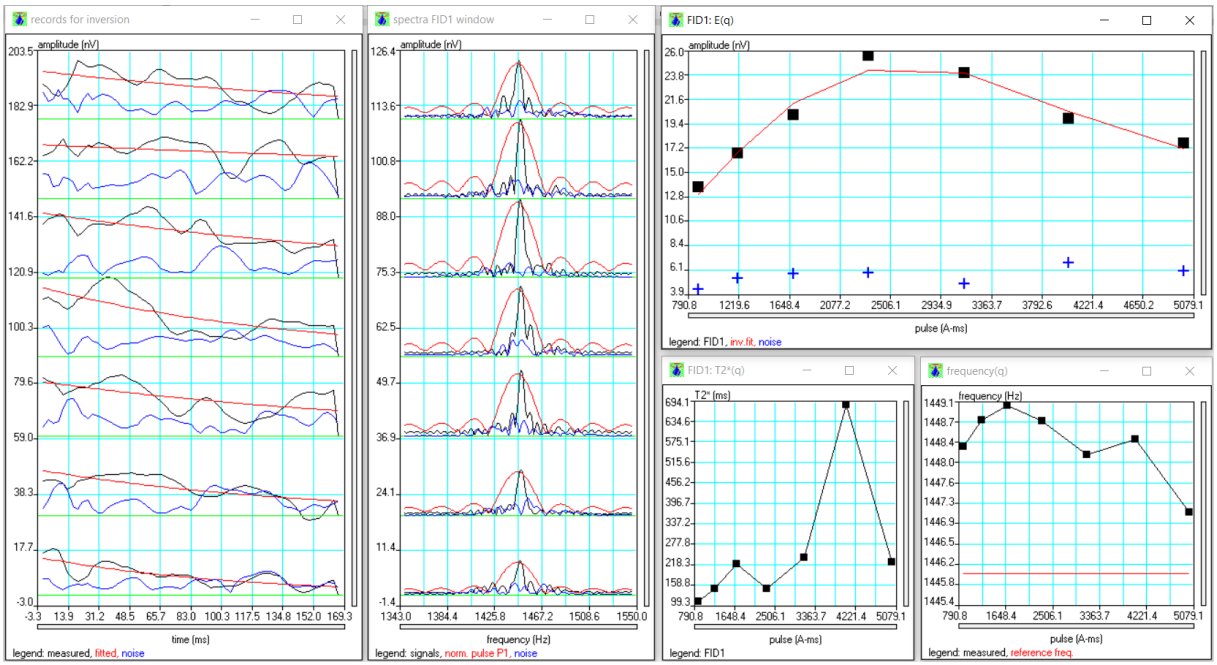


Figure : présentation graphique des données du sondage SE10/Z5

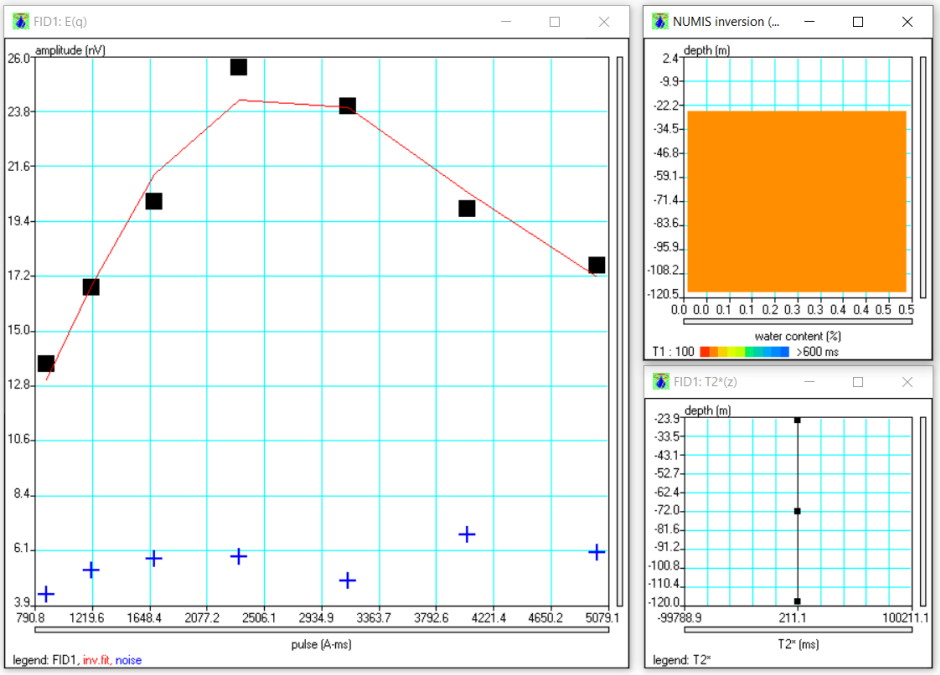


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE10/Z5

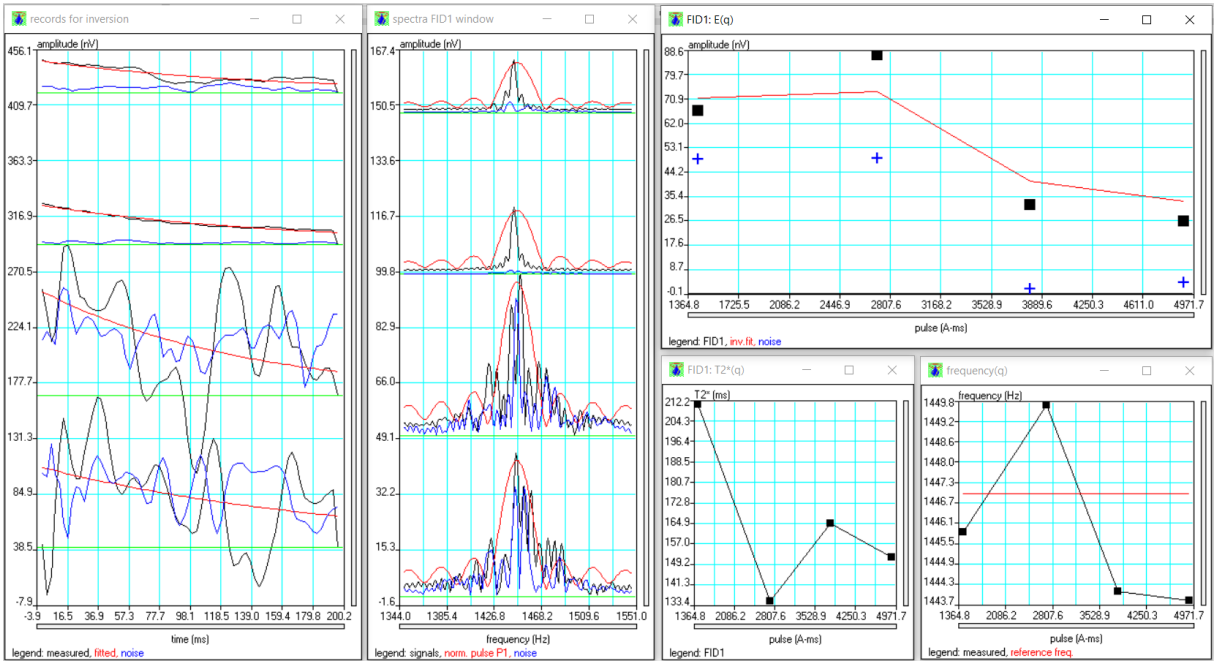


Figure : présentation graphique des données du sondage SE11/Z5

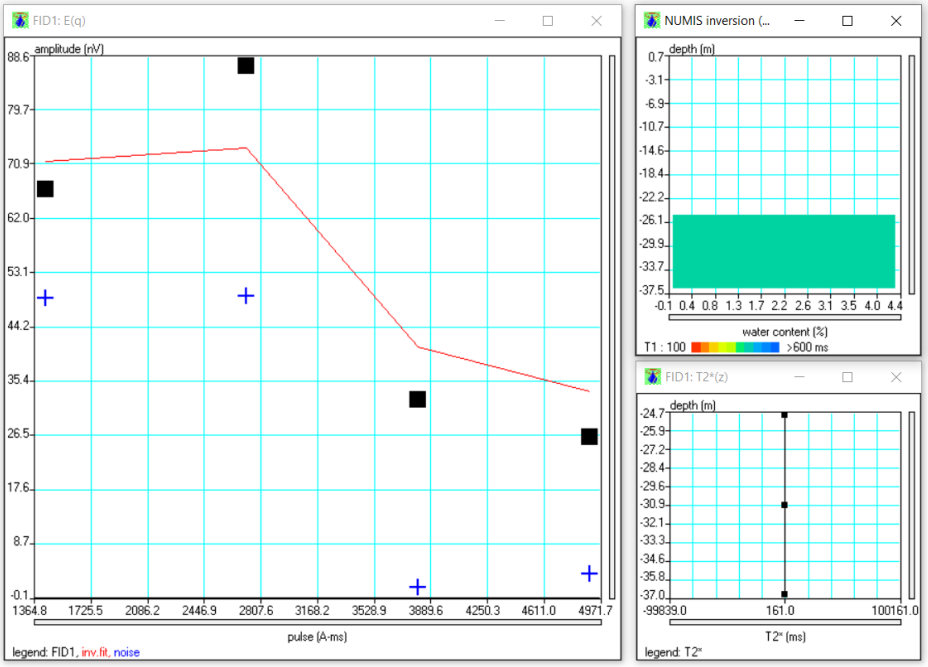


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE11/Z5

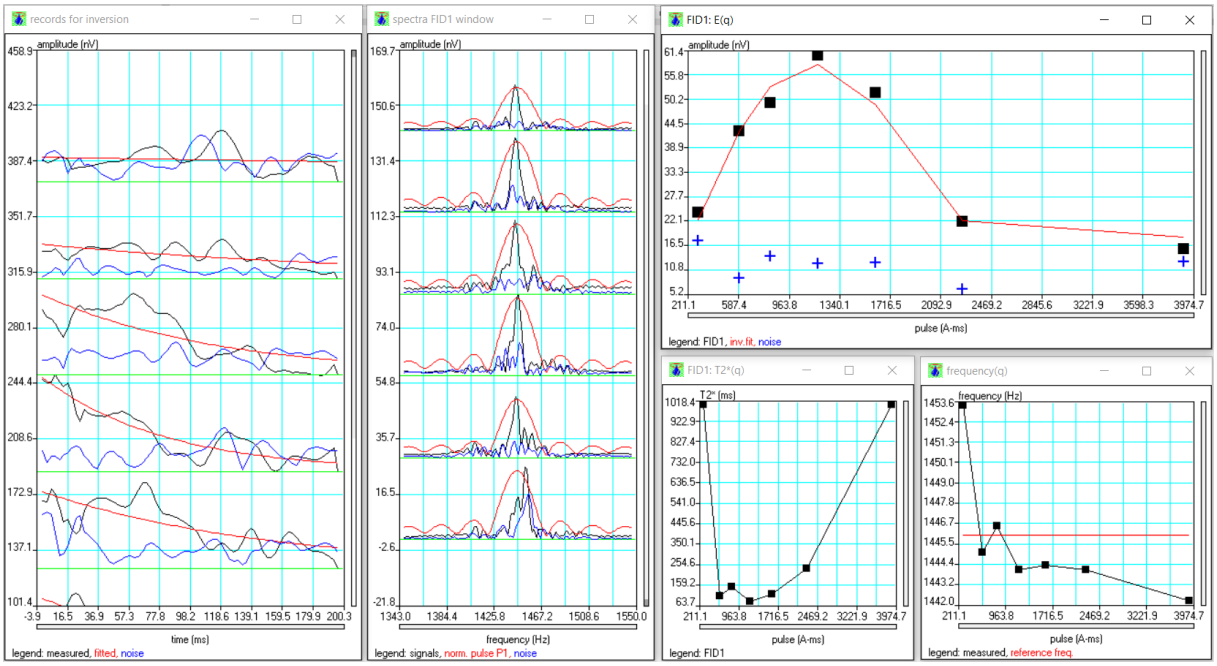


Figure : présentation graphique des données du sondage SE12/Z6-SE13/Z6

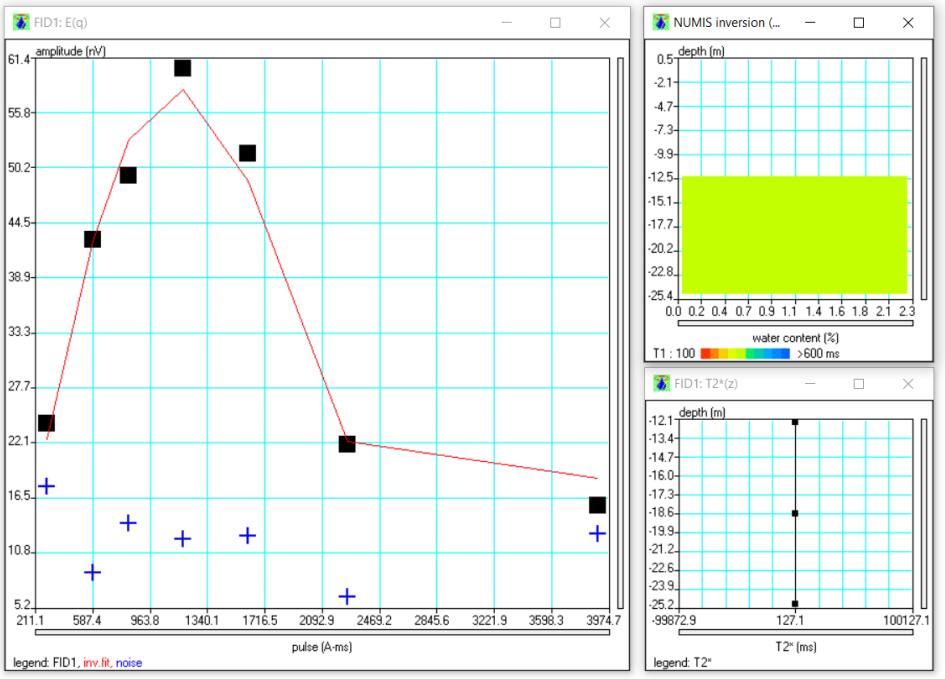


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE12/Z6-SE13/Z6

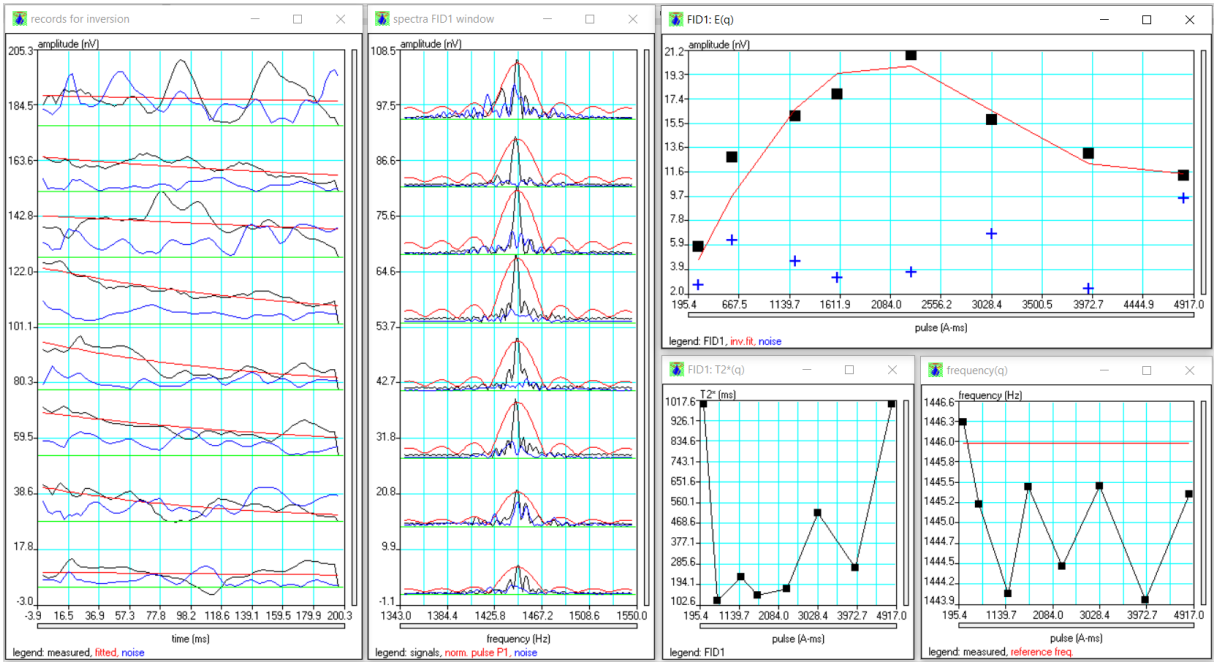


Figure : présentation graphique des données du sondage SE8/Z3-SE4/Z3

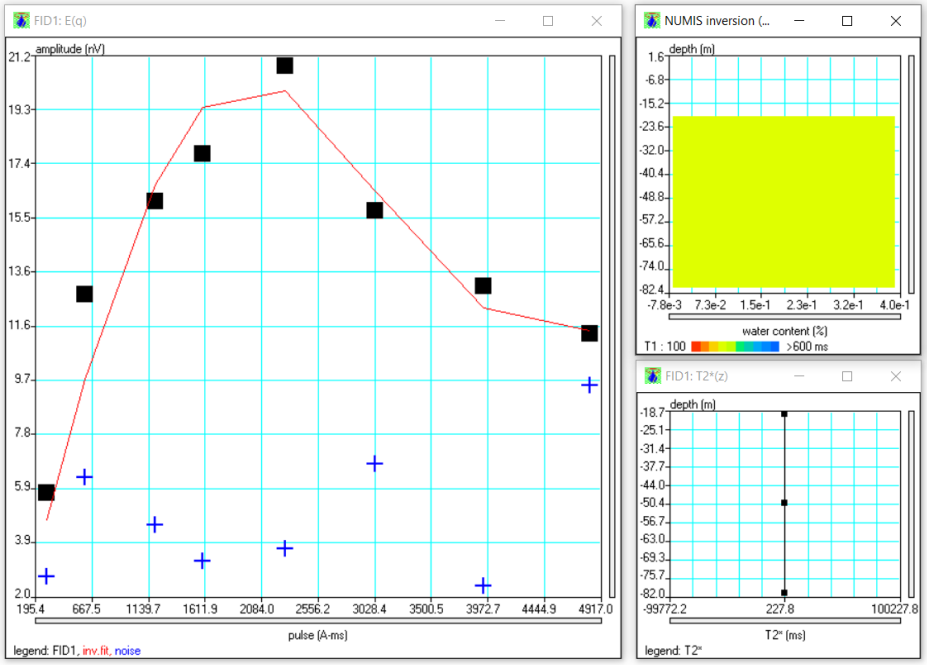


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE8/Z3-SE4/Z3

DONNEES GEOPHYSIQUES DE KALALE

6. DIAGRAMMES DE PROFILS ELECTRIQUES

7. DIAGRAMMES DE SONDAGES ELECTRIQUES SCHLUMBERGER INTERPRETES

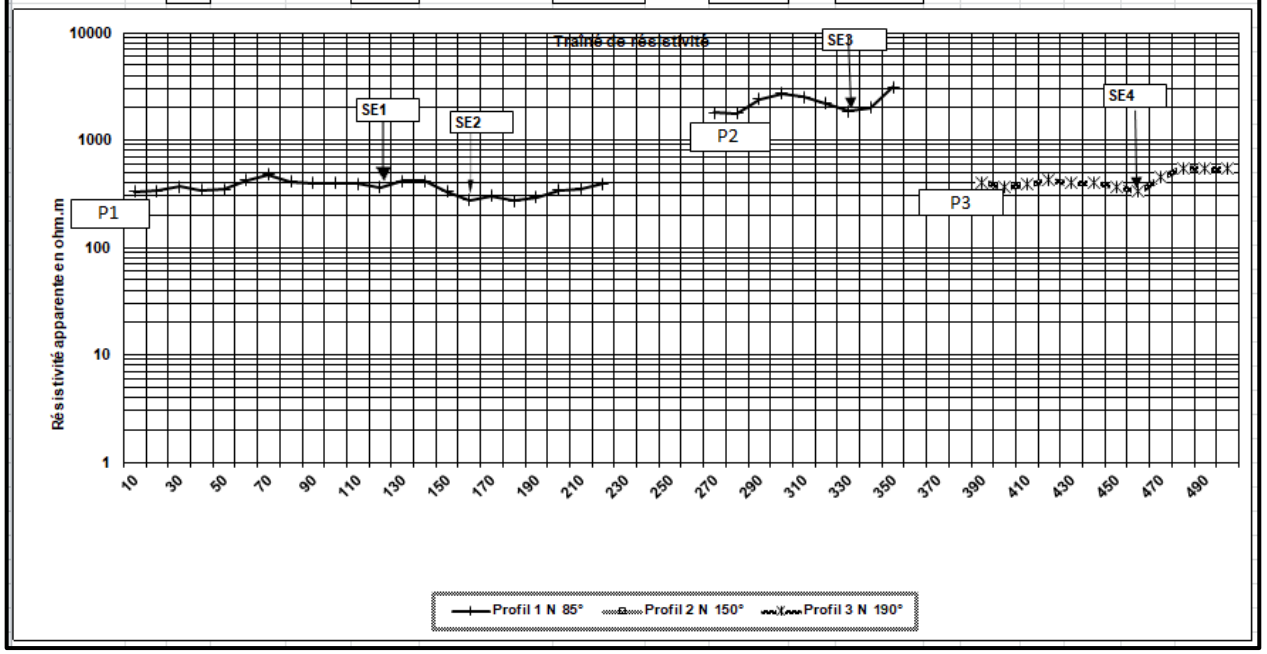
8. DIAGRAMMES DE SONDAGES TOMOGRAPHIQUES

9. DONNEES ET RESULTATS DE SONDAGES RMP

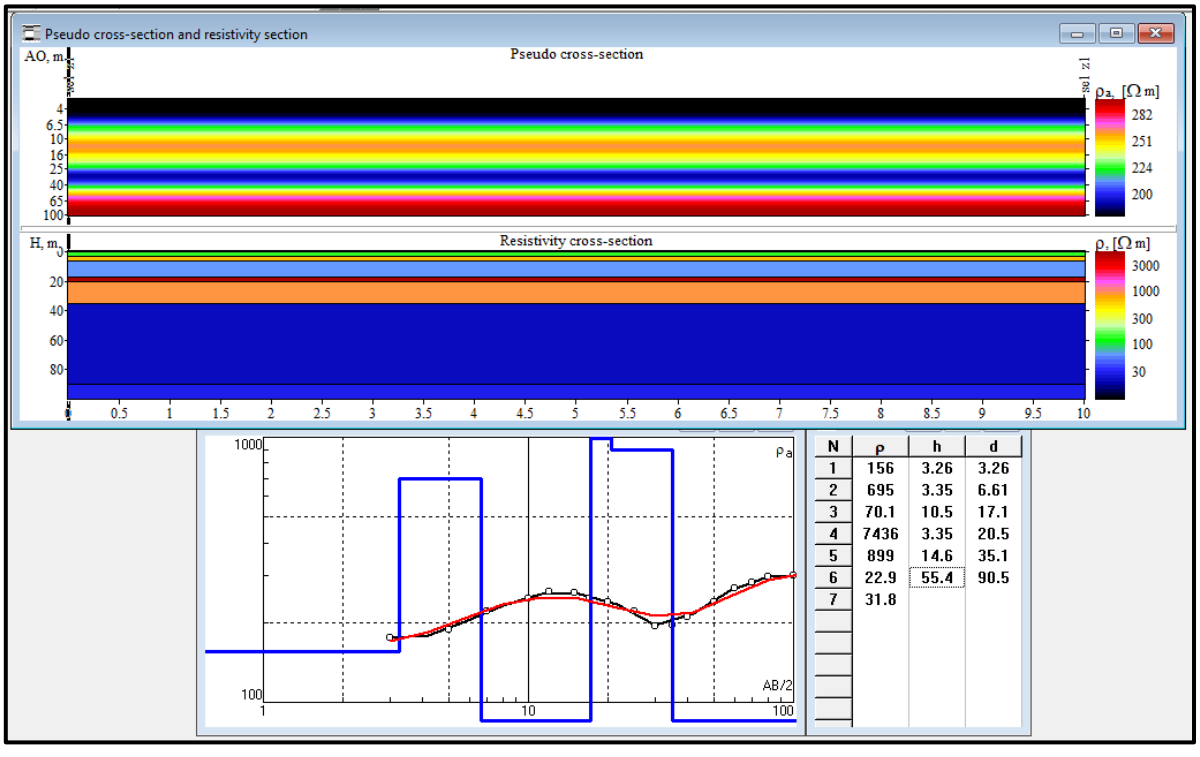
10.

P1, P2 et P3

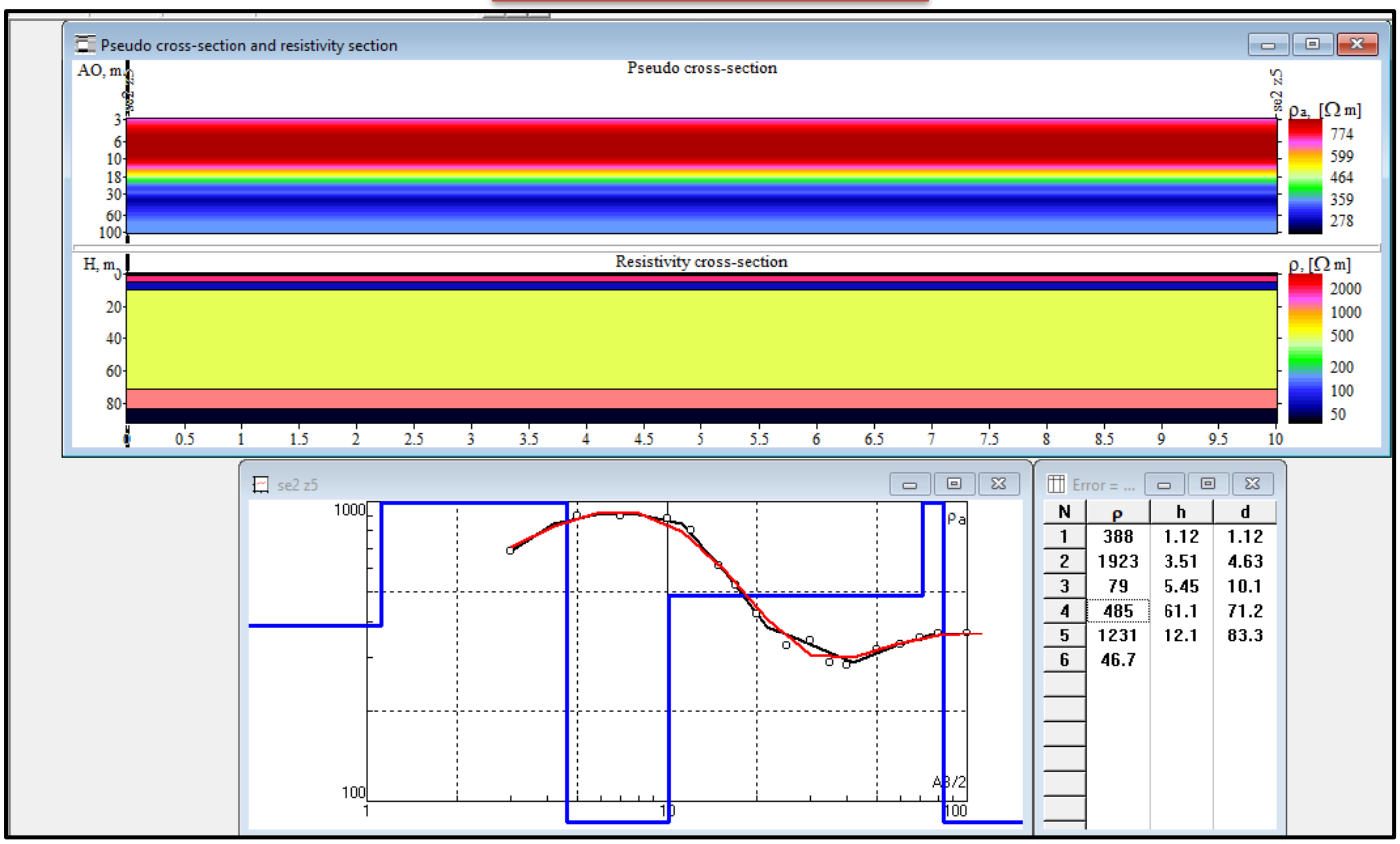
Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN		
Département	BORGOU		Coordonnées et date						
Commune	KALALE		X	3	°	28	'	02.4	"
Arr/ Village	BESSASSI		Y	10	°	23	'	18.8	"
Localité	BESSASSI		Date	12	/	07	/	2021	
AB =	200 mètres		Géophysicien	ANATO Cyprien					
MN =	20 mètres	P1 N° 85°	P2 N° 150°	P3 N° 190°	K =	1 555			



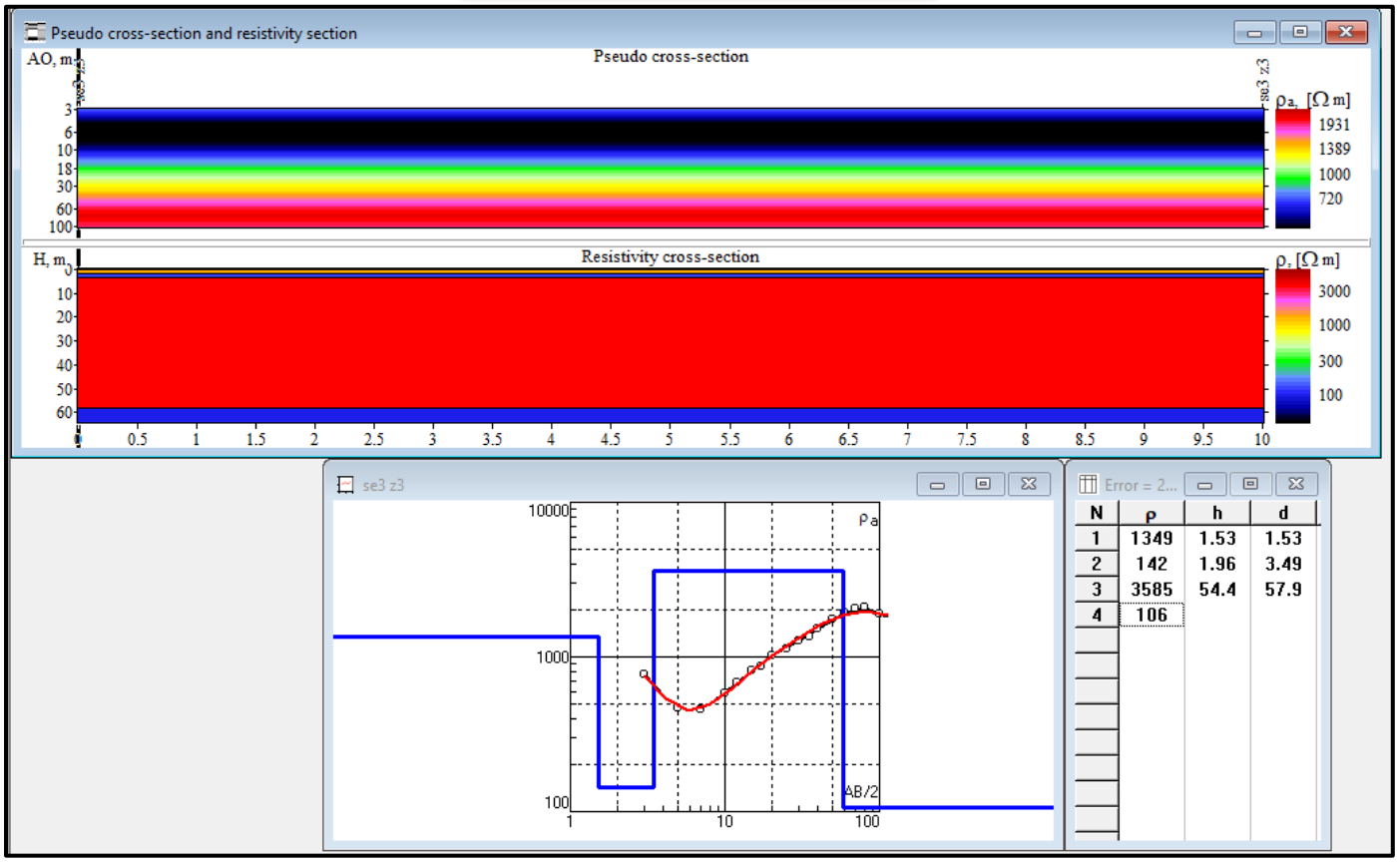
SE1 Z5 (**03°28'07,4''/ 10°23'19,6'')**



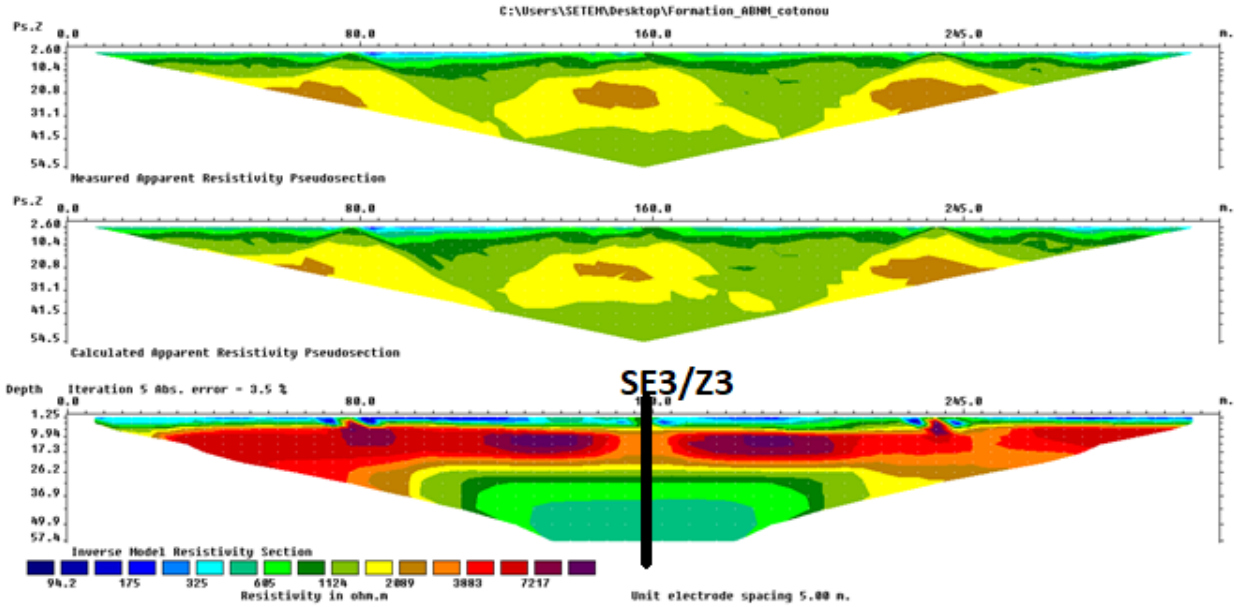
SE2 Z5 (**03°28’06,0’’10°23’19,5’’**)



SE3 Z3 (**03°24’21,6’’10°19’55,1’’**)

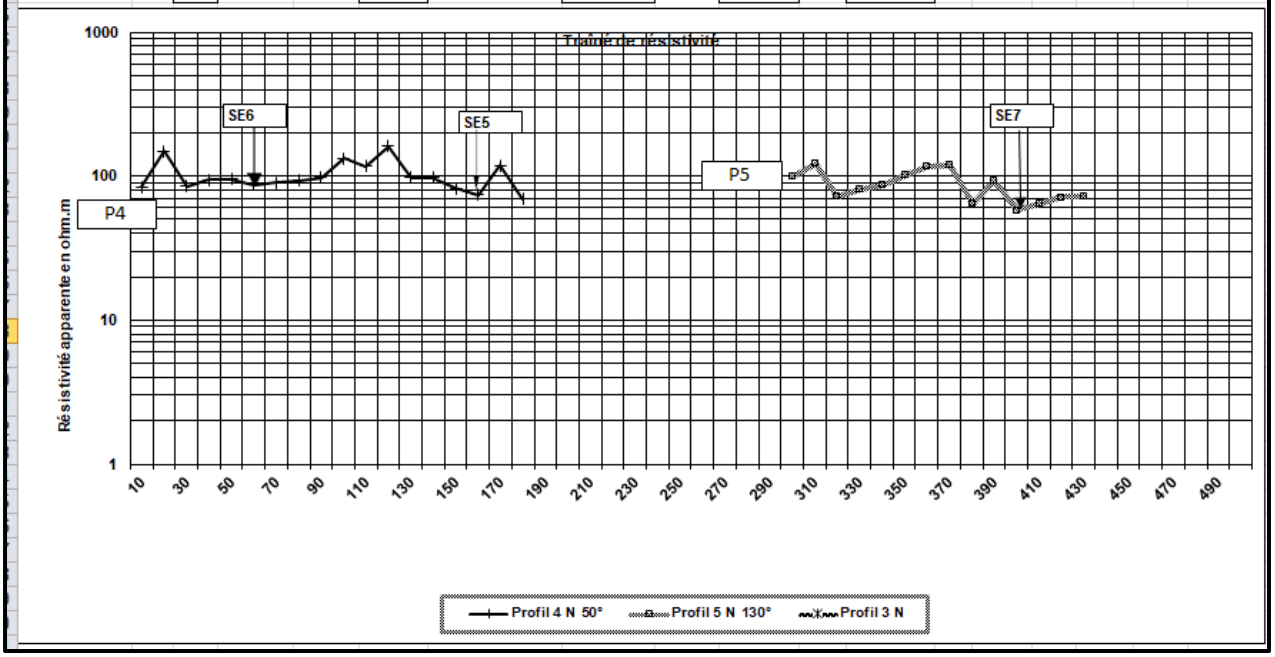


TOMOGRAPHIE SE3/ Z3

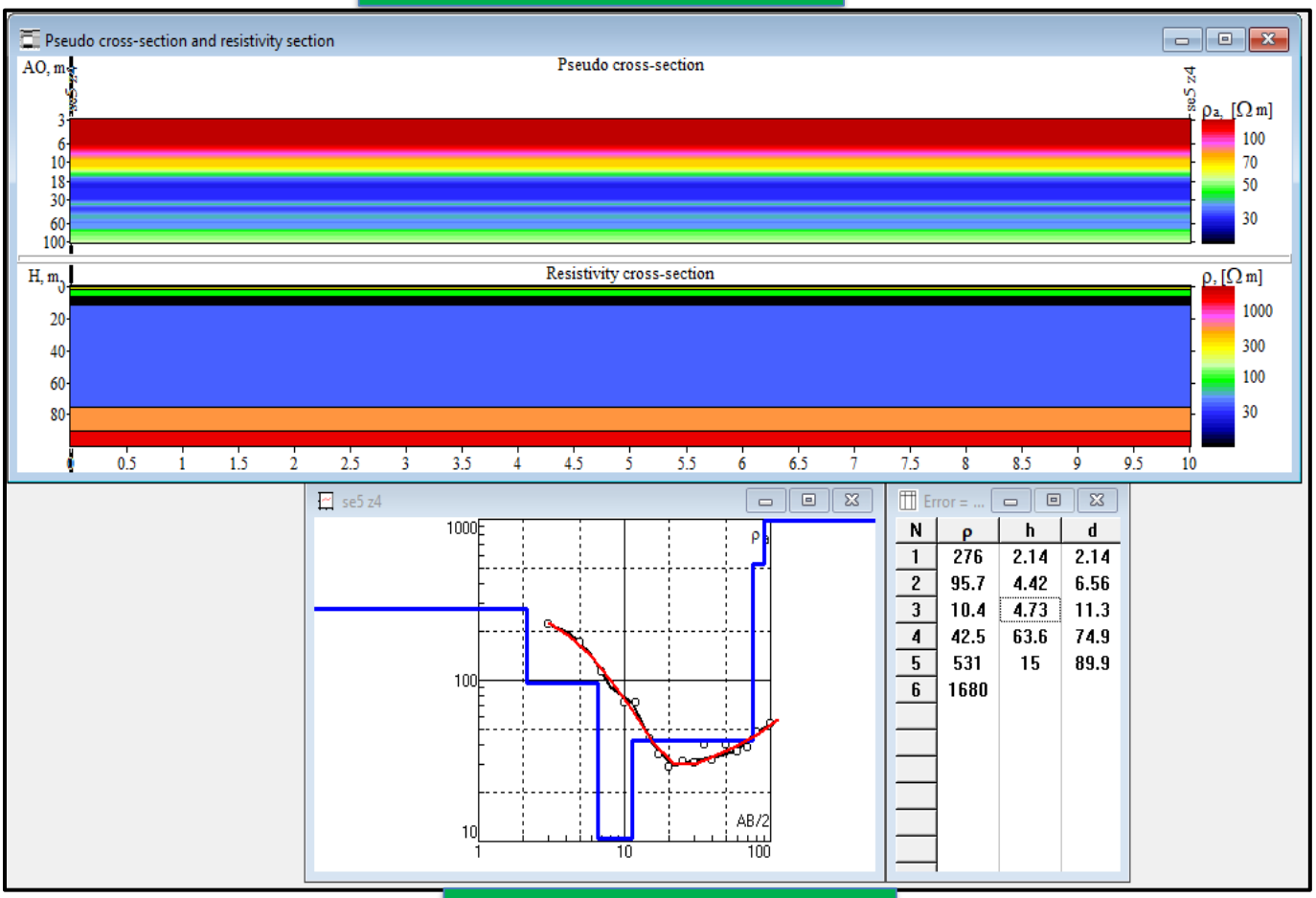


P4, P5

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN	
Département	BORGOU			Coordonnées et date				
Commune	KALALE		X	3	°	20	'	18.0 "
Arr/ Village	KALALE		Y	10	°	17	'	59.0 "
Localité	KIDAROUKPEROU		Date	13	/	07	/	2021
AB =	200 mètres		Géophysicien			ANATO Cyprien		
MN =	20 mètres	P1 N° 50°	P2 N°	130°	P3 N°	0	K =	1 555

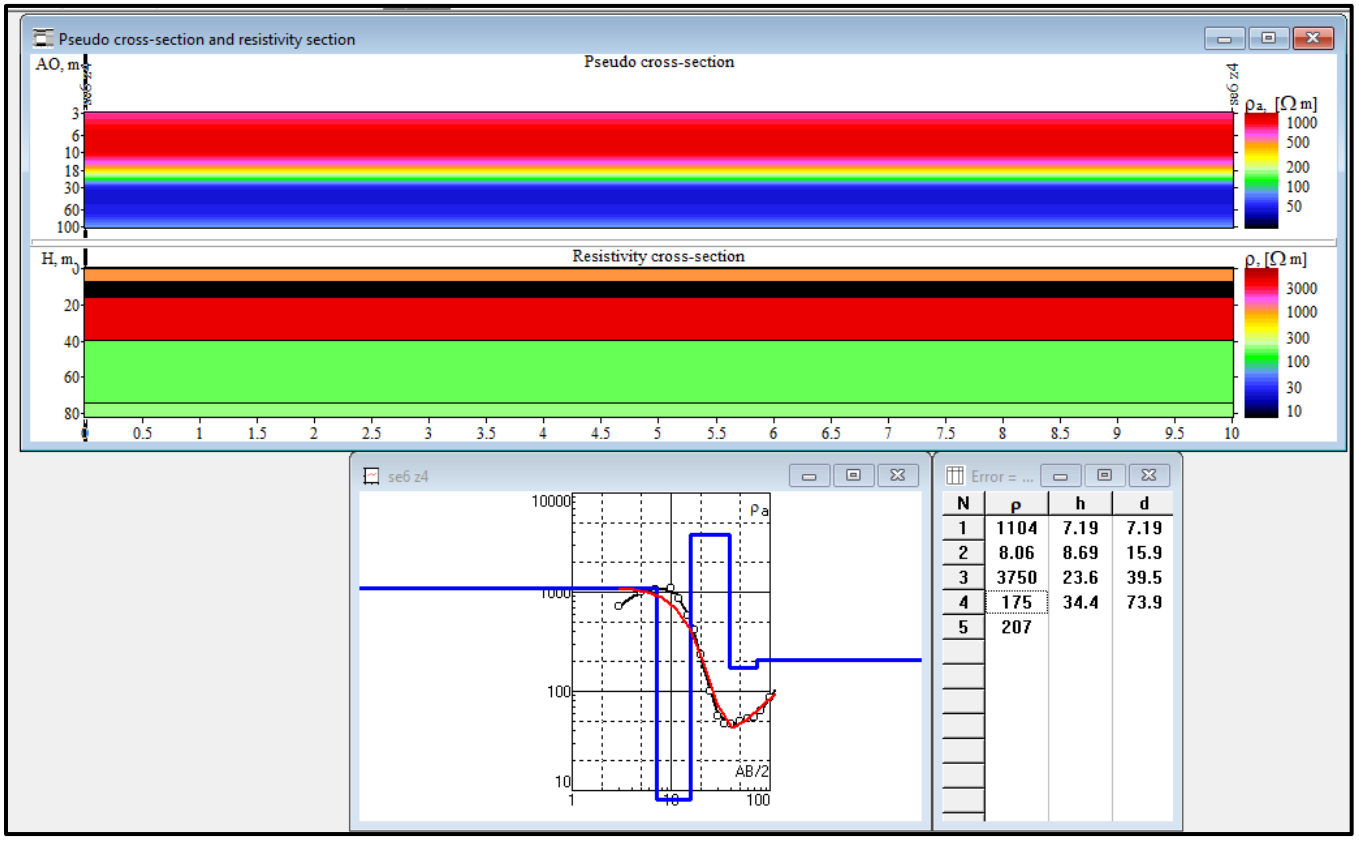


SE5 Z4 (03°20’21,8’’/ 10°18’02,2’’)



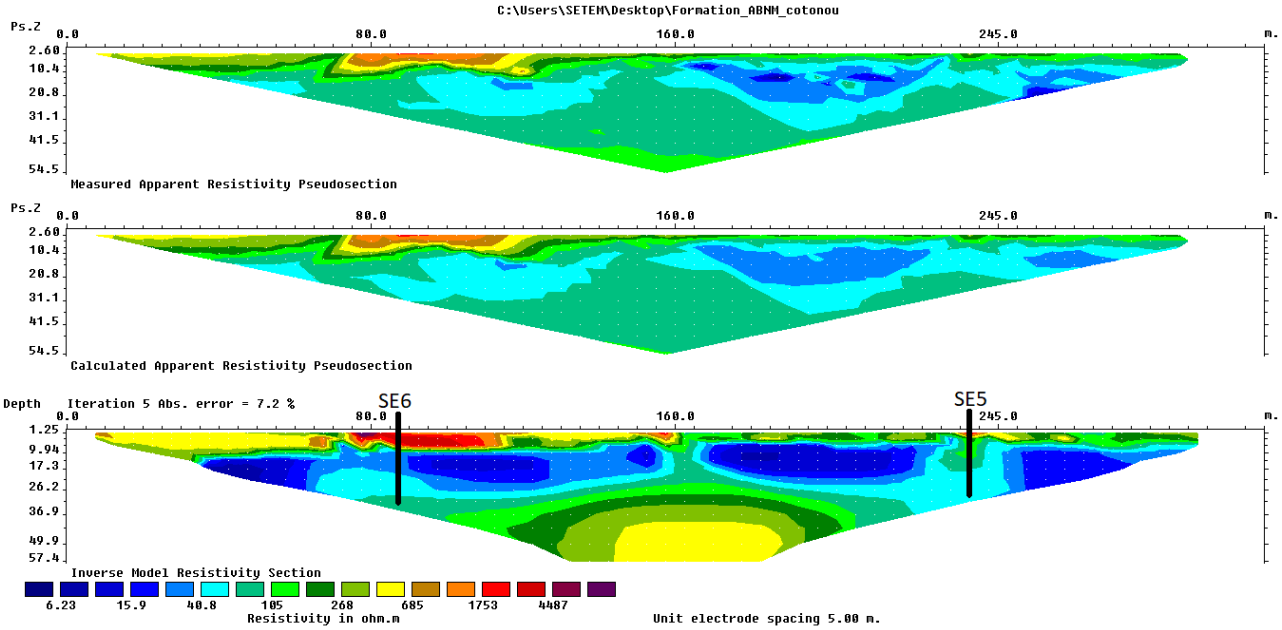
N	ρ	h	d
1	276	2.14	2.14
2	95.7	4.42	6.56
3	10.4	4.73	11.3
4	42.5	63.6	74.9
5	531	15	89.9
6	1680		

SE6 Z4 (03°20’19,2’’/10°18’00,0’’)

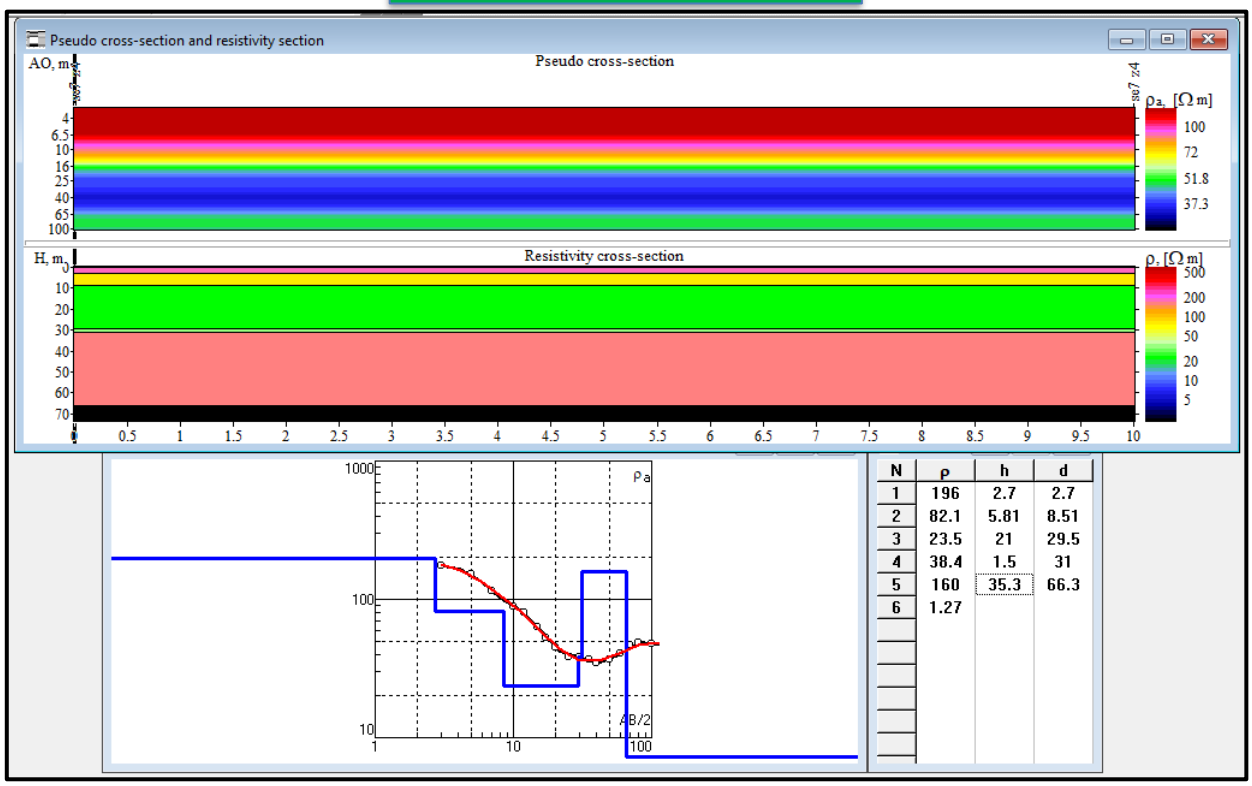


N	ρ	h	d
1	1104	7.19	7.19
2	8.06	8.69	15.9
3	3750	23.6	39.5
4	175	34.4	73.9
5	207		

TOMOGRAPHIE (SE5, SE6) / Z4



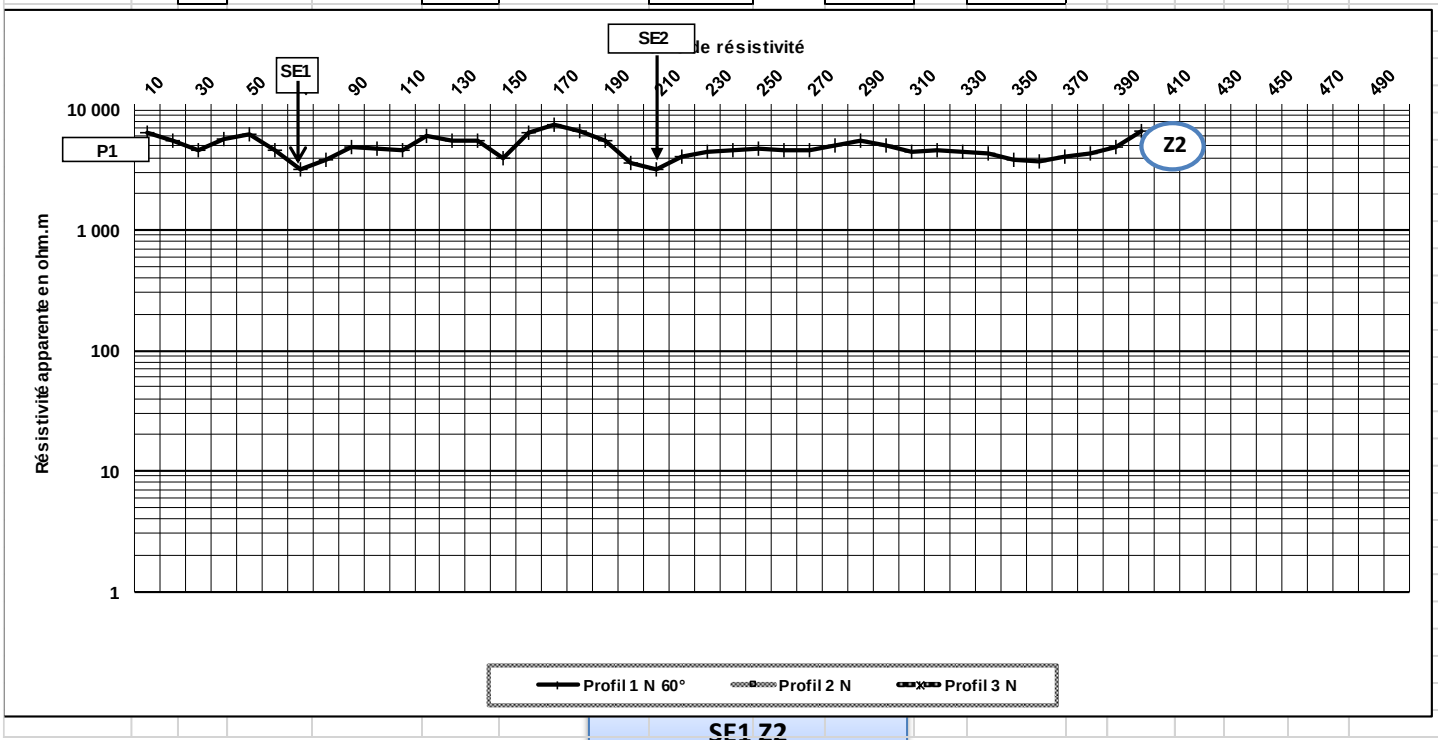
SE7 Z4 (03°17'25,5'' / 10°18'14,7'')



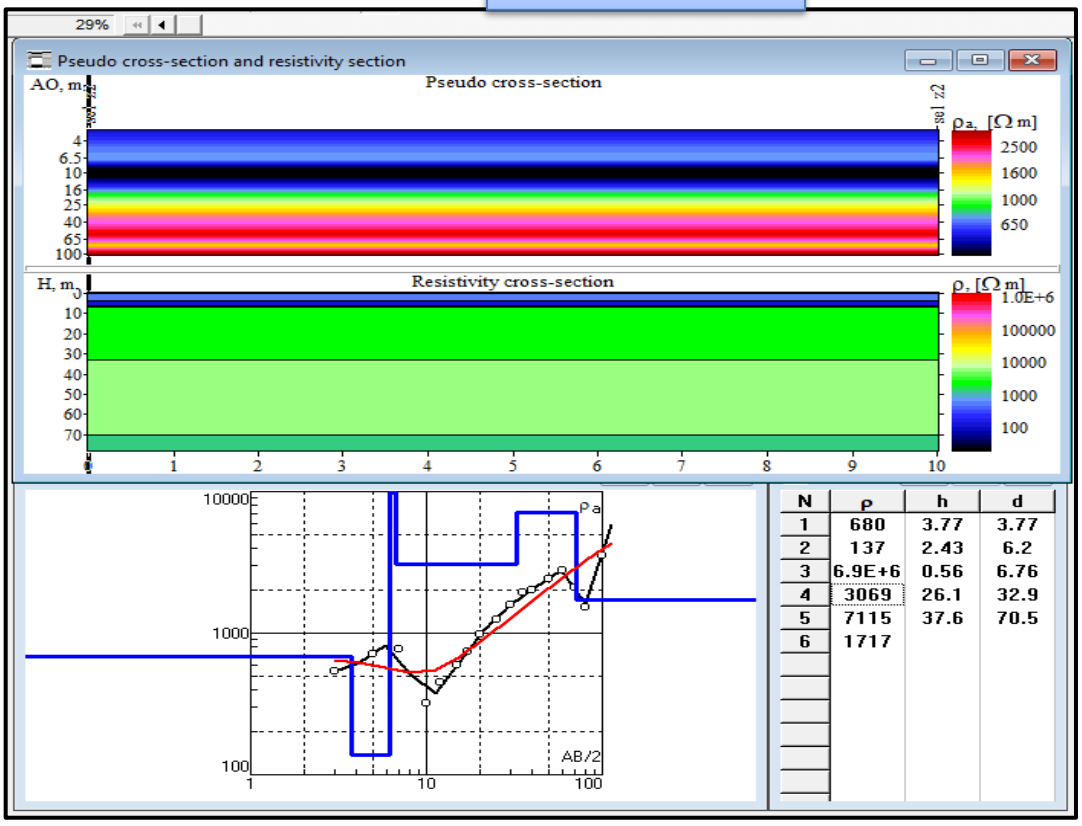
N	ρ	h	d
1	196	2.7	2.7
2	82.1	5.81	8.51
3	23.5	21	29.5
4	38.4	1.5	31
5	160	35.3	66.3
6	1.27		

P1 Z2

Projet:	SONEB					**Bureau d'études:**	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	BORGOU			**Coordonnées et date**						
Commune	KALALE		**X**	3	°	27	'	40,5	"	
Arr/ Village	KAKALE CENTRE		**Y**	10	°	19	'	30,1	"	
Localité	LOU		**Date**	11-	/	7	/	2021		
AB =	200 mètres		**Géophysicien**			Eric SOUNNOUVOU				
MN =	20 mètres	**P1 N°** 60°	**P2 N°** 0		**P3 N°** 0		**K =** 1 555			

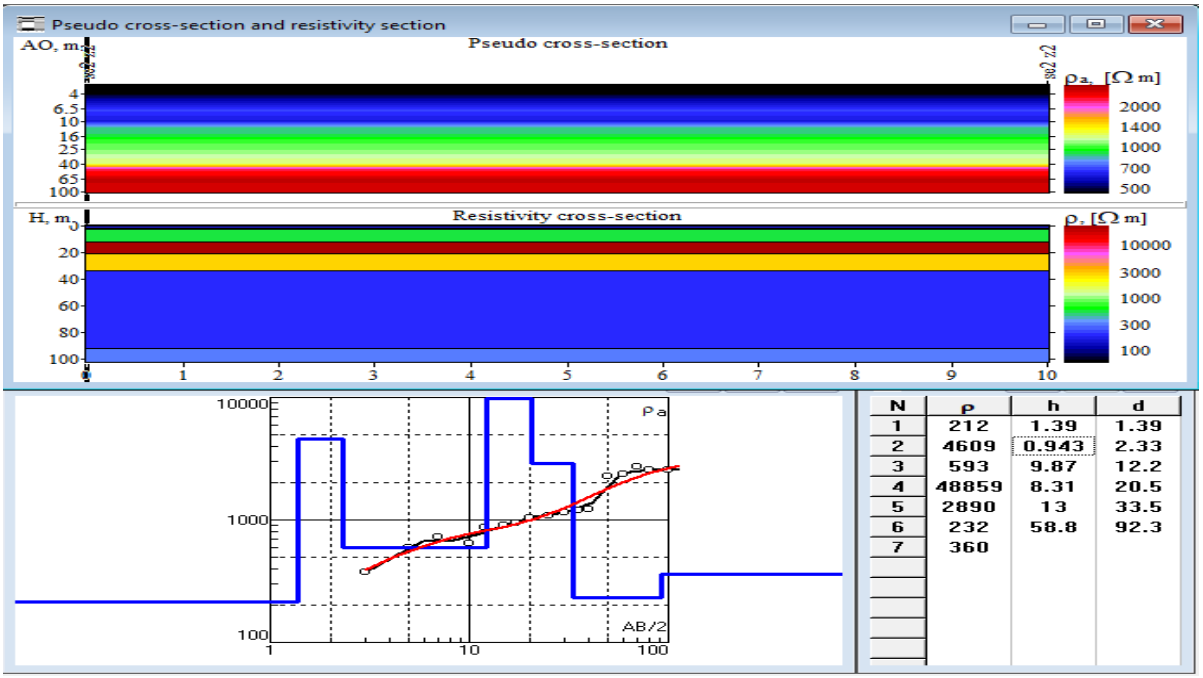


SE1 Z2



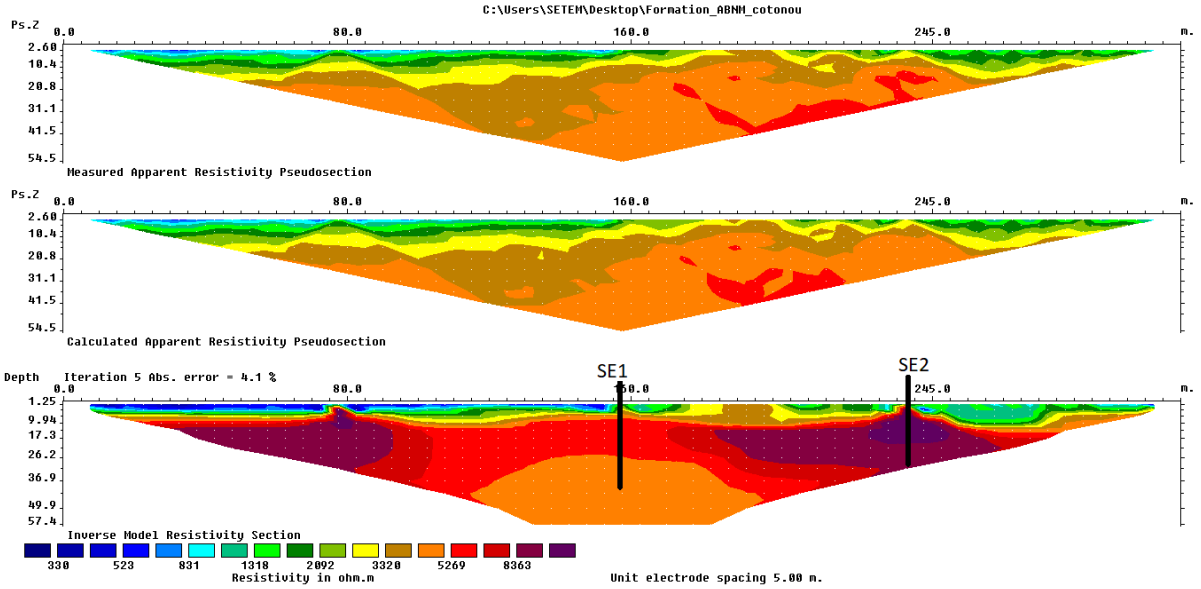
N	ρ	h	d
1	680	3.77	3.77
2	137	2.43	6.2
3	6.9E+6	0.56	6.76
4	3069	26.1	32.9
5	7115	37.6	70.5
6	1717		

SE2 Z2



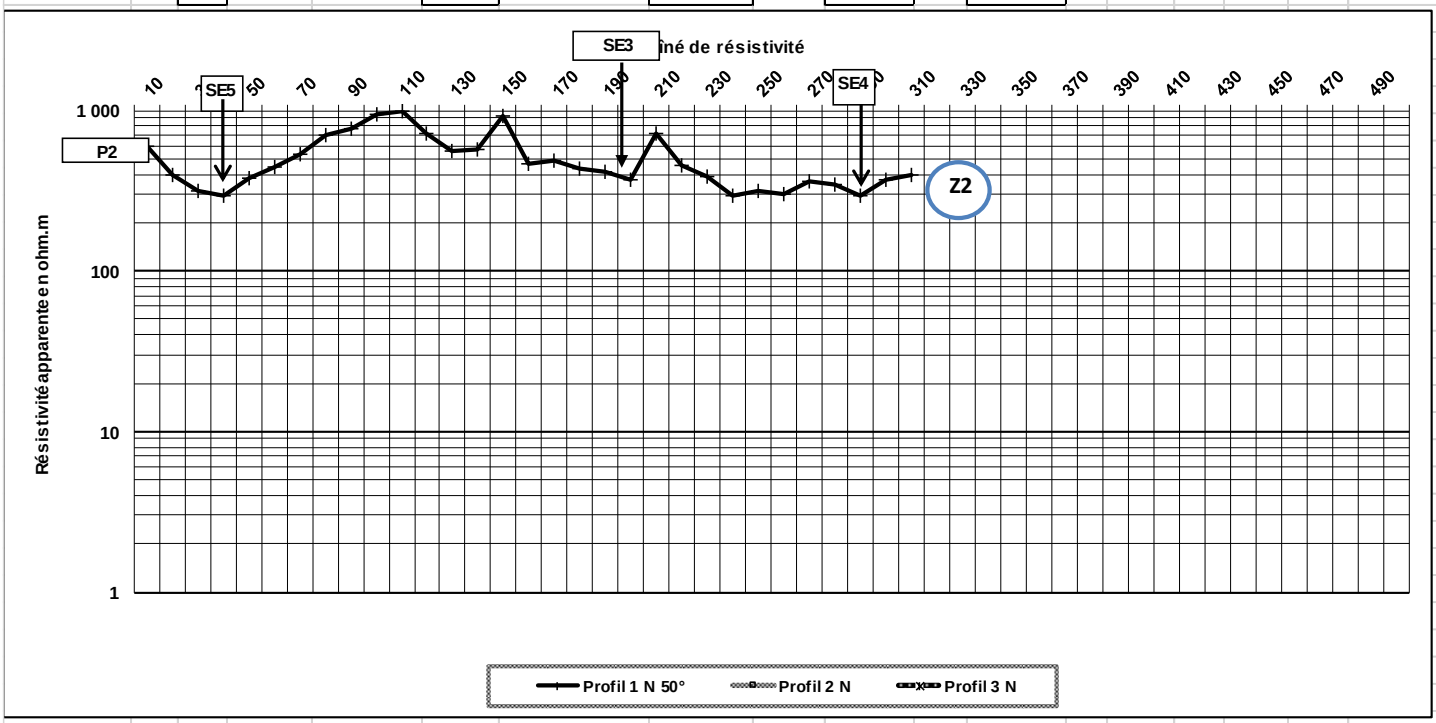
N	ρ	h	d
1	212	1.39	1.39
2	4609	0.943	2.33
3	593	9.87	12.2
4	48859	8.31	20.5
5	2890	13	33.5
6	232	58.8	92.3
7	360		

TOMOGRAPHIE (SE1, SE2) / Z2

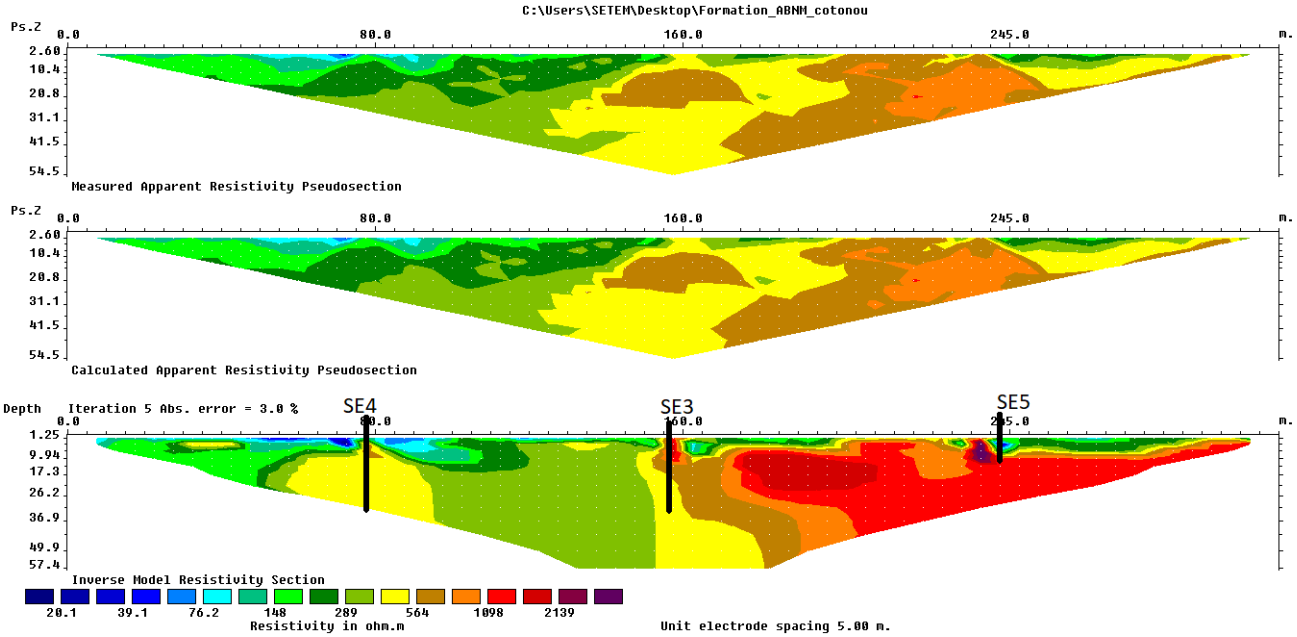


P2/ Z2

Projet:	SONEB					**Bureau d'études:**	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	BORGOU		**Coordonnées et date**							
Commune	KALALE		**X**	3	°	27	'	40,5	"	
Arr/ Village	KAKALE CENTRE		**Y**	10	°	19	'	30,1	"	
Localité	LOU		**Date**	10-	/	7	/	2021		
AB =	200 mètres		**Géophysicien**			Eric SOUNNOUVOU				
MN =	20 mètres	**P1 N°** 50°	**P2 N°**	0	**P3 N°**	0	**K =**	1 555		



TOMOGRAPHIE SE4 ; SE5 ; SE6/ Z2



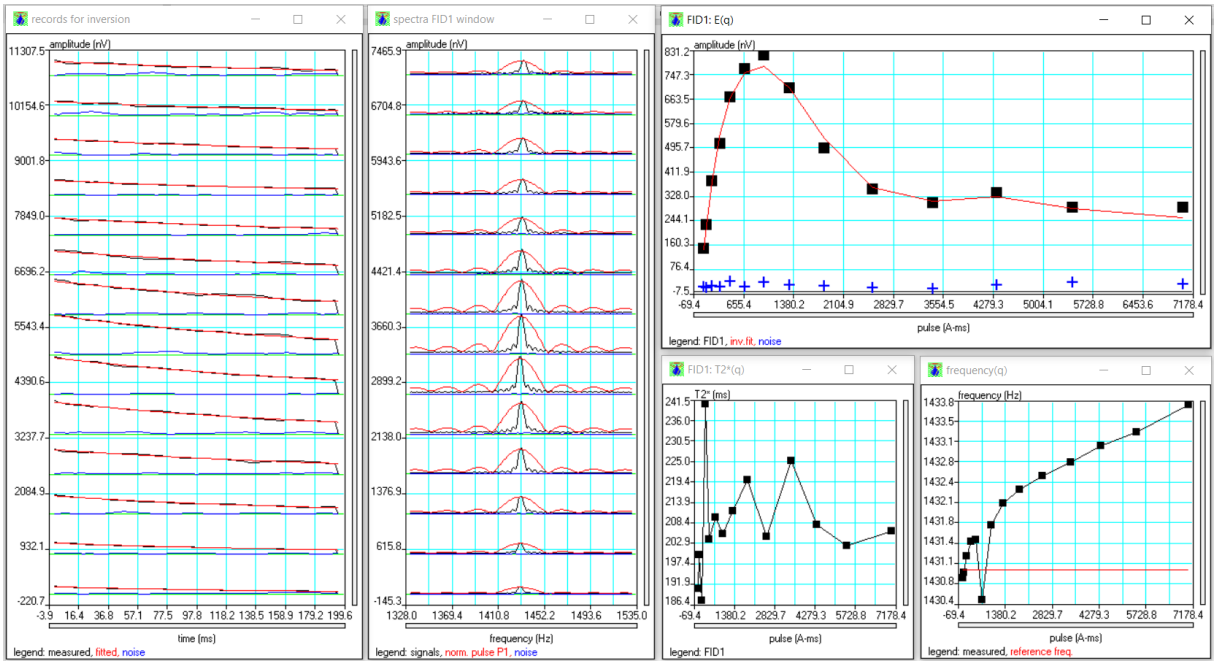


Figure : présentation graphique des données du sondage SE3/Z3

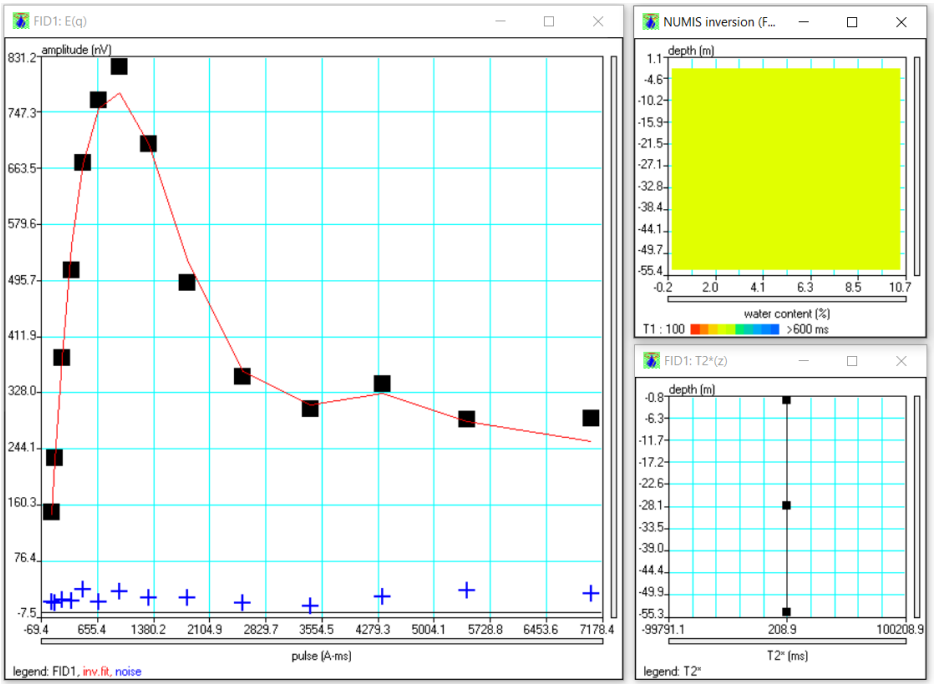


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE3/Z3

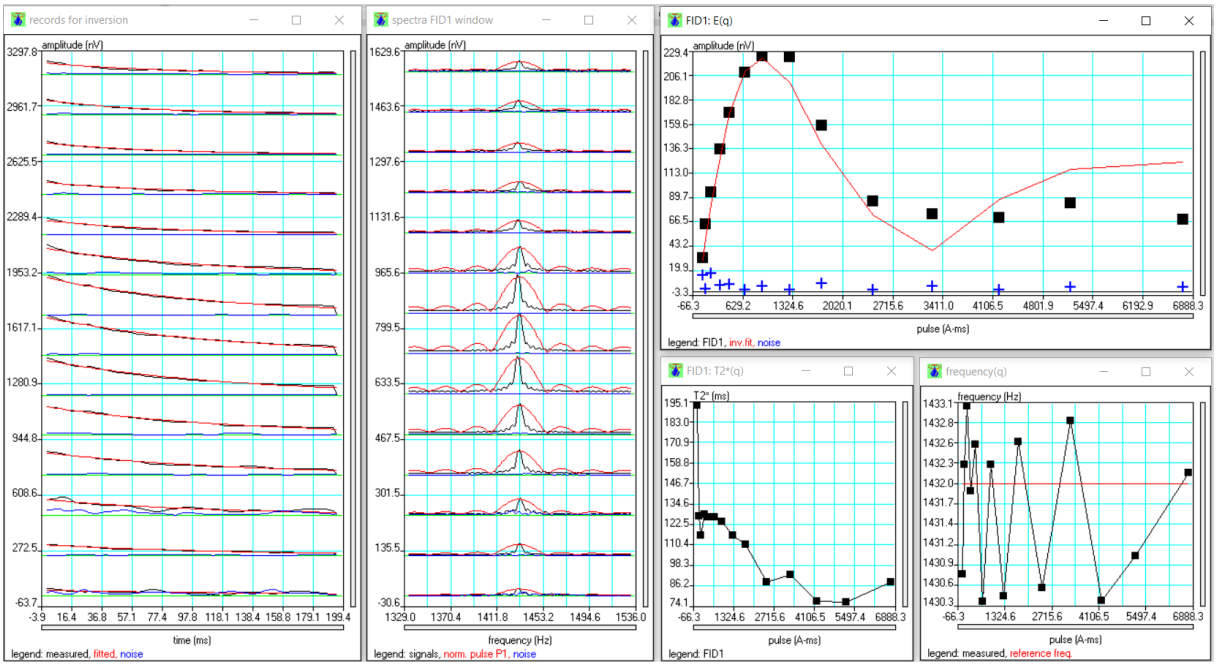


Figure: présentation graphique des données du sondage SE3/Z2

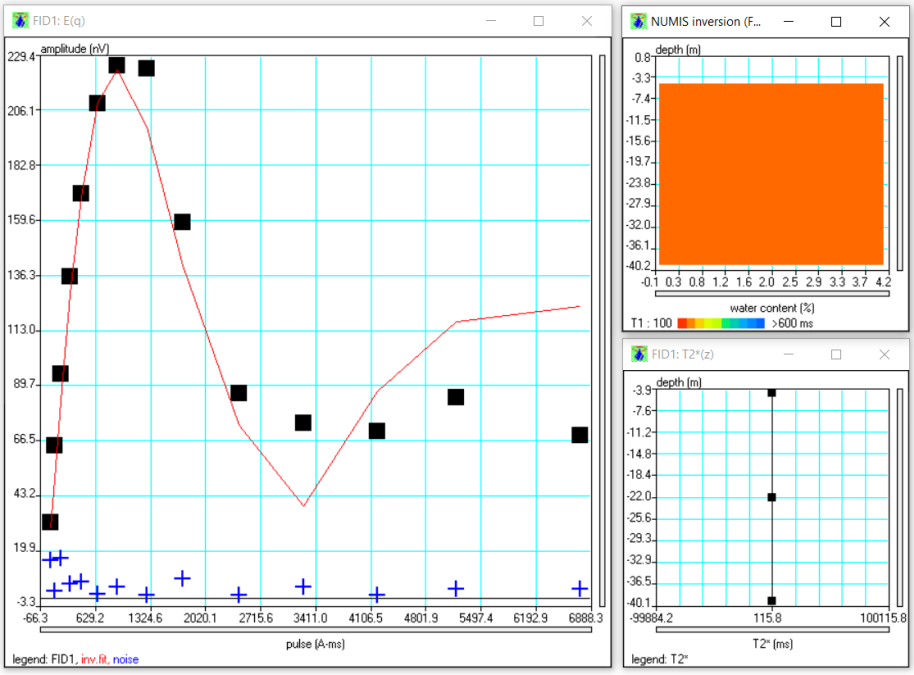


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE3/Z2

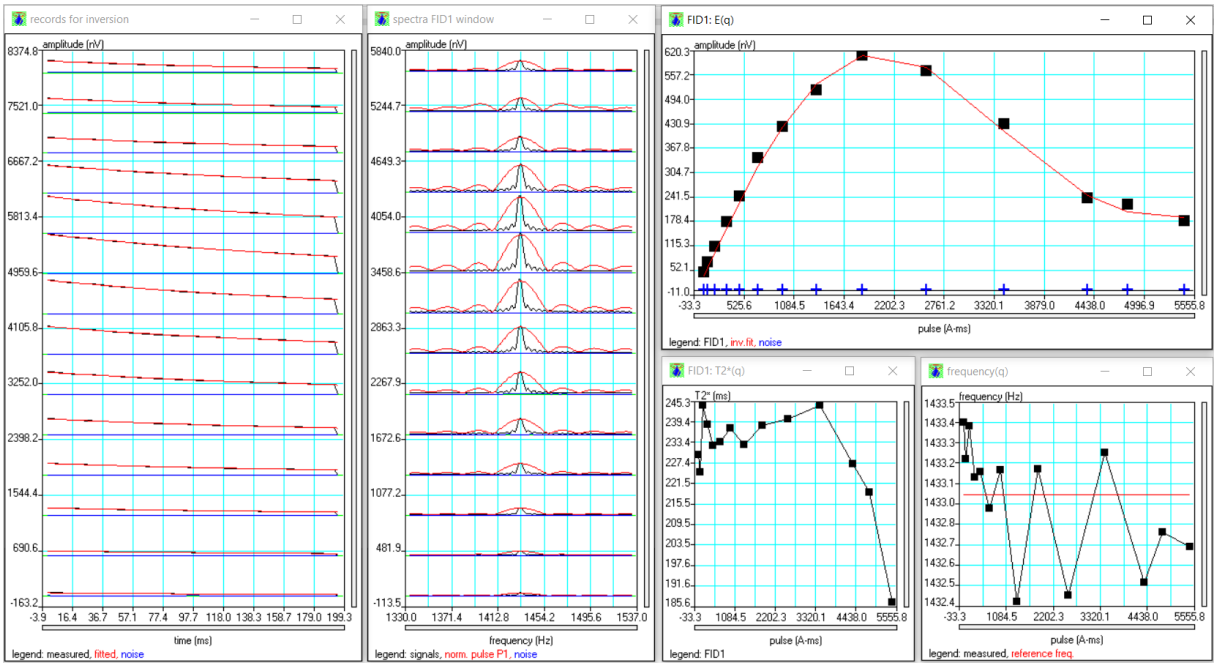


Figure: présentation graphique des données du sondage SE1/Z2

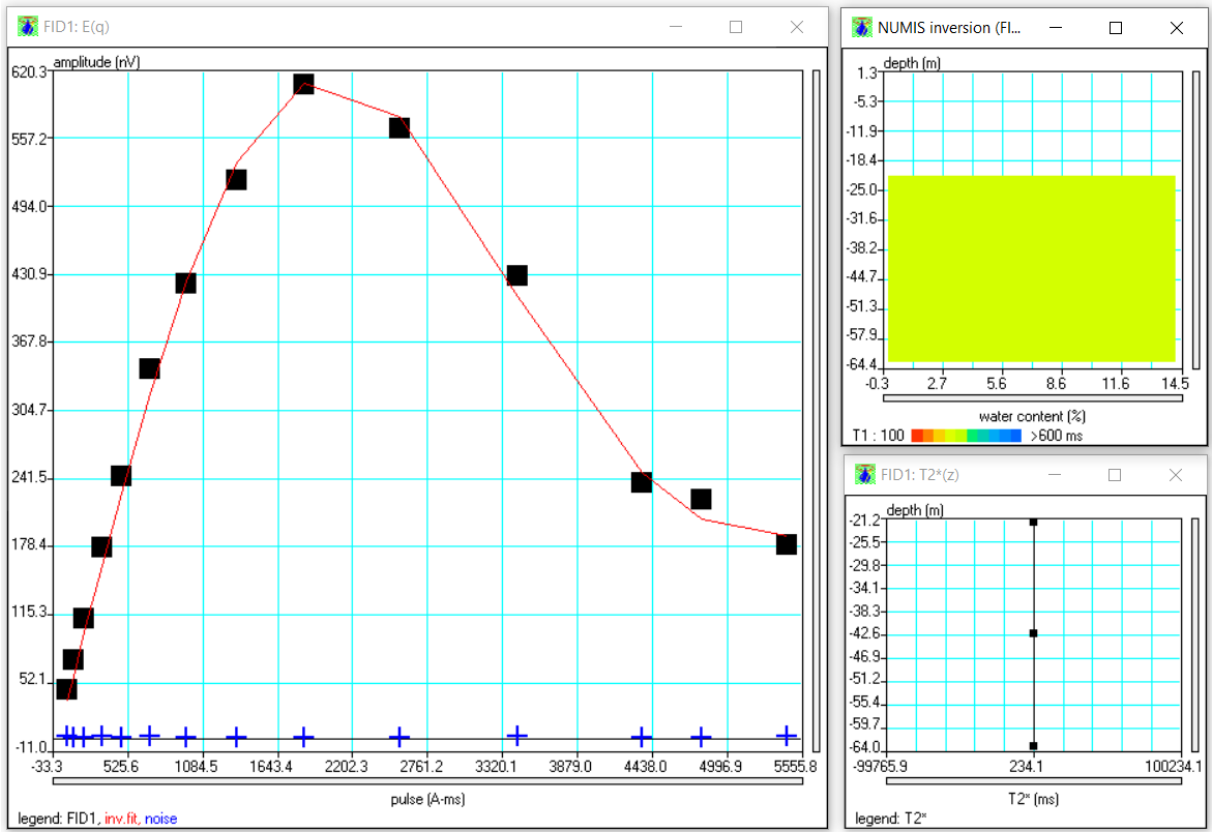


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE1/Z2

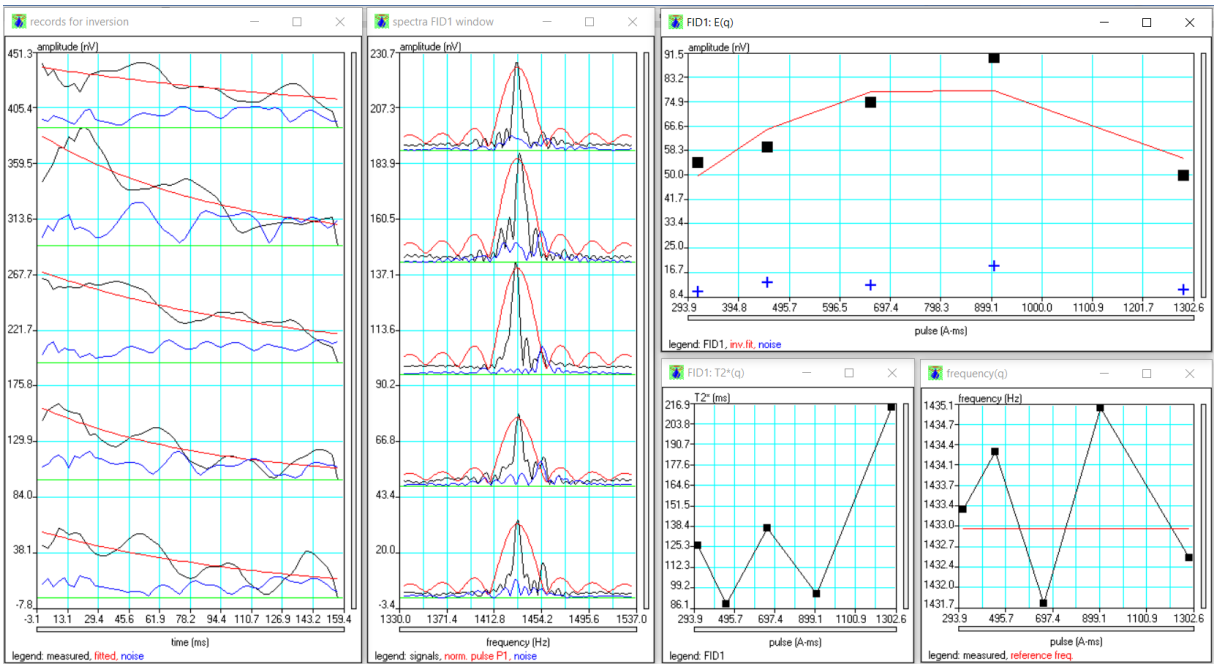


Figure: présentation graphique des données du sondage SE1/Z5-SE2/Z5

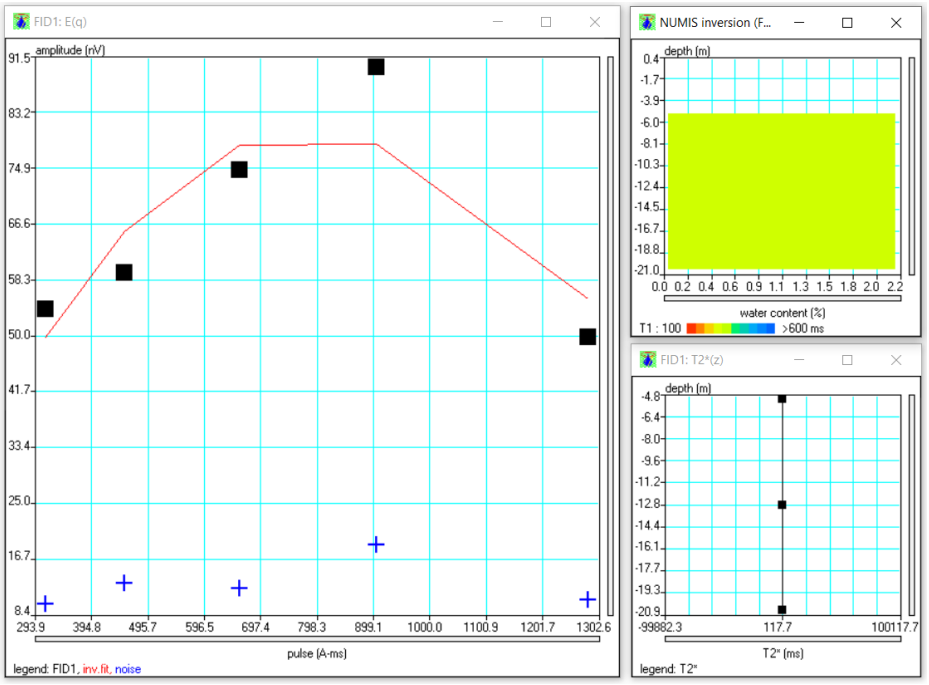


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE1/Z5-SE2/Z5

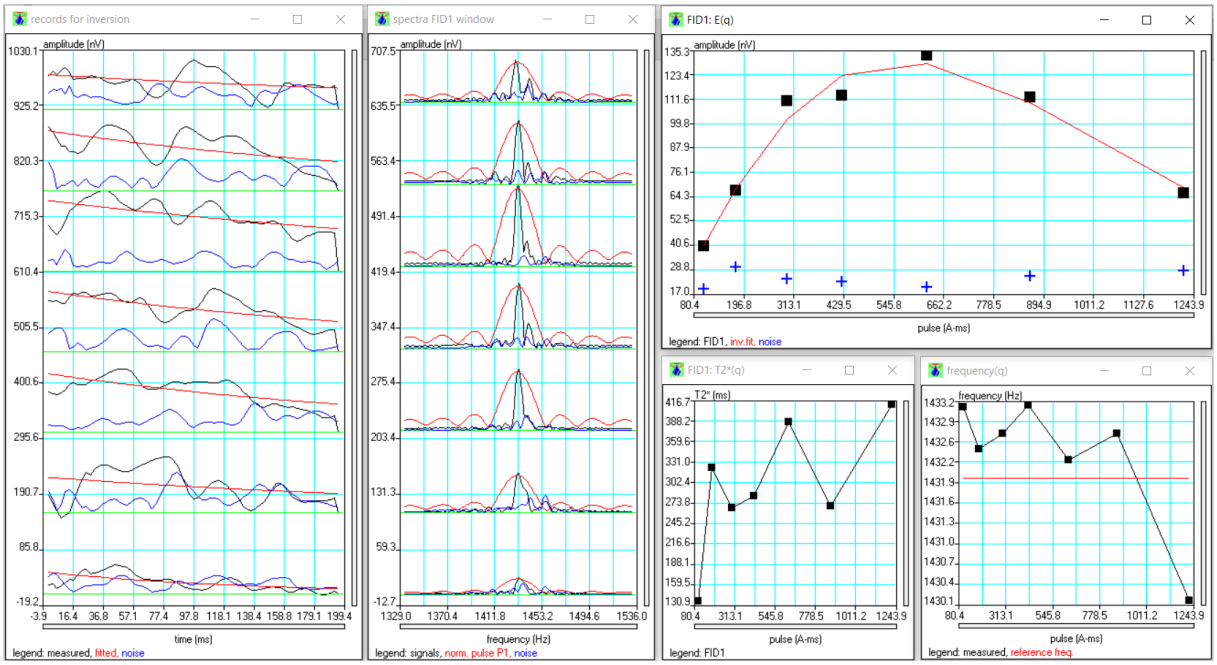


Figure: présentation graphique des données du sondage SE5/Z4-SE6/Z4

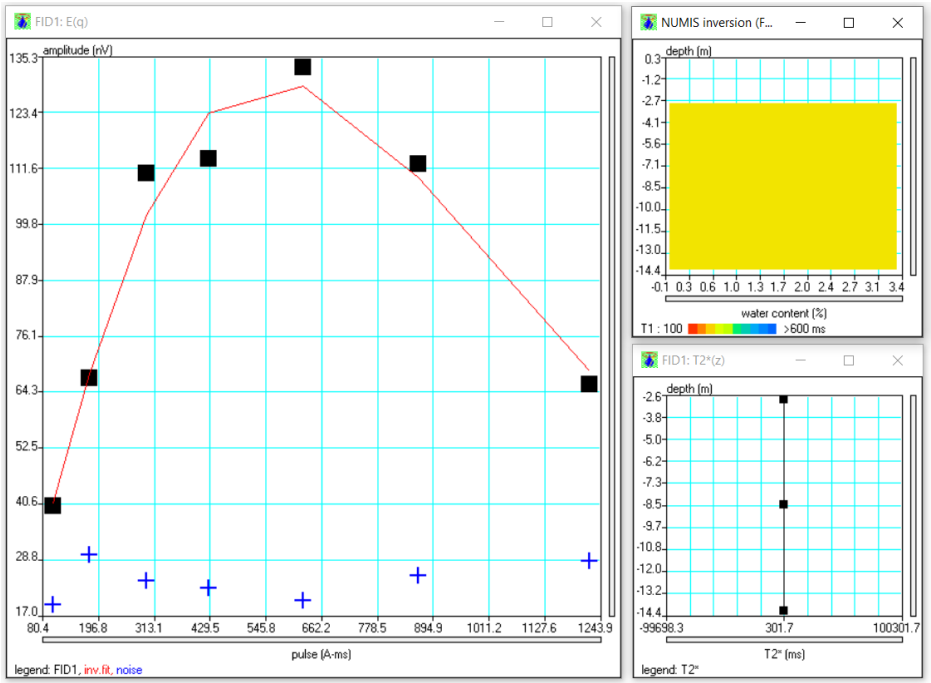
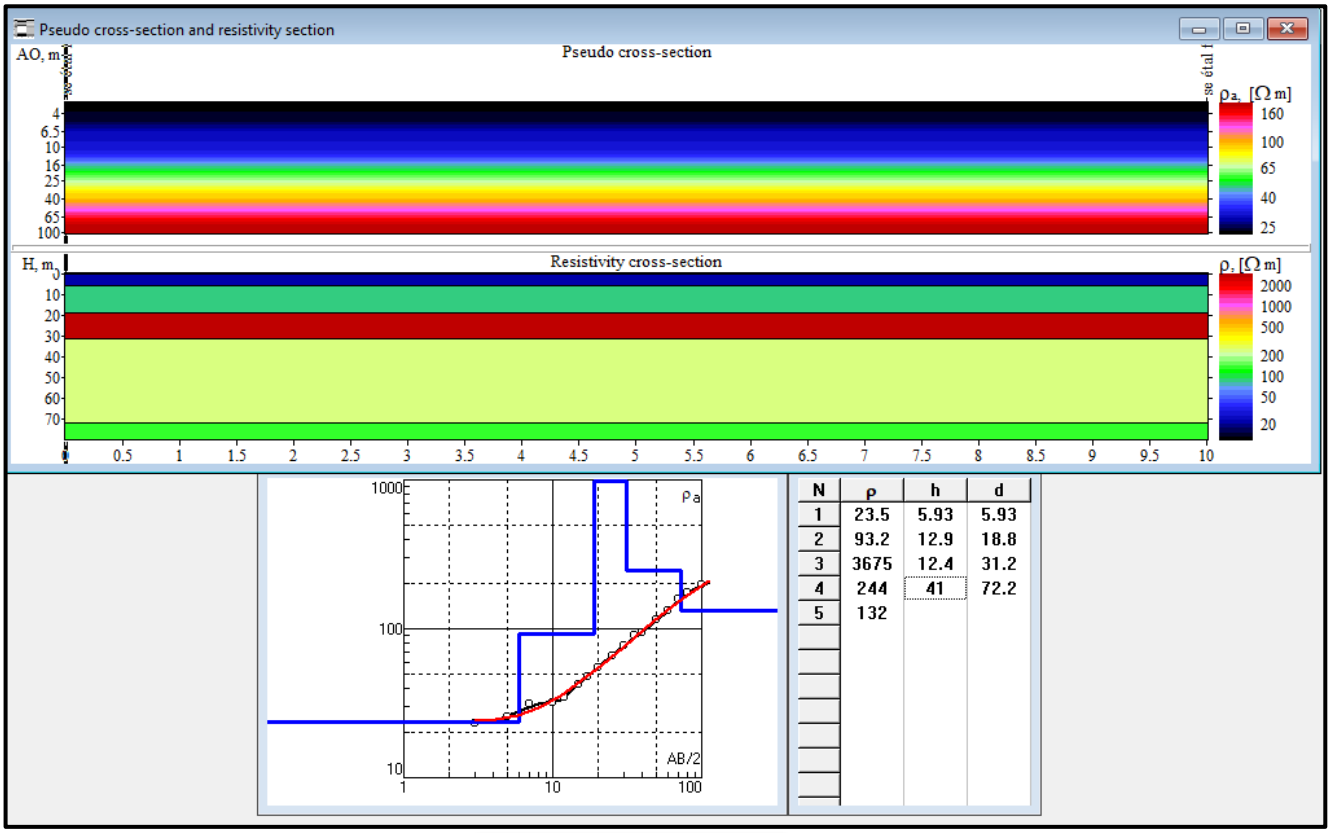


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE5/Z4-SE6/Z4

DONNEES GEOPHYSIQUES DE GOGOUNOU

1. DIAGRAMMES DE PROFILS ELECTRIQUES
2. DIAGRAMMES DE SONDAGES ELECTRIQUES SCHLUMBERGER INTERPRETES
3. DIAGRAMMES DE SONDAGES TOMOGRAPHIQUES
4. DONNEES ET RESULTATS DE SONDAGES RMP
5.

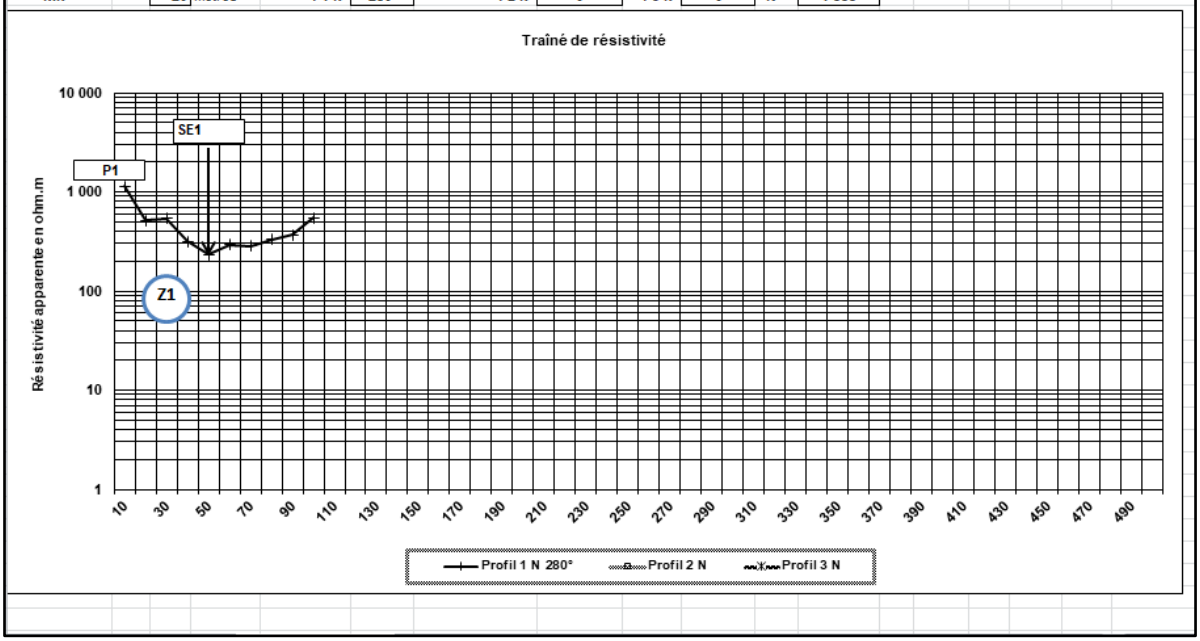
SE étal/F+ Z1(Boro) (02°49'23,4''/ 10°56'04,5'') Q=18m3/h



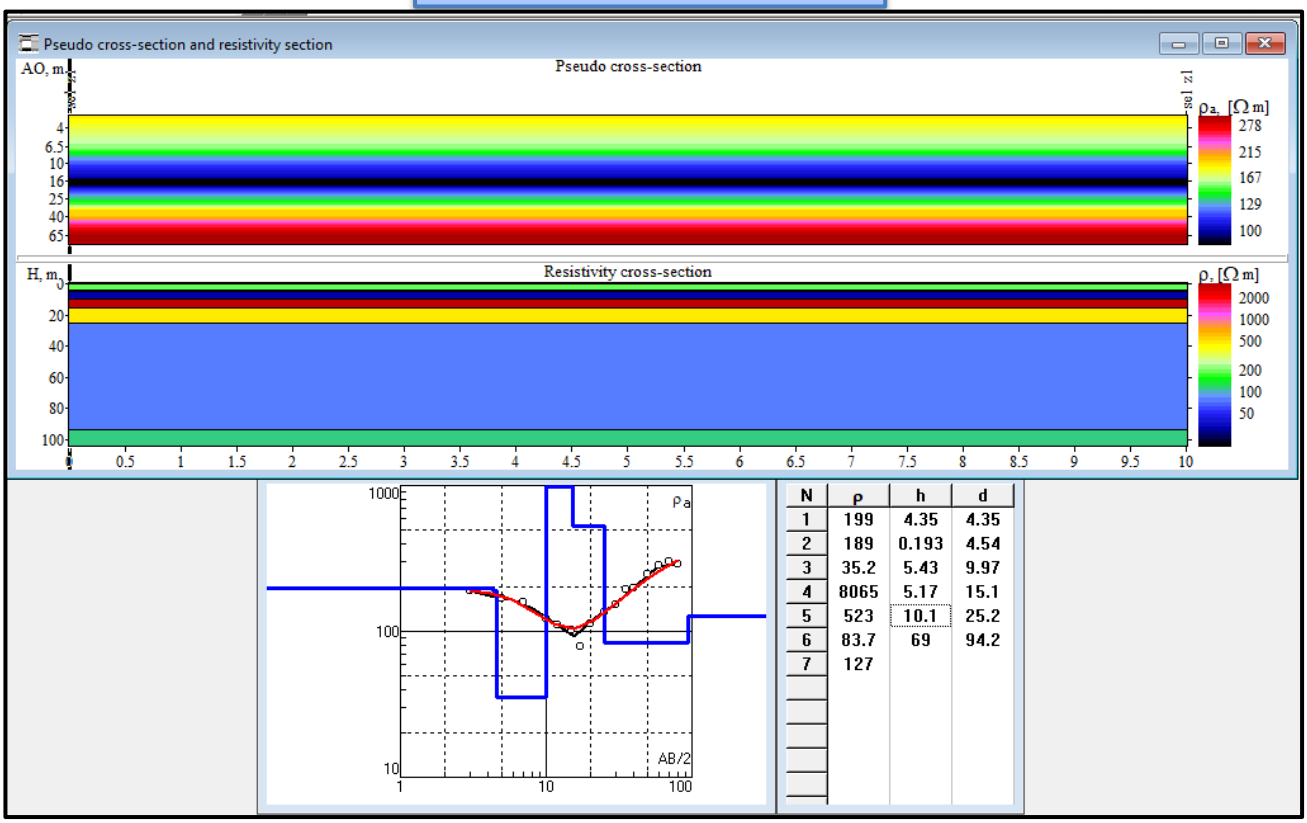
N	ρ	h	d
1	23.5	5.93	5.93
2	93.2	12.9	18.8
3	3675	12.4	31.2
4	244	41	72.2
5	132		

P1

Projet:	SONEB				Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN				
Département	ALIBORI		Coordonnées et date							
Commune	GOGOUNOU		X	2	°	50	'	23,2	"	
Arr/ Village	GOUNAROU/ BORO		Y	10	°	55	'	49,9	"	
Localité	BORO		Date	3	/	7	/	2021		
AB =	200 mètres		Géophysicien			Damien K. AZONSI				
MN =	20 mètres	P1 N° 280°	P2 N°	0	P3 N°	0	K =	1 555		

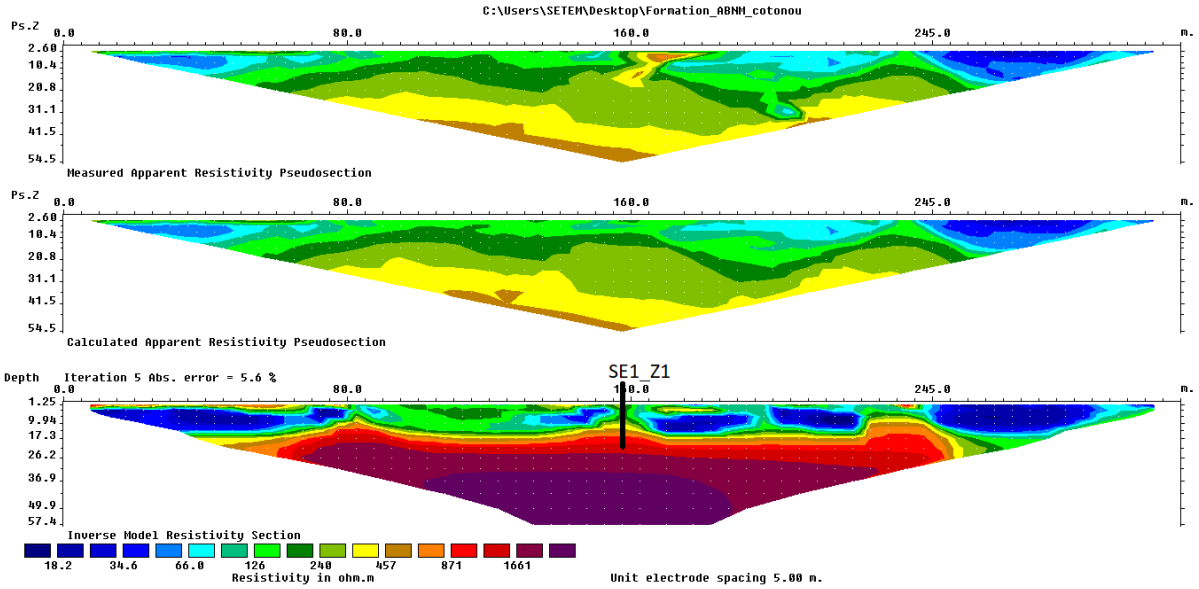


SE1 Z1 (02°50’24,8’’/ 10°55’49,7’’)



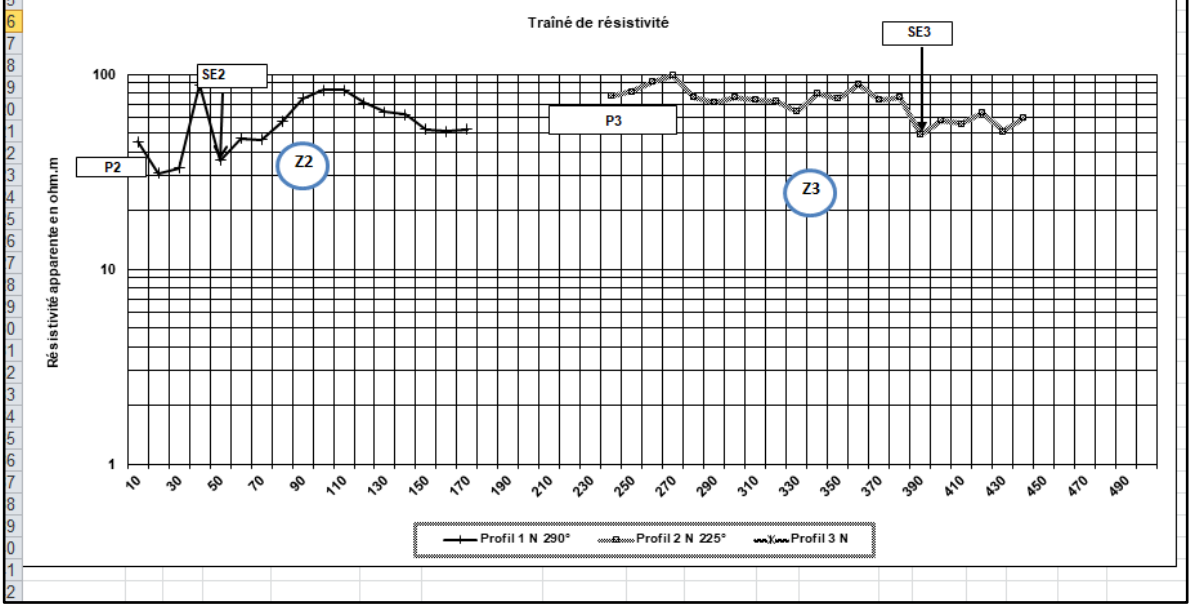
N	ρ	h	d
1	199	4.35	4.35
2	189	0.193	4.54
3	35.2	5.43	9.97
4	8065	5.17	15.1
5	523	10.1	25.2
6	83.7	69	94.2
7	127		

TOMOGRAPHIE SE1 Z1

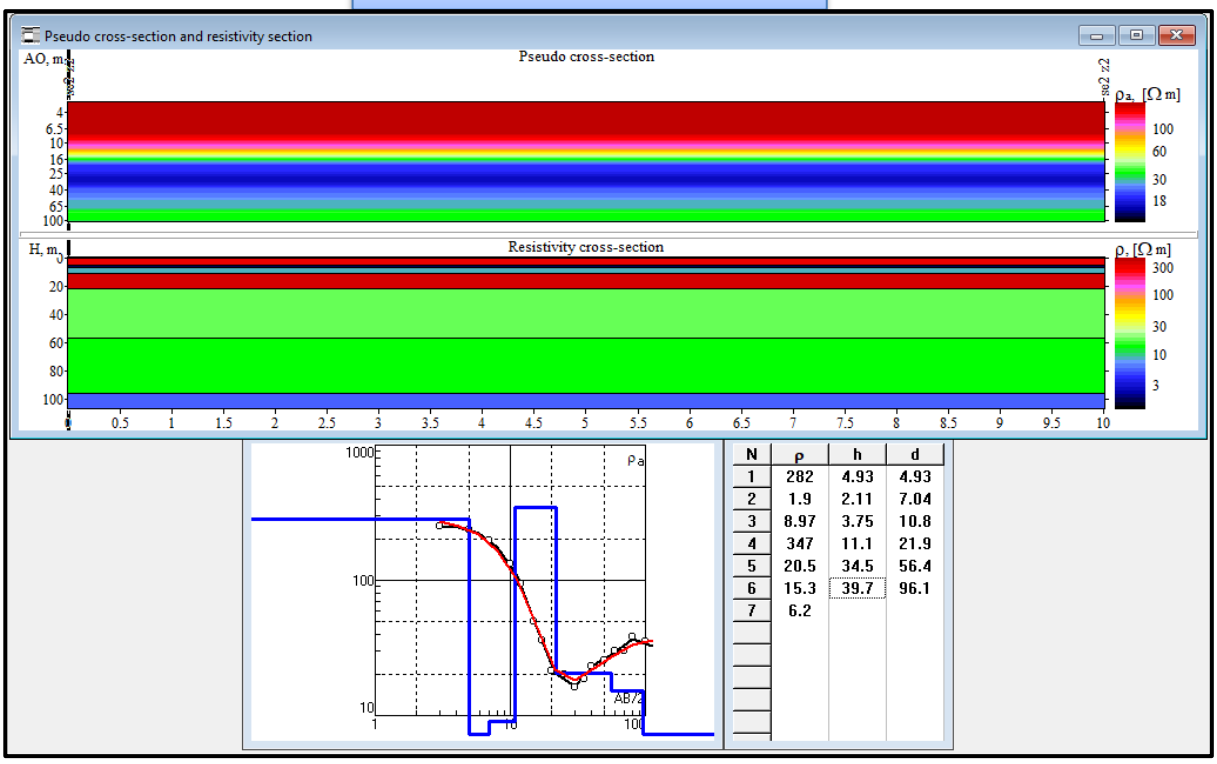


P2-P3

Projet:	SONEB				Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN		
Département	ALIBORI		Coordonnées et date					
Commune	GOGOUNOU		X	2	°	51	'	6,9 "
Arr/ Village	GOUNAROU		Y	10	°	53	'	51,7 "
Localité	GOUNAROU		Date	3	/	7	/	2021
AB =	200 mètres		Géophysicien			Damien K. AZONSI		
MN =	20 mètres	P1 N° 290°	P2 N° 225°	P3 N° 0	K = 1 555			

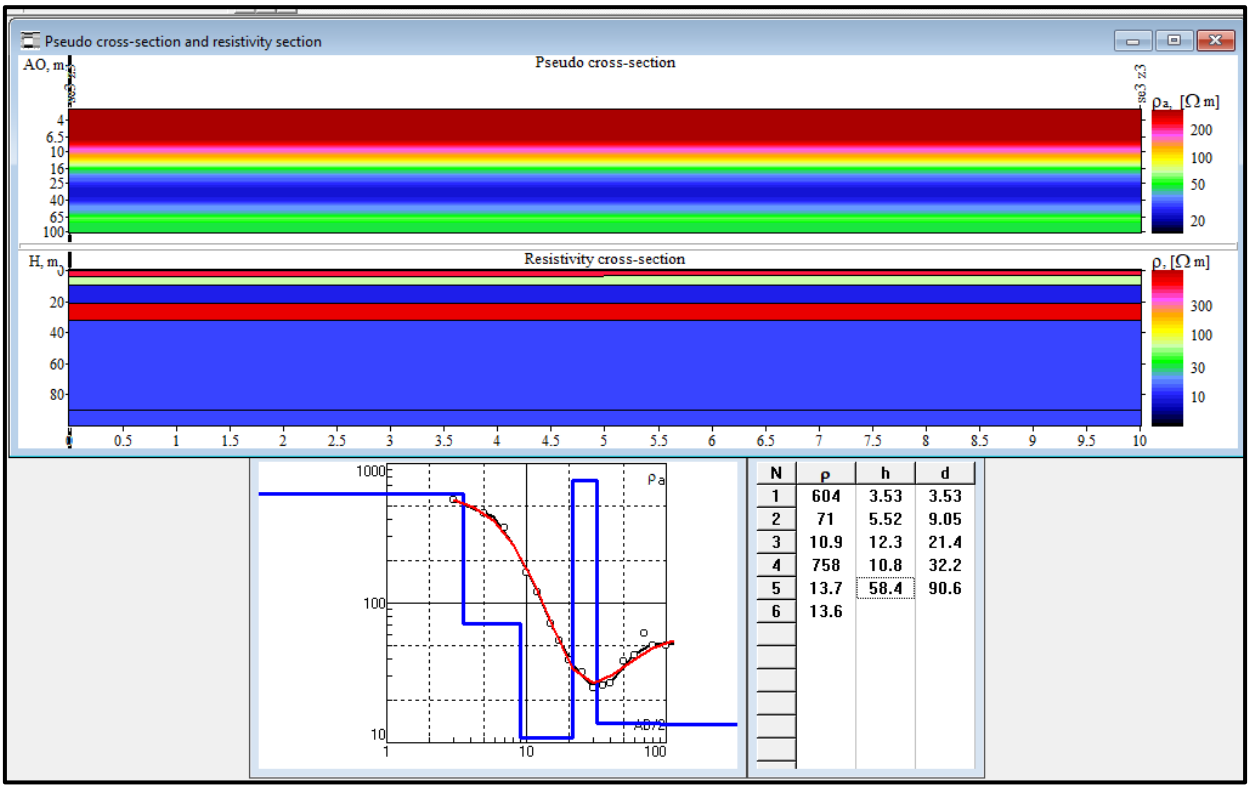


SE2 Z2 (02°51'05,5''/ 10°53'52,4'')



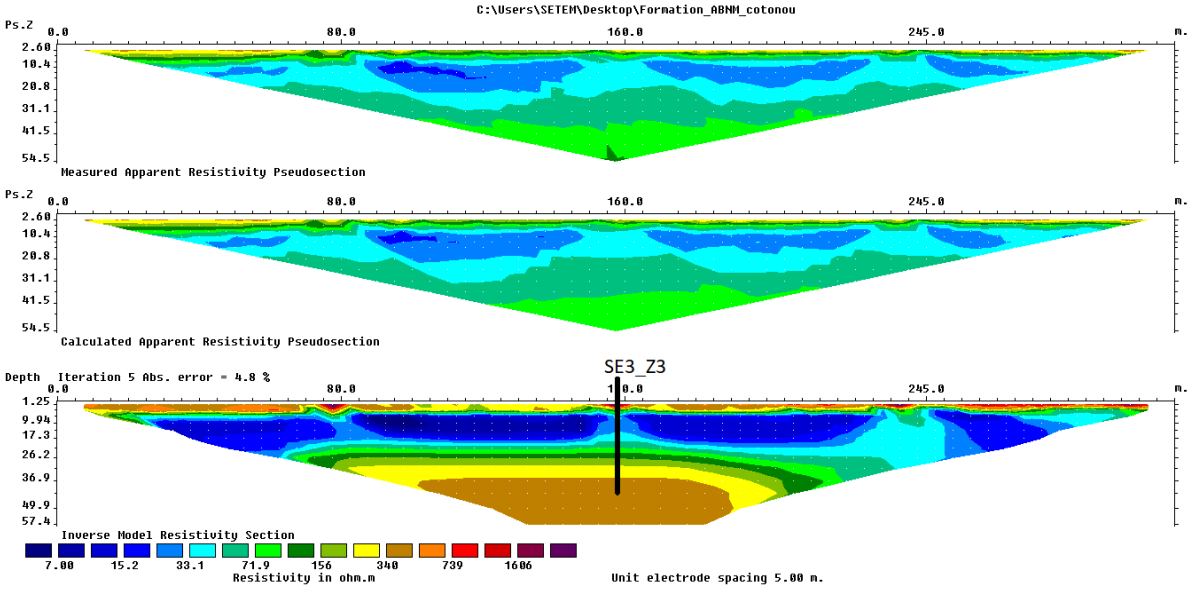
N	ρ	h	d
1	282	4.93	4.93
2	1.9	2.11	7.04
3	8.97	3.75	10.8
4	347	11.1	21.9
5	20.5	34.5	56.4
6	15.3	39.7	96.1
7	6.2		

SE3 Z3 (02°50’29,8’’/ 10°51’58,7’’)



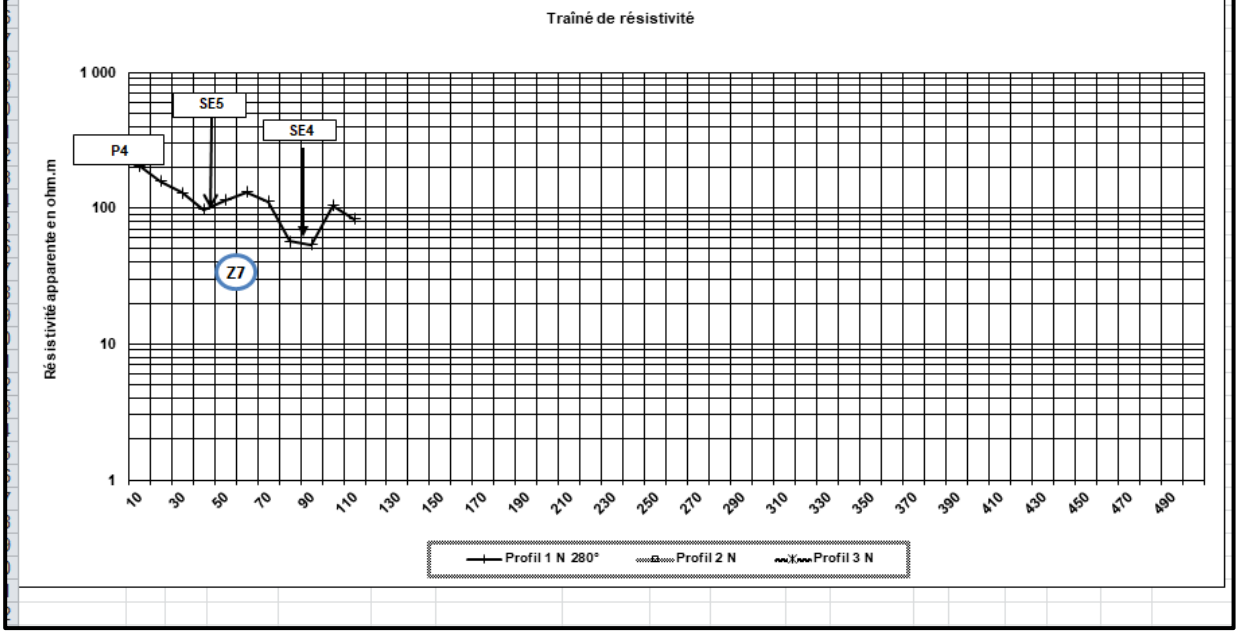
N	ρ	h	d
1	604	3.53	3.53
2	71	5.52	9.05
3	10.9	12.3	21.4
4	758	10.8	32.2
5	13.7	58.4	90.6
6	13.6		

TOMOGRAPHIE SE3 Z3

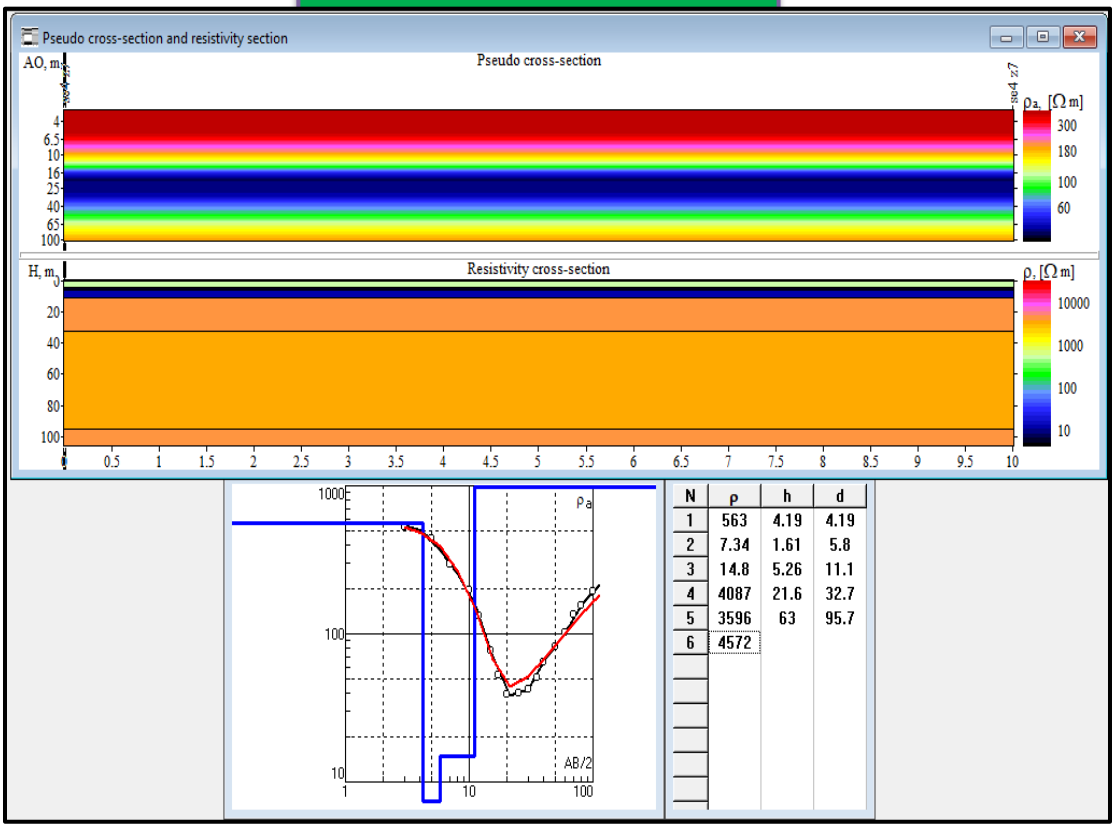


P4

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	ALIBORI			Coordonnées et date						
Commune	GOGOUNOU		X	2	°	48	'	29,8	"	
Arr/ Village	GOGOUNOU		Y	10	°	50	'	59	"	
Localité	GOGOUNOU		Date	3	/	7	/	2021		
AB =	200 mètres		Géophysicien			Damien K. AZONSI				
MN =	20 mètres	P1 N° 280°	P2 N°	0	P3 N°	0	K =	1 555		

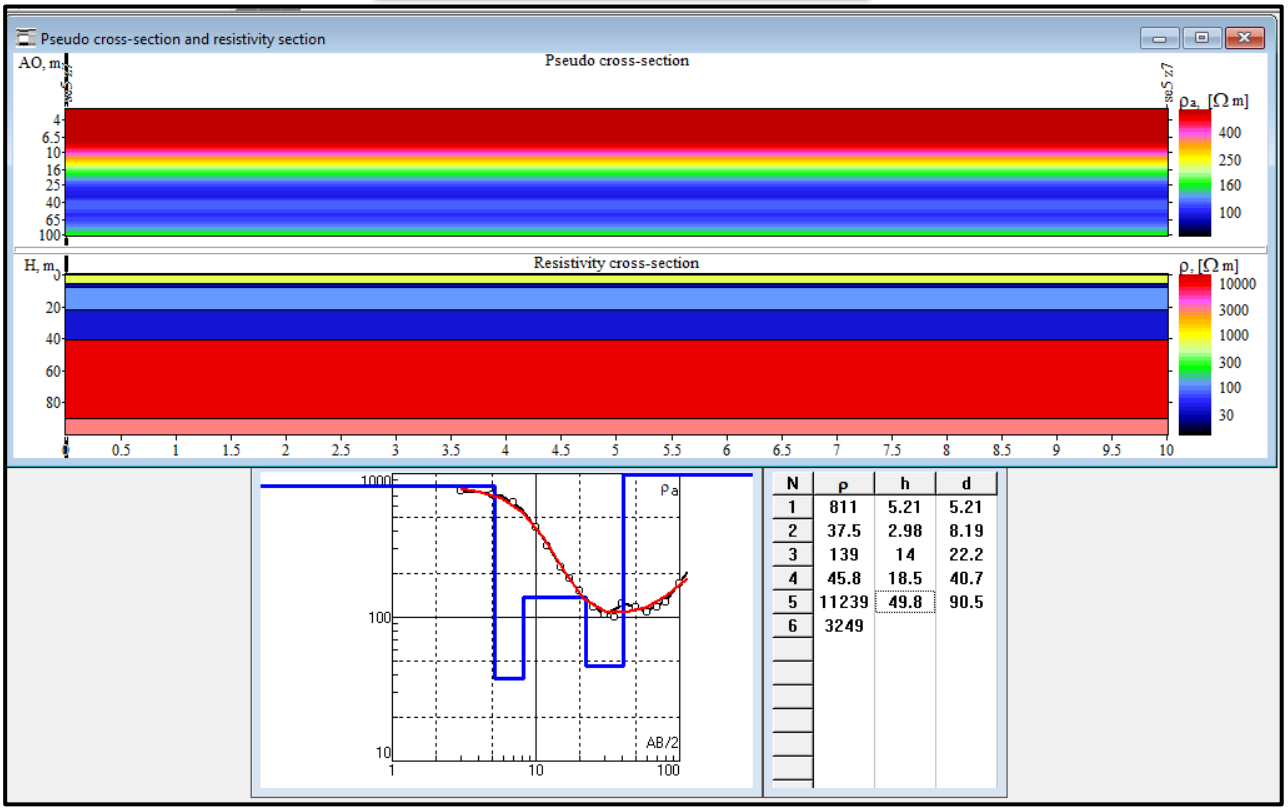


SE4 Z7 (02°48'30,7''/ 10°50'58,8'')

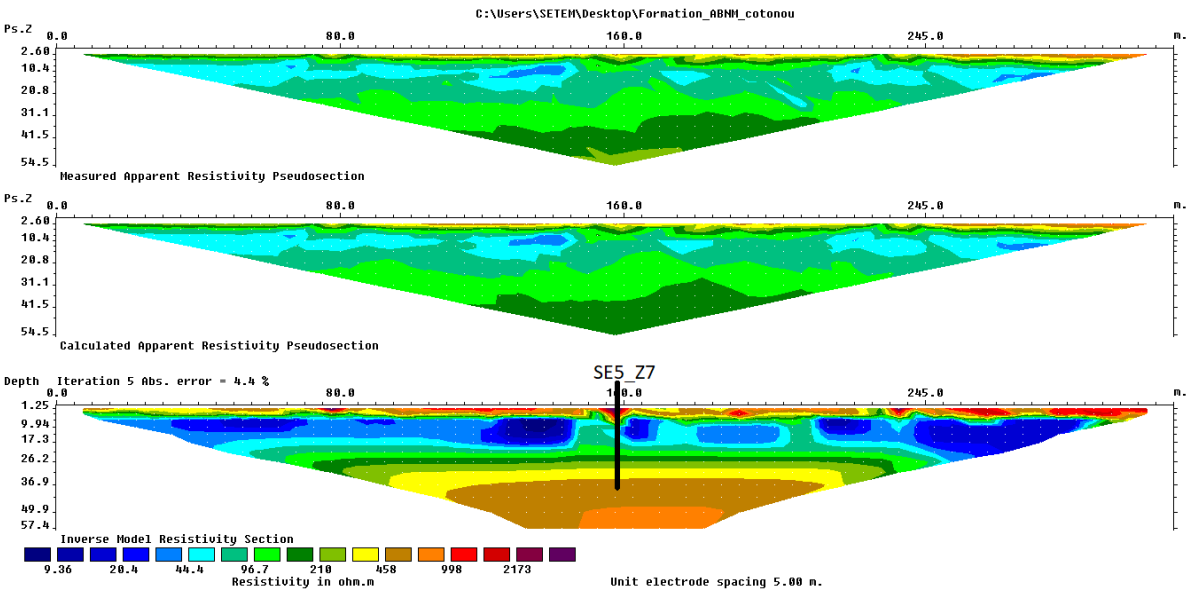


N	ρ	h	d
1	563	4.19	4.19
2	7.34	1.61	5.8
3	14.8	5.26	11.1
4	4087	21.6	32.7
5	3596	63	95.7
6	4572		

SE5 Z7 (02°48'52,2''/ 10°50'58,5'')

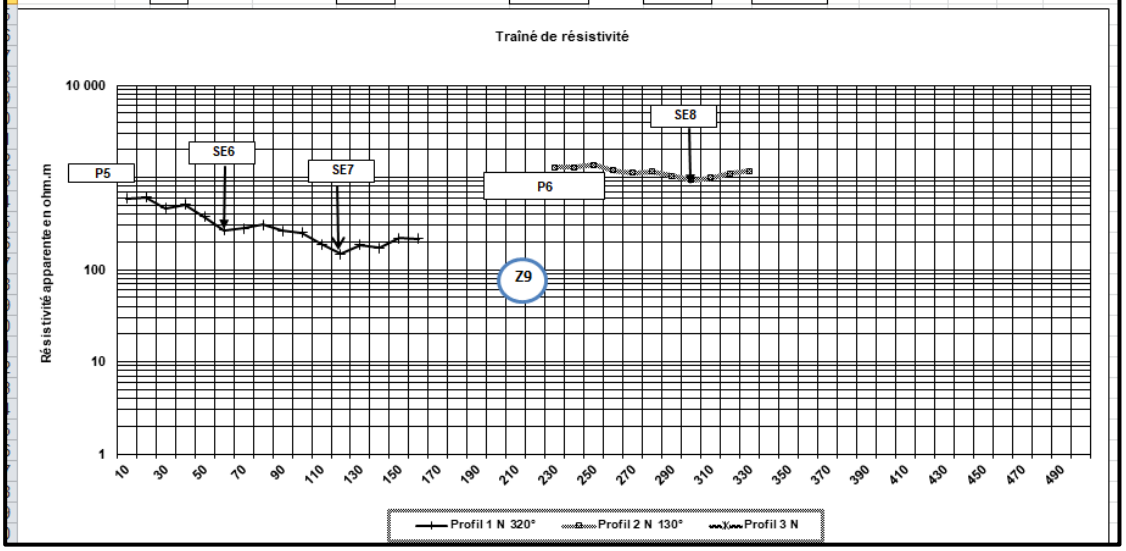


TOMOGRAPHIE SE5 Z7

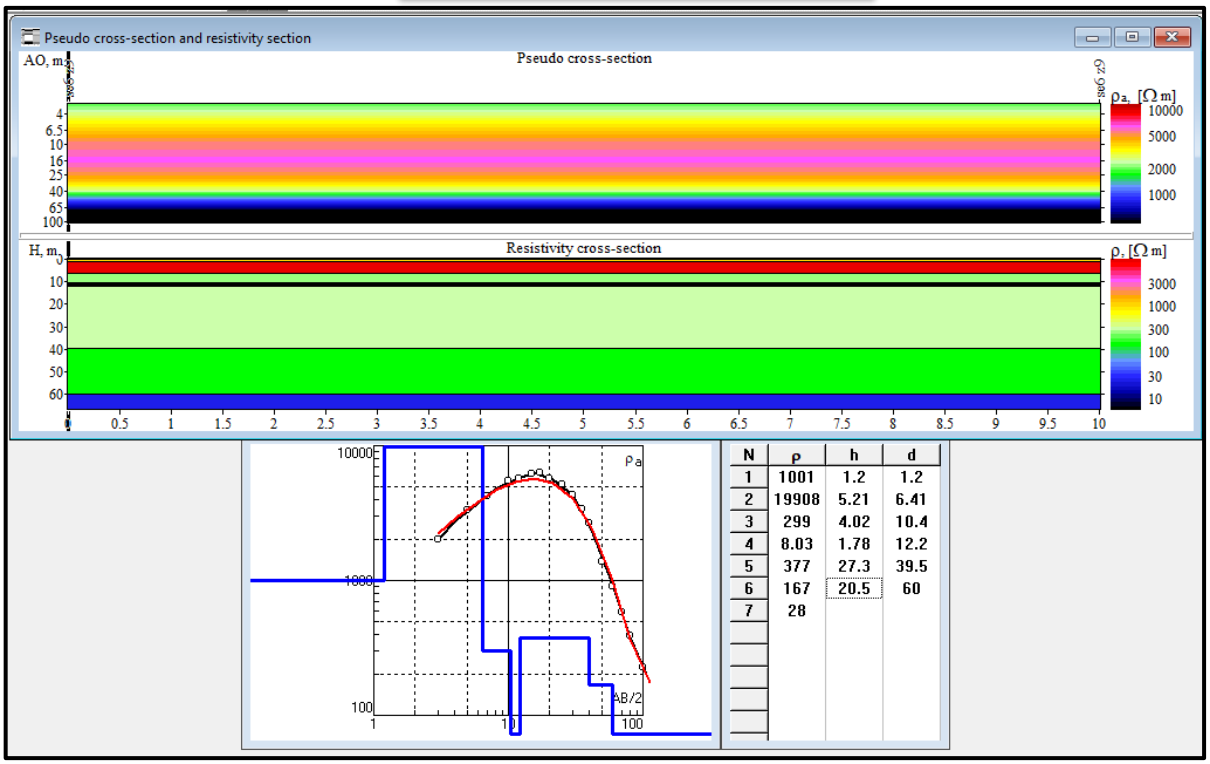


P5-P6

Projet:	SONEB				Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	ALIBORI		Coordonnées et date						
Commune	GOGOUNOU		X	2	°	57	'	20,6	"
Arr/ Village	ZOUGOU PANTROCI		Y	10	°	44	'	25,5	"
Localité	ZOUGOU PANTROCI		Date	3	/	7	/	2021	
AB =	200 mètres		Géophysicien	Damien K. AZONSI					
MN =	20 mètres	P1 N° 320°	P2 N° 130°	P3 N° 0	K = 1 555				

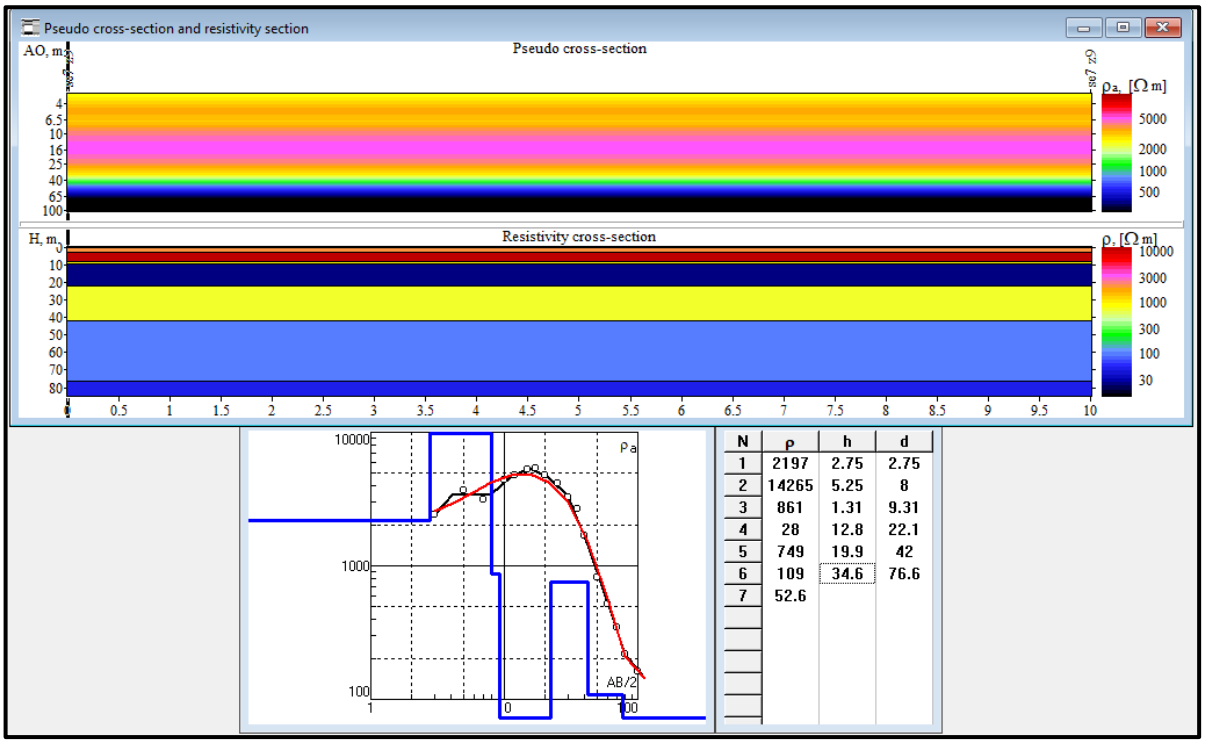


SE6 Z9 (02°57'22,7''/ 10°44'22,9'')



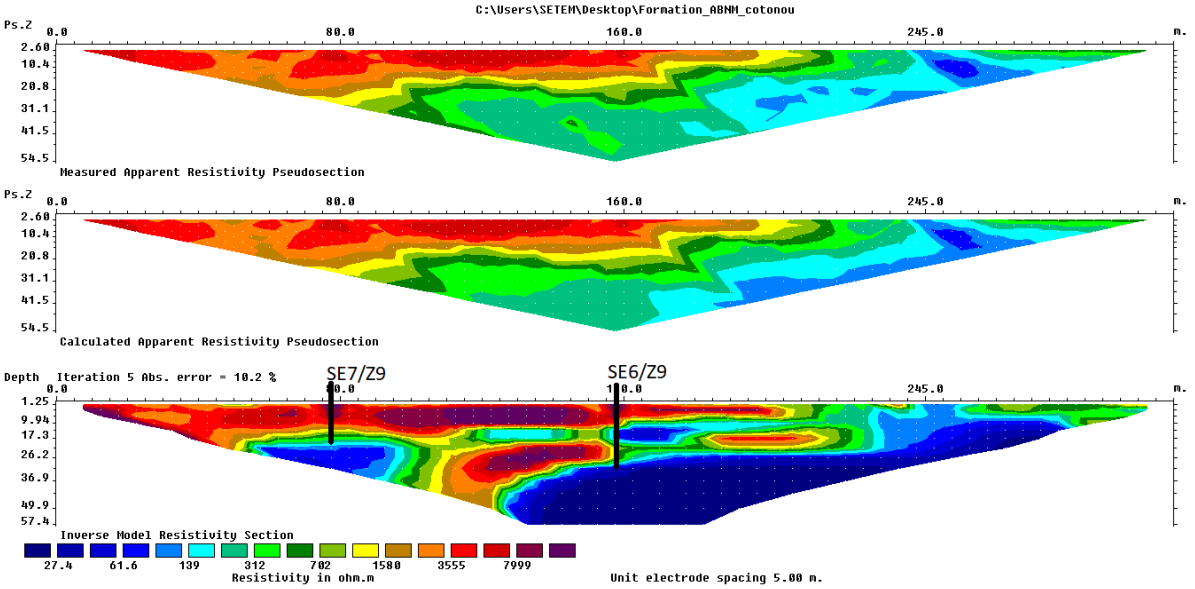
N	ρ	h	d
1	1001	1.2	1.2
2	19908	5.21	6.41
3	299	4.02	10.4
4	8.03	1.78	12.2
5	377	27.3	39.5
6	167	20.5	60
7	28		

SE7 Z9 (02°57'21,4''/ 10°44'24,4'')

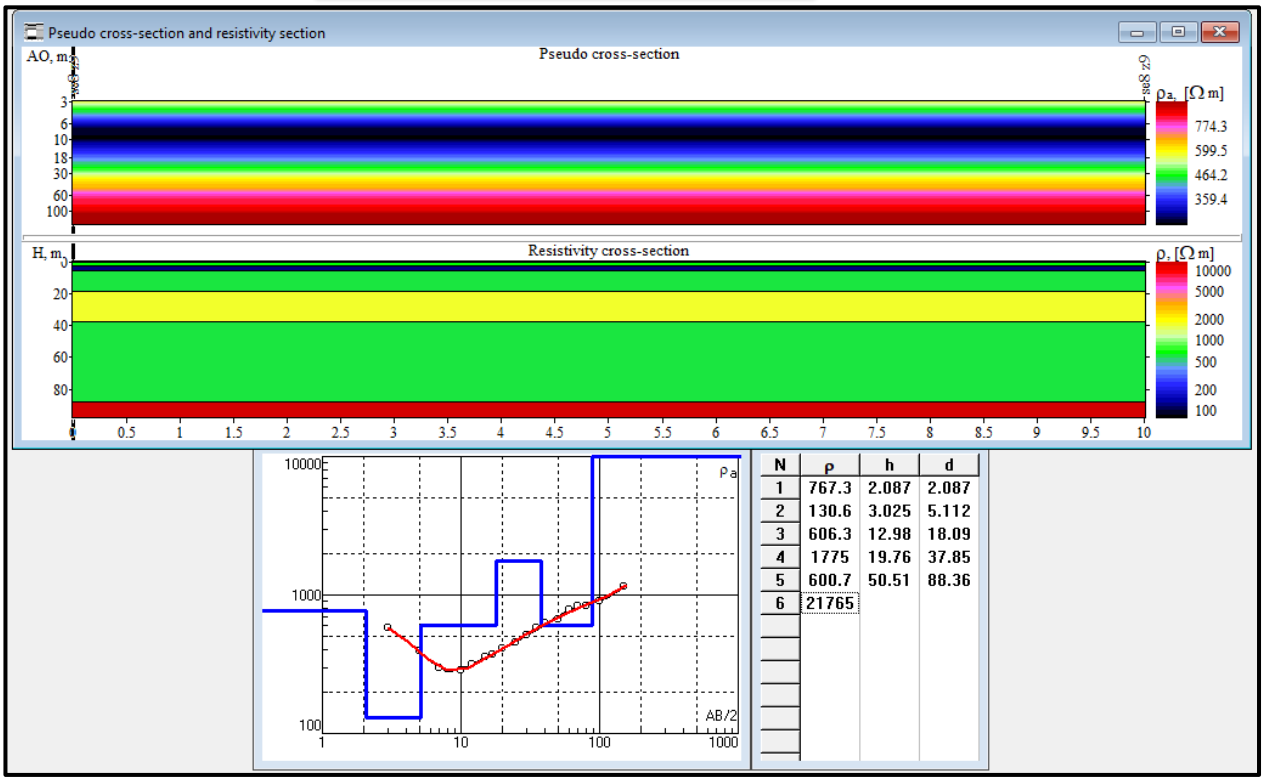


N	ρ	h	d
1	2197	2.75	2.75
2	14265	5.25	8
3	861	1.31	9.31
4	28	12.8	22.1
5	749	19.9	42
6	109	34.6	76.6
7	52.6		

TOMOGRAPHIE SE6 ; SE7 Z9

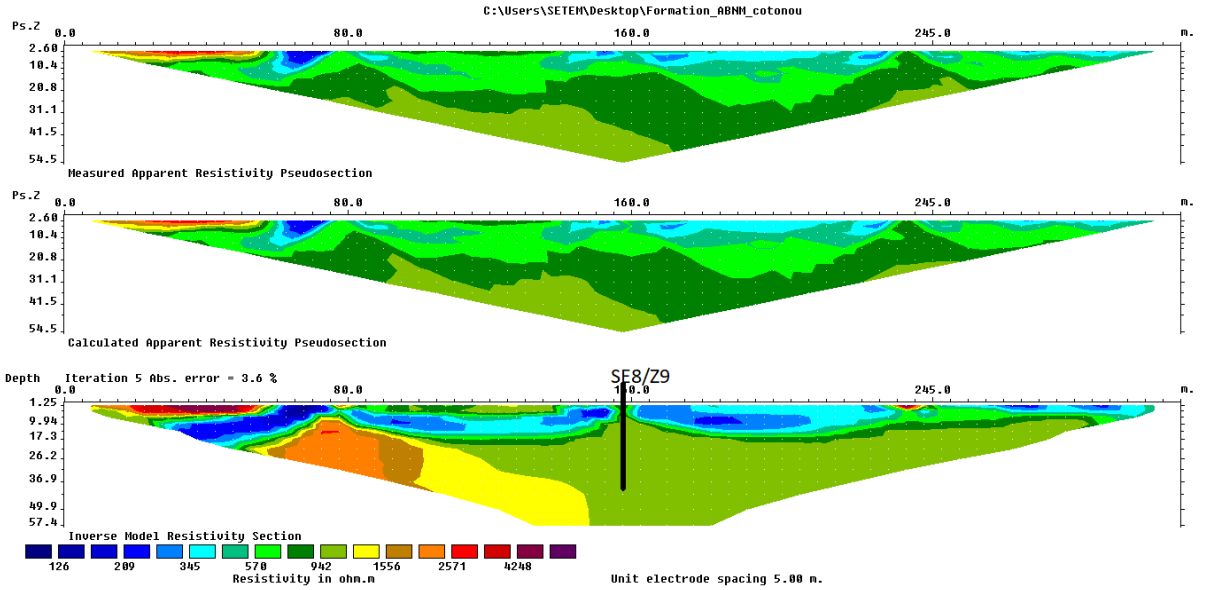


SE8 Z9 (02°59’21,6’’/ 10°44’11,7’’)



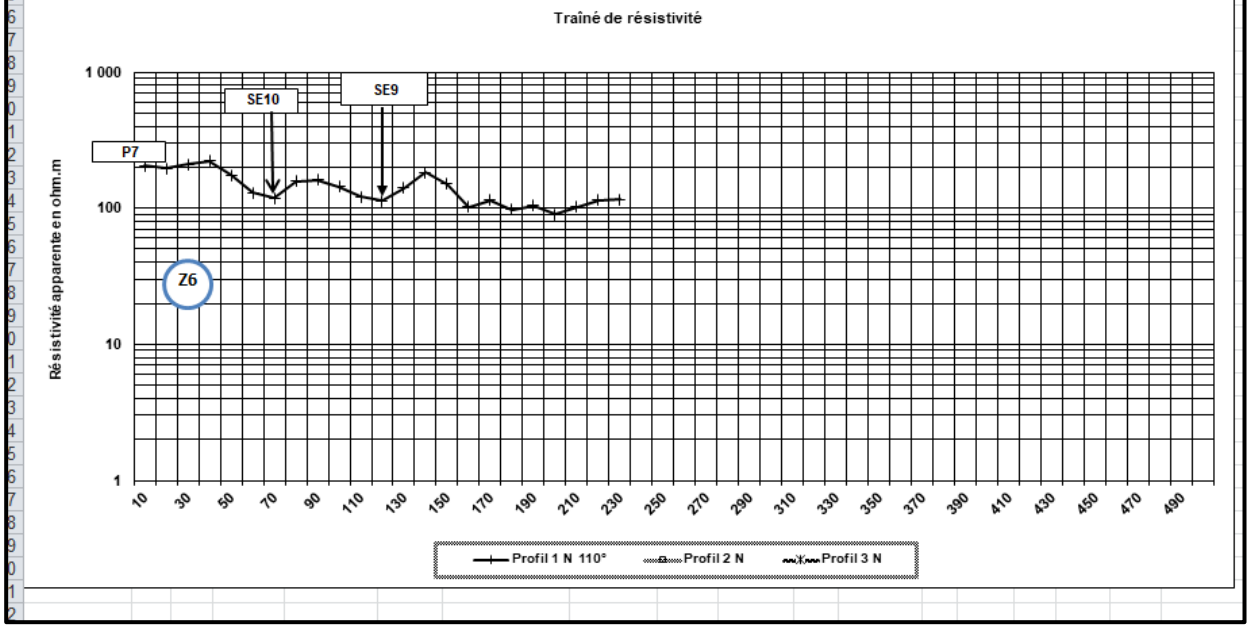
N	ρ	h	d
1	767.3	2.087	2.087
2	130.6	3.025	5.112
3	606.3	12.98	18.09
4	1775	19.76	37.85
5	600.7	50.51	88.36
6	21765		

TOMOGRAPHIE SE8 Z9

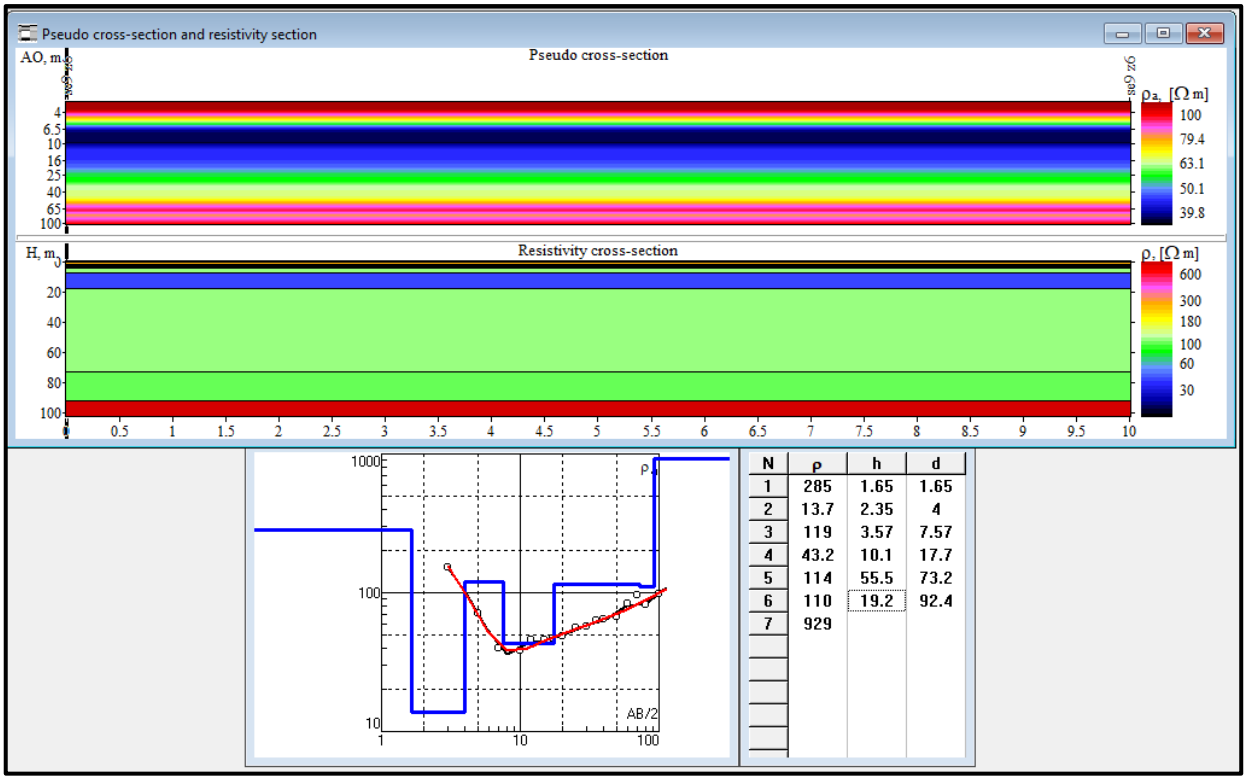


P7

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN		
Département	ALIBORI		Coordonnées et date						
Commune	GOGOUNOU		X	2	°	43	'	28,3	"
Arr/ Village	BAGOU		Y	10	°	49	'	50,1	"
Localité	BAGOU		Date	3	/	7	/	2021	
AB =	200 mètres		Géophysicien	Damien K. AZONSI					
MN =	20 mètres	P1 N° 110°	P2 N° 0	P3 N° 0	K = 1 555				

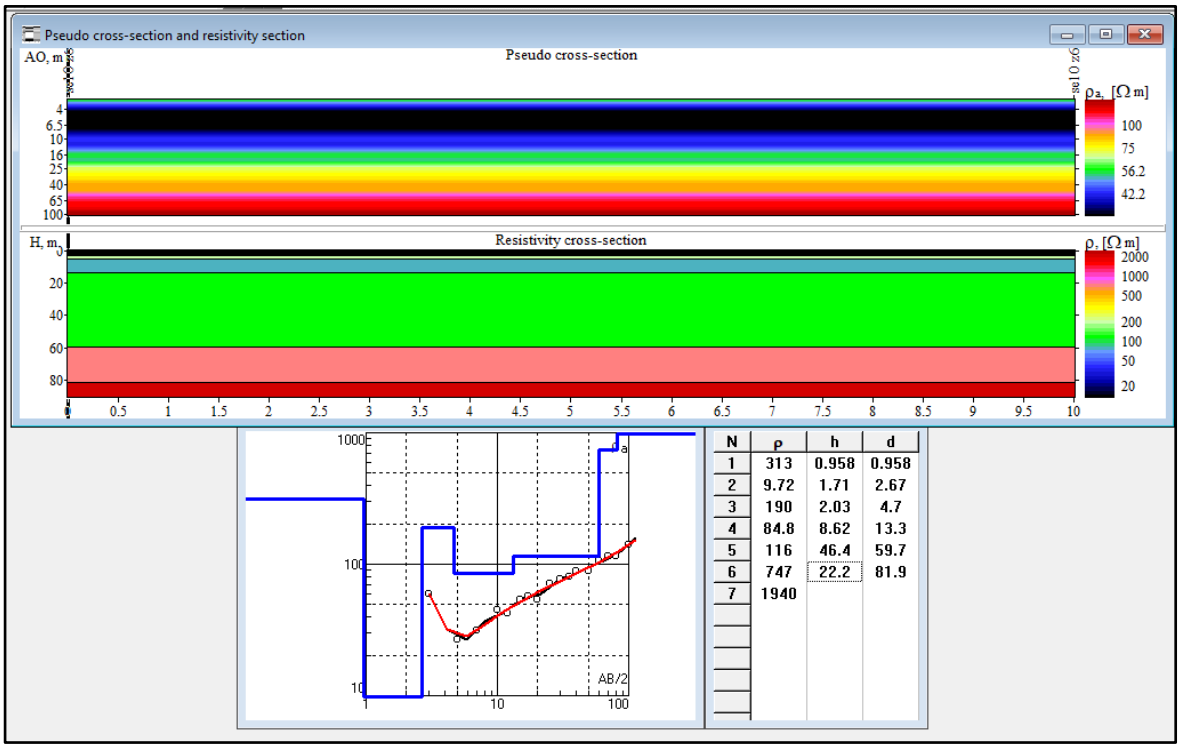


SE9 Z6 (02°43'33,1''/ 10°49'49,1'')



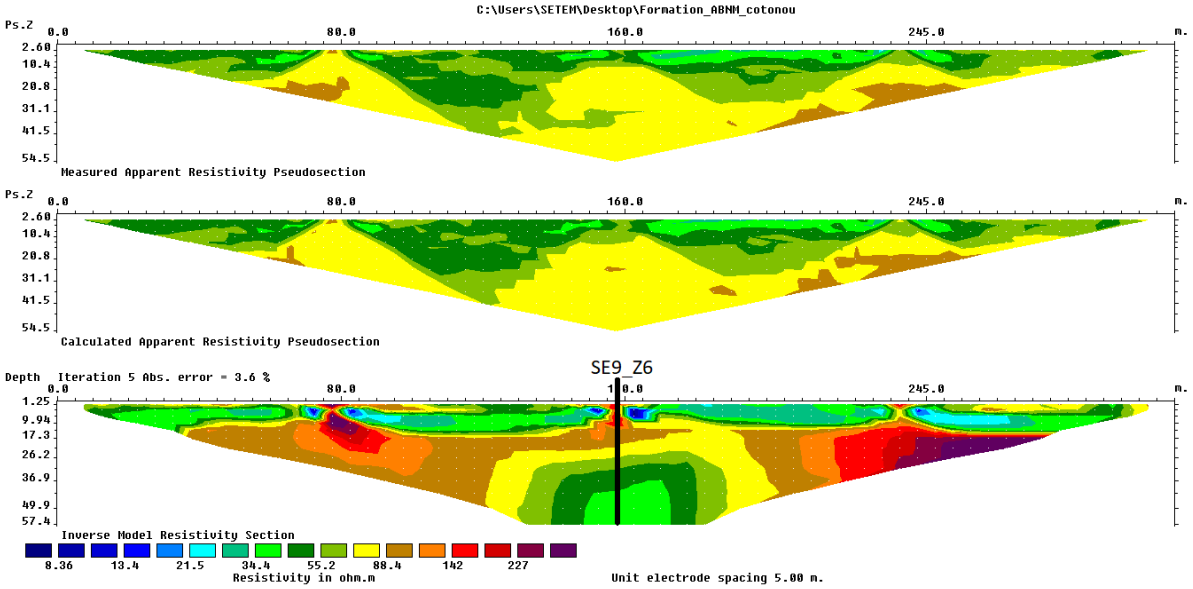
N	ρ	h	d
1	285	1.65	1.65
2	13.7	2.35	4
3	119	3.57	7.57
4	43.2	10.1	17.7
5	114	55.5	73.2
6	110	19.2	92.4
7	929		

SE10 Z6 (02°43’30,2’’/ 10°49’49,7’’)



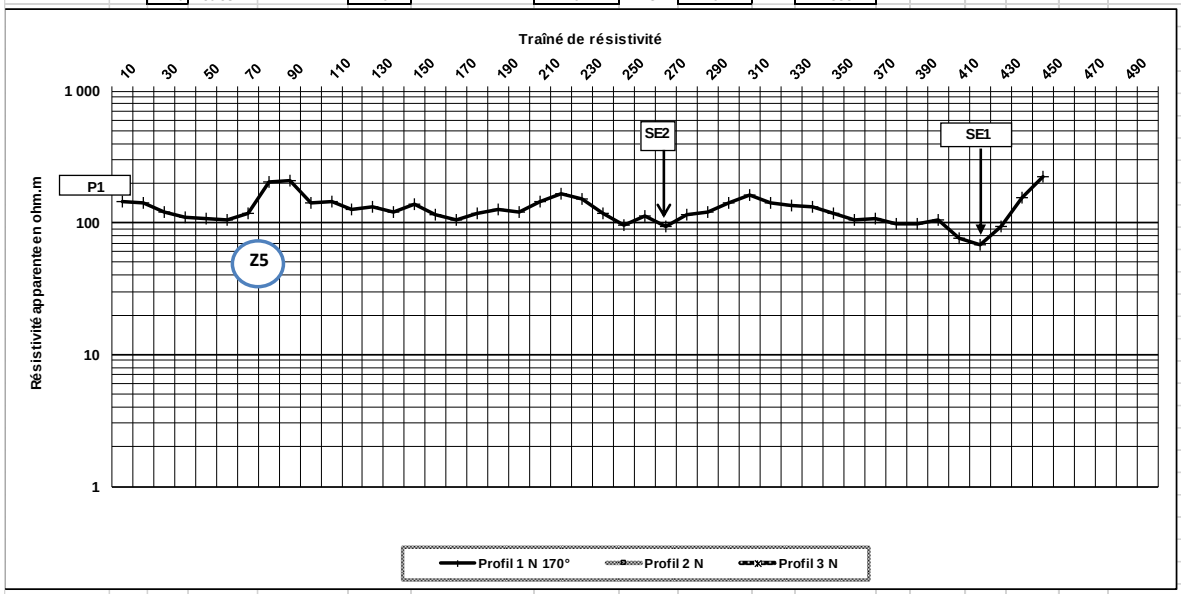
N	ρ	h	d
1	313	0.958	0.958
2	9.72	1.71	2.67
3	190	2.03	4.7
4	84.8	8.62	13.3
5	116	46.4	59.7
6	747	22.2	81.9
7	1940		

TOMOGRAPHIE SE9 Z6

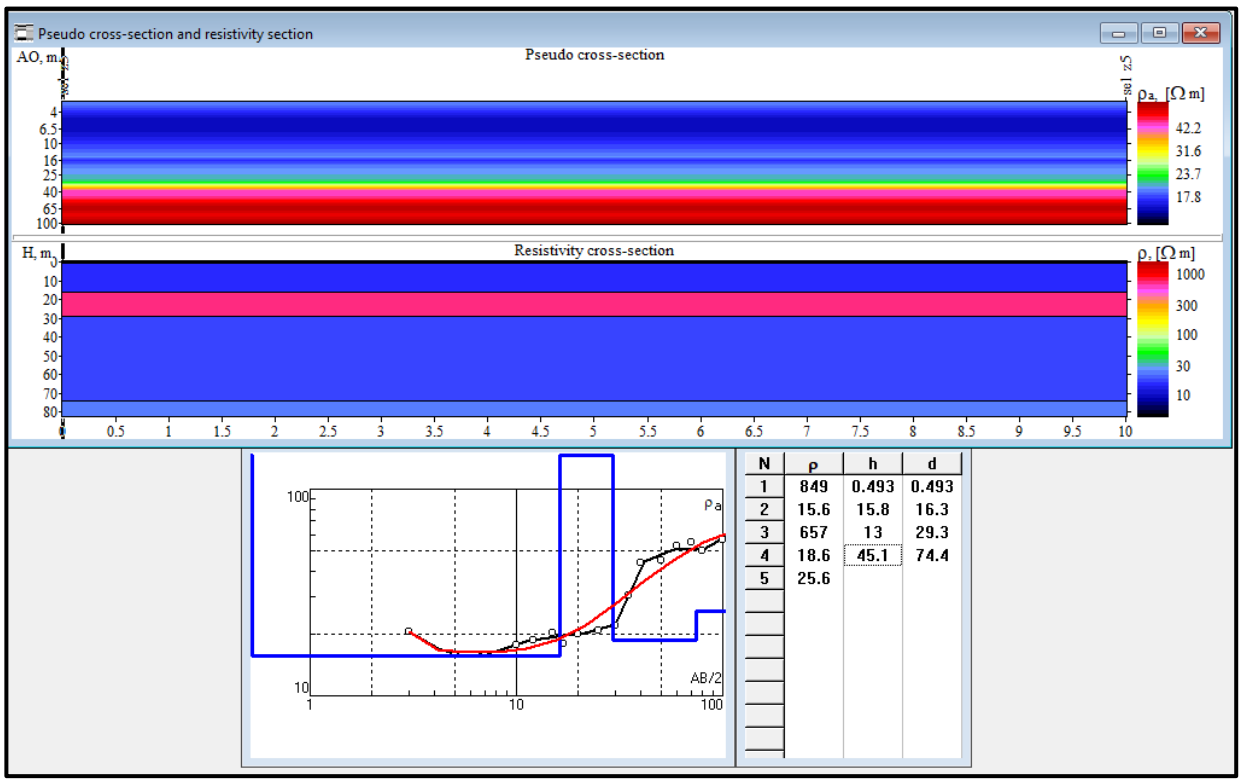


P1/Z5

Projet:	SONEB						**Bureau d'études:**	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN		
Département	ALIBORI			**Coordonnées et date**						
Commune	GOGOUNOU			**X**	2	°	47	'	20,14	"
Arr/ Village	SORI			**Y**	10	°	43	'	21,8	"
Localité	SORI CENTRE/Z5			**Date**	7-	/	7	/	2021	
AB =	200 mètres			**Géophysicien**			Eric SOUNNOUVOU			
MN =	20 mètres	**P1 N°**	170°	**P2 N°**	0	**P3 N°**	0	**K =**	1 555	

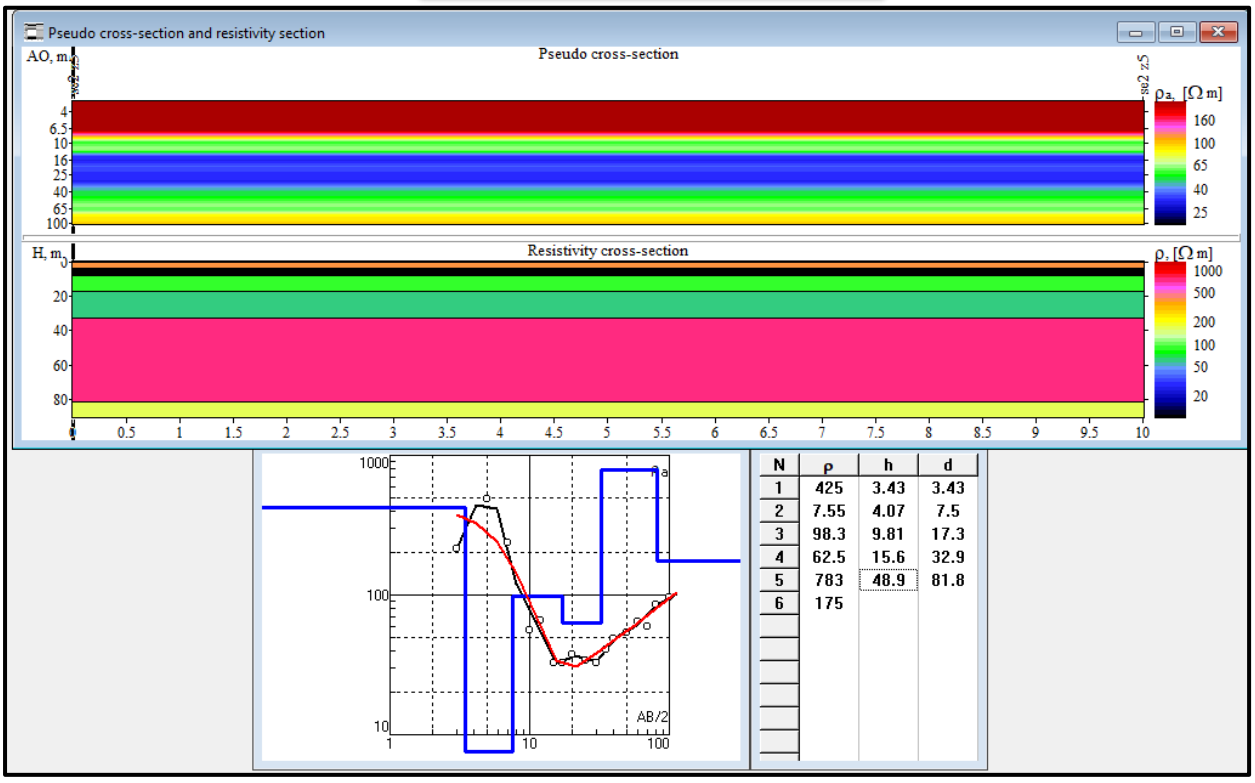


SE1 Z5 (02°47'21,9'' / 10°43'12,7'')

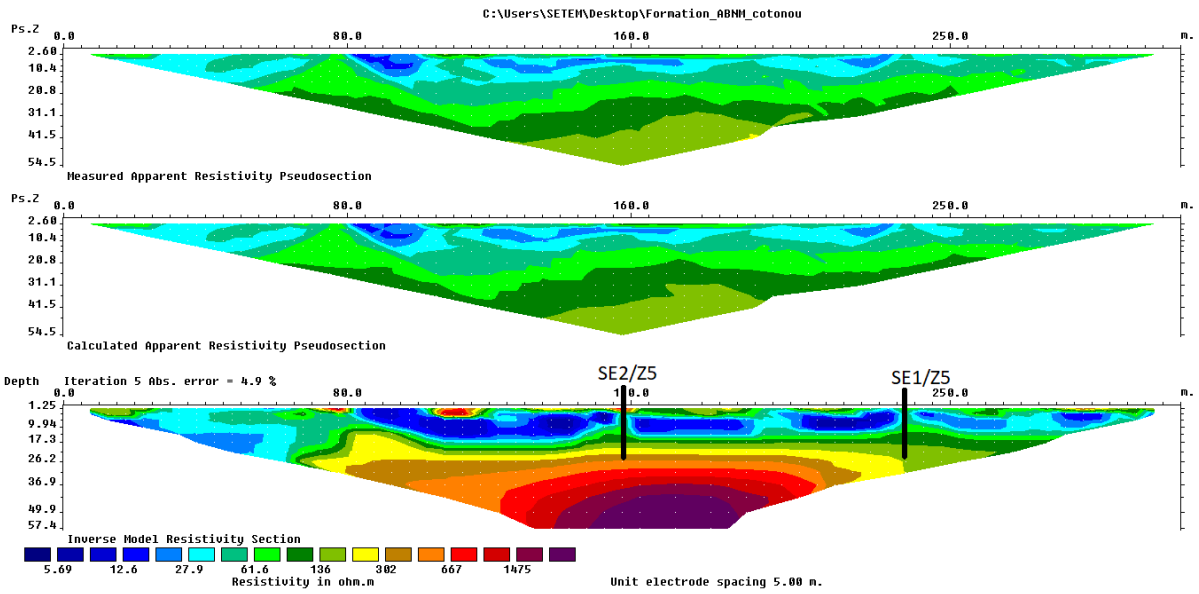


N	ρ	h	d
1	849	0.493	0.493
2	15.6	15.8	16.3
3	657	13	29.3
4	18.6	45.1	74.4
5	25.6		

SE2 Z5 (02°47'21,0''/ 10°43'17,0'')

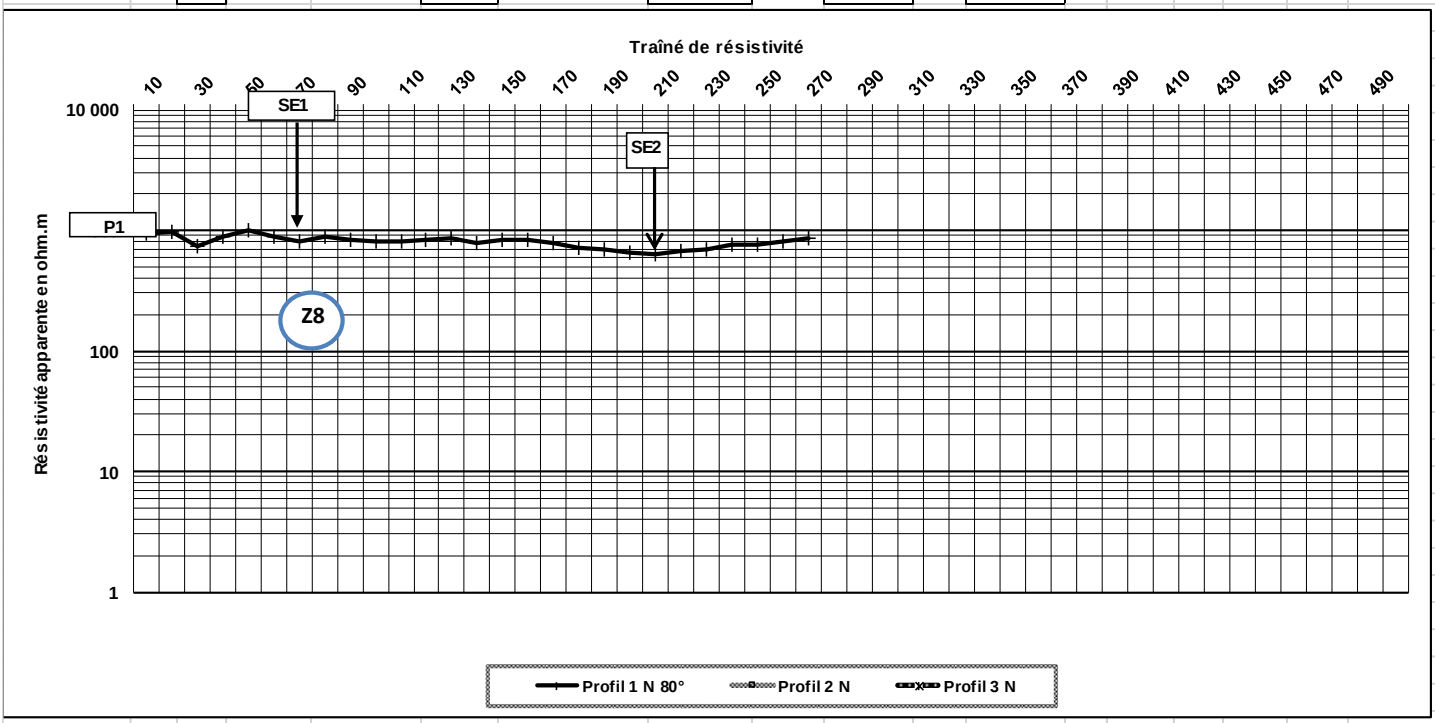


TOMOGRAPHIE SE1 ; SE2/ Z5

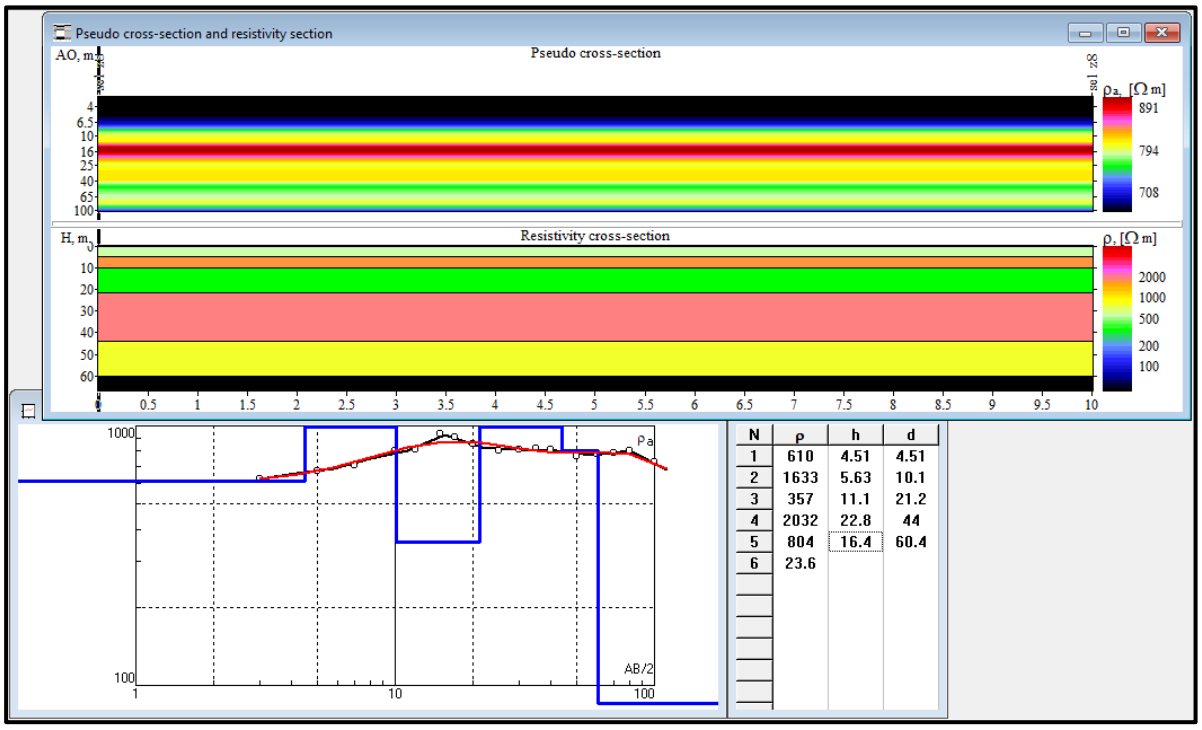


P1 Z8

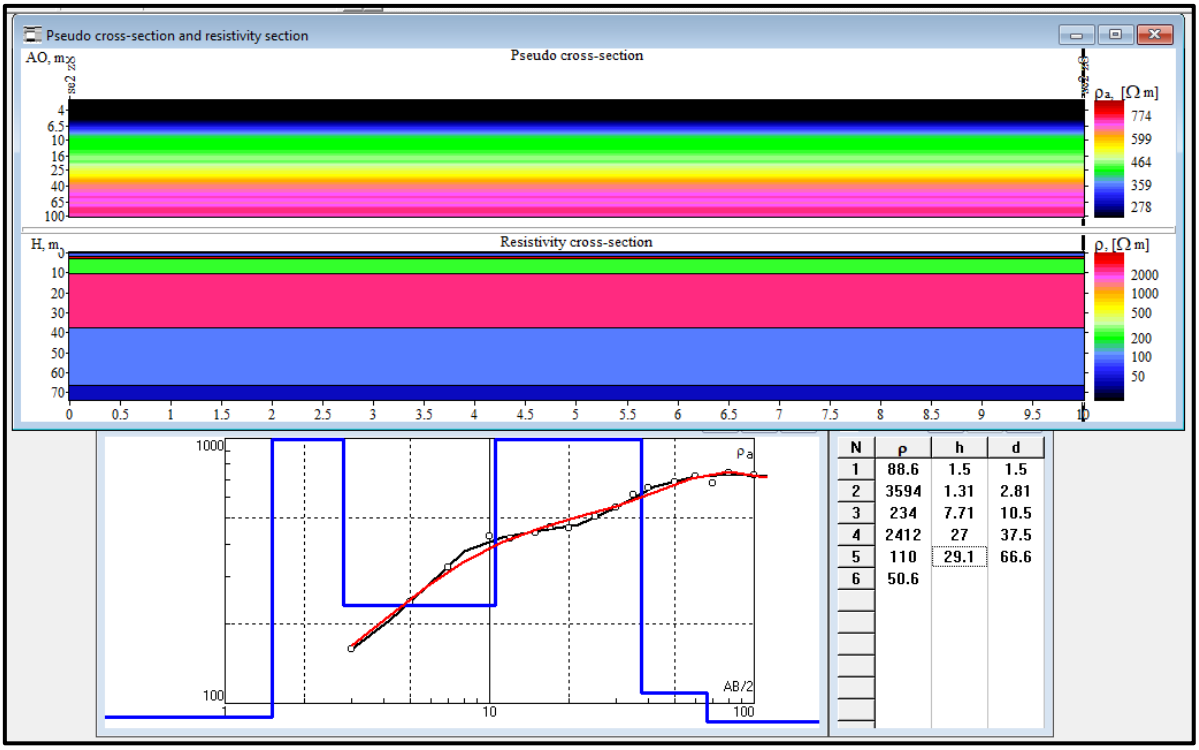
Projet:	SONEB					**Bureau d'études:**	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	ALIBORI			**Coordonnées et date**						
Commune	GOGOUNOU			**X**	2	°	46	'	15,8	"
Arr/ Village	SORI			**Y**	10	°	43	'	7,8	"
Localité	SORI CENTRE/Z8			**Date**	7-	/	7	/	2021	
AB =	200 mètres			**Géophysicien**			Eric SOUNNOUVOU			
MN =	20 mètres	**P1 N°**	80°	**P2 N°**	0	**P3 N°**	0	**K =**	1 555	



SE1 Z8 (02°46'19,7''/ 10°43'07,8'')

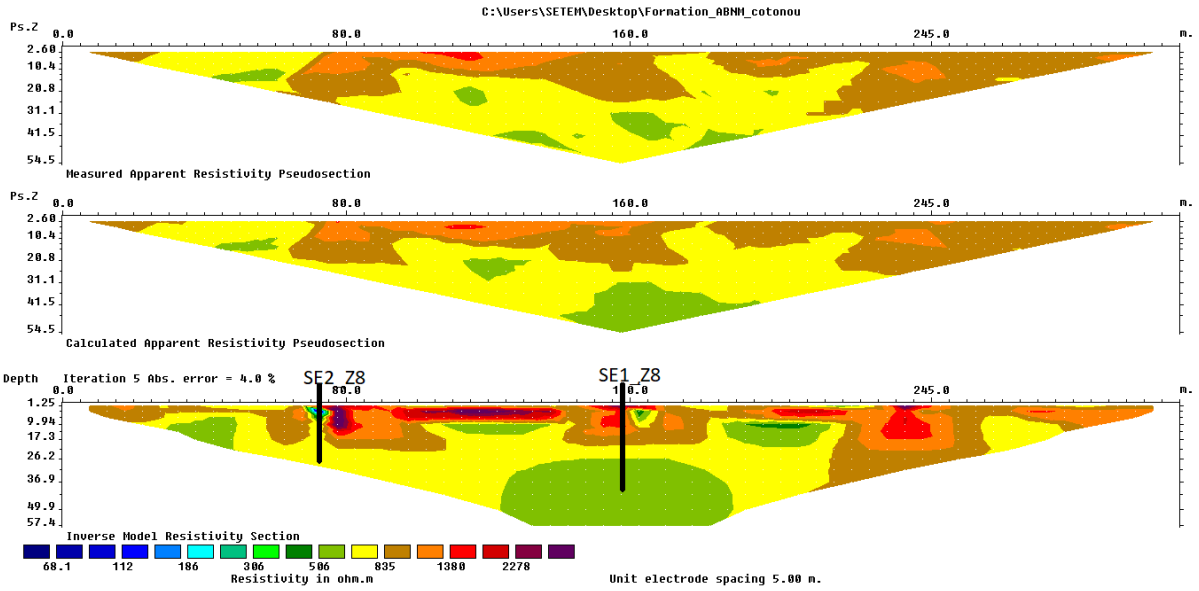


SE2 Z8 (02°46’23,6’’/ 10°43’07,7’’)



N	ρ	h	d
1	88.6	1.5	1.5
2	3594	1.31	2.81
3	234	7.71	10.5
4	2412	27	37.5
5	110	29.1	66.6
6	50.6		

TOMOGRAPHIE SE1 ; SE2 /Z8



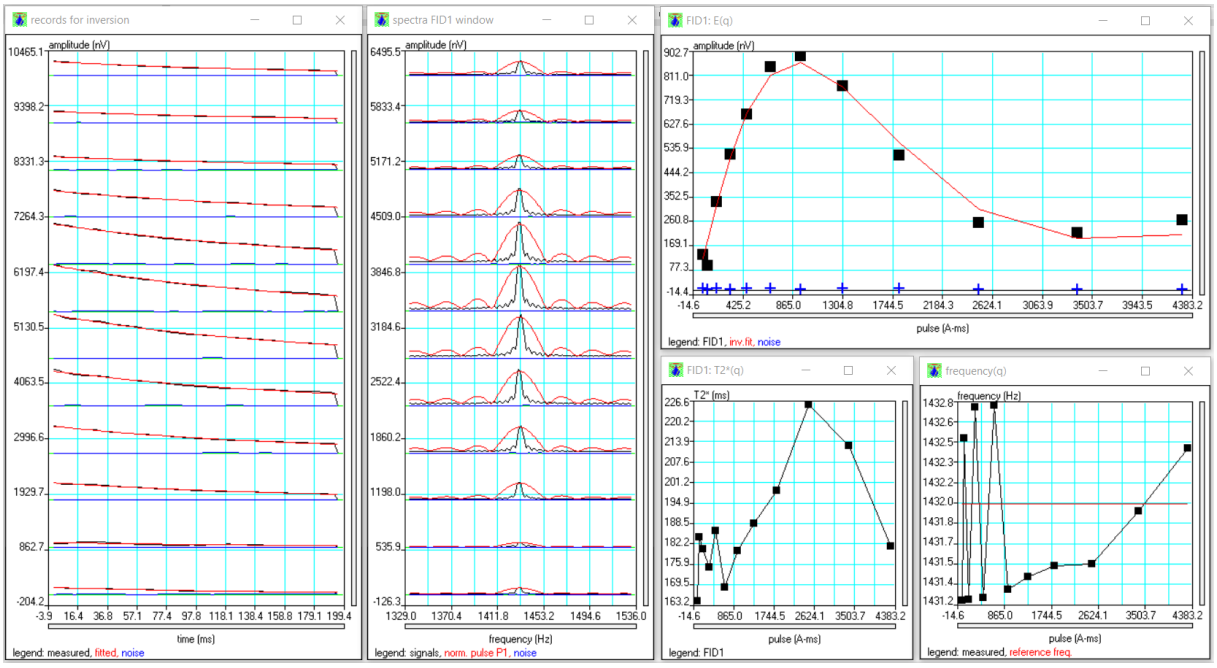


Figure : présentation graphique des données du sondage SE8/Z9

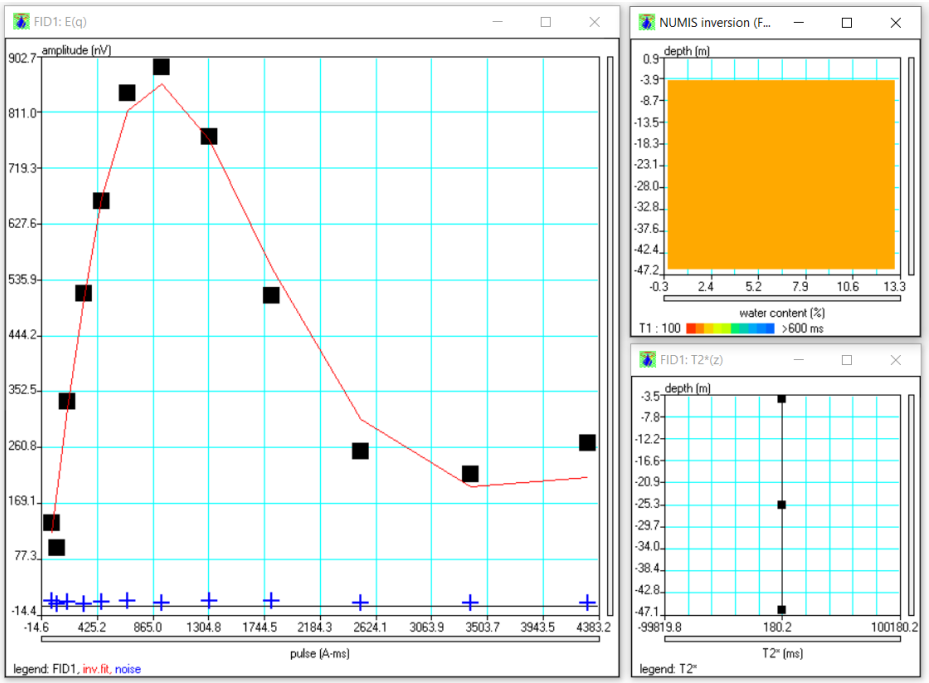


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE8/Z9

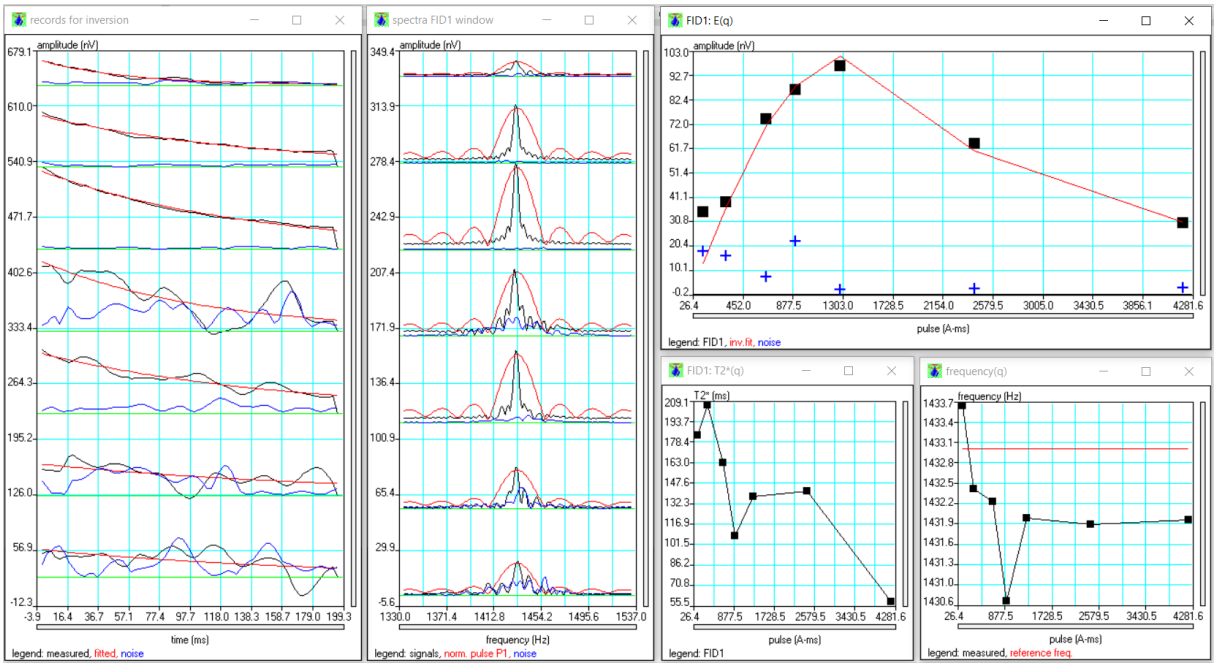


Figure : présentation graphique des données du sondage SE7/Z9-SE6/Z9

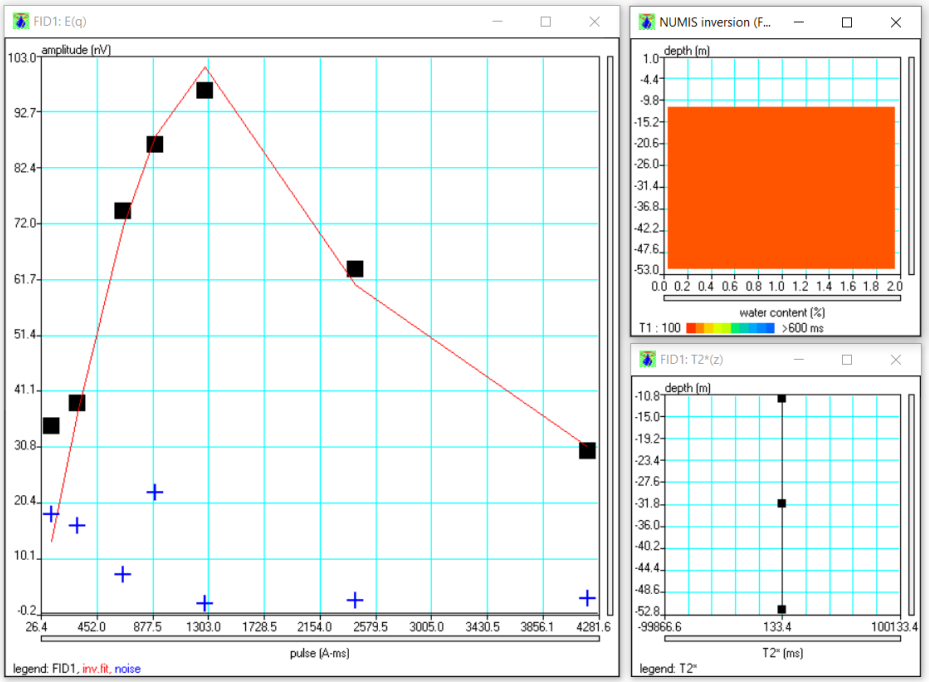


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE7/Z9-SE6/Z9

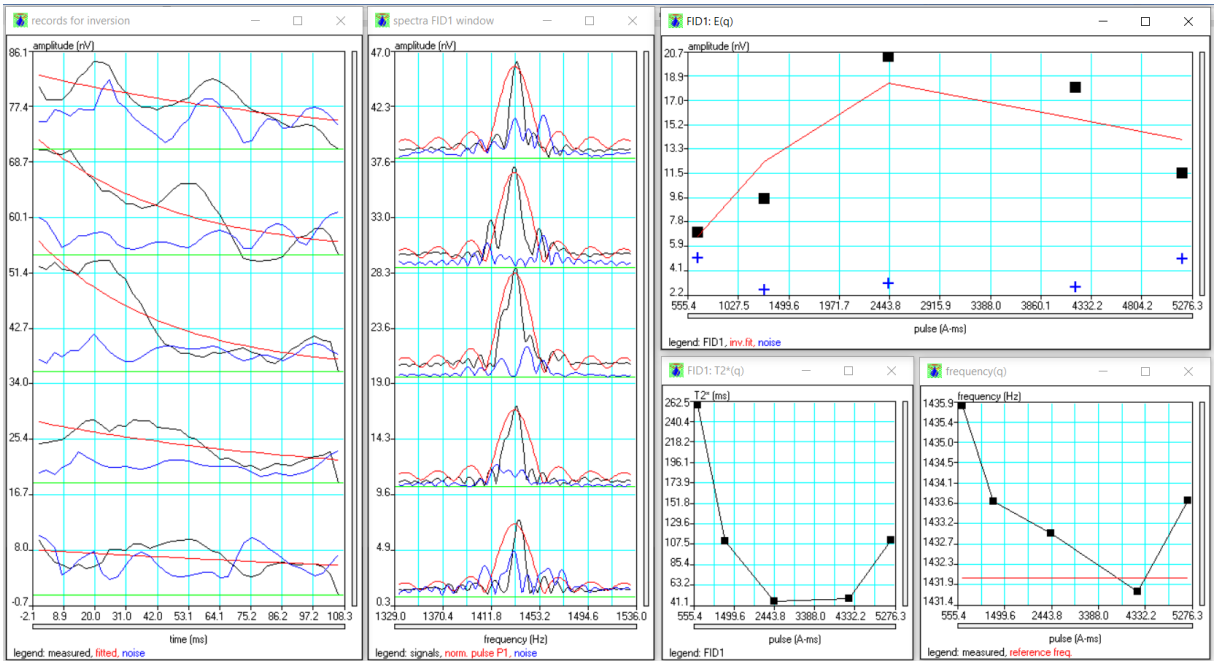


Figure : présentation graphique des données du sondage SE1/Z1

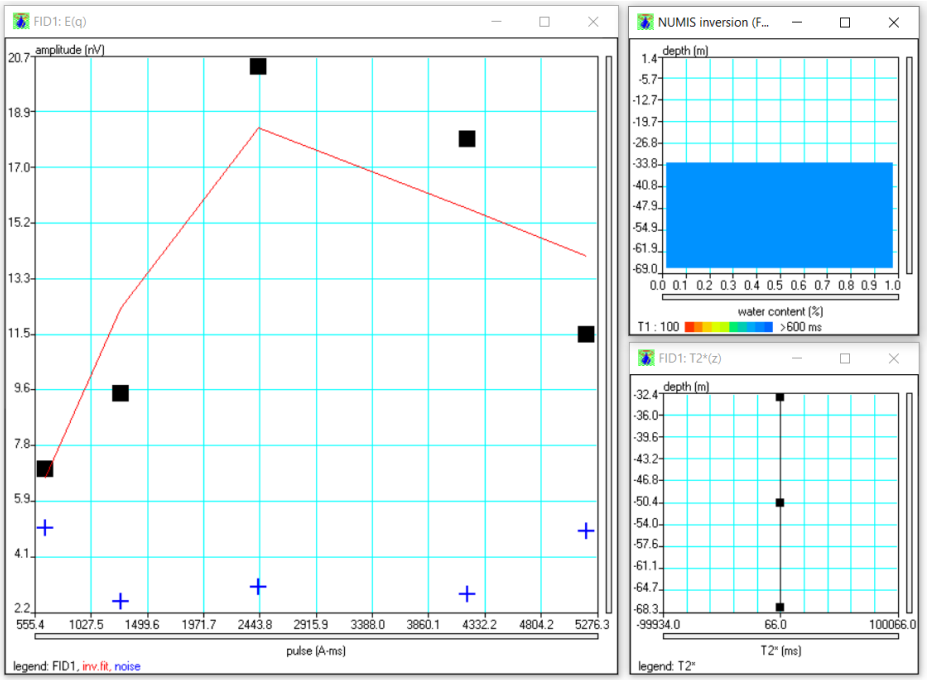


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE1/Z1

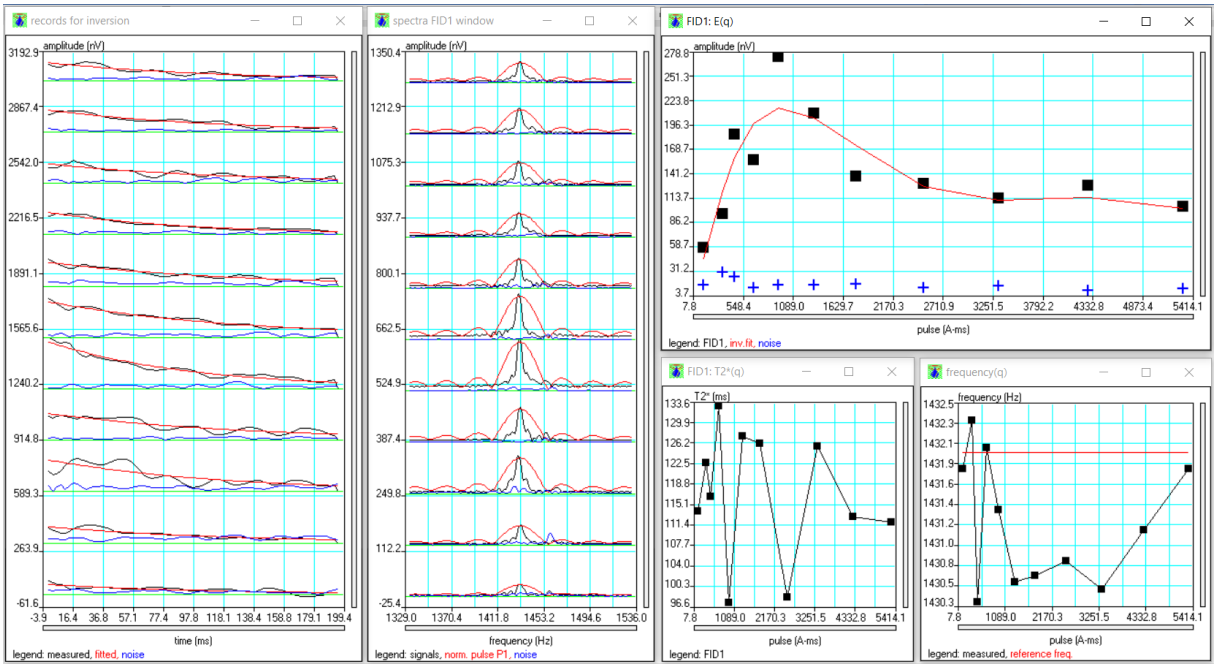


Figure : présentation graphique des données du sondage SE2/Z8-SE1/Z8

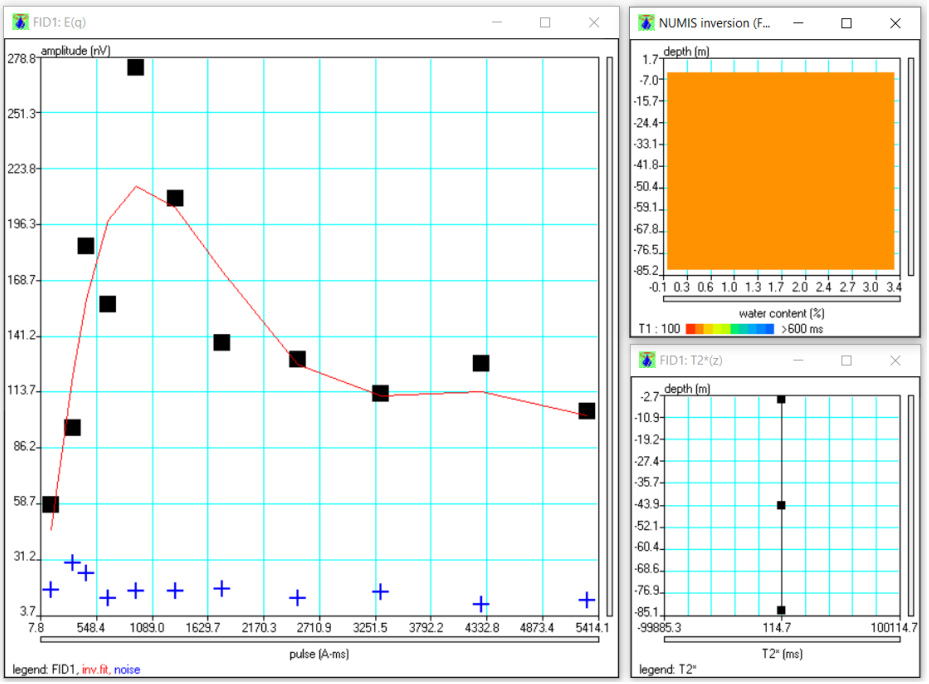


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE2/Z8-SE1/Z8

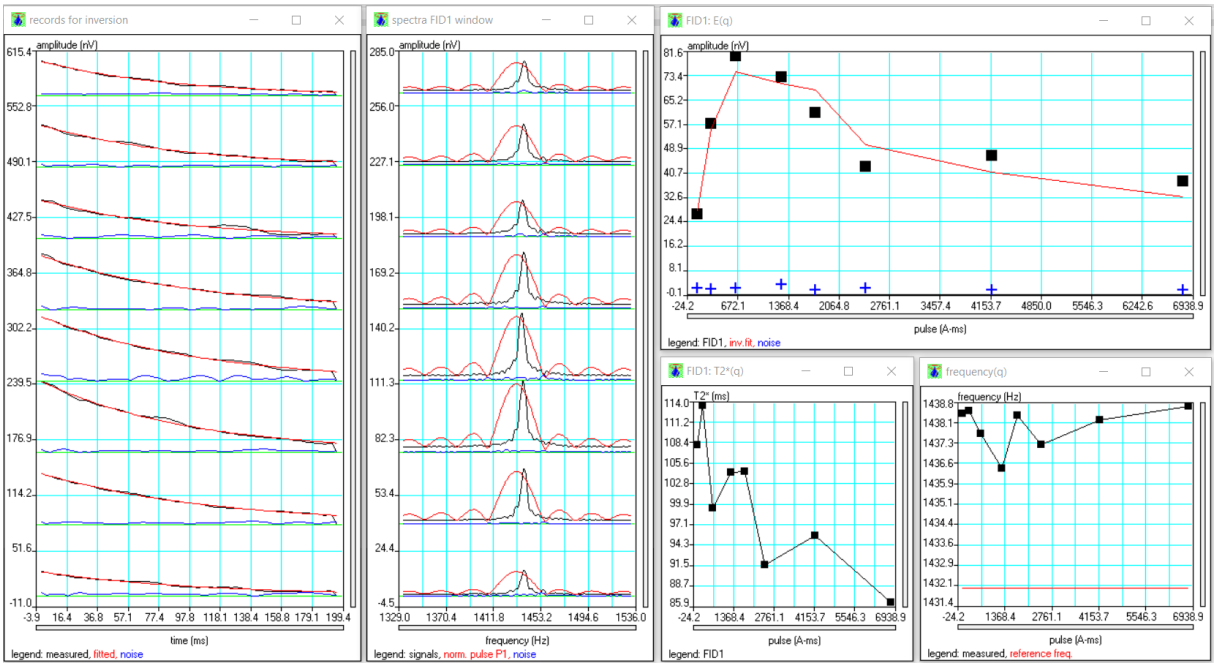


Figure : présentation graphique des données du sondage SE4/Z7

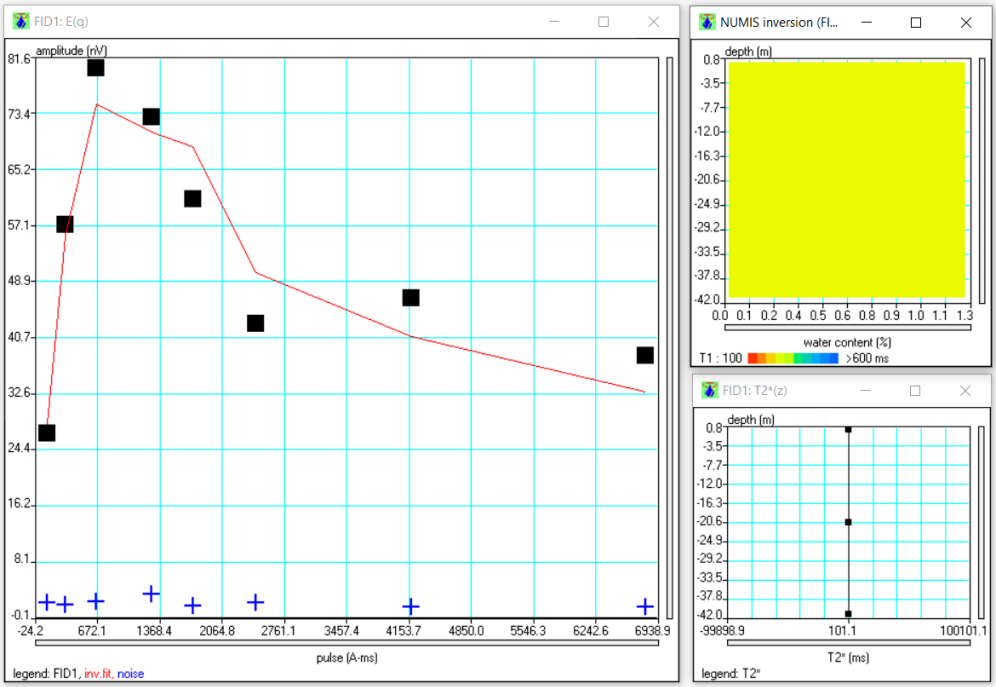


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE4/Z7

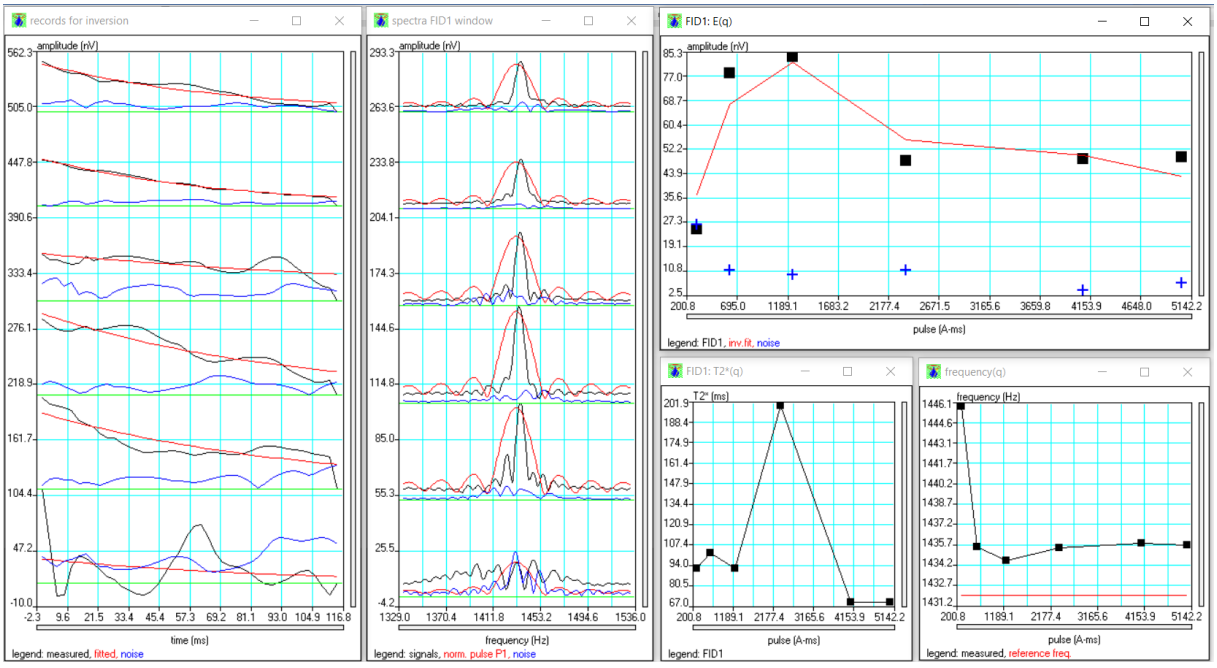


Figure : présentation graphique des données du sondage SE5/Z7

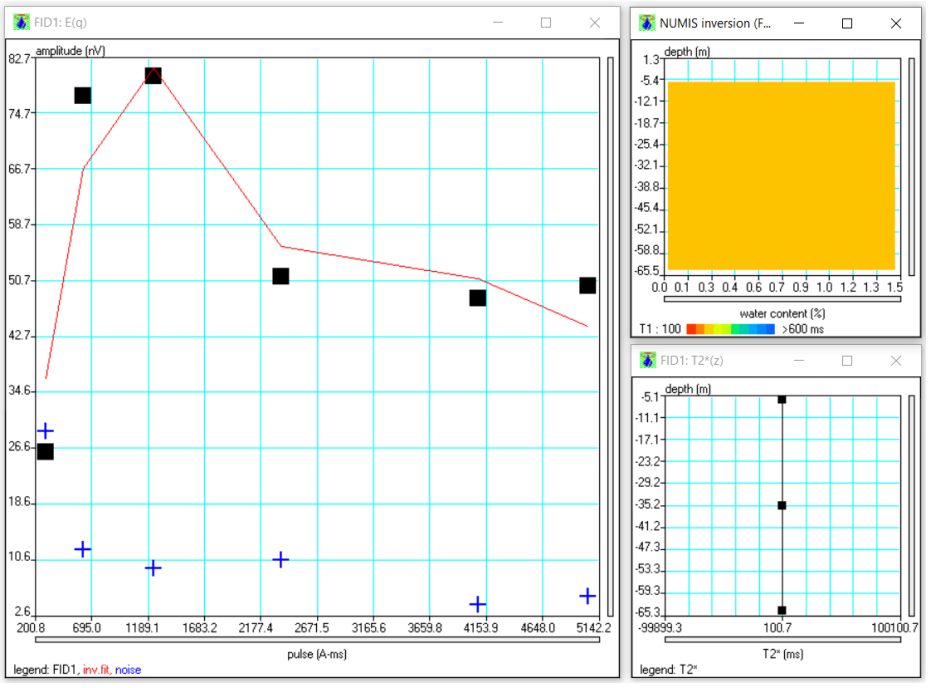


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE5/Z7

6. DIAGRAMMES DE PROFILS ELECTRIQUES

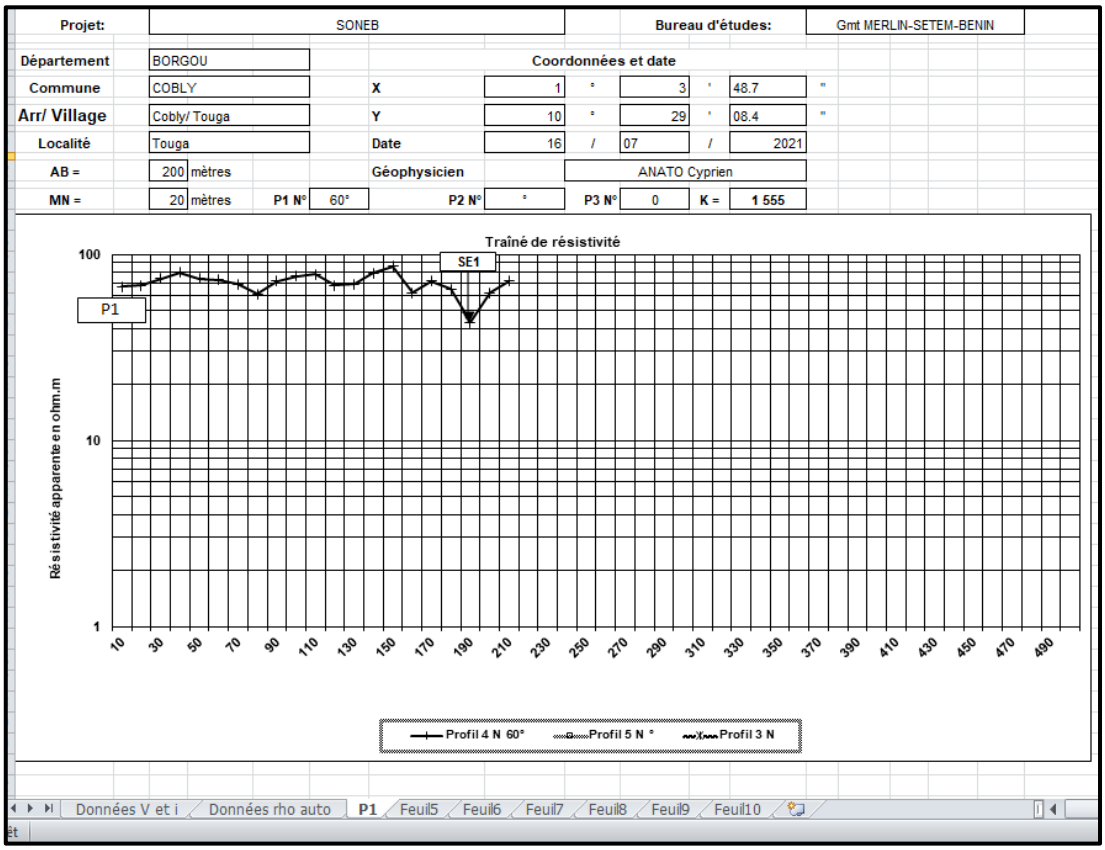
7. DIAGRAMMES DE SONDAGES ELECTRIQUES SCHLUMBERGER INTERPRETES

8. DIAGRAMMES DE SONDAGES TOMOGRAPHIQUES

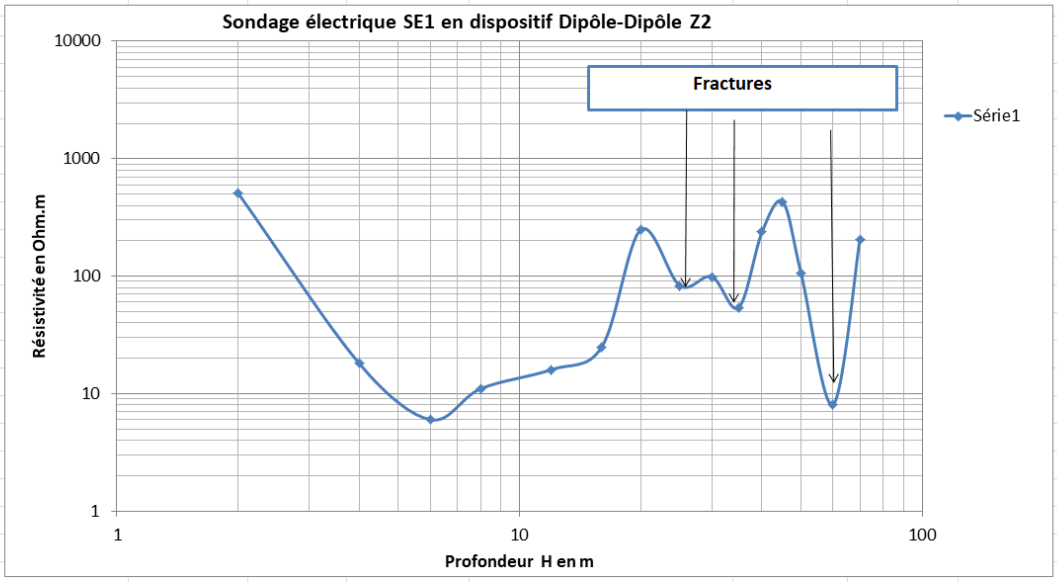
9. DONNEES ET RESULTATS DE SONDAGES RMP

P1

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	BORGOU		Coordonnées et date							
Commune	COBLY		X	1	°	3	'	48.7	"	
Arr/ Village	Cobly/ Touga		Y	10	°	29	'	08.4	"	
Localité	Touga		Date	16	/	07	/	2021		
AB =	200 mètres		Géophysicien	ANATO Cyprien						
MN =	20 mètres	P1 N° 60°	P2 N° °	P3 N° 0	K = 1 555					



Prof H(m)	ρ(Ω.m)
2	509
4	18
6	6
8	11
12	16
16	25
20	249
25	83
30	99
35	54
40	238
45	430
50	106
60	8
70	207



Projet: Gros débit SONEB — **Groupement: SETEM-BENIN/ MERLIN**

Direction: 60°-240° — **DATE: 16/07/2021** — **Coordonnées:**

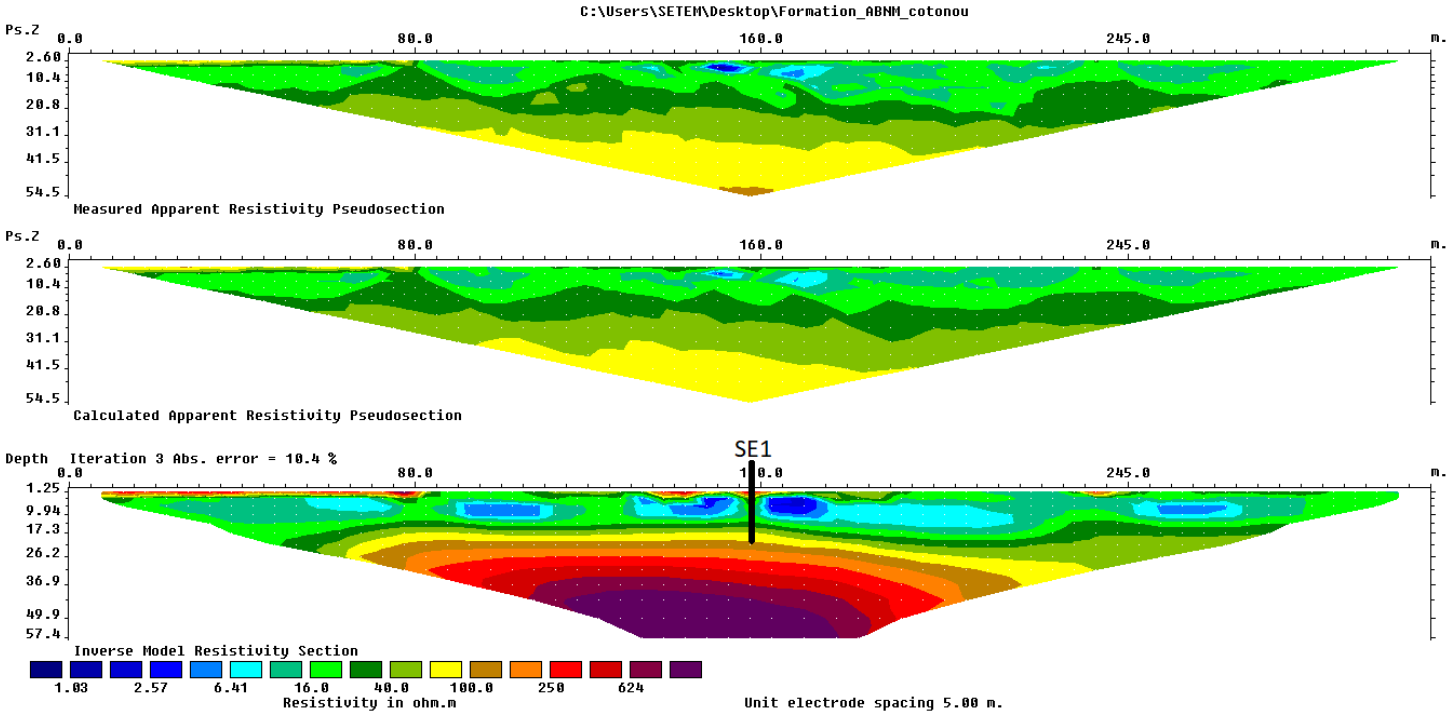
Département : A ATACORA — **Profondeur estimée : 75m** — **X= 01°03'47,4"**

Commune : COBLY — **Epaisseur altérée: 6m** — **Y= 10°29'07,8"**

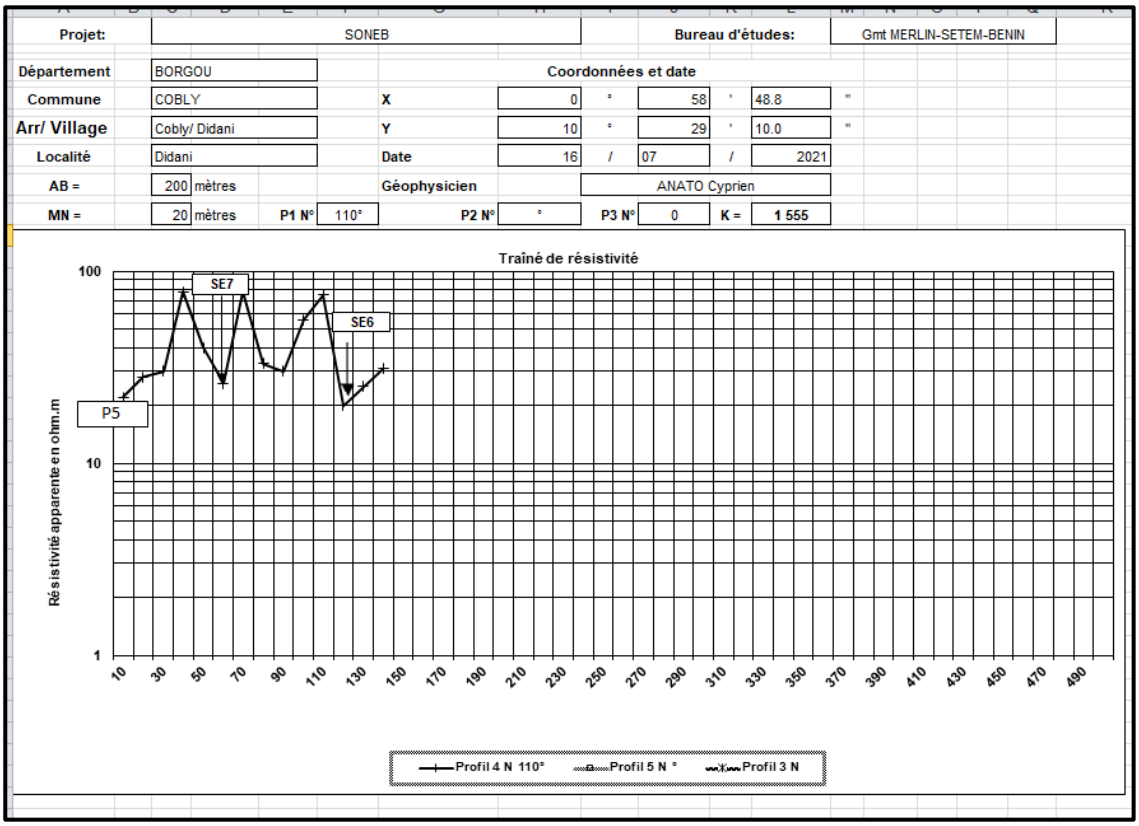
Arrondissement: : COBLY — **Z= 243m**

Village : TOUGA — **Géophysicien: Damien K. AZONSI**

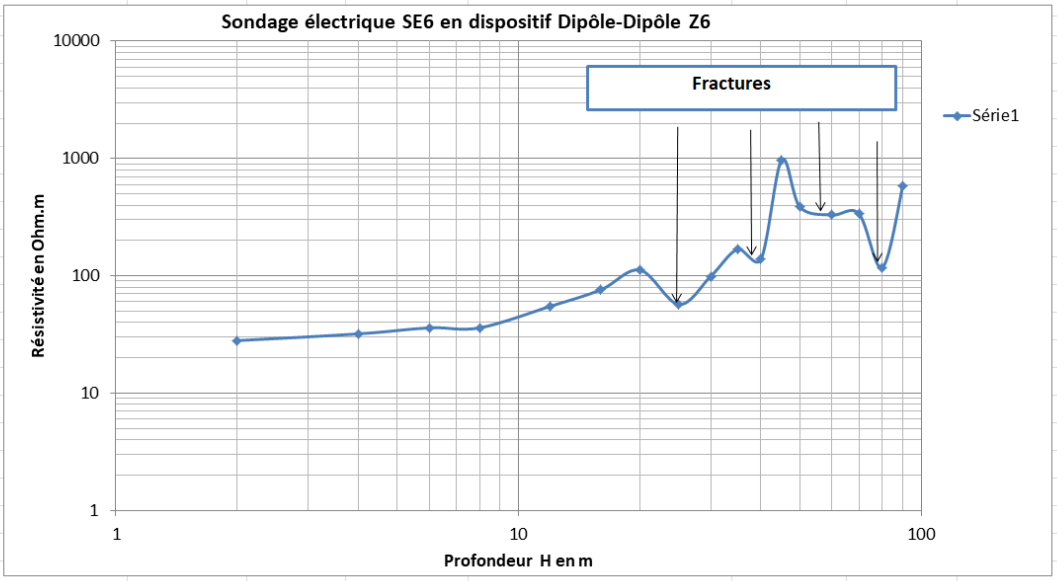
TOMOGRAPHIE SE1/Z2



P5



Prof H(m)	ρ(Ω.m)
2	28
4	32
6	36
8	36
12	55
16	76
20	112
25	57
30	99
35	169
40	139
45	973
50	385
60	330
70	338
80	117
90	588

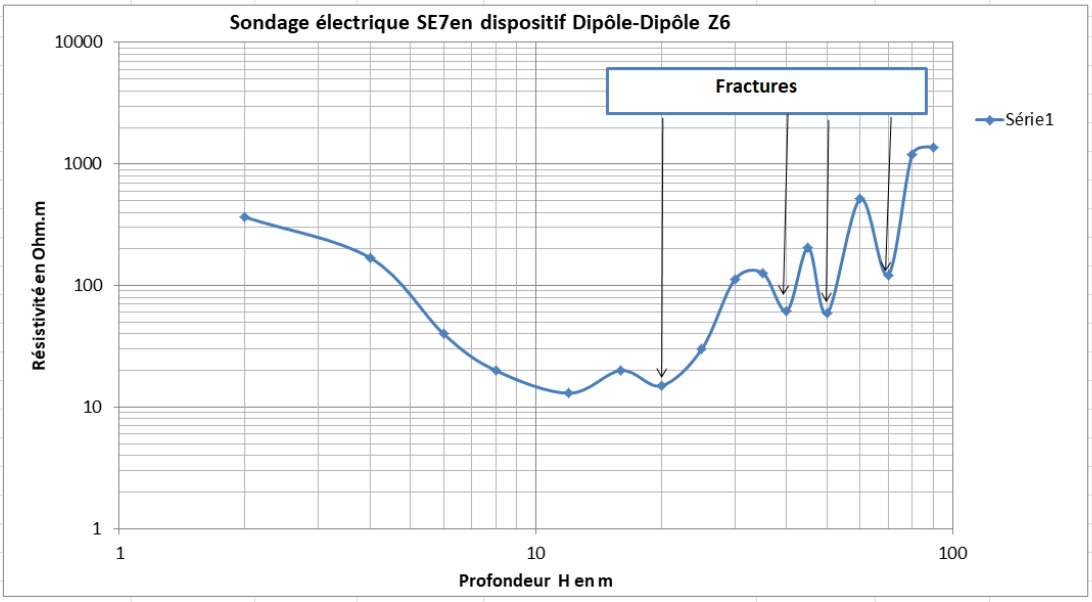


Projet: Gros débit SONEB
Direction: 110°-290°
Département : A ATACORA
Commune : COBLY
Arrondissement: : COBLY
Village : DIDANI

Groupement: SETEM-BENIN/ MERLIN
DATE: 18/07/2021
Profondeur estimée : 90m
Epaisseur altérée: 15m
Géophysicien: Damien K. AZONSI

Coordonnées:
X= 00°58'52,3"
Y= 10°29'08,7"
Z= 209m

Prof H(m)	ρ(Ω.m)
2	366
4	169
6	40
8	20
12	13
16	20
20	15
25	30
30	112
35	127
40	62
45	204
50	59
60	515
70	122
80	1203
90	1380

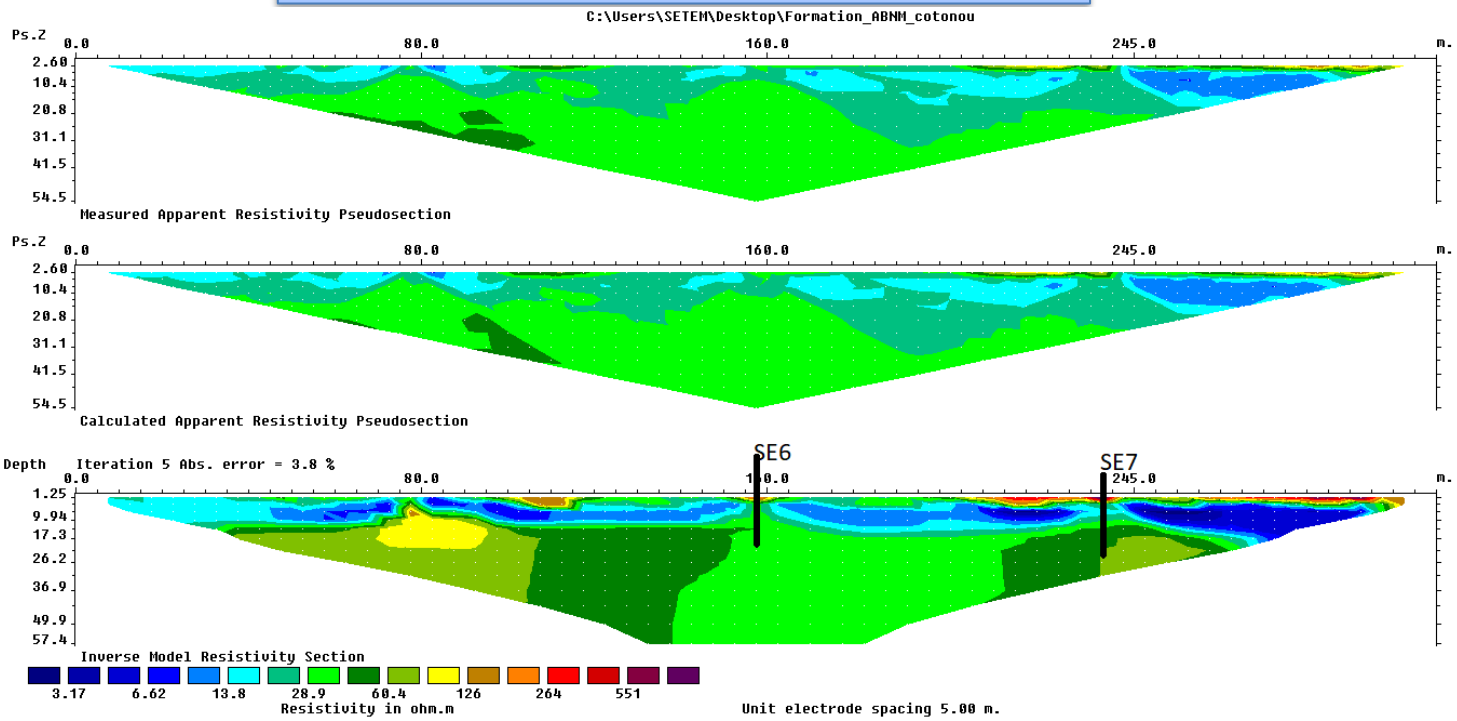


Projet: Gros débit SONEB
Direction: 110°-290°
Département : A ATACORA
Commune : COBLY
Arrondissement: : COBLY
Village : DIDANI

Groupement: SETEM-BENIN/ MERLIN
DATE: 18/07/2021
Profondeur estimée : 90m
Epaisseur altérée: 12m
Géophysicien: Damien K. AZONSI

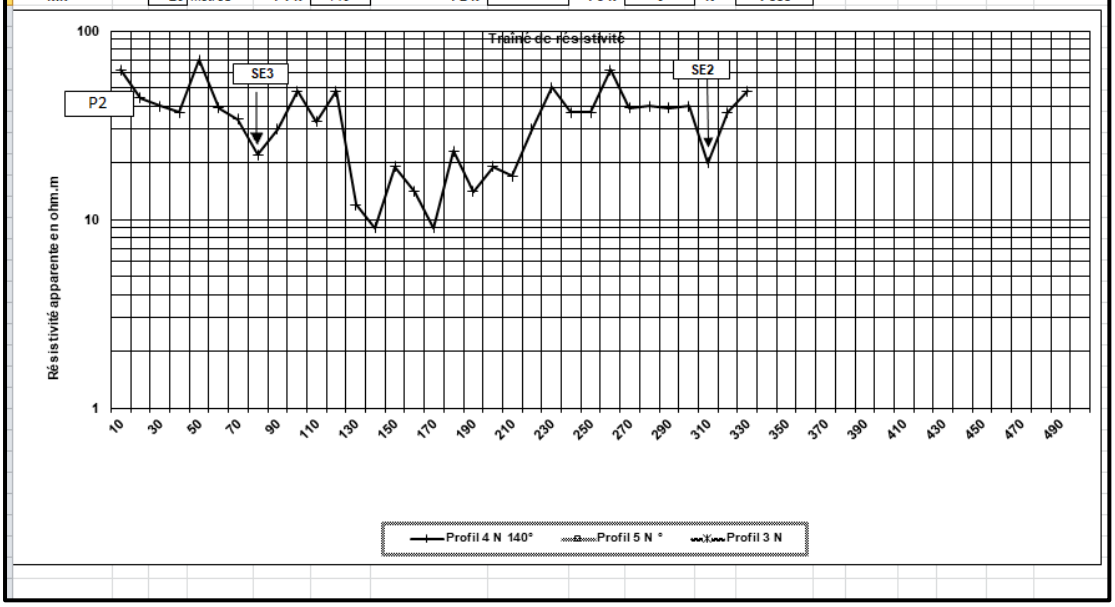
Coordonnées:
X= 00°58'50,4"
Y= 10°29'09,6"
Z= 207m

TOMOGRAPHIE SE6. SE7/ Z6

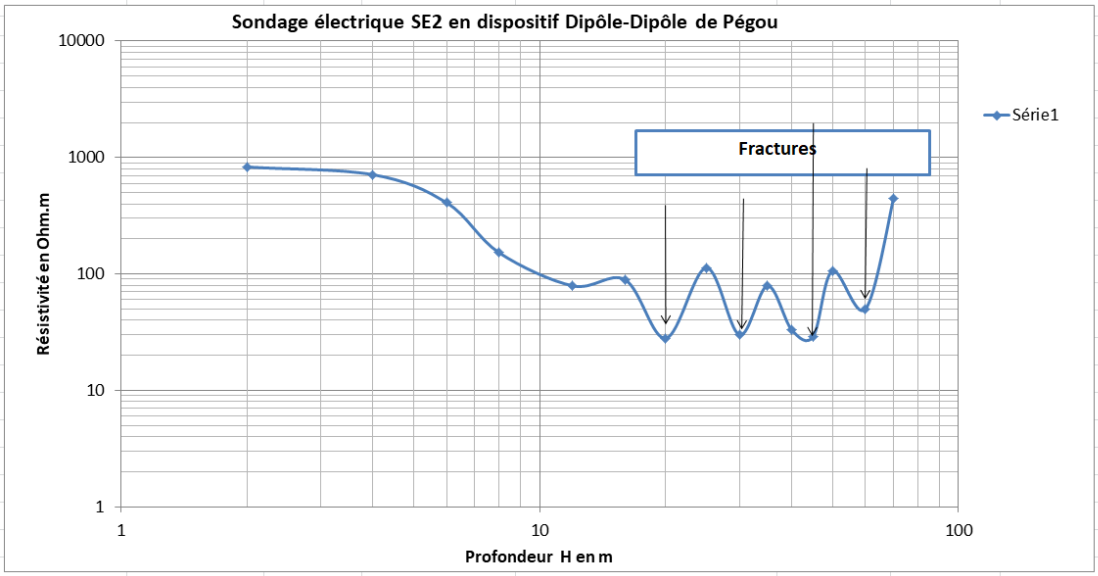


P2

Projet:	SONEB					Bureau d'études:	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	BORGOU			Coordonnées et date						
Commune	COBLY		X	0	°	57	'	32.7	"	
Arr/ Village	Tapoga/ Pégou		Y	10	°	35	'	25.5	"	
Localité	Pégou		Date	16	/	07	/	2021		
AB =	200 mètres		Géophysicien			ANATO Cyprien				
MN =	20 mètres	P1 N° 140°	P2 N°	°		P3 N° 0		K = 1 555		



Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	829
4	713
6	409
8	152
12	79
16	89
20	28
25	113
30	30
35	79
40	33
45	29
50	106
60	50
70	443
80	
90	

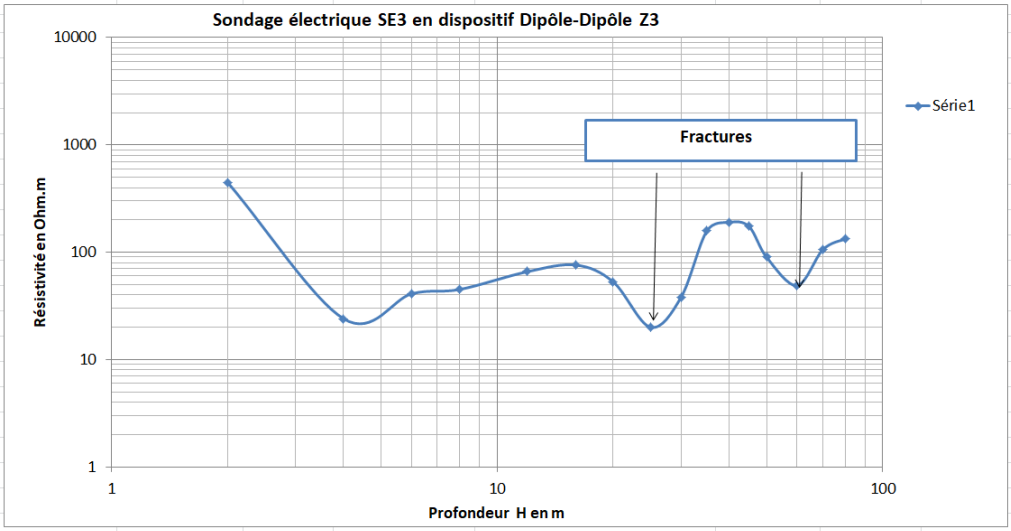


Projet: SONEB
Direction: 140°-320°
Département : B ALIBORI
Commune : COBLY
Arrondissement: TAPOGA
Village PEGOU
Localité PEGOU

DATE: 16/07/2021
Profondeur estimée : 80m
Epaisseur altérée: 12m
Géophysicien: Cyprien D. ANATO

Coordonnées:
X=000°57'32,1
Y= 10°29'07,8"
Z= 176m

Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	449
4	24
6	41
8	45
12	66
16	76
20	53
25	20
30	38
35	158
40	190
45	174
50	90
60	49
70	106
80	133
90	

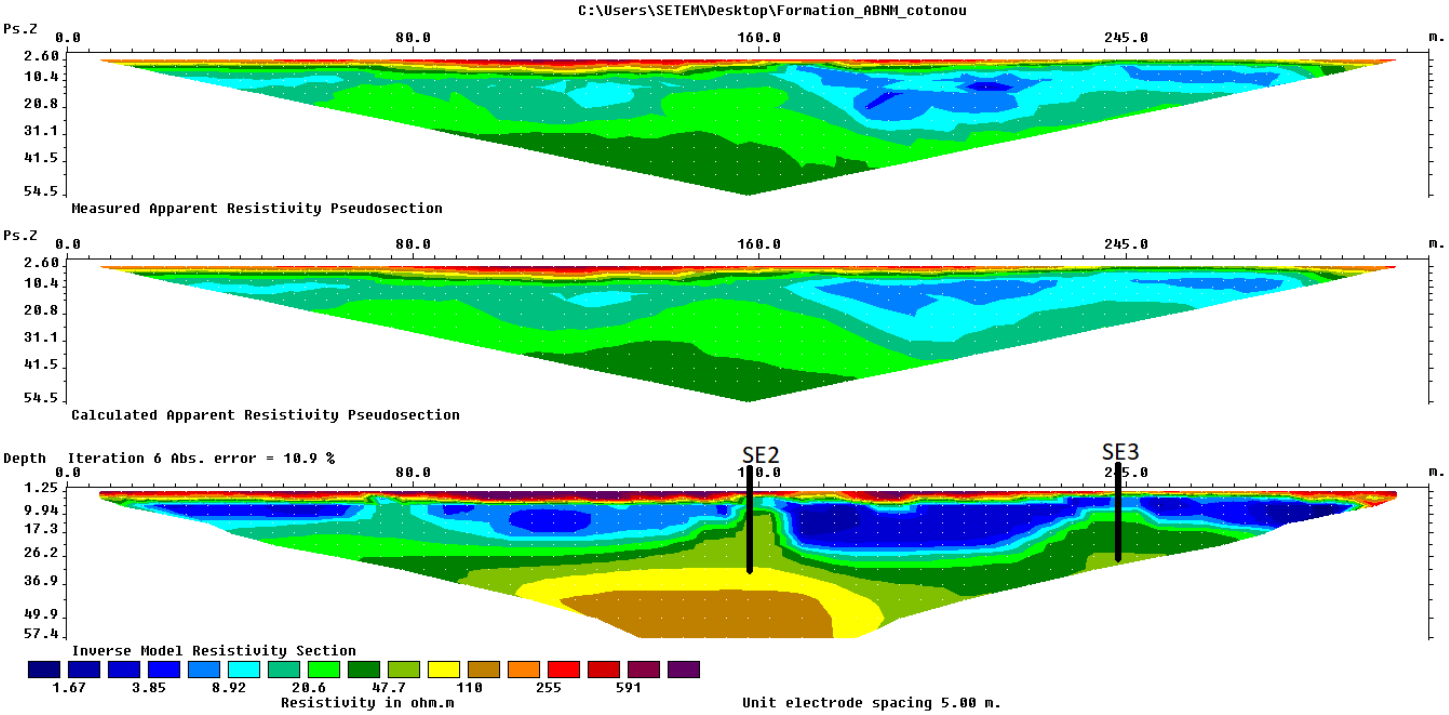


Projet: SONEB
Direction: 140°-320°
Département : B ALIBORI
Commune : COBLY
Arrondissement: TAPOGA
Village PEGOU
Localité PEGOU

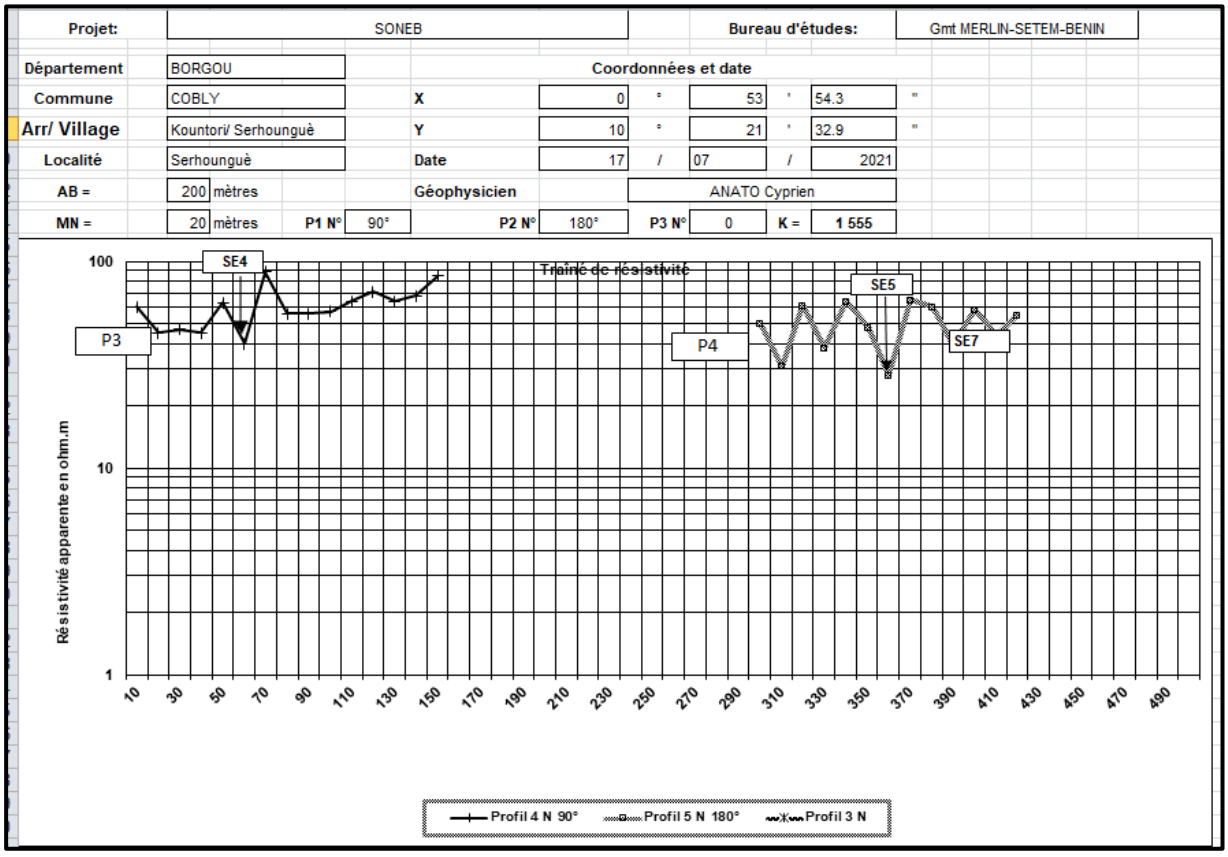
Groupement: SETEM-BENIN/ MERLIN
DATE: 16/07/2021
Profondeur estimée : 80m
Epaisseur altérée: 6m
Géophysicien: Cyprien D. ANATO

Coordonnées:
X= 00°57'27,6"
Y= 10°35'32,2"
Z= 176m

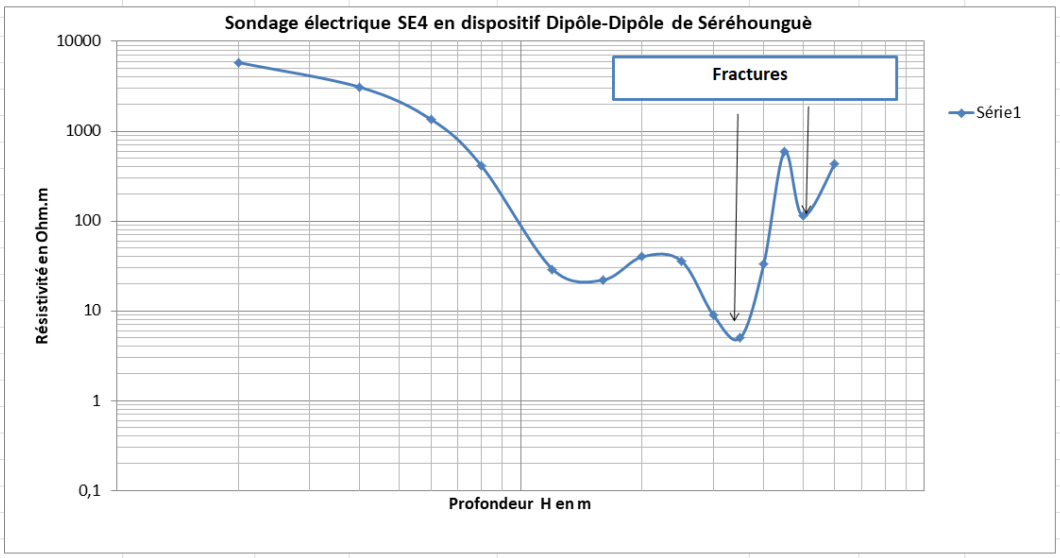
TOMOGRAPHIE SE2 SE



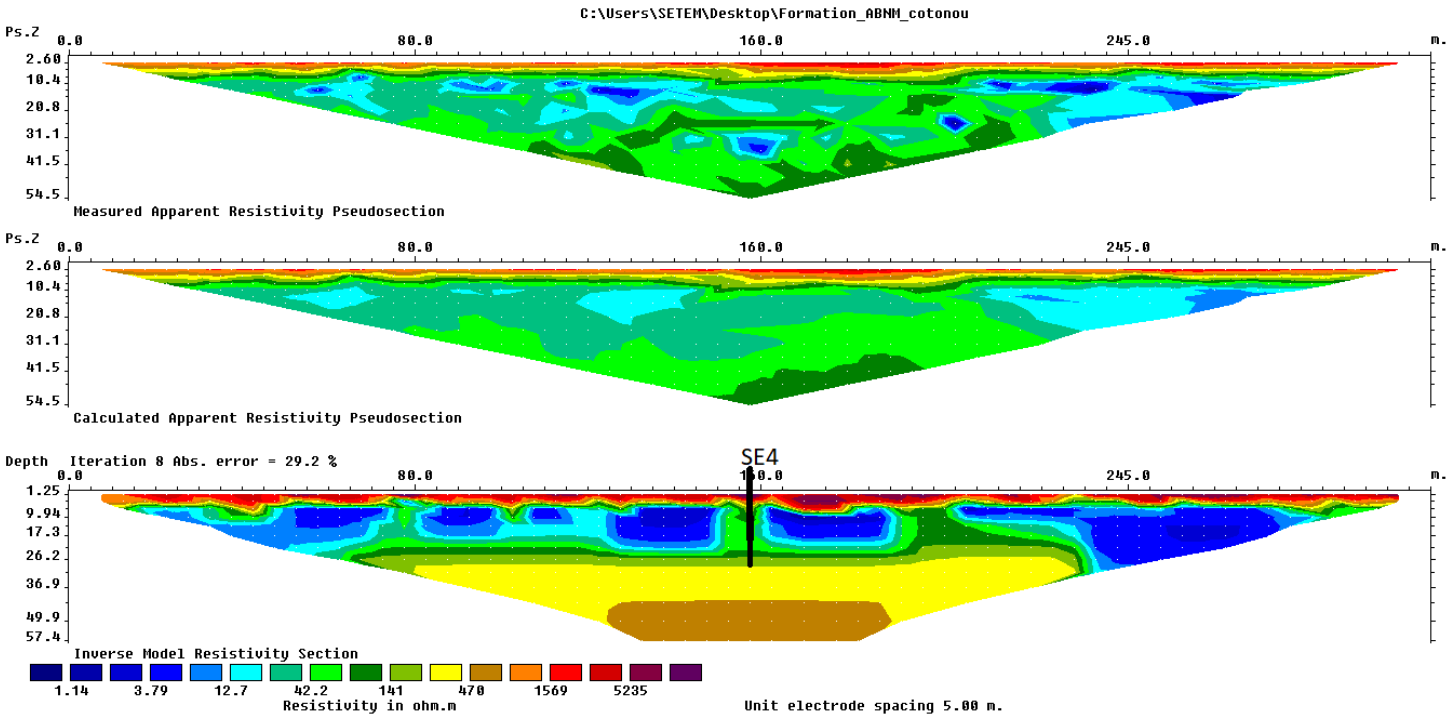
P3-P4



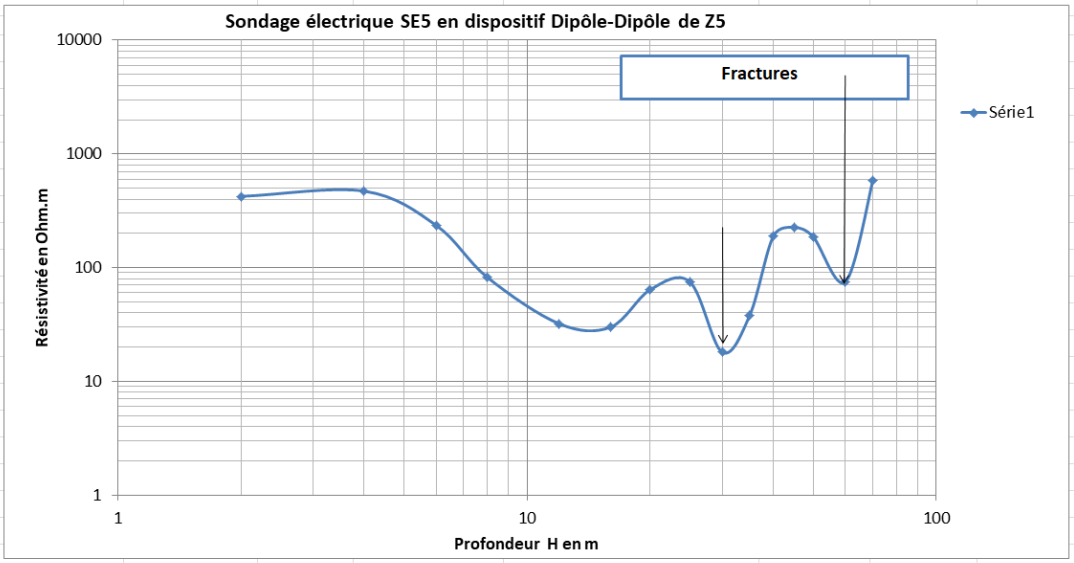
Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	5831
4	3093
6	1355
8	411
12	29
16	22
20	40
25	36
30	9
35	5
40	33
45	588
50	113
60	435



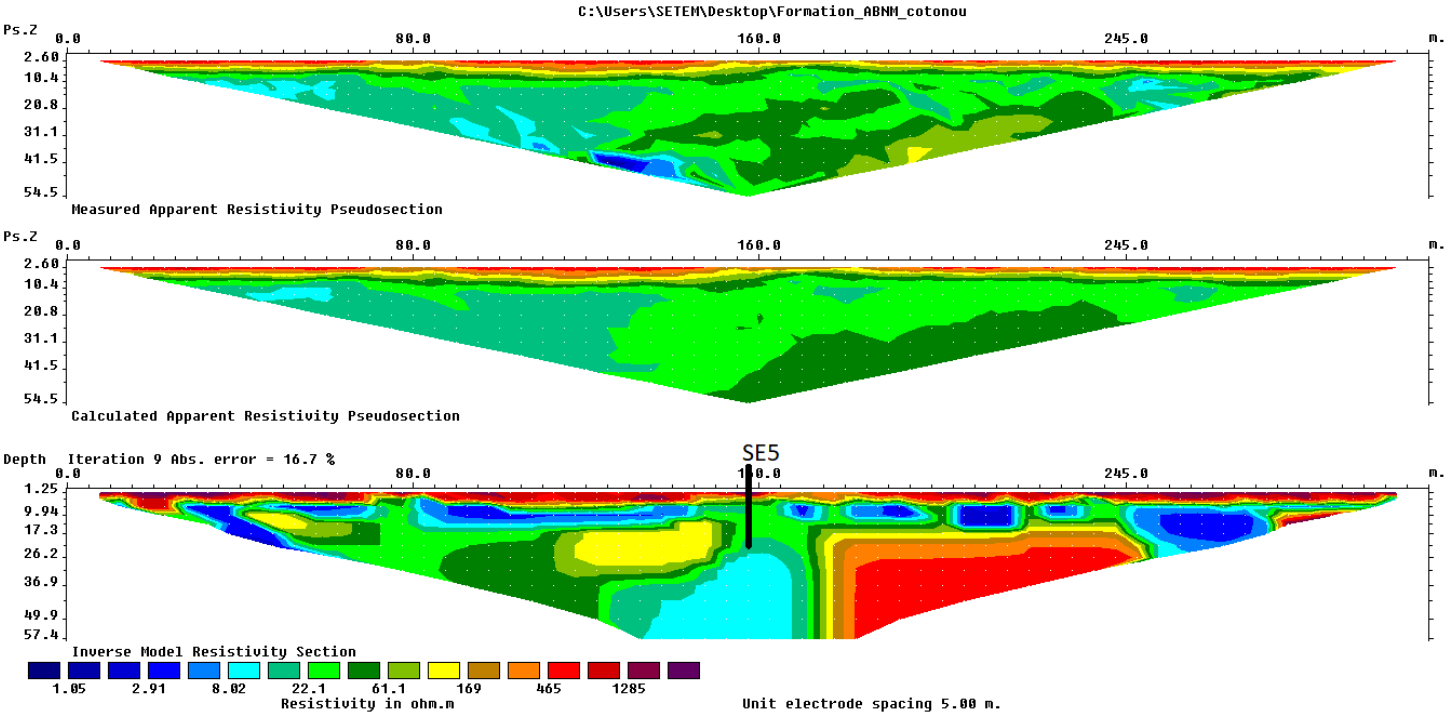
Projet: SONEB		Groupement: SETEM-BENIN/ MERLIN		
Direction: 90°-270°			DATE: 17/07/2021	Coordonnées:
Département : B	ALIBORI		Profondeur estimée : 80m	X= 00°54'15,8"
Commune :	COBLY		Epaisseur altérée: 6m	Y= 10°21'19,8"
Arrondissement:	KOUNTORI	Géophysicien: Cyprien D. ANATO		Z= 195m
Village	SERHOUNGUE			
Localité	SEREHOUNGUE			



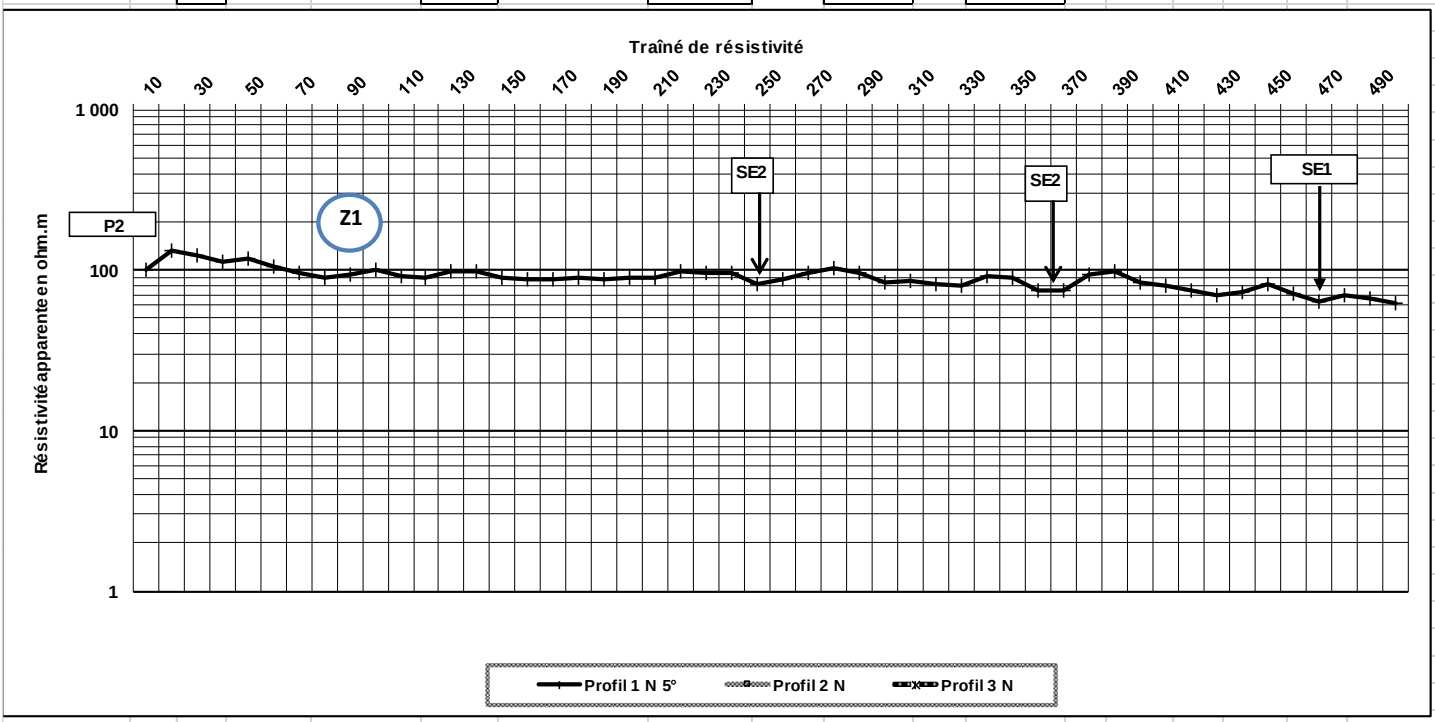
Prof H(m	ρ(Ω.m)
2	424
4	471
6	235
8	82
12	32
16	30
20	64
25	75
30	18
35	38
40	190
45	226
50	187
60	75
70	581
80	
90	



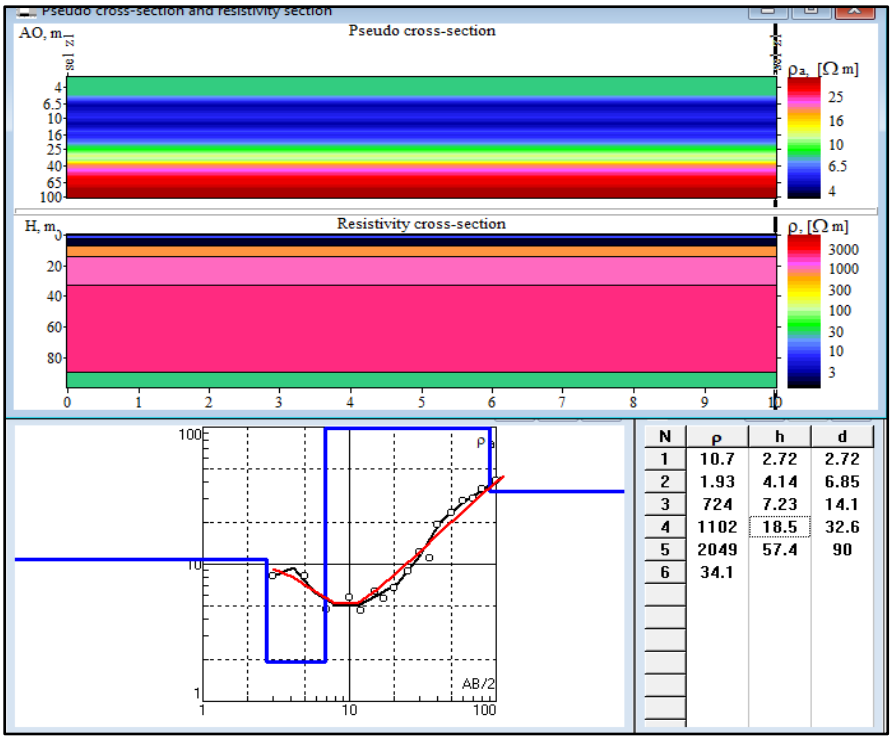
Projet: SONEB			
Direction: 90°-270°		**DATE: 17/07/2021**	**Coordonnées:**
Département : B ALIBORI		**Profondeur estimée : 70m**	**X= 00°53'5,3"**
Commune :	**COBLY**	**Epaisseur altérée: 16m**	**Y= 10°21'34,9"**
Arrondissement:	**KOUNTORI**	**Géophysicien: Cyprien D. ANATO**	**Z= 203m**
Village	**SEREHOUNGUE**		
Localité	**SEREHOUNGUE**		



Projet:	SONEB					**Bureau d'études:**	Gmt MERLIN-SETEM-BENIN			
Département	ATACORA		**Coordonnées et date**							
Commune	COBLY		**X**	1	°	0	'	58,87	"	
Arr/ Village	SORI		**Y**	10	°	29	'	4,6	"	
Localité	COBLY CENTRE		**Date**	3	/	7	/	2021		
AB =	200 mètres		**Géophysicien**			Eric SOUNNOUVOU				
MN =	20 mètres	**P1 N°** 5°	**P2 N°**	0		**P3 N°**	0	**K =**	1 555	

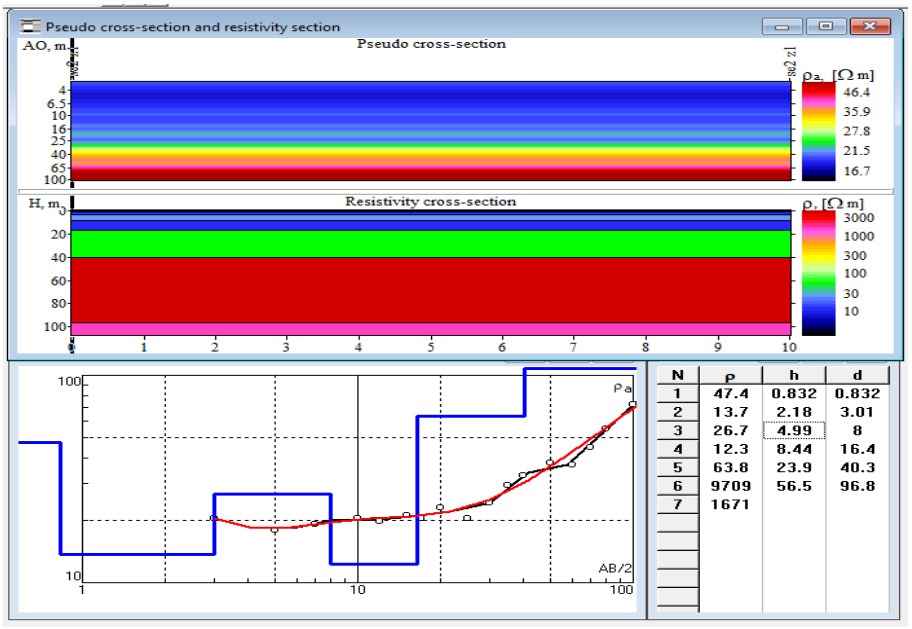


SE1 Z1



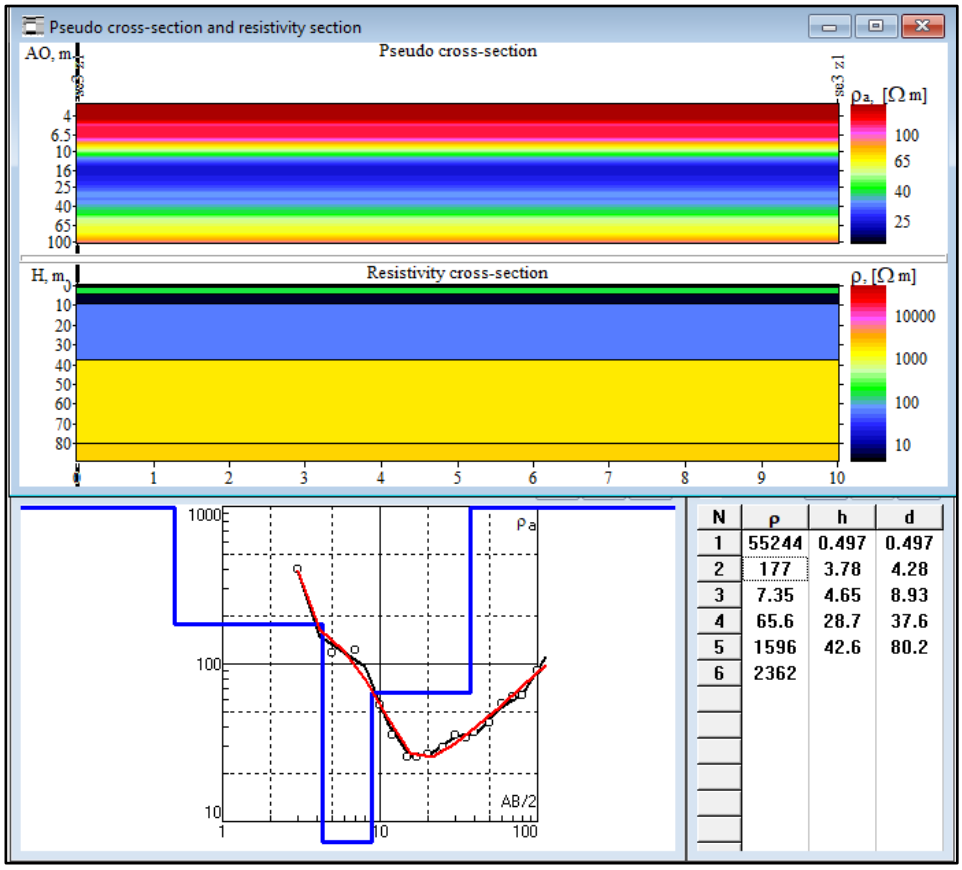
N	ρ	h	d
1	10.7	2.72	2.72
2	1.93	4.14	6.85
3	724	7.23	14.1
4	1102	18.5	32.6
5	2049	57.4	90
6	34.1		

SE2 Z1

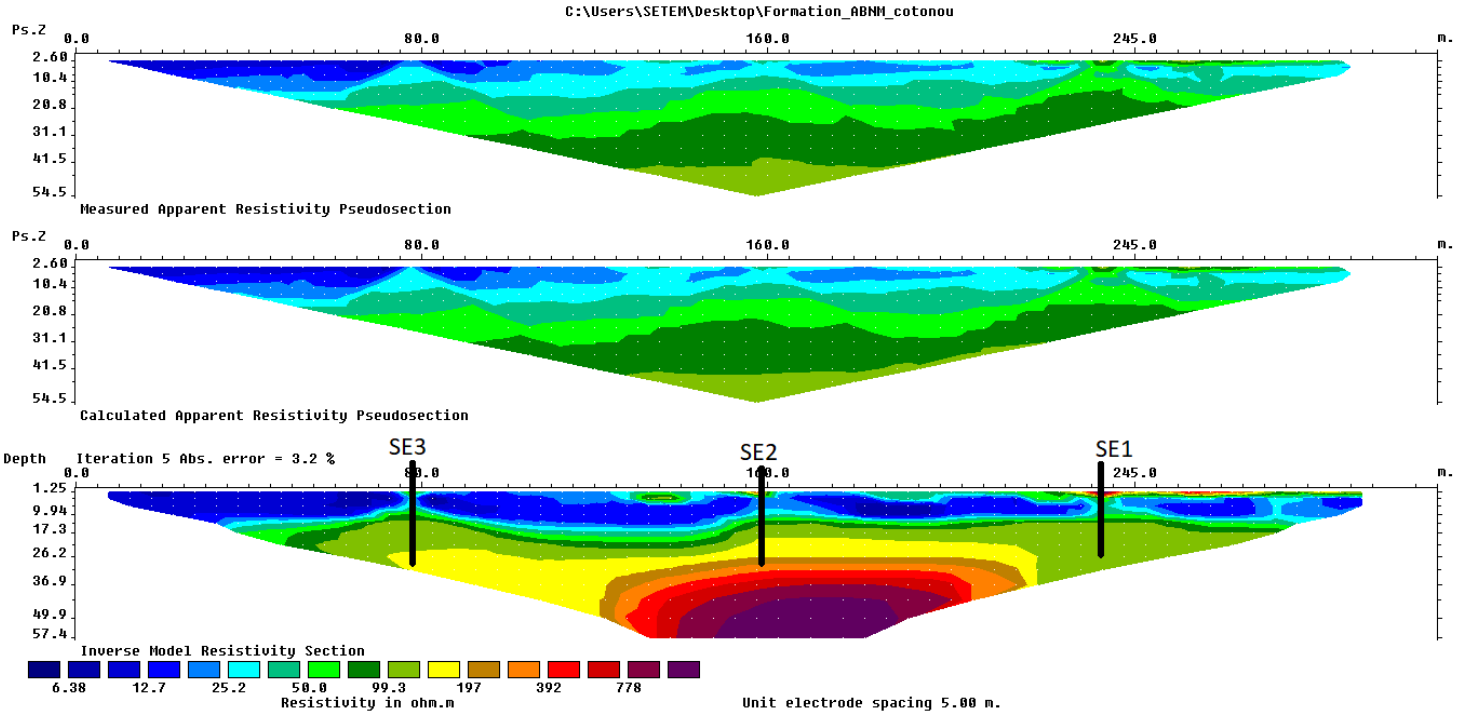


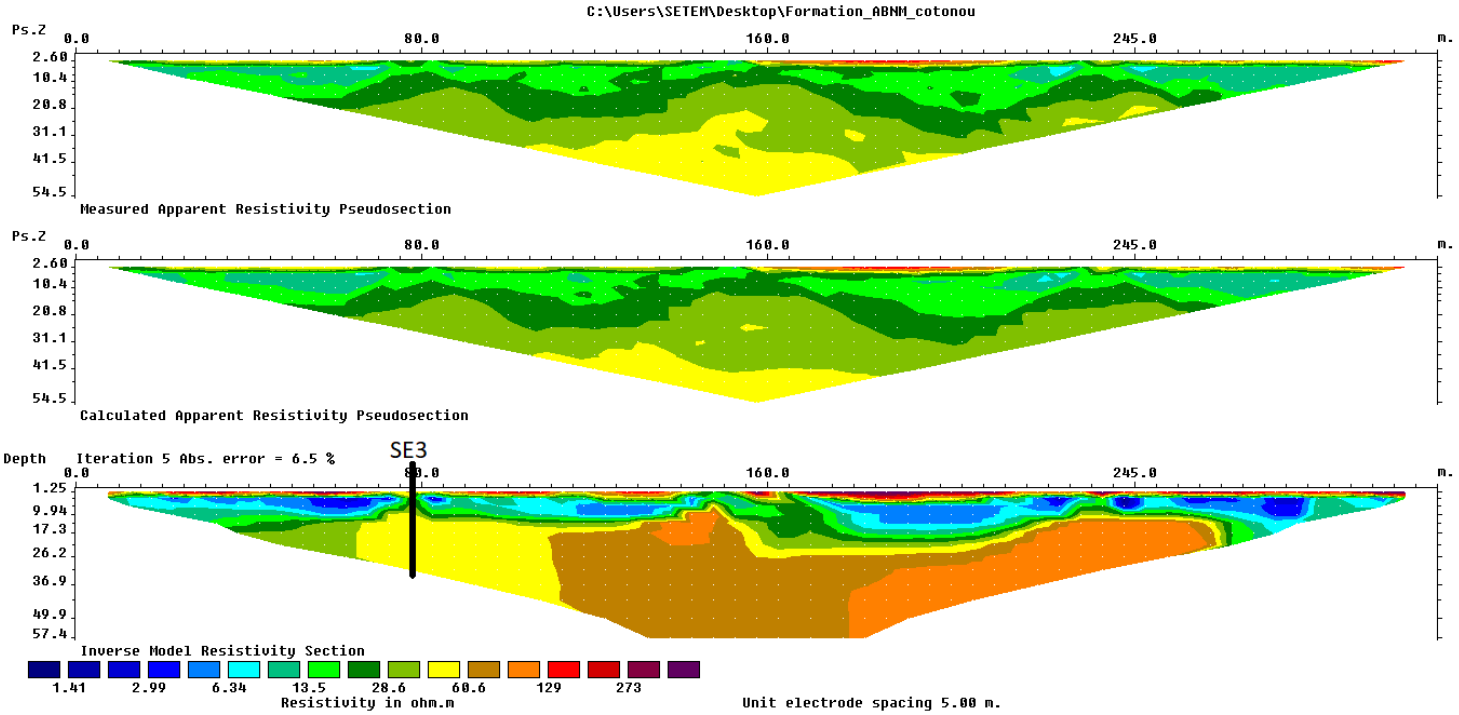
N	ρ	h	d
1	47.4	0.832	0.832
2	13.7	2.18	3.01
3	26.7	4.99	8
4	12.3	8.44	16.4
5	63.8	23.9	40.3
6	9709	56.5	96.8
7	1671		

SE3 Z1



N	ρ	h	d
1	55244	0.497	0.497
2	177	3.78	4.28
3	7.35	4.65	8.93
4	65.6	28.7	37.6
5	1596	42.6	80.2
6	2362		


C:\Users\SETEM\Desktop\Formation_ABNM_cotonou
Ps.Z
0.0
80.0
160.0
245.0
m.
2.60
10.4
20.8
31.1
41.5
54.5
Measured Apparent Resistivity Pseudosection
Calculated Apparent Resistivity Pseudosection
Depth
Iteration 5 Abs. error = 3.2 %
SE3
SE2
SE1
1.25
9.94
17.3
26.2
36.9
49.9
57.4
Inverse Model Resistivity Section
6.38
12.7
25.2
50.0
99.3
197
392
778
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing 5.00 m.


C:\Users\SETEM\Desktop\Formation_ABNM_cotonou
Ps.Z
0.0
80.0
160.0
245.0
m.
2.60
10.4
20.8
31.1
41.5
54.5
Measured Apparent Resistivity Pseudosection
Calculated Apparent Resistivity Pseudosection
Depth
Iteration 5 Abs. error = 6.5 %
SE3
1.25
9.94
17.3
26.2
36.9
49.9
57.4
Inverse Model Resistivity Section
1.41
2.99
6.34
13.5
28.6
60.6
129
273
Resistivity in ohm.m
Unit electrode spacing 5.00 m.

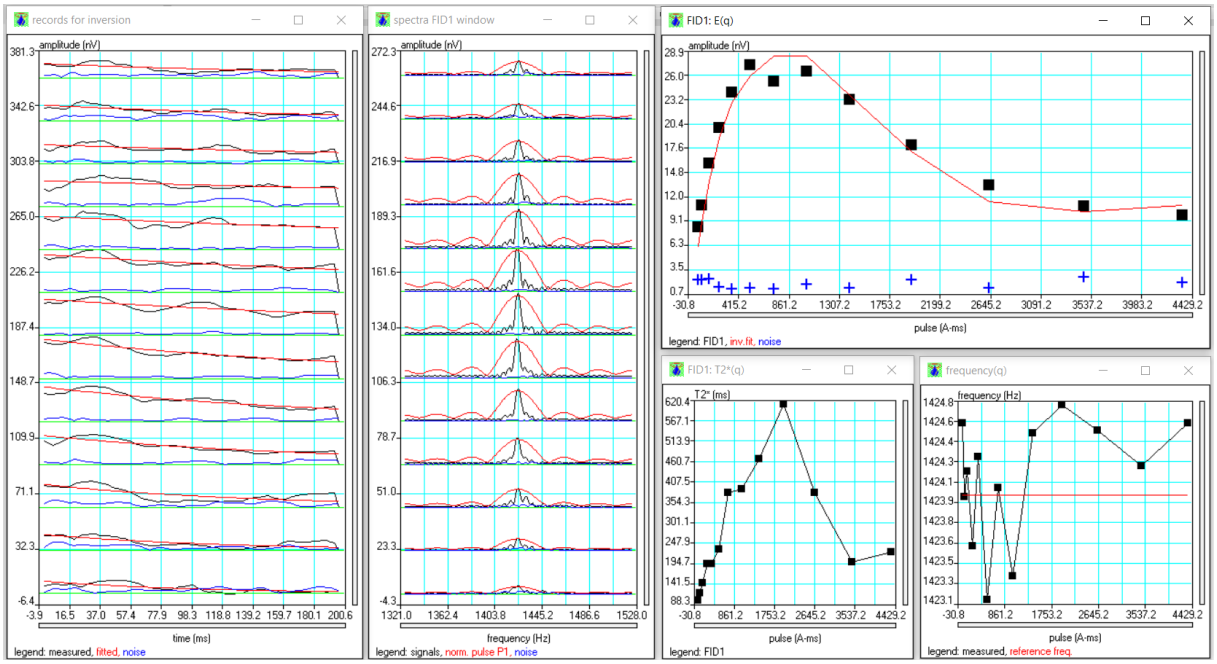


Figure: présentation graphique des données du sondage SE4/Z4

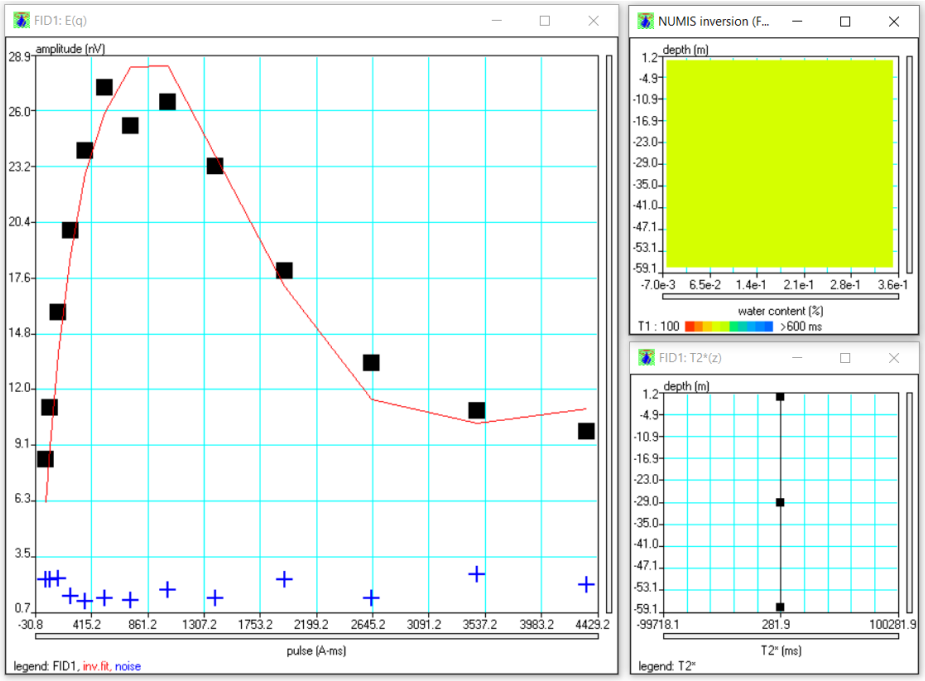


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE4/Z4

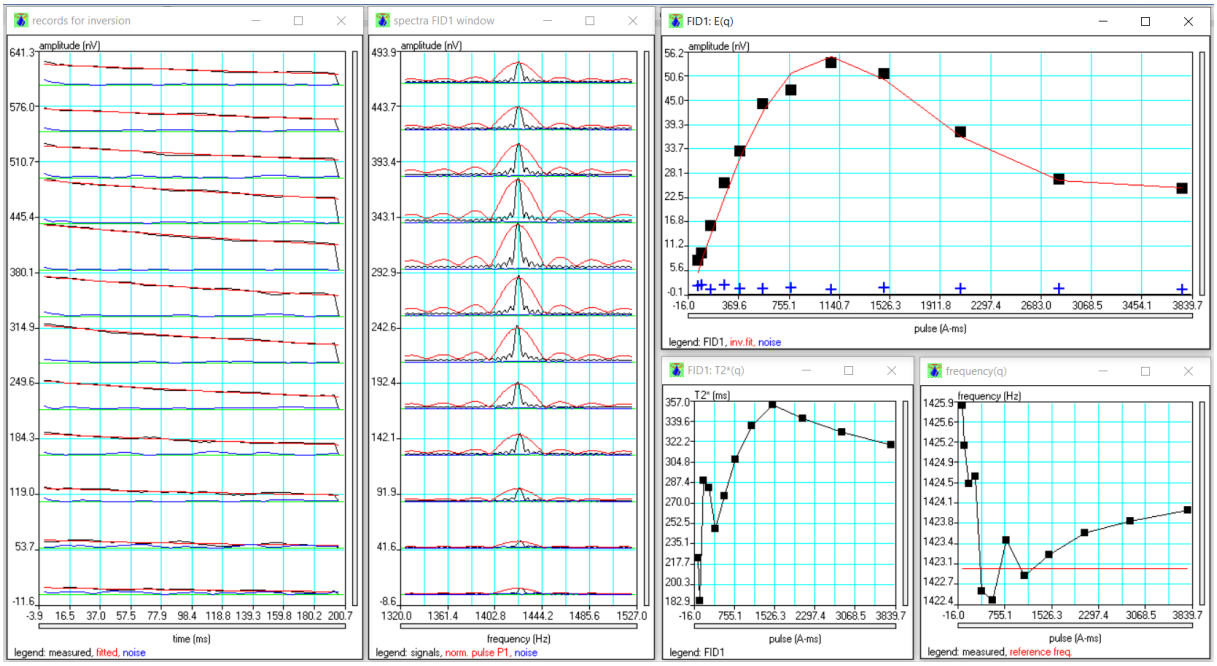


Figure: présentation graphique des données du sondage SE3/Z3

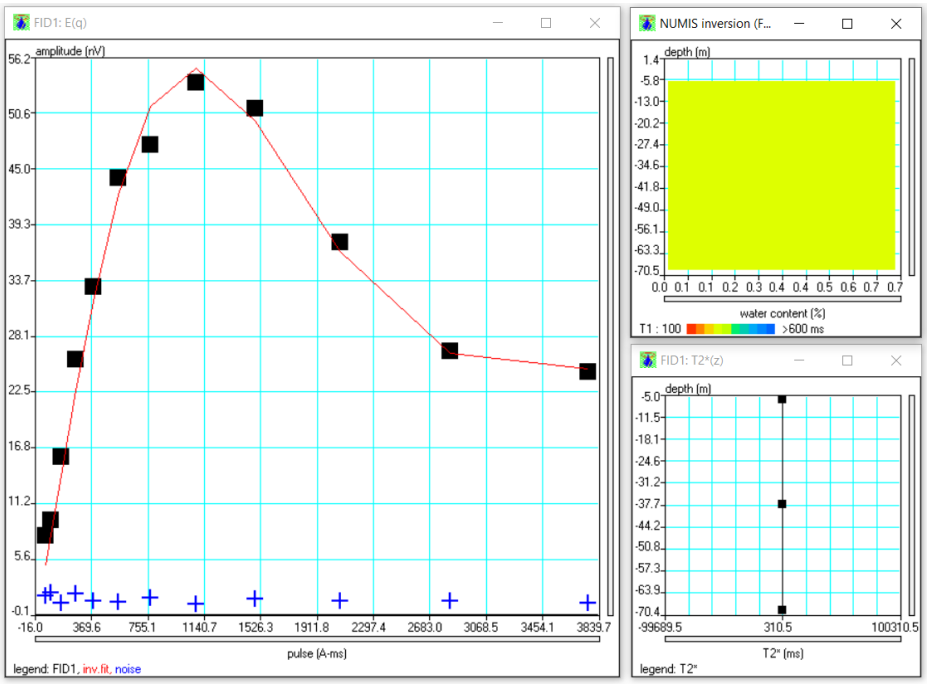


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE3/Z3

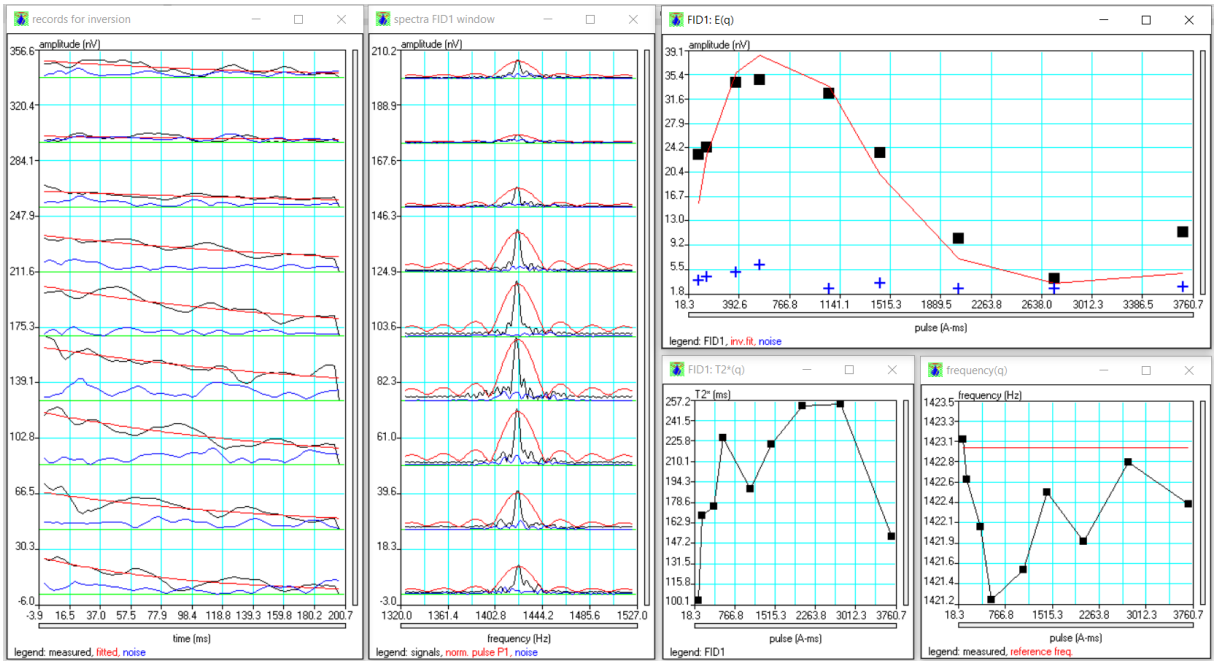


Figure: présentation graphique des données du sondage SE6/Z6-SE8/Z6

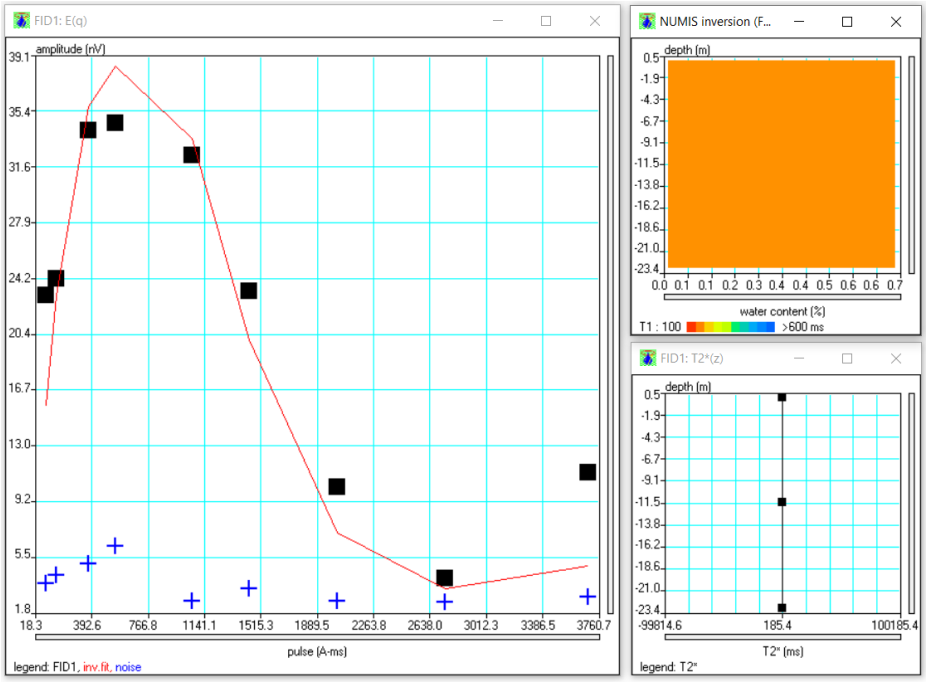


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE6/Z6-SE8/Z6

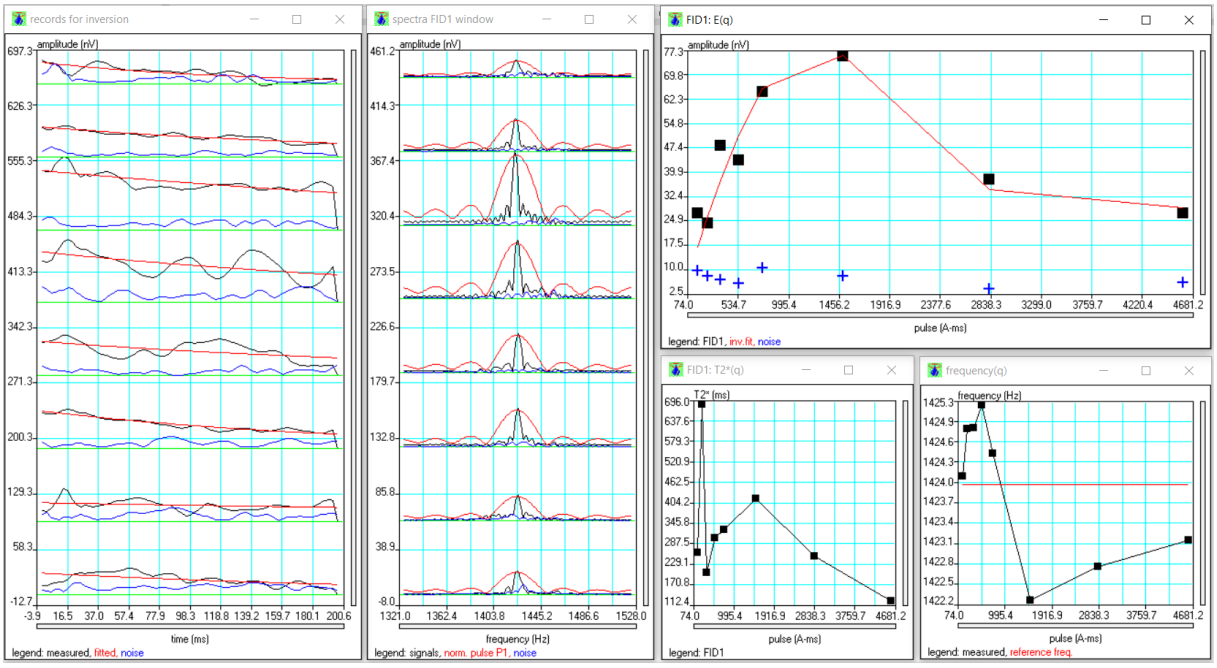


Figure: présentation graphique des données du sondage SE1/Z1

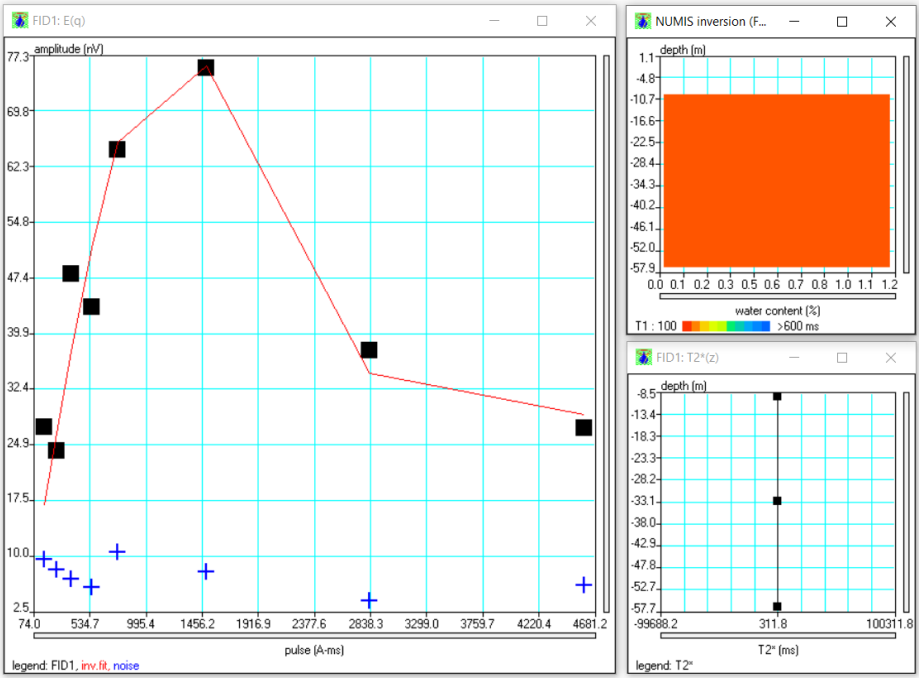
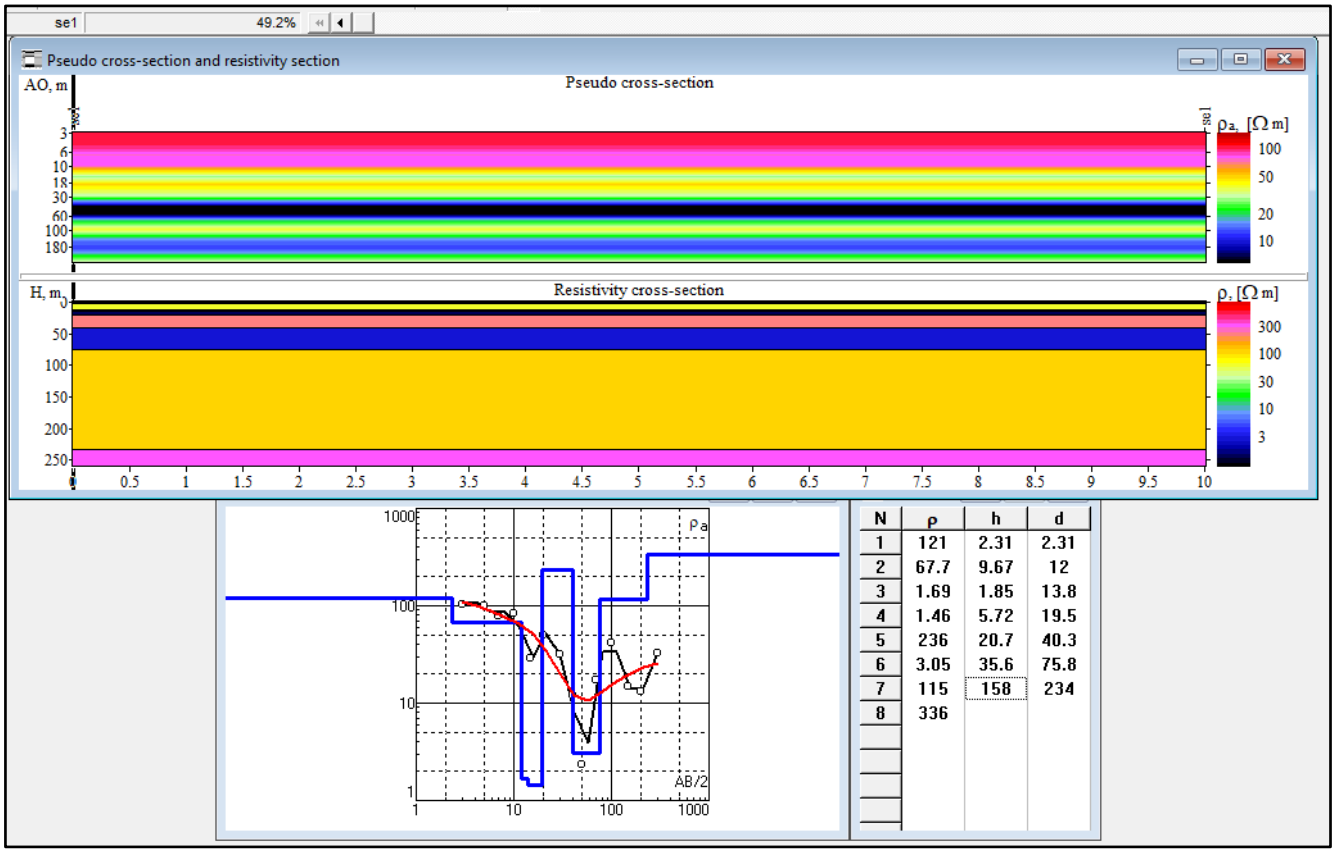


Figure : Résultat d'interprétation du sondage SE1/Z1

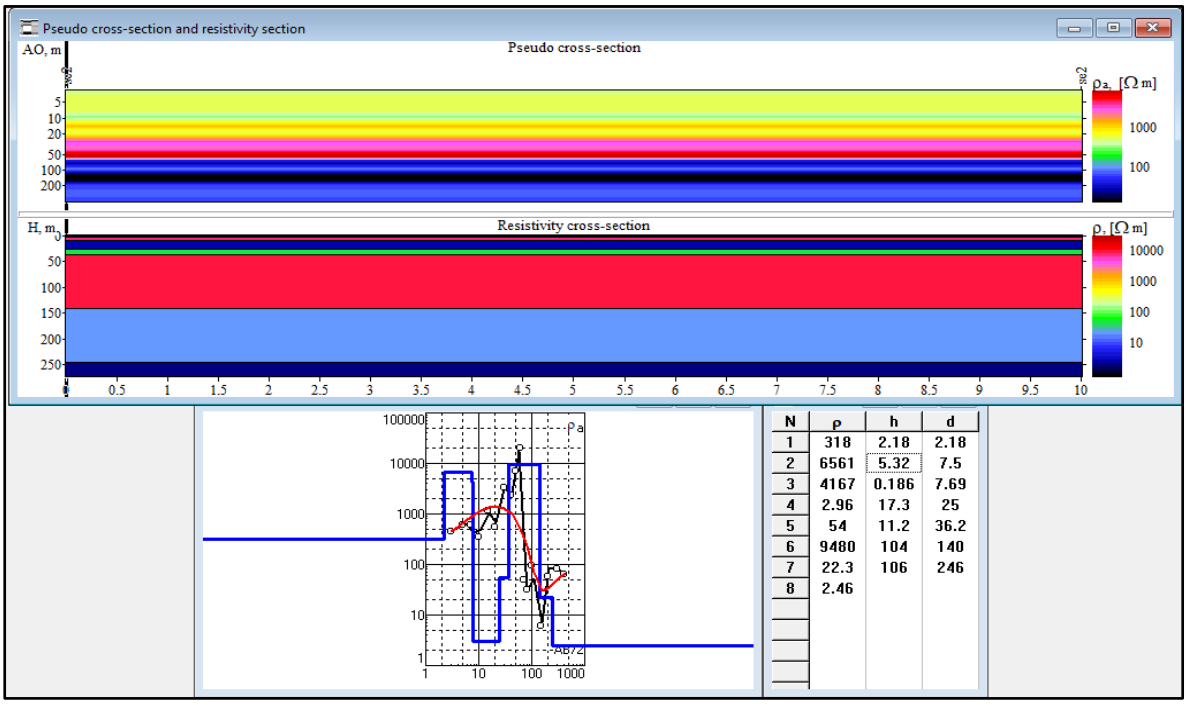
DONNEES GEOPHYSIQUES DE OUINHI

SE1 à AHIZE 2 (2°19'11,5''/7°09'21,4''), Prof= 250m, Date : 29/07/2021



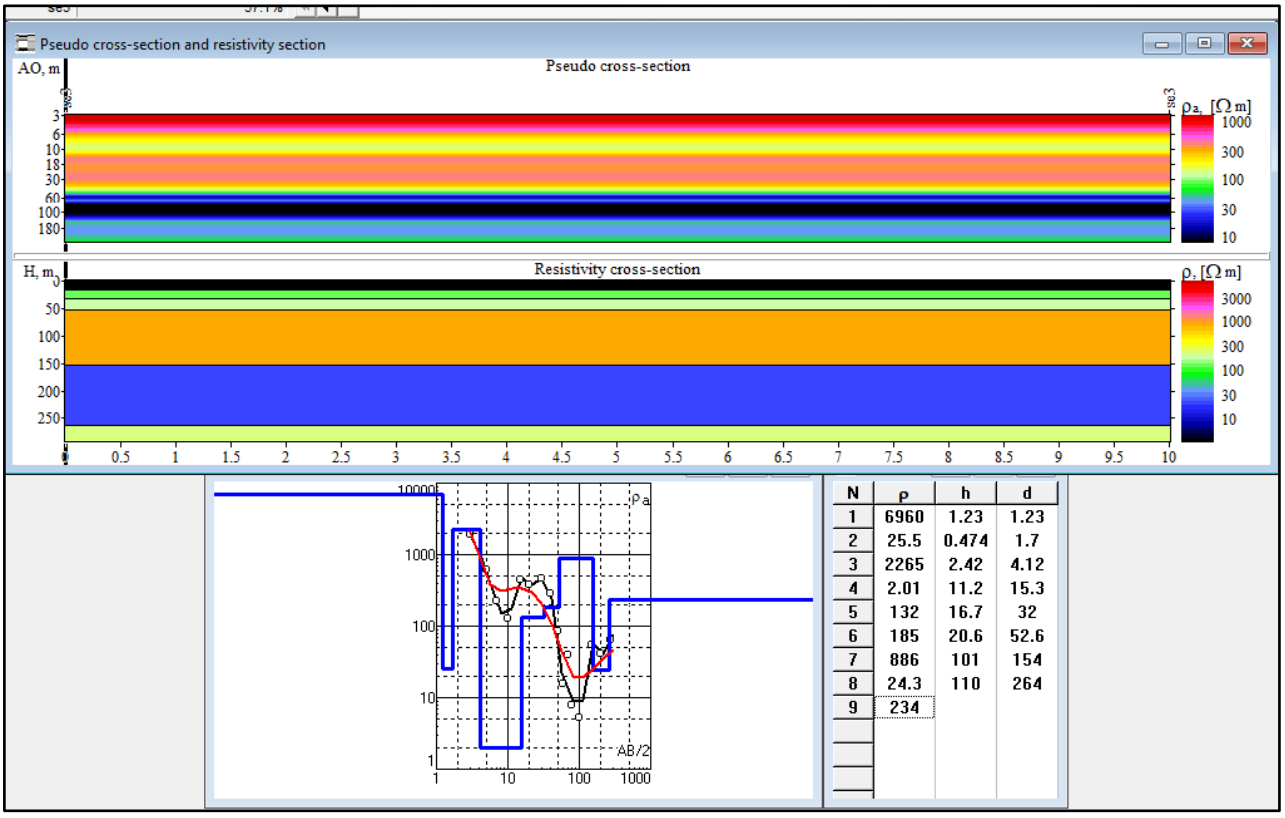
N	ρ	h	d
1	121	2.31	2.31
2	67.7	9.67	12
3	1.69	1.85	13.8
4	1.46	5.72	19.5
5	236	20.7	40.3
6	3.05	35.6	75.8
7	115	158	234
8	336		

SE2 à 3,3km vers Ouokon (2°28'57,5''/7°06'07,3''), Prof= 250m, Date : 30/07/2021



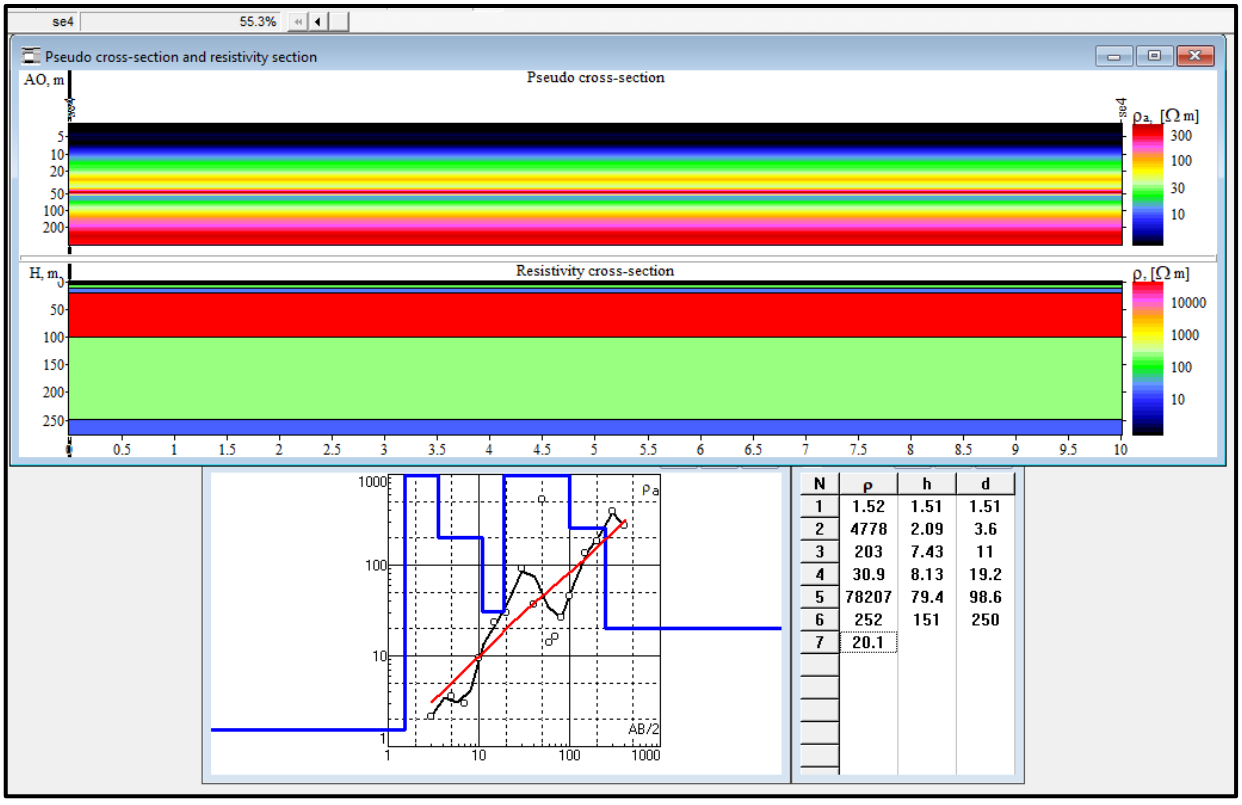
N	ρ	h	d
1	318	2.18	2.18
2	6561	5.32	7.5
3	4167	0.186	7.69
4	2.96	17.3	25
5	54	11.2	36.2
6	9480	104	140
7	22.3	106	246
8	2.46		

SE3 à Ayigbamatin vers Dasso (2°30'23,1''/7°03'23,7''), Prof= 265m, Date : 30/07/2021



N	ρ	h	d
1	6960	1.23	1.23
2	25.5	0.474	1.7
3	2265	2.42	4.12
4	2.01	11.2	15.3
5	132	16.7	32
6	185	20.6	52.6
7	886	101	154
8	24.3	110	264
9	234		

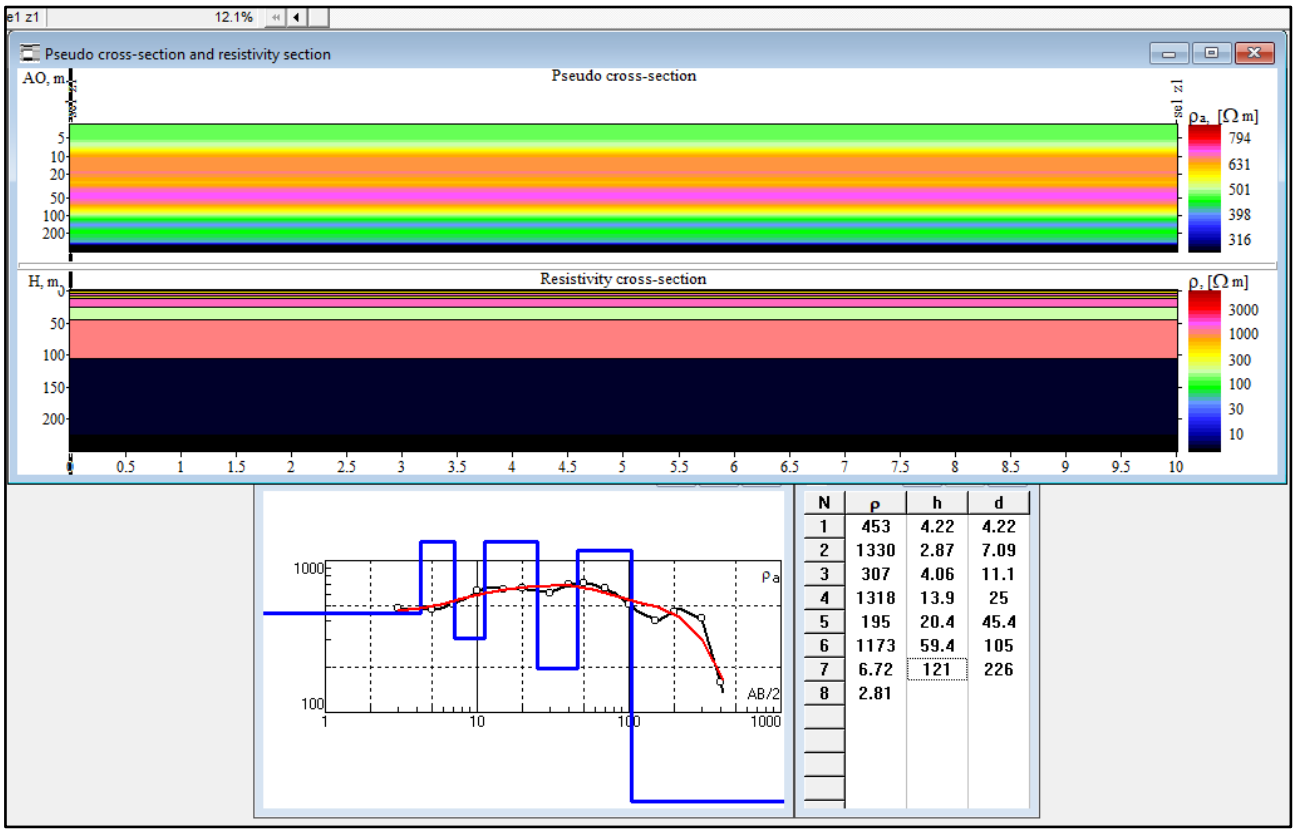
SE4 à 500m du château de Ahizè2 (2°28'37,3''/7°09'07,4''), Prof= 250m, Date : 30/07/2021



N	ρ	h	d
1	1.52	1.51	1.51
2	4778	2.09	3.6
3	203	7.43	11
4	30.9	8.13	19.2
5	78207	79.4	98.6
6	252	151	250
7	20.1		

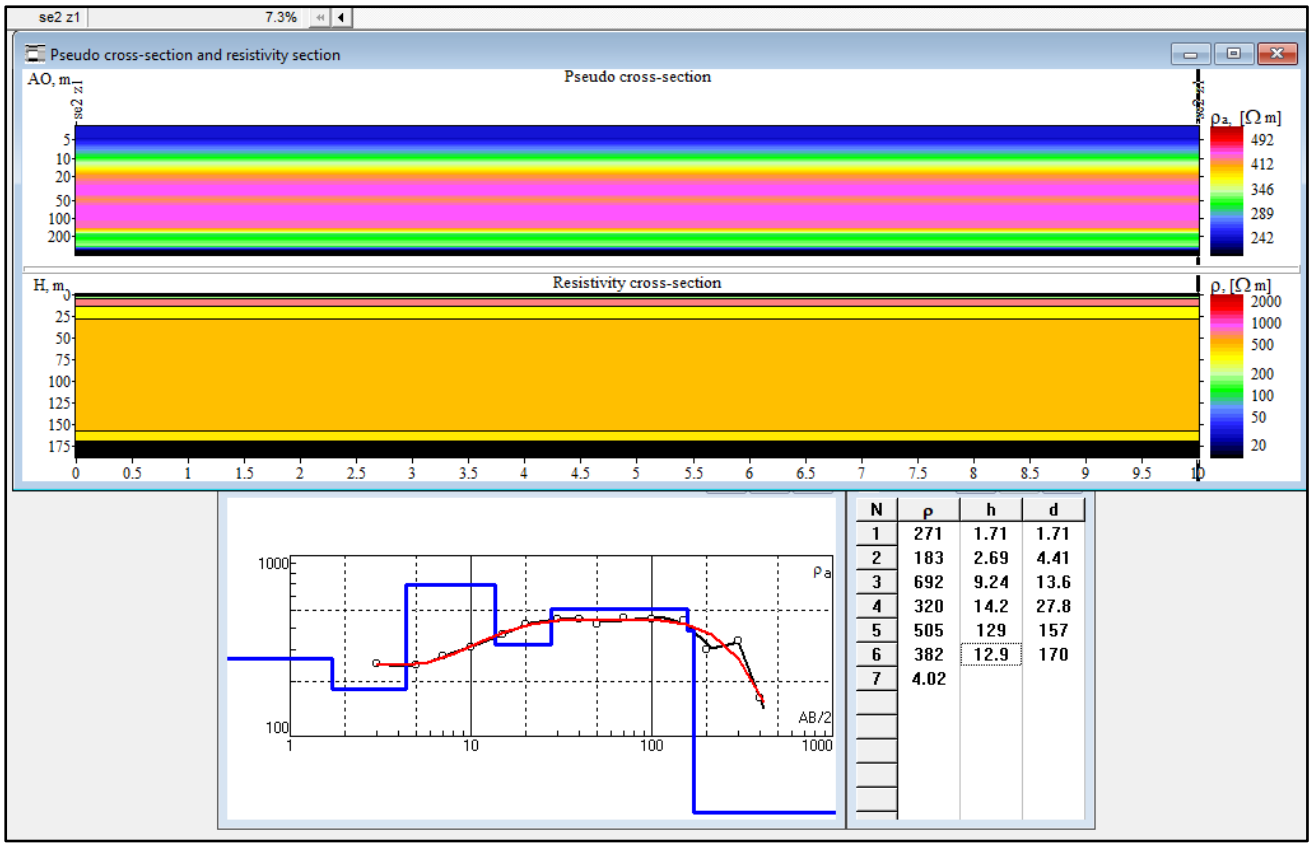
DONNEES GEOPHYSIQUES DE KPOMASSE

SE1/Z1(2°00’30,2’’/6°27’49,4’’) Date : 04/08/2021



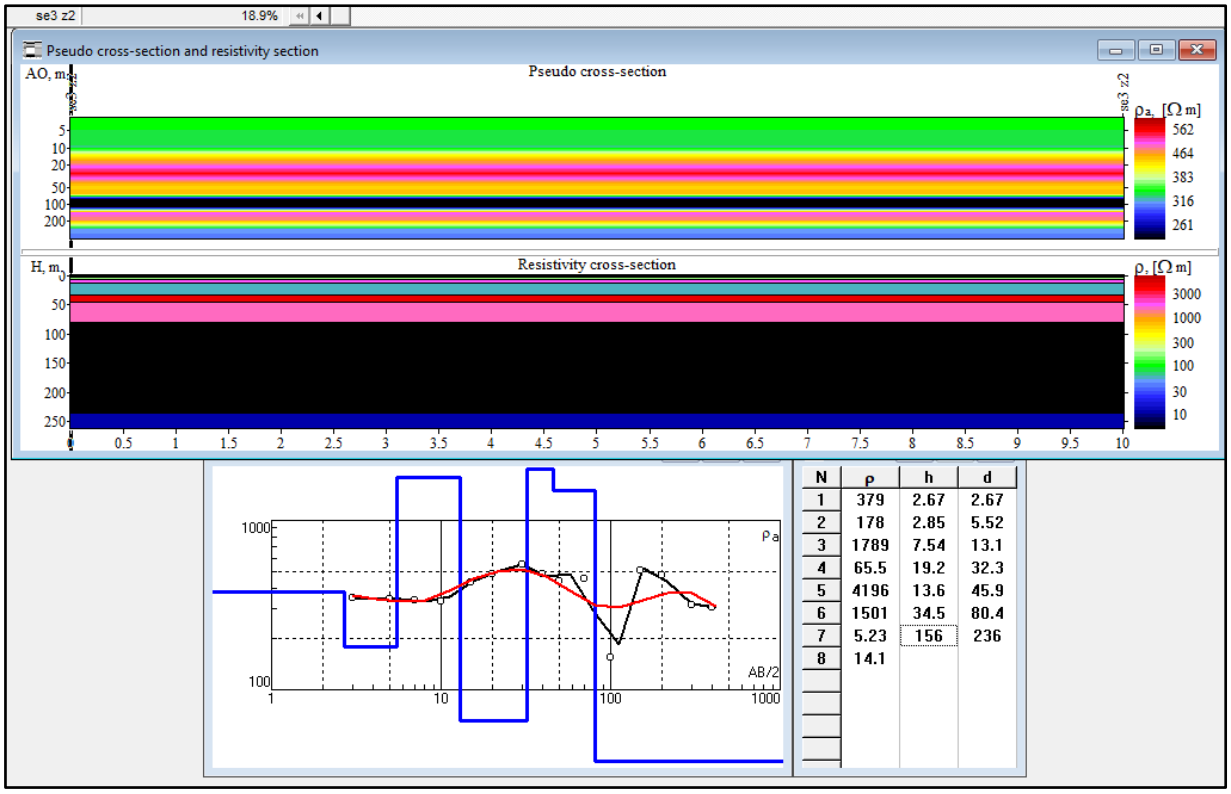
N	ρ	h	d
1	453	4.22	4.22
2	1330	2.87	7.09
3	307	4.06	11.1
4	1318	13.9	25
5	195	20.4	45.4
6	1173	59.4	105
7	6.72	121	226
8	2.81		

SE2/Z1(2°00’36,4’’/6°27’41,7’’) Date : 05/08/2021



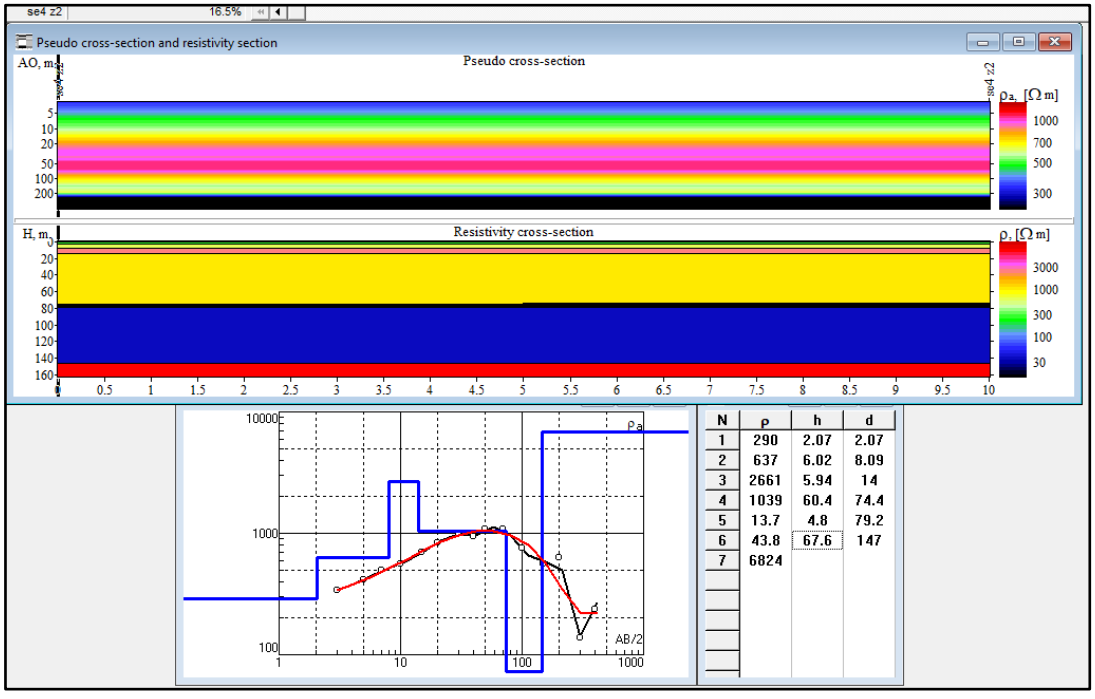
N	ρ	h	d
1	271	1.71	1.71
2	183	2.69	4.41
3	692	9.24	13.6
4	320	14.2	27.8
5	505	129	157
6	382	12.9	170
7	4.02		

SE3/Z2 (2°00’43,8’’/6°26’23,0’’) Date : 05/08/2021



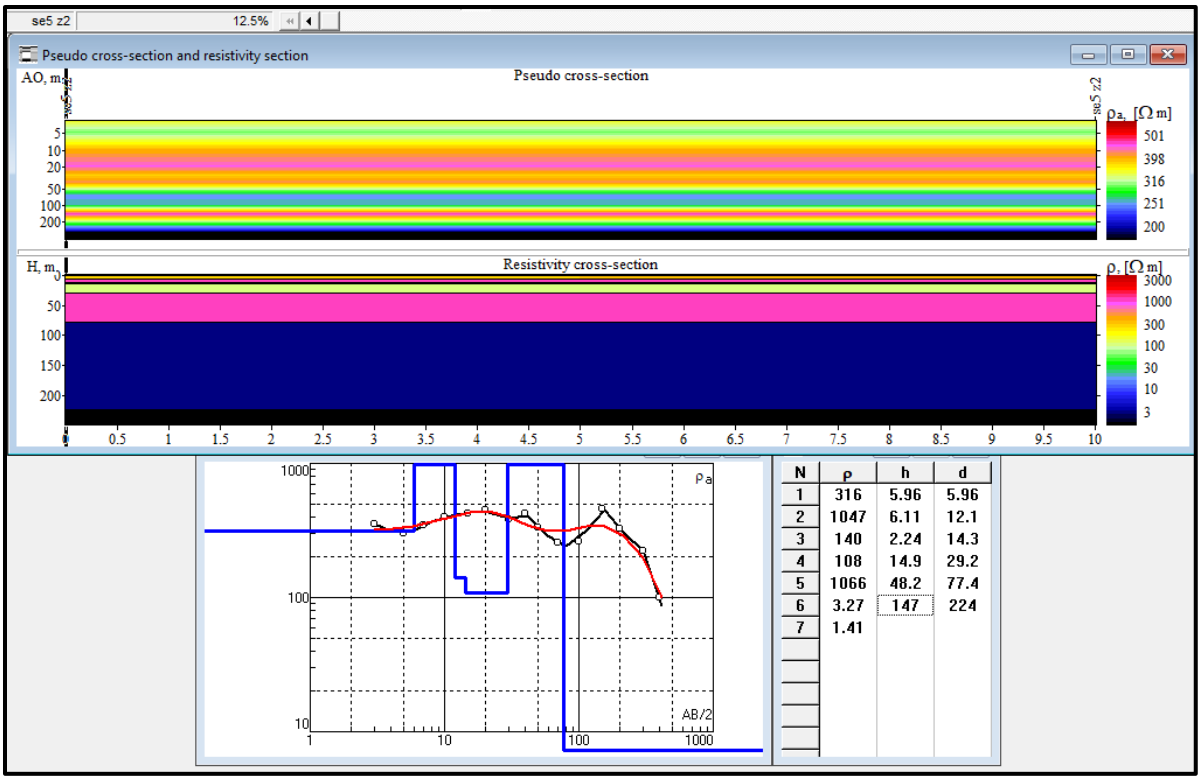
N	ρ	h	d
1	379	2.67	2.67
2	178	2.85	5.52
3	1789	7.54	13.1
4	65.5	19.2	32.3
5	4196	13.6	45.9
6	1501	34.5	80.4
7	5.23	156	236
8	14.1		

SE4/Z2 (2°00’40,6’’/6°26’12,8’’) Date : 06/08/2021



N	ρ	h	d
1	290	2.07	2.07
2	637	6.02	8.09
3	2661	5.94	14
4	1039	60.4	74.4
5	13.7	4.8	79.2
6	43.8	67.6	147
7	6824		

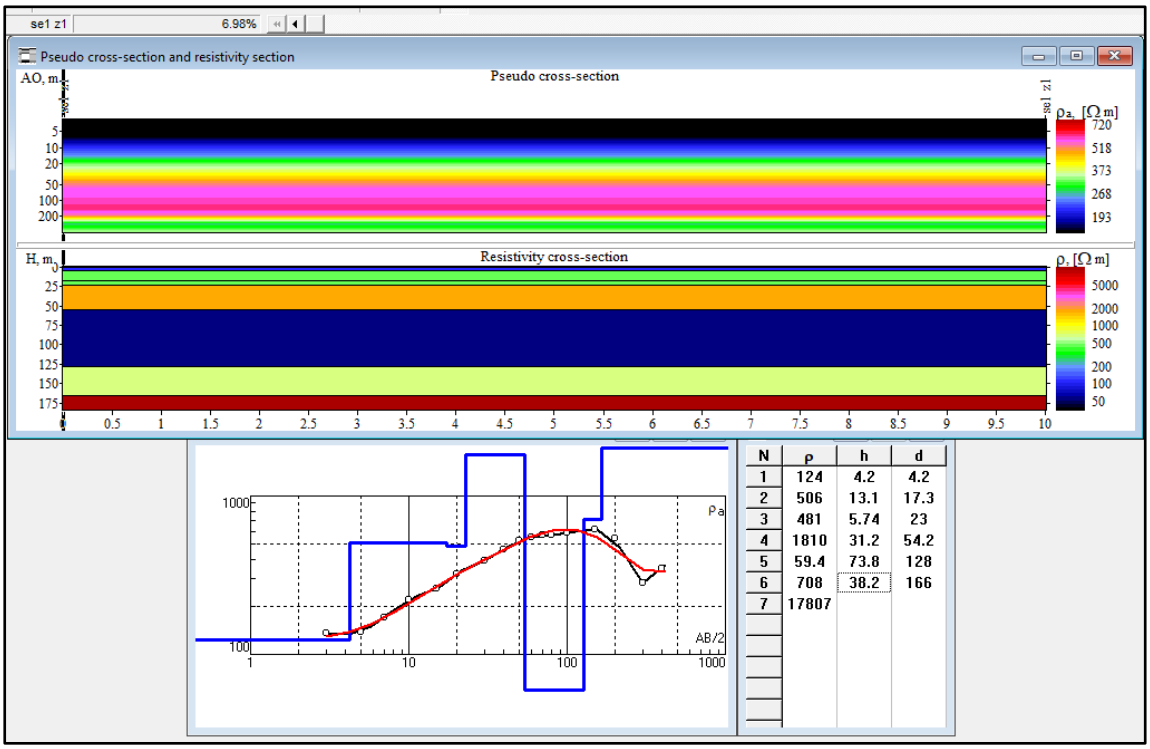
SE5/Z2 (2°00’39,5’’/6°26’11,5’’) Date : 06/08/2021



N	ρ	h	d
1	316	5.96	5.96
2	1047	6.11	12.1
3	140	2.24	14.3
4	108	14.9	29.2
5	1066	48.2	77.4
6	3.27	147	224
7	1.41		

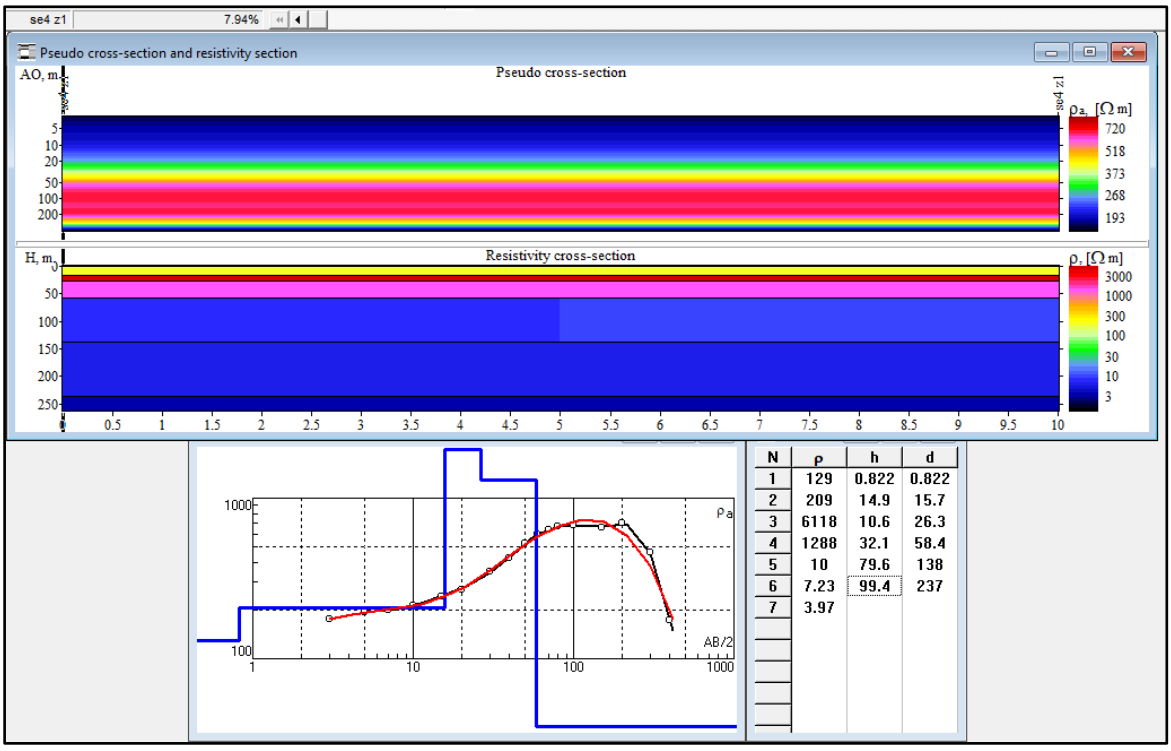
DONNEES GEOPHYSIQUES DE ZE

SE1/Z1 à Lokogoudo (2°17’10,0’’/6°42’35,8’’), Prof= 170m, Date : 02/08/2021



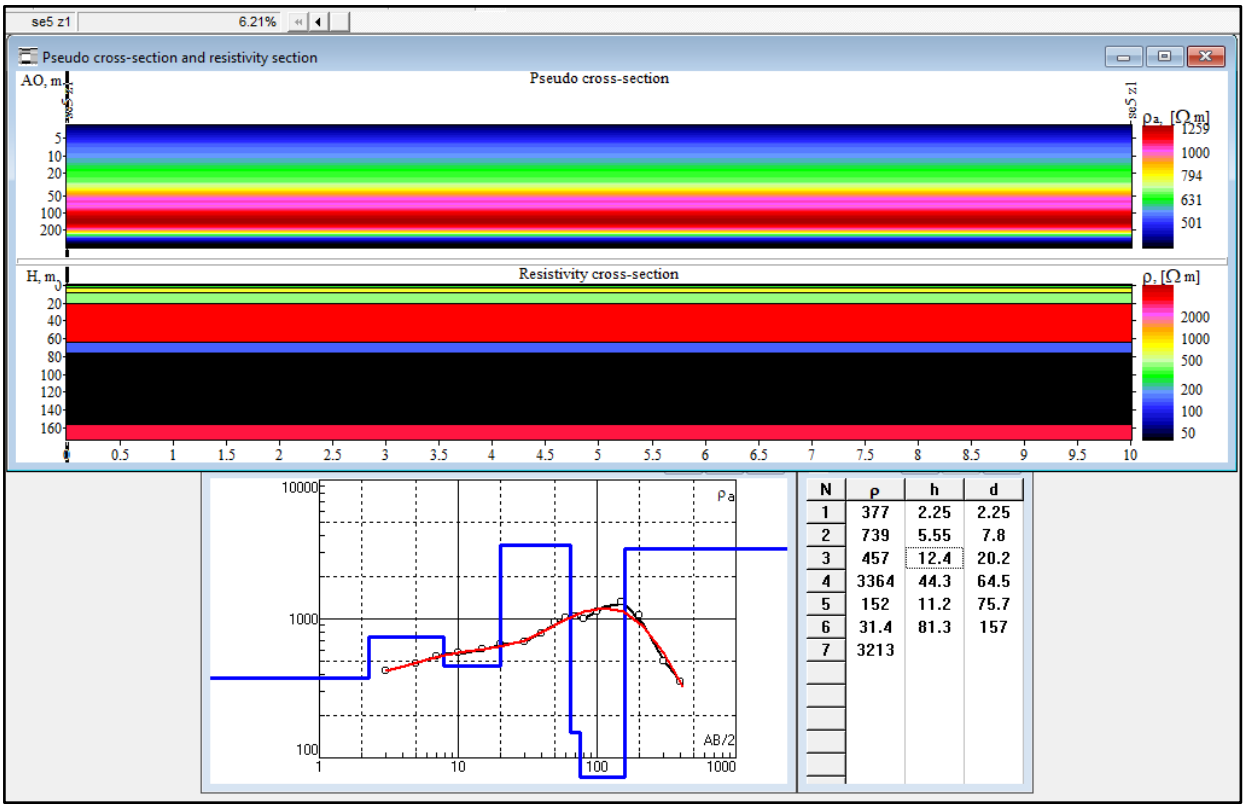
N	ρ	h	d
1	124	4.2	4.2
2	506	13.1	17.3
3	481	5.74	23
4	1810	31.2	54.2
5	59.4	73.8	128
6	708	38.2	166
7	17807		

SE4/Z1 à Lokogoudo (2°16’41,6’’/6°42’41,8’’), Prof= 240m, Date : 03/08/2021



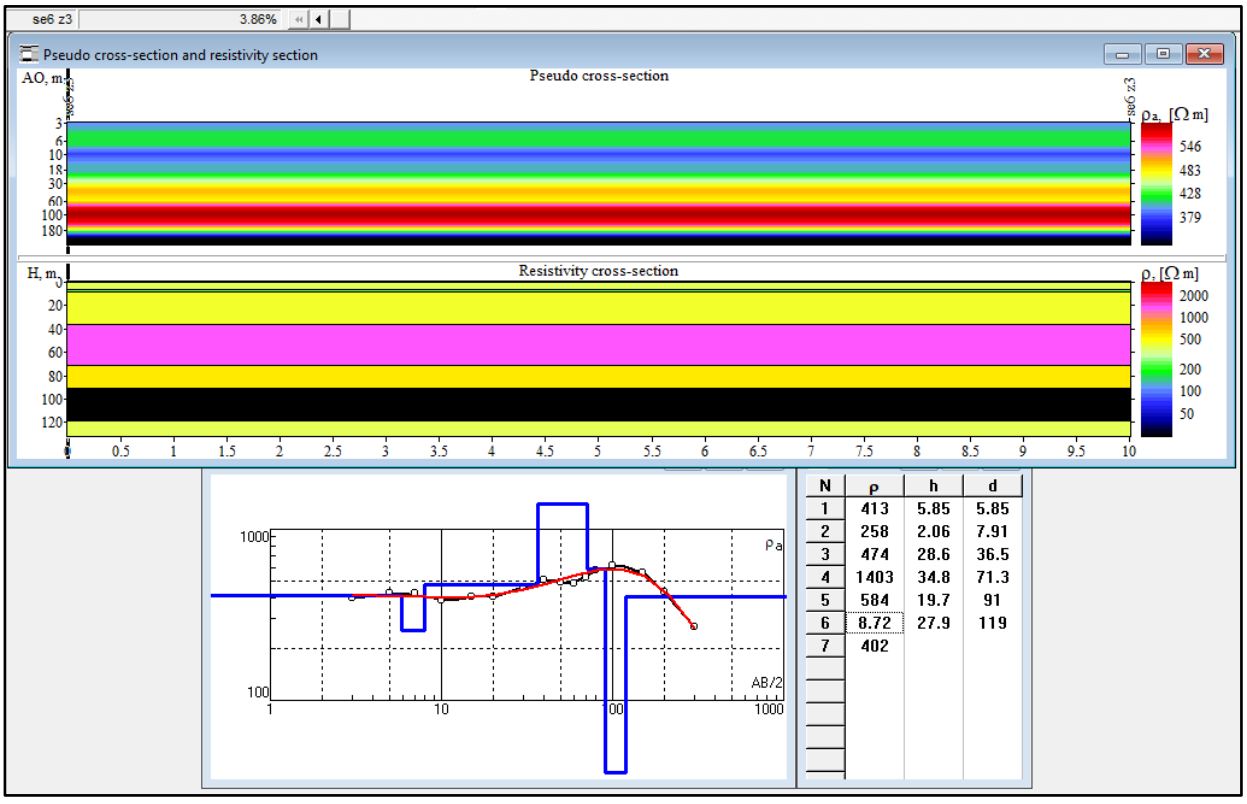
N	ρ	h	d
1	129	0.822	0.822
2	209	14.9	15.7
3	6118	10.6	26.3
4	1288	32.1	58.4
5	10	79.6	138
6	7.23	99.4	237
7	3.97		

SE5/Z1 à Lokogoudo (2°16'51,0''/6°42'37,4''), Prof= 240m, Date : 03/08/2021



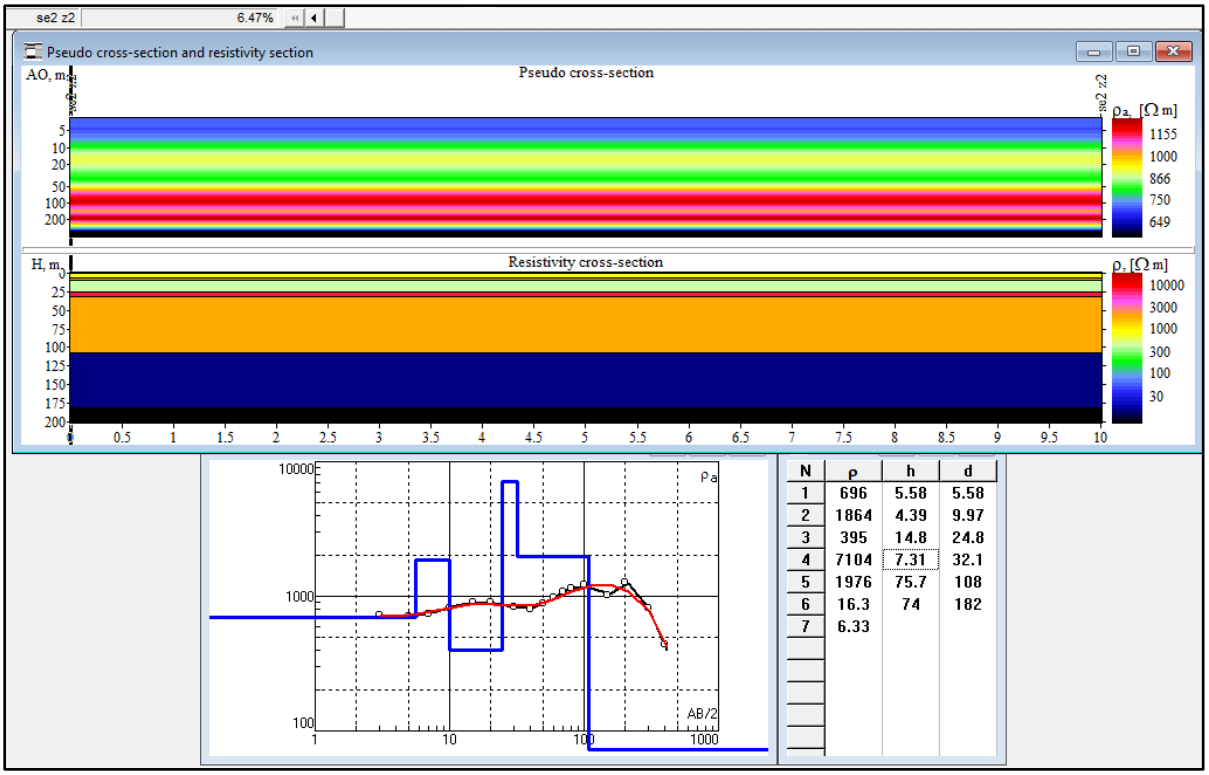
N	ρ	h	d
1	377	2.25	2.25
2	739	5.55	7.8
3	457	12.4	20.2
4	3364	44.3	64.5
5	152	11.2	75.7
6	31.4	81.3	157
7	3213		

SE6/Z1 à 700m au sud de Zè centre (2°17'25,8''/6°42'10,1''), Prof= 120m, Date : 03/08/2021



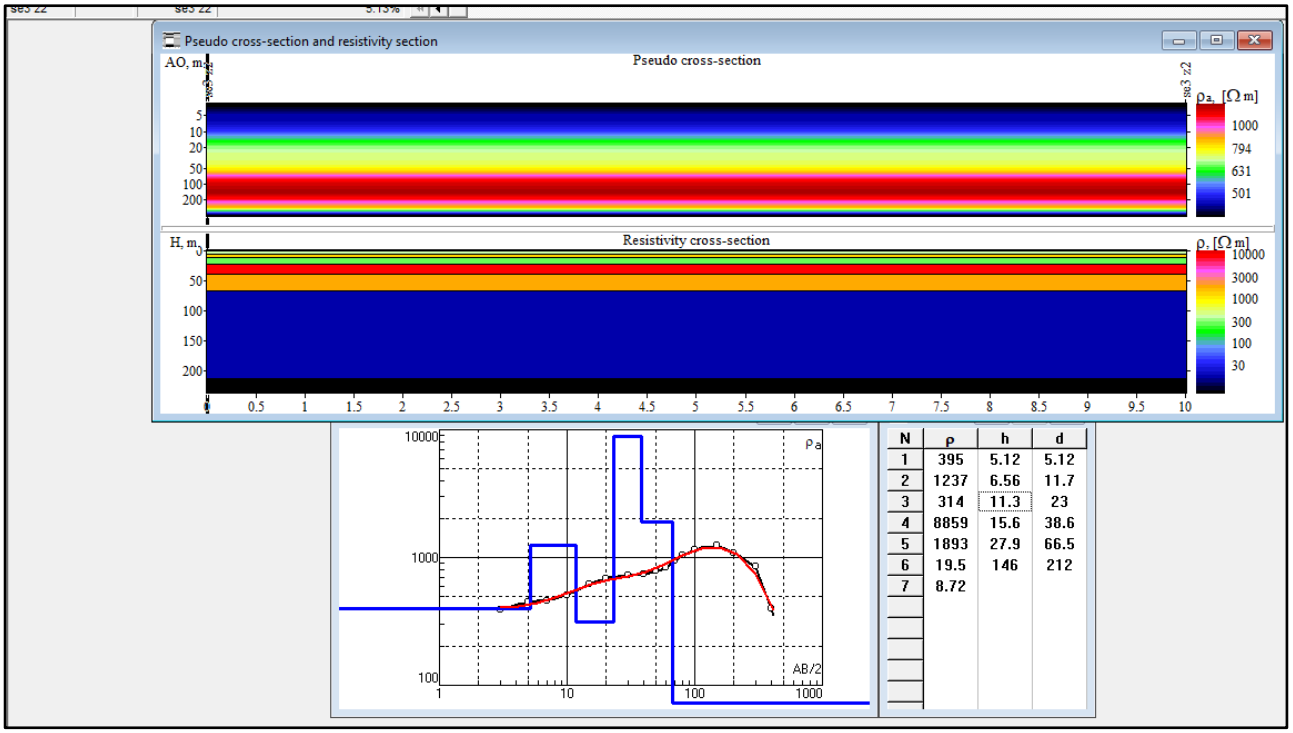
N	ρ	h	d
1	413	5.85	5.85
2	258	2.06	7.91
3	474	28.6	36.5
4	1403	34.8	71.3
5	584	19.7	91
6	8.72	27.9	119
7	402		

SE2/Z2 à ANAGBO (2°18’11,5’’/6°42’23,7’’), Prof= 185m, Date : 03/08/2021



N	ρ	h	d
1	696	5.58	5.58
2	1864	4.39	9.97
3	395	14.8	24.8
4	7104	7.31	32.1
5	1976	75.7	108
6	16.3	74	182
7	6.33		

SE3/Z2 à ANAGBO (2°18’20,8’’/6°42’22,1’’), Prof= 220m, Date : 03/08/2021

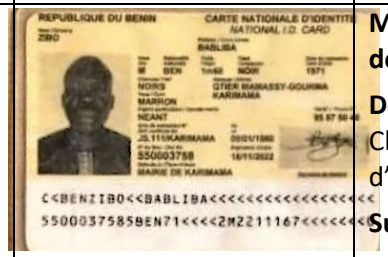
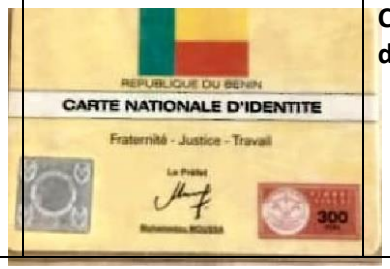


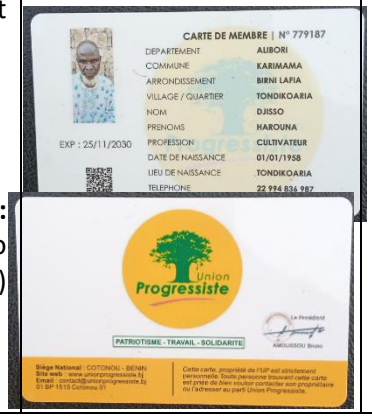
N	ρ	h	d
1	395	5.12	5.12
2	1237	6.56	11.7
3	314	11.3	23
4	8859	15.6	38.6
5	1893	27.9	66.5
6	19.5	146	212
7	8.72		

Collecte des données sur les présumés propriétaires des sites d'implantation des forages

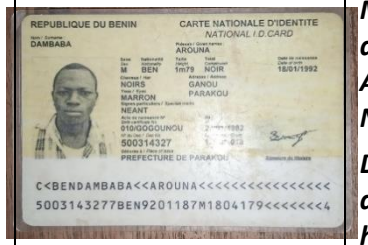
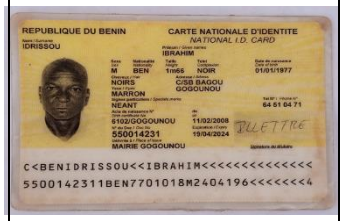
KARIMAMA							
N	***Arrondissement***	***Village/Quartier***	***Coordonnées /sites***	***Autorité locale***	***Présumé propriétaire/représentant***	***Photo pièce***	***Observations***
1	BIRNI-LAFIA	BIRNI-LAFIA/SABOULA	AEV étal/Z1 Cood : **X : 3°13'15.4''** **Y : 11°58'48.9''**	**Délégué de quartier** Nom : SEIBOU Prénom : Asan Contact : 51158973	**Nom :** NAMATA **Prénom :** Mama (dit Ghana) **représenter par** : NAMATA Fati (sœur) Contact : Néant		**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : espace habitable sur angle de rue avec voie d'accès principal de 6m. **Superficie :** Parcelle **Construction présente sur le domaine** : clôture grillage au tour de la tête de forage AEV
2			F1 SE1/Z1 Cood : **X : 3°13'12.7''** **Y : 11°58'53.9''**		DOMAINE EPP BIRNI-LAFIA /Directeur **Nom :** DOUVI **Prénom :** Joël Marcelin **Contact :** 61688540	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : Don **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** Parcelles incluse dans le domaine de l'EPP **Construction présente sur le domaine** : bâtiment et salle de classe

3			F2 SE5/Z1 Cood : **X : 3°13'15.6''** **Y : 11°58'54.5''**		**Nom :** BONZOUGOU **Prénom :** Armani **Contact :** Néant		**Mode d'acquisition du domaine** : **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : Néant
4			F3 SE3/Z1 Cood : **X : 3°12'52.4''** **Y : 11°58'42.9''**			Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : propriétaire terrien **Descriptif du domaine** : espace habitable en première position de la voie d'accès principal piste de 6m **Superficie :** parcelle **Construction présente sur le domaine** : Néant (constat de la présence des agglos sur le site)
5	KARIMAMA	KARIMAMA 1	AEV étal/Z4 Cood : **X : 3°11'15.4''** **Y : 12°03'53.7''**	**Délégué de quartier** **Nom :** NASSAMOU **Prénom :** Issa **Contact :**64190053	**Nom :** BOURAIMA **Prénom :** Sina **Contact :** Non fournie	Non fournie	**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : espace habitable sur angle de rue avec voie d'accès principal de 10m. **Superficie :** Parcelle **Construction présente sur le domaine** : clôture grillage au tour de la tête de forage AEV

6 7 8		KARIMAMA 2/DENDI-KOURE	F4 SE4/Z3 Cood : **X : 3°11'16.7''** **Y : 12°02'51.5''** F5 SE8/Z3 Cood : **X : 3°11'14.7''** **Y : 12°02'51.3''** F6 SE9/Z3 Cood : **X : 3°11'06.0''** **Y : 12°03'07.5''**	**Délégué de quartier** **Nom :** TALIBI **Prénom :** Soumaila **Contact :**66644642	**Nom :** SEKARO LABO **Prénom :** Yahaye **Contact :**65344204	 	**Mode d'acquisition du domaine** : propriétaire terrien **Descriptif du domaine** : Champ de culture avec voie d'accès principal sentier **Superficie :** hectare **Construction présente sur le domaine** : Néant
9		MAMASSY-GOURMA/Benin	F7 SE11/Z5 Cood : **X : 3°08'13.8''** **Y : 12°01'49.0''**	**`Délégué de quartier** **Nom :** DANGBODO **Prénom :** Seydou **Contact :**63184606	**Nom :** ZIBO **Prénom** : Babliba **Contact :**95875040	 	**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : Champ de culture avec voie d'accès principal piste 3m **Superficie :** hectare **Construction présente sur le domaine** : Néant

10			F8 SE10/Z5 Cood : **X : 3°08'15.6''** **Y : 2°01'51.0''**		**Nom :** BOIRO **Prénom :** Pougouno **Contact :** néant		**Mode d'acquisition du domaine** : propriétaire terrien **Descriptif du domaine** : Champ de culture avec voie d'accès principal piste 3m **Superficie :** hectare **Construction présente sur le domaine** : Néant
11	BIRNI-LAFIA	TONDI-KOARIA/TONDOBON	F9 SE10/Z5 Cood : **X : 3°12'14.7''** **Y : 12°00'56.6''**	**Délégué de quartier Nom :** ALLOU **Prénom :** Adamou **Contact :** 96680454	**Nom :** BEIDOU **Prénom :** Issifou (dit Ganda**)** **Contact** : 94377536/+22796964873 **Représenté par :** alpha GUISSO Bio Harouna (neveu) cnt :97212690		**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : Champ de culture avec voie d'accès principal sentier **Superficie : hectare** **Construction présente sur le domaine** : Néant

GOGOUNOU							
N	***Arrondissement***	***Village/Quartier***	***Coordonnées/sites***	***Autorité locale***	***Présumé propriétaire/représentant***	***Photo pièce***	***Observations***
1	***ZOUGOU-PANTROSSI***	***ZOUGOU-PANTROSSI/BEDAROU***	***F1 SE8/Z9*** ***Cood :*** ***X : 2°59'21.6''*** ***Y : 10°44'11.7''***	***Délégué de quartier*** ***Nom : SABI MOUNOU*** ***Prénom : Zakari*** ***Contact : 66501446***	***Nom : SERO GUININ*** ***Prénom : Orougouda*** ***Contact :66952212*** ***Représenter par : SERO GUININ Sariki*** ***Contact : 91258263***	 	***Mode d'acquisition du domaine : Héritage*** ***Descriptif du domaine : Champ de culture avec voie d'accès principal piste*** ***Superficie : hectare*** ***Construction présente sur le domaine : Néant***
2	***SORI***	***SORI/BORO-WANOU***	***F2 SE1/Z8*** ***Cood :*** ***X : 2°46'19.7''*** ***Y : 10°43'07.7''***	***Délégué de quartier*** ***Nom : DEMON*** ***Prénom : Yarou*** ***Contact : 95603812***	***Nom : BIO N'GOBI*** ***Prénom : Issa Karim (Alladji)*** ***Contact : 96206144***	 	***Mode d'acquisition du domaine : propriétaire terrien*** ***Descriptif du domaine : espace habitable en première position de la voie d'accès principal piste rural*** ***Superficie : parcelle*** ***Construction présente sur le domaine : bâtiment de type studio en***

							brique 3 séries
3			***F3 SE2/Z8*** ***Cood :*** ***X : 2°46'23.6''*** ***Y : 10°43'07.8''***	***Délégué de quartier*** ***Nom : TALIBI*** ***Prénom : Soumaila*** ***Contact :66644642***	***Nom : DAMBABA*** ***Prénom : Arouna*** ***Contact : 96705676***	 	***Mode d'acquisition du domaine : Don de Alladji Karim BIO N'GOBI*** ***Descriptif du domaine : espace habitable en première position de la voie d'accès principal piste rural*** ***Superficie : parcelle*** ***Construction présente sur le domaine : Néant***
4	***BAGOU***	***BAGOU/YAGBO***	***F4 SE9/Z6*** ***Cood :*** ***X : 2°43'33.1''*** ***Y : 10°49'45.1''***	***Délégué de quartier*** ***Nom : SANNI OROU*** ***Prénom : Gani*** ***Contact : 64340925***	***Nom : IDRISSOU*** ***Prénom : Ibrahim*** ***Contact :*** ***96979300/64510471***	 	***Mode d'acquisition du domaine : héritage*** ***Descriptif du domaine : Champ de culture première position de la voie d'accès principal piste rural de 6m*** ***Superficie : hectare*** ***Construction présente sur le domaine : Néant***

5			***F5 SE10/Z6*** ***Cood :*** ***X : 2°43'30.2''*** ***Y : 10°49'49.7''***		***Nom : SANNI OROU*** ***Prénom : Abou Bani*** ***Contact : 64988608***	 	***Mode d'acquisition du domaine : héritage*** ***Descriptif du domaine : Champ de culture première position de la voie d'accès principal piste rural de 6m*** ***Superficie : hectare*** ***Construction présente sur le domaine : Néant***

KALALE							
N	***Arrondissement***	***Village/Quartier***	***Coordonnées /sites***	***Autorité locale***	***Présumé propriétaire/représentant***	***Photo pièce***	***Observations***
1	**KALALE**	**NASSIKONZI**	F1 SE3/Z3 Cood : **X : 3°24'21.6''** **Y : 10°19'55.1''**	**Délégué de quartier** Nom : ZOUMAROU Prénom : Yacoubou Contact : 99123859	**Domaine Forêt classée des trois rivières/Capitaine** **Nom :** GBOYOU **Prénom :** Contact :95123859	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : Domaine public **Descriptif du domaine** : brousse avec voie d'accès principal sentier **Superficie :** hectare **Construction présente sur le domaine** : Néant
2		**LOU**	F2 SE1/Z2 Cood : **X : 3°26'20.4''** **Y : 10°19'28.5''**	**Délégué de quartier** **Nom :** SEGANDE **Prénom :** Mohamed **Contact :** 95546107	**Nom :** GOBOUROU **Prénom :** Wahabou **Contact :** 68056566	 	**Mode d'acquisition du domaine** : propriétaire terrien **Descriptif du domaine** : Champ de culture première position de la voie d'accès principal piste rural **Superficie :** hectares **Construction présente sur le domaine** : Néant

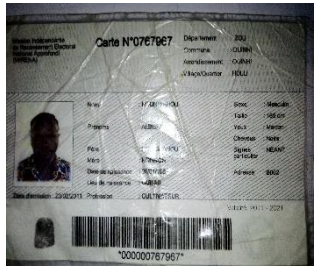
3		**KALALE Centre /SESSOUWAN**	F3 SE4/Z1 Cood : **X : 3°22'14.9''** **Y : 10°16'54.0''**	**Délégué de quartier** **Nom :** DANGANZI **Prénom :** Bani **Contact :**	**Nom :** GARBA SOULE **Prénom :** Mouhamadou **Contact :** 66977190		**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : Champ de culture première position de la voie d'accès principal sentier **Superficie :** Parcelle **Construction présente sur le domaine** : Néant

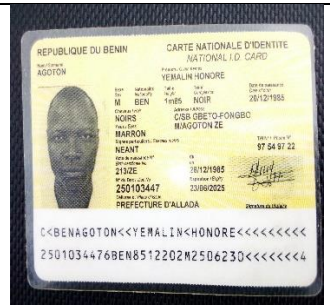
COBLY							
N	***Arrondissement***	***Village/Quartier***	***Coordonnées/sites***	***Autorité locale***	***Présumé propriétaire/représentant***	***Photo pièce***	***Observations***
1	COBLY CENTRE	COBLY CENTRE	F7=SE01/Z1 **X : 1°00'53.6"** **Y : 10°29'26.3''**	NUMERO DU CONSEILLE : 94445634 Nom : cocou	**Nom :** BIYEGUE **Prénom :** nambienou Contact : 94220721 68177317		**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : espace non habitable **Superficie :** Parcelle **Construction présente sur le domaine** : Néant
2			F6=SE05/Z1 **X : 1°01'49.1"** **Y : 10°29'27.3''**	NUMERO DU CONSEILLE : 94445634 Nom : cocou	DOMAINE EPP COBLY CENTRE /Directeur **Nom :** TANGOUENOU **Prénom :** **Contact :**	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : Don **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** Parcelles incluse dans le domaine de l'EPP **Construction présente sur le domaine** : bâtiment et salle de classe

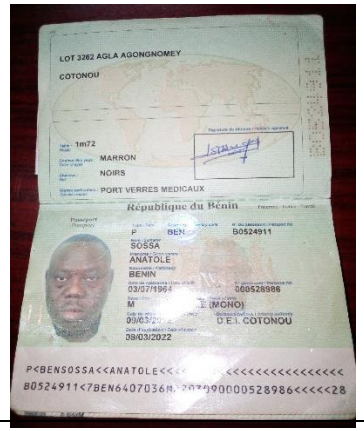
3			F5=SE3/Z1 **X : 1°01'00.0"** **Y : 10°29'03.8''**	NUMERO DU CONSEILLE : 94445634 Nom : cocou	**Nom :** KOMBIENOU **Prénom :** kouagou Bernard **Contact :** 51688270 95016698		**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : Néant
4			F4=SE2/Z1 **X : 01°'01'01.4''** **Y : 10°25'58.4''**	NUMERO DU CONSEILLE : 94445634 Nom : cocou	**Nom :** SANBIENI **Prénom :** NESTORE **Contact :** 51688270 95016698		**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : Néant
5			F3=SE1/Z1 **X : 01°'1'02.1''** **Y : 10°28'56.3''**	NUMERO DU CONSEILLE : 94445634 Nom : cocou	**Nom :** NWENOU **Prénom :** KONTE DOMINIQUE **Contact :** 56430772 54026840	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : héritage **Descriptif du domaine** : espace habitable sur angle de rue avec voie d'accès principal de 10m. **Superficie :** Parcelle **Construction présente**

							sur le domaine : oui
6	TAPOGA	PEGOU	F2=SE3/Z3 **X : 0°57'27.6''** **Y : 10°35'32.2''**	NUMERO DU CONSEILLE : 94445634 Nom : cocou	**Nom :** TCHANATE **Prénom :** KOMBETTO **Contact :** 63214877		**Mode d'acquisition du domaine** : Héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : Néant
7	TAPOGA	PEGOU	F1=SE2/Z3 **X : 0°57'32.1''** **Y : 10°35'26.1''**	NUMERO DU CONSEILLE : 94445634 Nom : cocou	**Nom :** KONBIENI **Prénom :** KOUATCHA **Contact :** 94911405	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : Héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : Néant

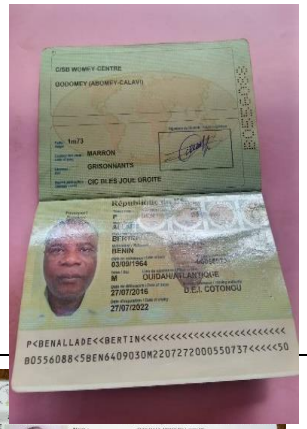
OUINHI							
N	***Arrondissement***	***Village/Quartier***	***Coordonnées/ sites***	***Autorité locale***	***Présumé propriétaire/représentant***	***Photo pièce***	***Observations***
1	Sagon	Ahizè 2	**F4= SE1/ Z1** **X : 2°29'11,5''** **Y : 7°09'21,4''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : HOUNGBEDJI*** ***Prénom : PASCAL*** ***Contact : 97617044***	**Nom :** AKOTEGNON **Prénom :** ALLABI **Contact :** 96232401		**Mode d'acquisition du domaine** : Héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 10m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : OUI
2	Sagon	Ahizè 2	**F1= SE4/Z1** **X : 2°28'37,3''** **Y : 7°09'07,4''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : HOUNGBEDJI*** ***Prénom : PASCAL*** ***Contact : 97617044***	**Nom :** ASSOGBA **Prénom :** OLADEDJI **Contact :** 97617044	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : Héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 6m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le**

							domaine : non
3	Ouinhi centre	Ouokon	**F2= SE2/Z2** **X : 2°28'57,5''** **Y : 7°06'07,3''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : HOUNGBEDJI*** ***Prénom : PASCAL*** ***Contact : 97617044*** Néant	**Nom :** HOUNWANOU **Prénom :** ALBERT **Contact :** 66887595		**Mode d'acquisition du domaine** : Héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine**: non
4	Ouinhi centre	Ayigbamatin	**F3= SE3/Z3** **X : 2°30'23,1''** **Y : 7°03'23,7''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : MOUNIROU*** ***Prénom : FAGNON***	**Nom :** OUSSOU **Prénom :** GASTON **Contact :** 96029809		**Mode d'acquisition du domaine** : Héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal INTER-ETAT **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : non

ZE							
N	***Arrondissement***	***Village/Quartier***	***Coordonnées/ sites***	***Autorité locale***	***Présumé propriétaire/représentant***	***Photo pièce***	***Observations***
1	**ADJAN**	**ADJAN**	**F2= SE1/ Z1** **X : 2°17'10,0''** **Y : 6°42'35,8''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : NAGONOU*** ***Prénom : OSCAR*** ***Contact : 64057510***	**Nom :** KOUNOUPKEVI **Prénom :** CHRISTOPHE **Contact :** 97544892		**Mode d'acquisition du domaine** : Héritage **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : non
2	**ADJAN**	**ADJAN**	**F3= SE4/Z1** **X : 2°16'41,6''** **Y : 6°42'41,3''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : NAGONOU*** ***Prénom : OSCAR*** ***Contact : 64057510***	**Nom :** AGOTON **Prénom :** HONORE **Contact :** 97549722		**Mode d'acquisition du domaine** : achat **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine** : non

3	**ADJAN**	**ADJAN**	**F4= SE5/Z1** **X : 2°16'51,0''** **Y : 6°42'37,4''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : NAGONOU*** ***Prénom : OSCAR*** ***Contact : 64057510***	**Nom :** SOSSA **Prénom :** ANTOINE **Contact :** 96074044		**Mode d'acquisition du domaine** : Achat **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** 500m2 **Construction présente sur le domaine** : néant
4	**ADJAN**	**ANAGBO**	**F1= SE2/Z2** **X : 2°18'11,5''** **Y : 6°42'23,7''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : HOPKO*** ***Prénom : SERMETON*** ***Contact : 97543889*** ***94141713***	Zone réservée a la coopération care zè ADJAN	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : achat **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine**: néant
5	**ADJAN**	**ANAGBO**	**F6= SE3/Z2** **X : 2°18'20,8''** **Y : 6°42'22,1''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : HOPKO*** ***Prénom : SERMETON*** ***Contact : 97543889*** ***94141713***	Zone réservée à la coopération care Zè ADJAN	Néant	**Mode d'acquisition du domaine** : achat **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste **Superficie :** Parcelles **Construction**

							présente sur le domaine: néant
6	**ADJAN**	**ANAGBO**	**F5= SE6/Z3** **X : 2°18'20,8''** **Y : 6°42'22,1''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : HOPKO*** ***Prénom : SERMETON*** ***Contact : 97543889*** ***94141713***	Zone réservée à la coopération care Zè ADJAN	Néant	

KPOMASSE							
N	***Arrondissement***	***Village/Quartier***	***Coordonnées/sites***	***Autorité locale***	***Présumé propriétaire/représentant***	***Photo pièce***	***Observations***
1	**Kpomassè1**	**Gbètohoué**	**F2= SE1/ Z1** **X : 2°00'30,2''** **Y : 6°27'49,4''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : ALLADE*** ***Prénom : MARCELIN*** ***Contact : 96001668***	**Nom :** ALLADE **Prénom :** FACHOLA MARCELIN **Contact :** 96001668		**Mode d'acquisition du domaine** : achat **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 6m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine**: non
2	**Kpomassè1**	**Gbètohoué**	**F1= SE2/Z1** **X : 2°00'36,4''** **Y : 6°27'41,7''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : ALLADE*** ***Prénom : MARCELIN*** ***Contact : 96001668***	**Nom :** ALLADE **Prénom :** BERTIN **Contact :** 97314160		**Mode d'acquisition du domaine** : achat **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 6m **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine**: non
3	**Kpomassè2**	**Kpomassè centre**	**F5= SE3/Z2** **X : 2°00'43,8''** **Y : 6°26'23,0''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : ODOLENE*** ***Prénom : MATHIEU*** ***Contact : 997821657***	**Nom :** DASILVA DOSSOU **Prénom :** CLEMEN **Contact :** 97378932		**Mode d'acquisition du domaine** : achat **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m

							Superficie : Parcelles **Construction présente sur le domaine**: non
4	**Kpomassè2**	**Kpomassè centre**	**F4= SE4/Z2** **X : 2°00'11,5''** **Y : 6°26'12,8''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : ODOLENE*** ***Prénom : MATHIEU*** ***Contact : 997821657***	Néant		Apres recasement il a été contacté que le point est situé un une voie principale de 6m
5	**Kpomassè2**	**Kpomassè centre**	**F3= SE5/Z2** **X : 2°00'39,5''** **Y : 6°26'11,5''**	***Délégué de quartier*** ***Nom : ODOLENE*** ***Prénom : MATHIEU*** ***Contact : 997821657***	Néant		**Mode d'acquisition du domaine** : don **Descriptif du domaine** : Espace ouvert non clôturé avec voie d'accès principal piste de 3m réserver pour un jardin publique **Superficie :** Parcelles **Construction présente sur le domaine**: non

ETUDES HYDROLOGIQUES

I. INTRODUCTION

Les objectifs poursuivis dans ce volet à cette étape d'études sont de déterminer :

- La disponibilité des ressources en eau de surface ;
- D'évaluer le volume d'eau mobilisable par an ;

Cette étude a principalement consisté à :

- Elaborer les cartes des bassins versants ;
- Choisir les potentiels sites pouvant recevoir une retenue d'eau ;
- Analyser des données pluviométriques et climatologies ;
- Calculs hydrologiques.

Le rapport d'études s'articule autour des points suivants :

- Facteurs climatiques et hydrologiques
- La délimitation des bassins versants exploitables
- La détermination des volumes d'eau mobilisable.

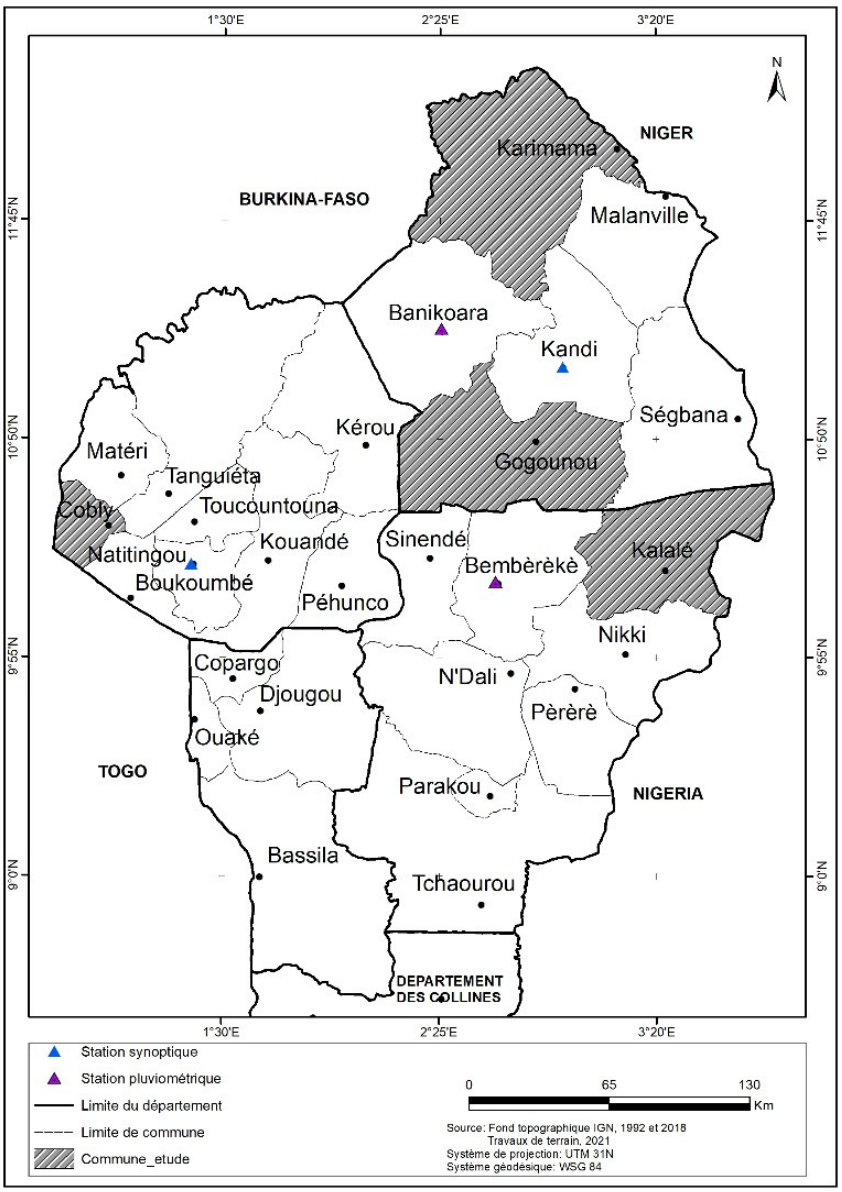


Figure 28 : Carte de localisation des zones étudiées

II. FACTEURS CLIMATIQUES ET HYDROLOGIQUES

Ce chapitre est consacré à une description générale de la zone d'étude afin de donner les indications sur les caractéristiques physiques et climatologiques ; bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques des bassins versants et du choix des méthodes à utiliser.

2.1. Régime climatique

Les localités concernées bénéficient d'un climat tropical de type soudano-guinéen à saisons contrastées (une saison sèche et une saison pluvieuse) caractérisé par l'alternance d'une longue saison humide de 6 à 7 mois allant d'avril/mai à octobre et d'une longue saison sèche de 5 à 6 mois allant de novembre à mars/avril.

Les températures maximales journalières les plus élevées ne dépassent souvent pas les 37°C. Les mois les plus chauds sont : Février et Mars voire avril. Les plus faibles valeurs de températures (17°C en moyenne) sont enregistrées dans le mois août. L'amplitude thermique journalière oscille autour de 6°C à l'hivernage tandis qu'elle dépasse souvent 15°C pendant la saison sèche. La température moyenne annuelle est de 26.7 °C.

Références météorologiques

La station météorologique représentative pour la zone est celle de Natitingou dont on dispose d'une longue série chronologique.

***Tableau 31**: les coordonnées géographiques des stations*

Stations	Coordonnées		Année de création de la station
	Latitude	Longitude	
Natitingou	+10°19'	-01°23'	1921
Banikoara	+11°18'	-02°26'	1954
Kandi	+11°08'	-02°56'	1921
Bembéréké	+10°12'	-02°40'	1921

Tableau 32 : Période de relevé des données pluviométriques

Station	Années de mesure pluies annuelle	Nombre d'échantillons pluies annuelle	Années de mesure pluies journalières max	Nombre d'échantillons pluies journalières max
Natitingou	1922 - 2019	98	1922-2019	98
Banikoara	1954 - 2002	49	1954 - 2002	49
Kandi	1921 - 2002	82	1921-2002	82
Bebèrèkè	1921 - 2002	83	1921-2002	83

2.2. Pluviométries journalières et annuelles

Les données pluviométriques journalières et annuelles de la station de Natitingou sont présentées en annexe 1. La répartition dans le temps des cumuls annuels et des pics journaliers est illustrée par les figures 1 et 2.

➢ **Pluviométries journalières**

Tableau 33 : Statistiques de base des pics journaliers à Natitingou

Statistiques de base de Natitingou	
Nombre d'observations	98
Minimum	41.5
Maximum	150
Moyenne	71.7
Ecart-type	21.4
Médiane	66.1
Coefficient de variation (Cv)	0.299
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.16
Coefficient d'aplatissement (Ck)	4.19

Tableau 34 *: Statistiques de base des pics journaliers à Banikoara*

Statistiques de base de Banikoara	
Nombre d'observations	49
Minimum	44.5
Maximum	125
Moyenne	72.2
Ecart-type	18.2
Médiane	67.2
Coefficient de variation (Cv)	0.252
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.792
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.84

Tableau 35 *: Statistiques de base des pics journaliers à KANDI*

Statistiques de base de Kandi	
Nombre d'observations	82
Minimum	35.9
Maximum	158
Moyenne	71.6
Ecart-type	21.9
Médiane	67.2
Coefficient de variation (Cv)	0.305
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.09
Coefficient d'aplatissement (Ck)	4.55

Tableau 36 *: Statistiques de base des pics journaliers à BEMBEREKE*

Statistiques de base de Bembéréké	
Nombre d'observations	83
Minimum	50.2
Maximum	195
Moyenne	84.0
Ecart-type	27.1
Médiane	78.0
Coefficient de variation (Cv)	0.323
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.80
Coefficient d'aplatissement (Ck)	6.71

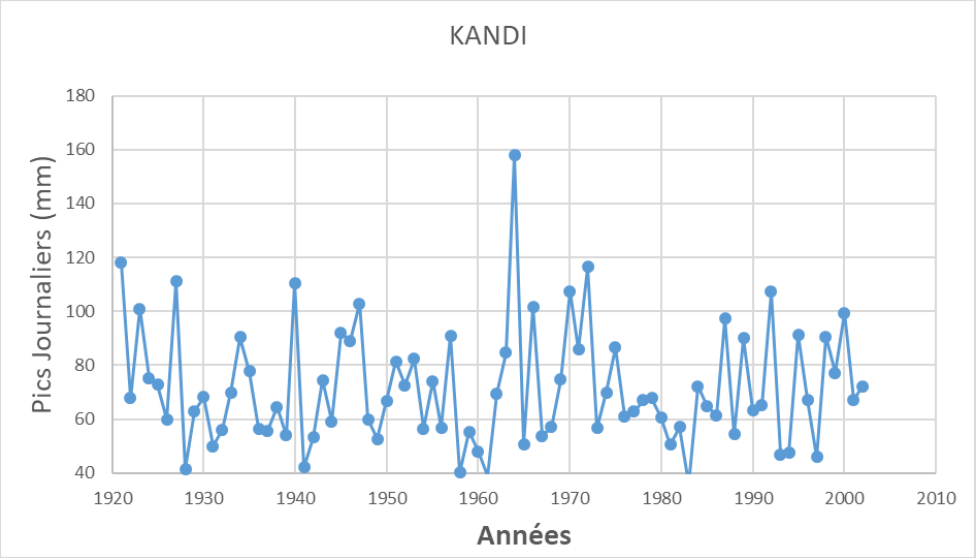


Figure 29 *: Variation des pics journaliers sur la station Synoptique de Kandi*

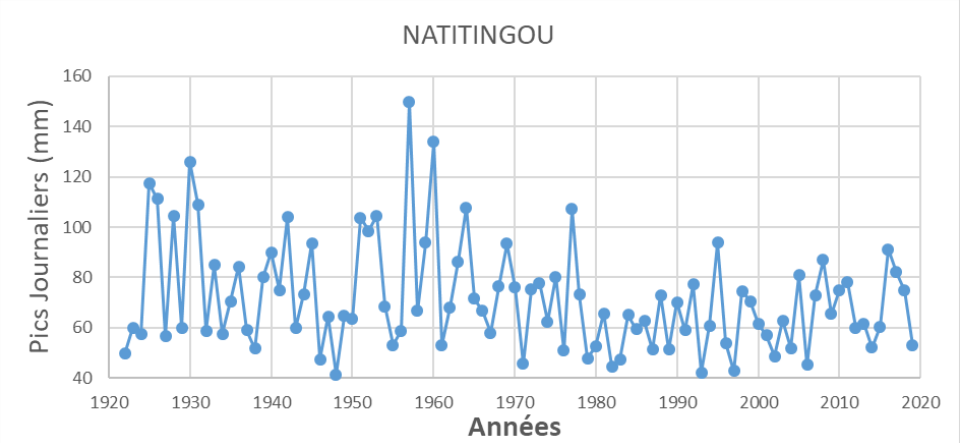


Figure 30 : Variation des pics journaliers sur la station Synoptique de Natitingou

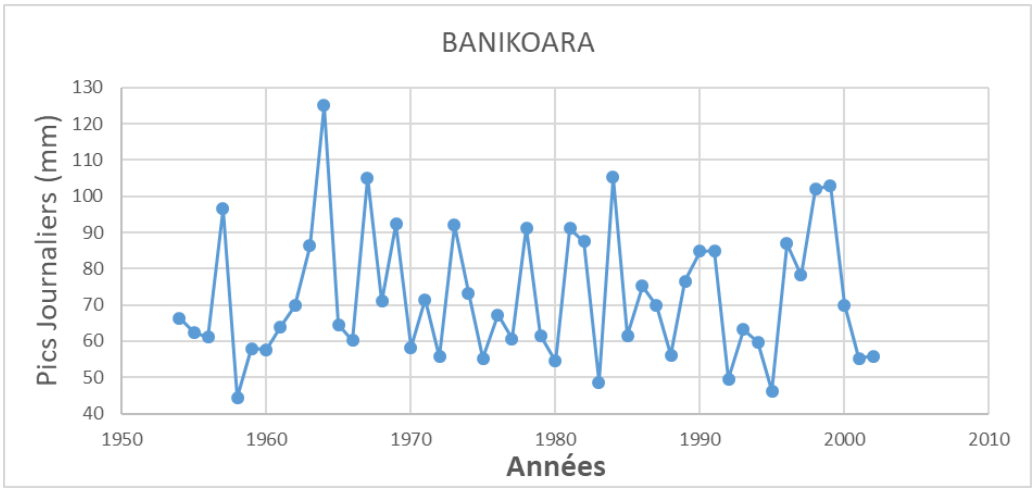


Figure 31 *: Variation des pics journaliers sur la station pluviométrique de Banikoara*

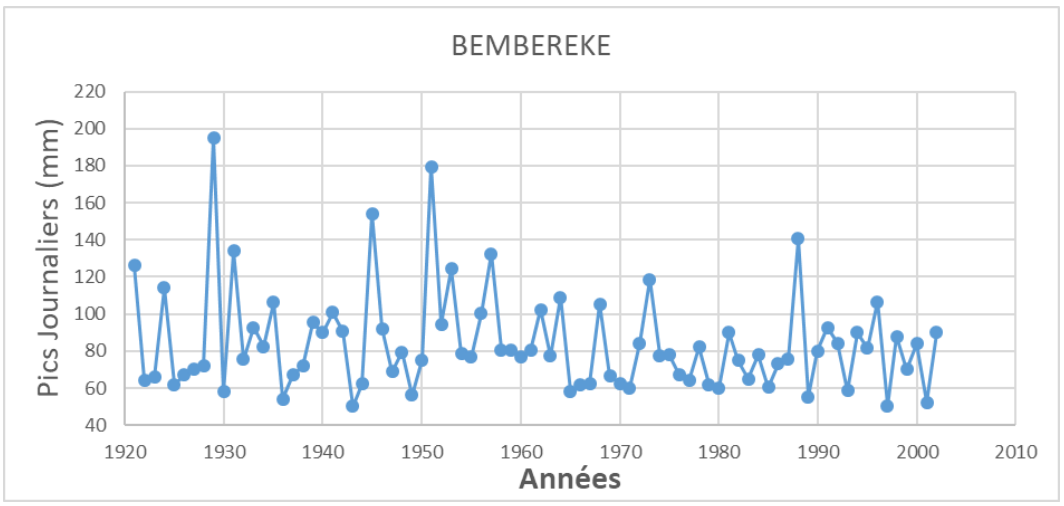


Figure 32 *: Variation des pics journaliers sur la station pluviométrique de Bembèrèkè.*

L'analyse des pluies a été faite à partir des données des stations pluviométriques et synoptiques de Natitingou Kandi Banikoara et Bembèrèkè qui disposent d'un nombre élevé d'échantillons avec une série continue ; les données sont présentées en annexe N° 1. Les caractéristiques de ces données pluviométriques sont dans les tableaux N°7.

Pour certifier la fiabilité des données et leur homogénéité nous avons réalisé les tests d'indépendance (Wald-Wolfowitz) de stationnarité (Kendall) et d'homogénéité (Wilcoxon) sur échantillons voir les détails en annexe.

L'analyse de ces résultats permet de conclure que les données de la station sont homogènes et utilisables dans le cadre de notre étude.

Pour réaliser ces ajustements nous avons utilisé le logiciel HYFRAN qui est spécialisé dans le domaine. L'analyse des résultats proposés par ce logiciel nous permettra de faire un choix judicieux sur les valeurs des pluies périodiques. HYFRAN est un logiciel permettant d'ajuster les différentes lois statistiques à un échantillon d'observations indépendantes et identiquement distribuées. Ce logiciel a été développé par l'équipe de la chaire

d'hydrologie statistique (Hydro – Québec / CRSNG / Alcan) situé à l'institut de la recherche scientifique (Québec).

La pluie retenue pour les calculs hydrologiques est donc une association des données de terrain et des valeurs obtenues par interpolation sur ces cartes. Elles sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 37 *: Pluies journalières décennales et moyennes interannuelles*

Désignation	**Pluie moyenne interannuelle (mm)**		**Pluie journalière (mm)**				
	Valeurs issues des isohyètes du CIEH (1925-1984)	Valeurs obtenues des données météo	Valeurs issues des isohyètes du CIEH		Valeurs obtenues par ajustement statistique des données météo de l'ASECNA		
			10 ans	100 ans	10 ans	50 ans	100 ans
Natitingou (1922-2018)	1318	1260	110	150	100	123	134
Banikoara (1921-2002)	1015	994	100	150	96	119	129
Kandi (1921-2002)	1086	1020	110	150	100	128	139
Bebèrèkè (1921-2002)	1244	1190	120	175	113	142	155

Les valeurs moyennes des pluies moyennes interannuelles et journalières maximales ont été adoptées pour l'estimation des débits.

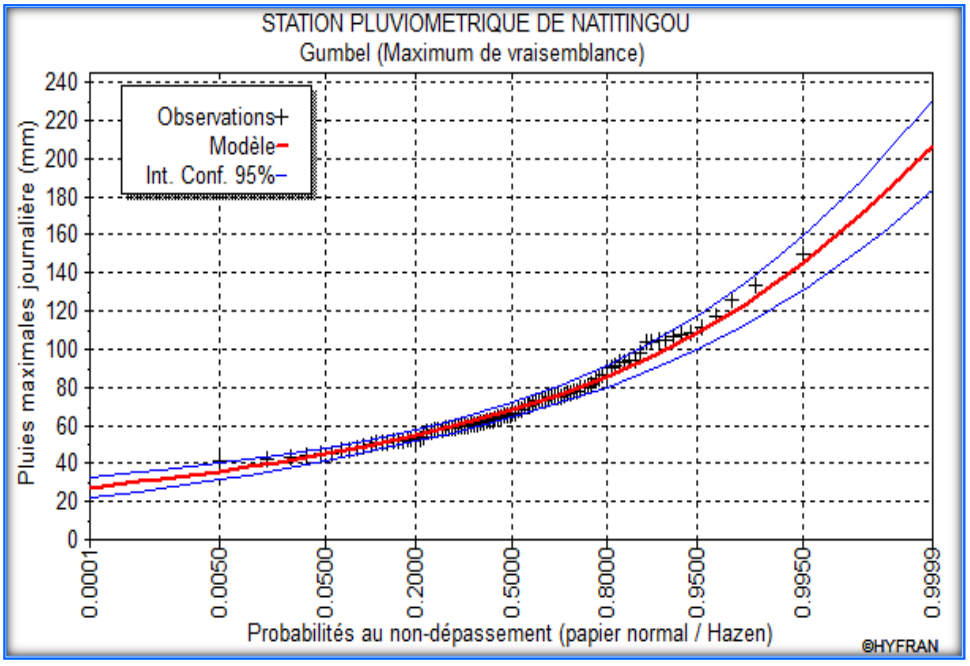


Figure 33 *: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Natitingou*

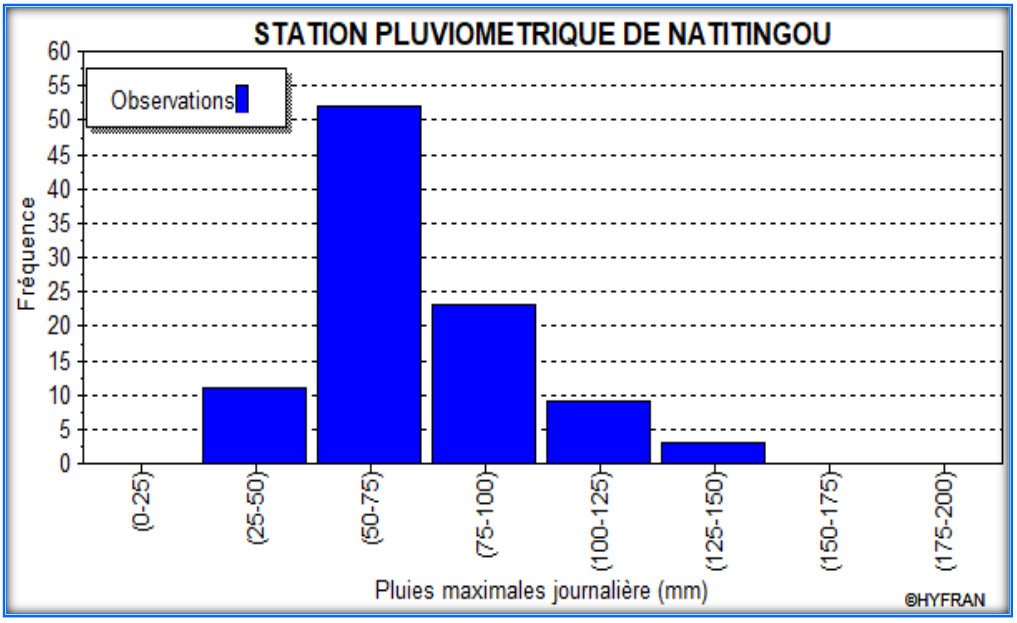


Figure 34: Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Natitingou

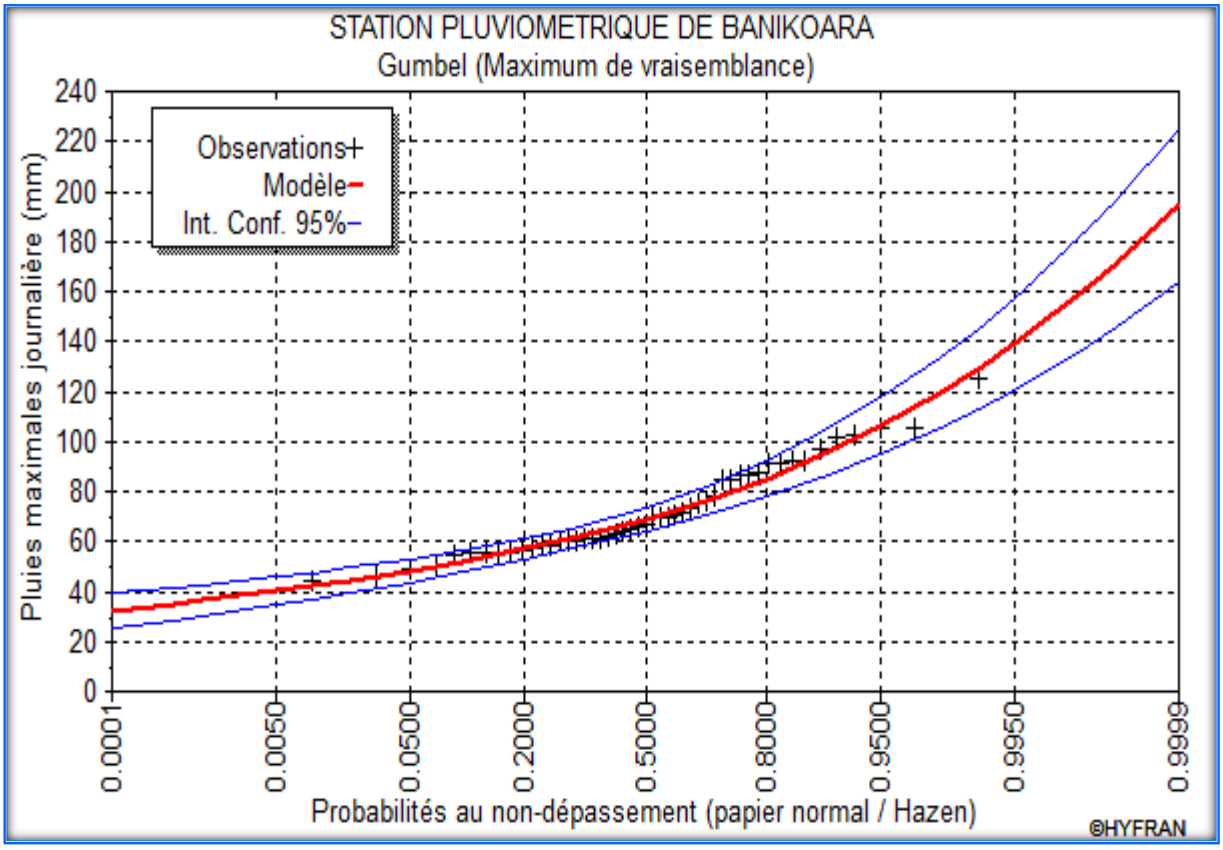


Figure 35 *: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Banikoara*

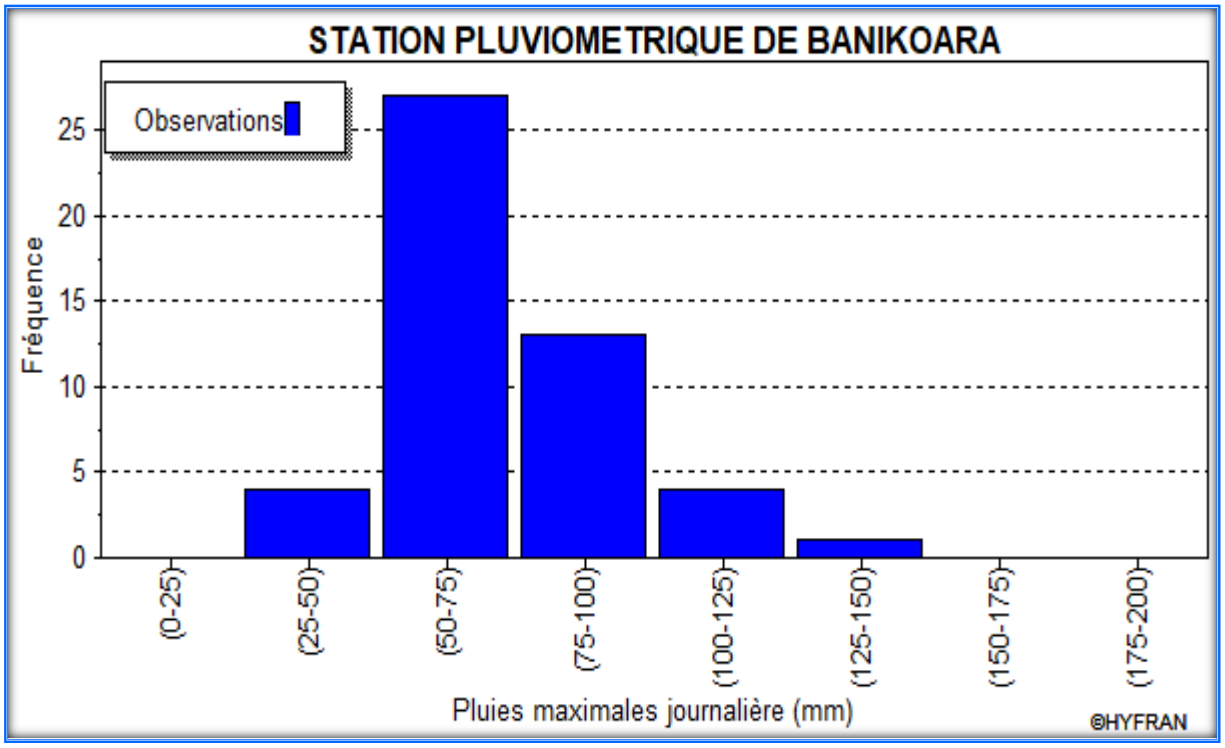


***Figure 36**: Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Banikoara*

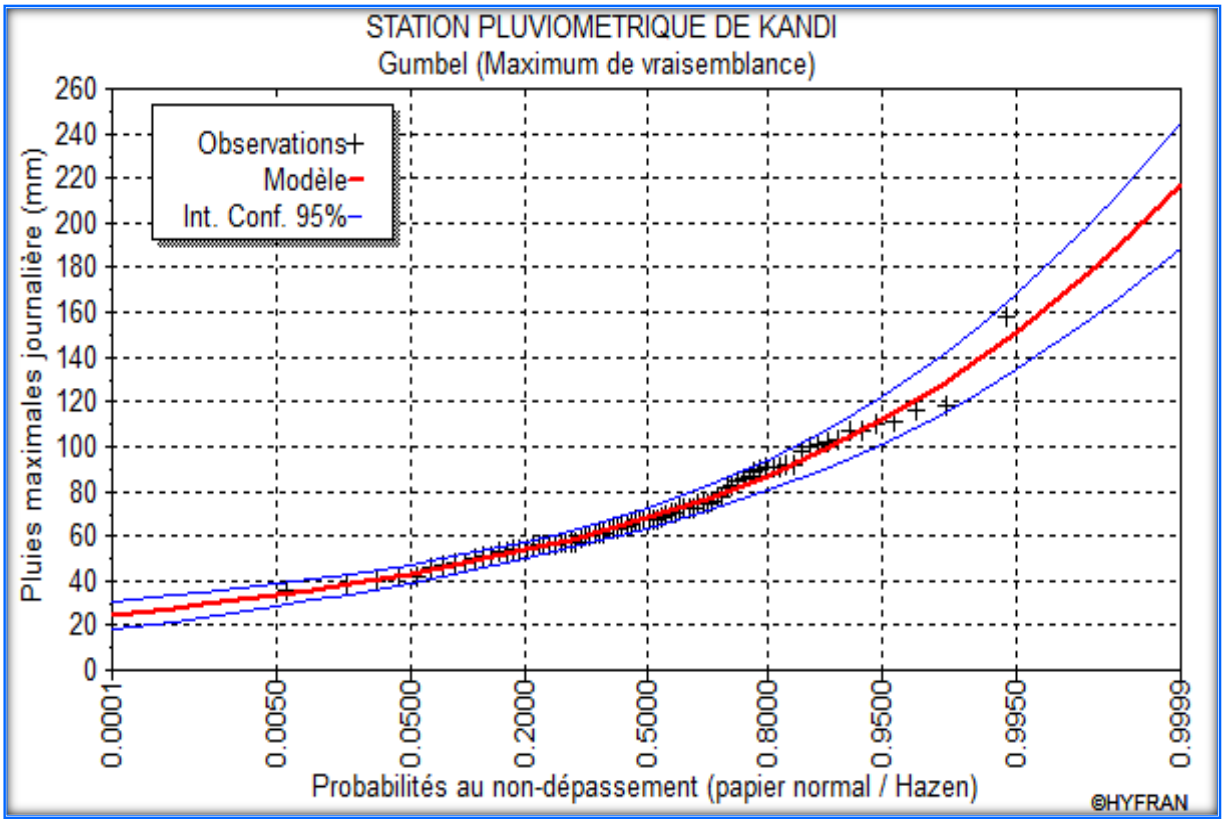


***Figure 37**: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Kandi*

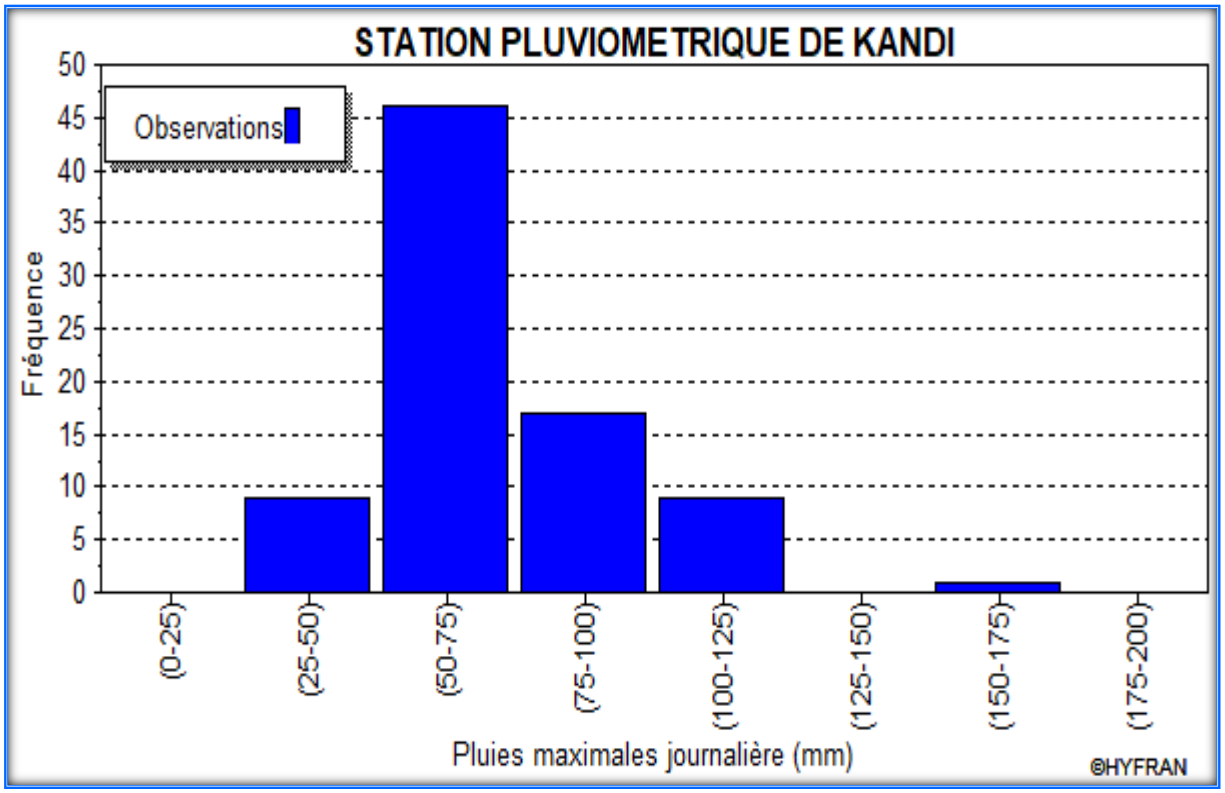


Figure 38 : Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Kandi

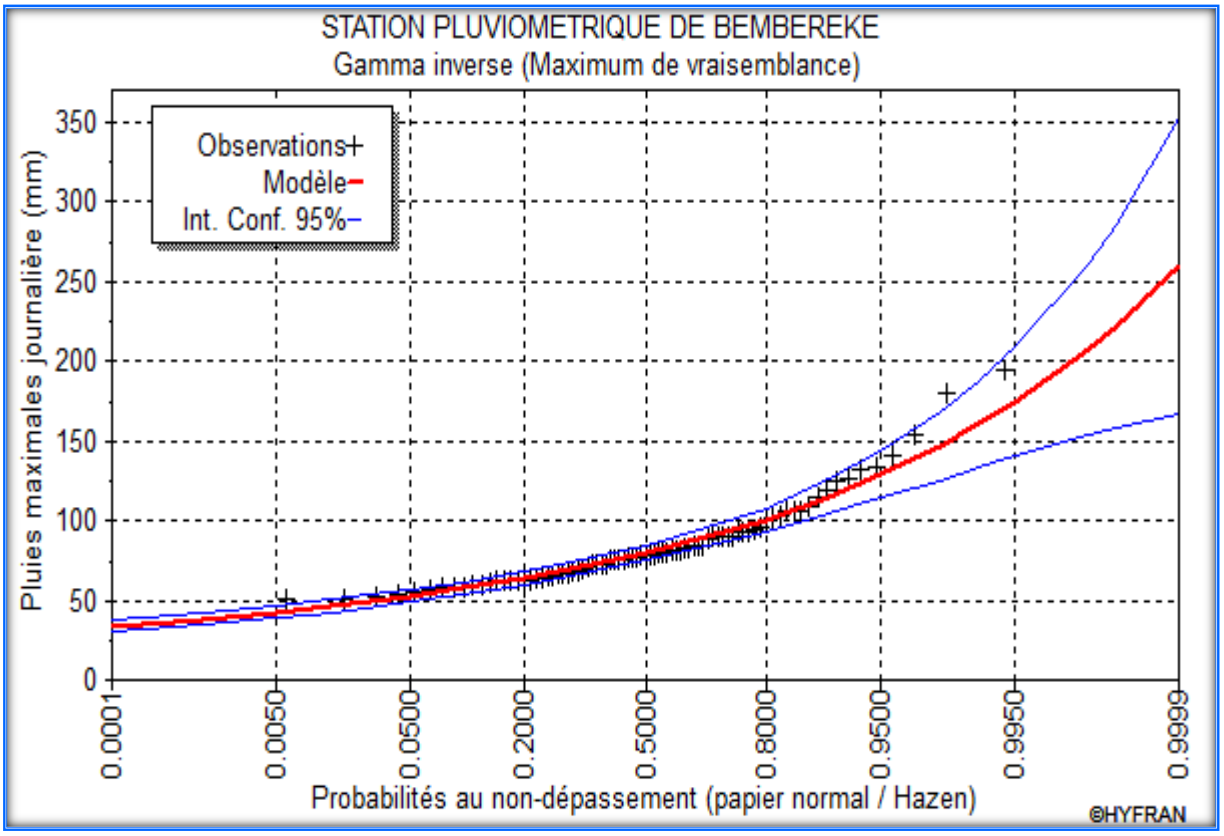


***Figure 39**: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Bembèrèkè*

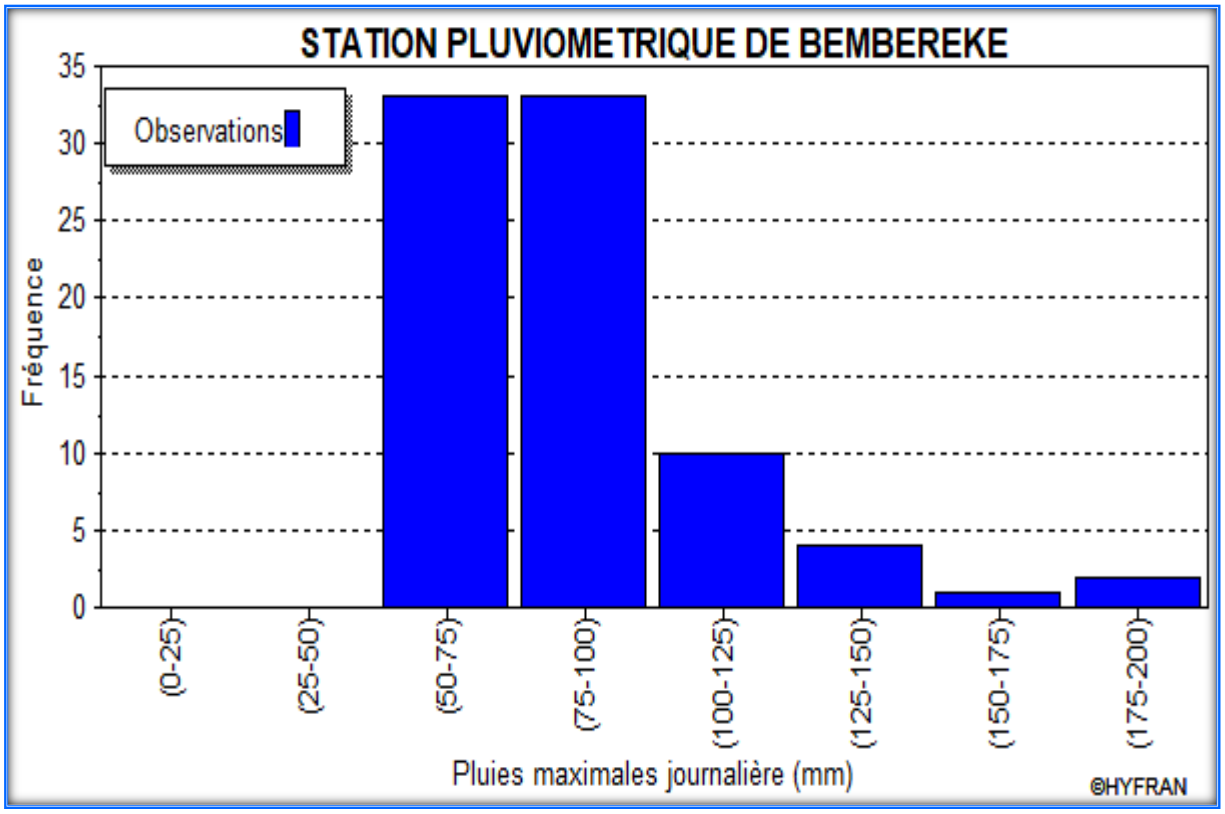


Figure 40: *Histogramme Pluies max journalière Station Pluviométrique de Bembéréké*

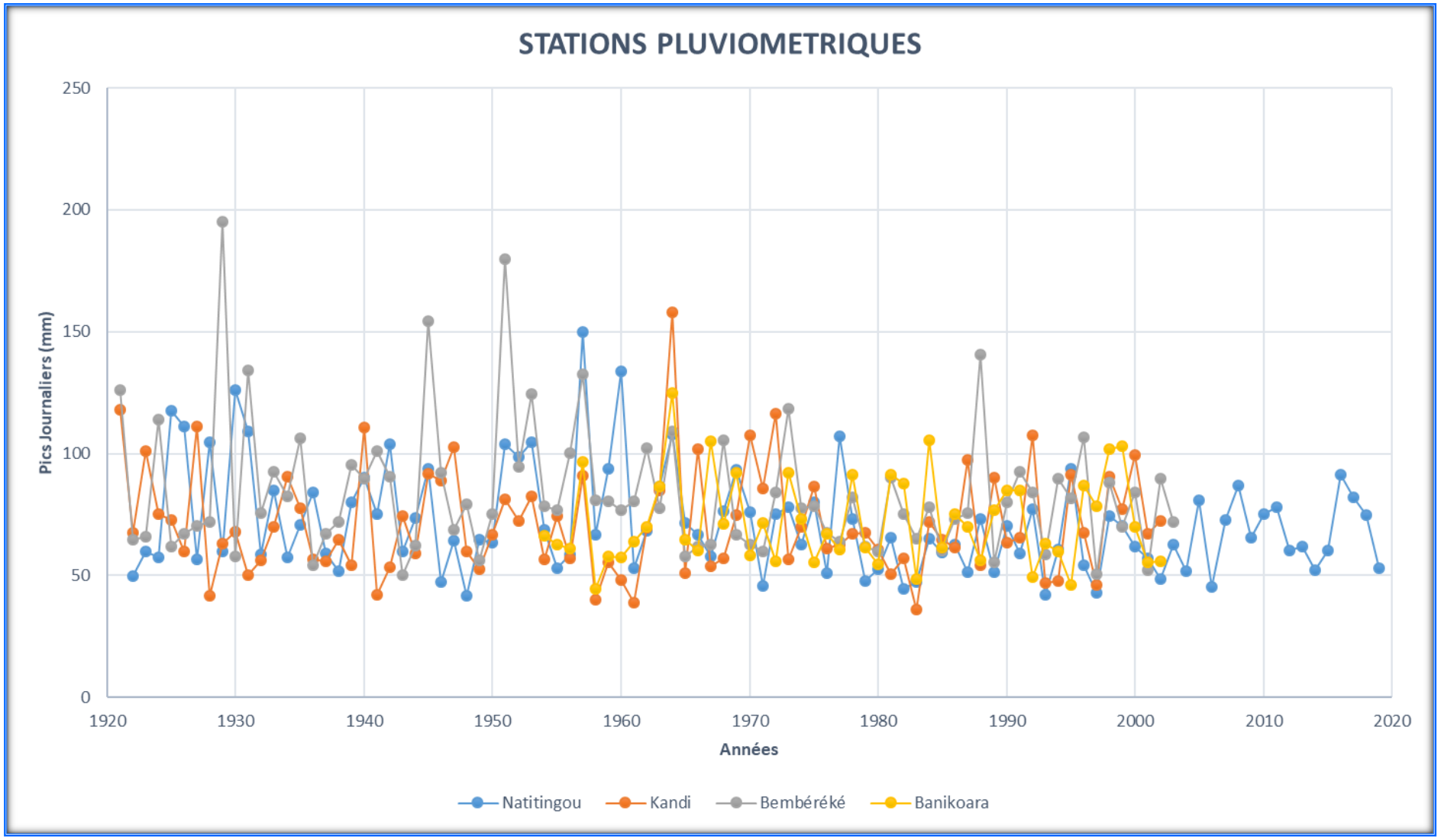


Figure 41 *: Comparaison des pics journaliers des 4 stations retenues dans le cadre de cette étude*

- **Pluviométries Annuelles**

Tableau 38 : Statistiques de base des cumuls annuels des stations de Natitingou

Statistiques de base de Natitingou	
Nombre d'observations	98
Minimum	830
Maximum	1900
Moyenne	1260
Ecart-type	212
Médiane	1250
Coefficient de variation (Cv)	0.168
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.541
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.87

Tableau 39 : Statistiques de base des cumuls annuels des stations de Banikoara

Statistiques de base de Banikoara	
Nombre d'observations	49
Minimum	721
Maximum	1370
Moyenne	994
Ecart-type	151
Médiane	980
Coefficient de variation (Cv)	0.152
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.615
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.80

Tableau 40 *: Statistiques de base des cumuls annuels des stations de Kandi*

Statistiques de base de Kandi	
Nombre d'observations	82
Minimum	655
Maximum	1470
Moyenne	1020
Ecart-type	182
Médiane	1030
Coefficient de variation (Cv)	0.178
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.161
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.57

Tableau 41 *: Statistiques de base des cumuls annuels des stations de BEMBEREKE*

Statistiques de base de Bembéréké	
Nombre d'observations	83
Minimum	725
Maximum	1790
Moyenne	1190
Ecart-type	236
Médiane	1160
Coefficient de variation (Cv)	0.198
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.461
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.91

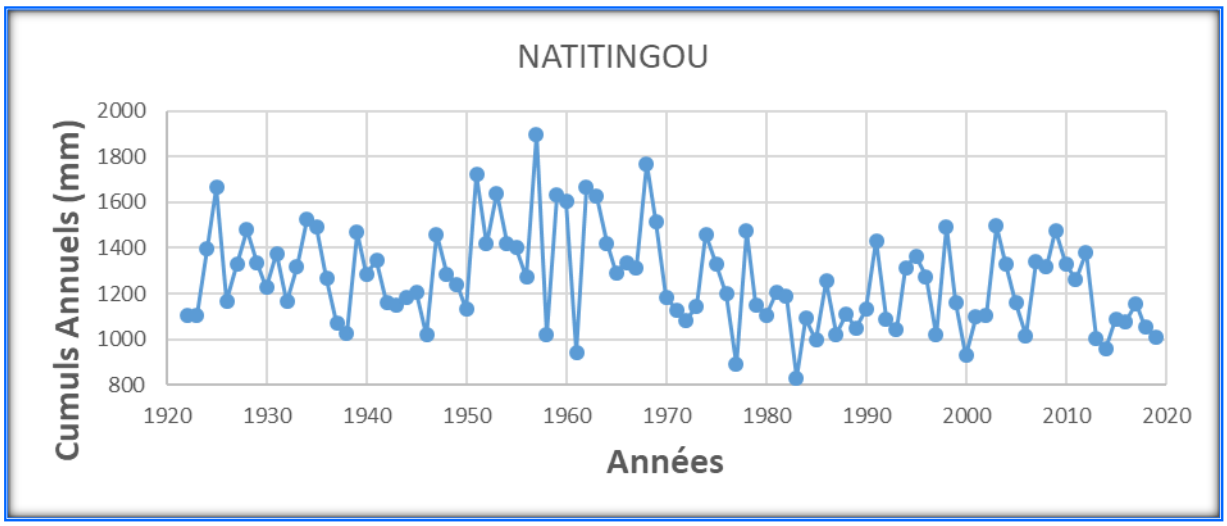


Figure 42 *: cumuls annuels de la pluie de 1922 à 2018 sur la station de Natitingou*

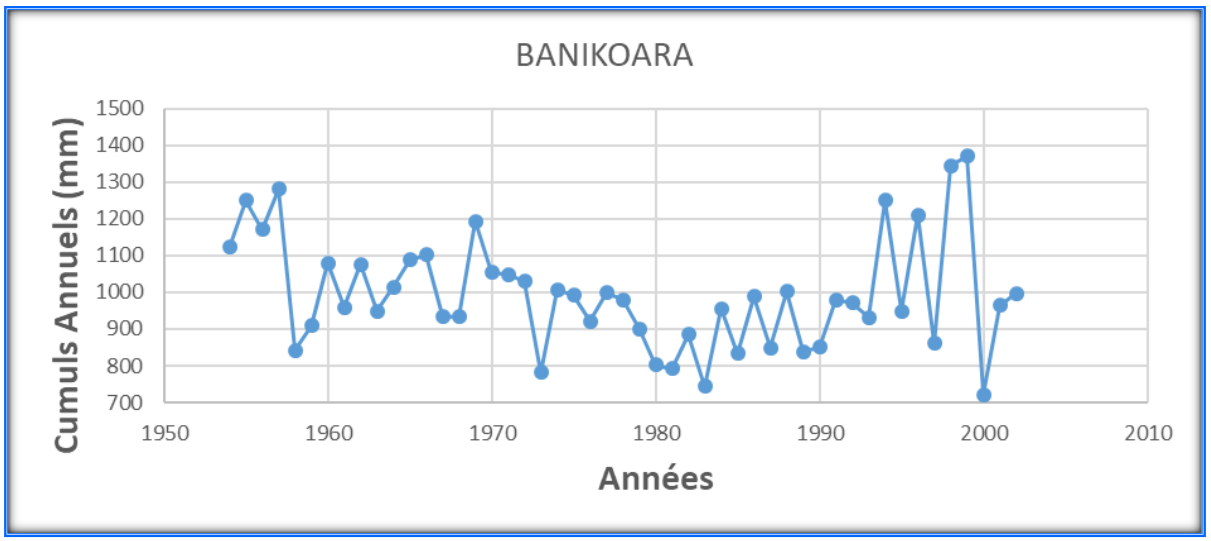


Figure 43 *: cumuls annuels de la pluie sur la station Banikoara*

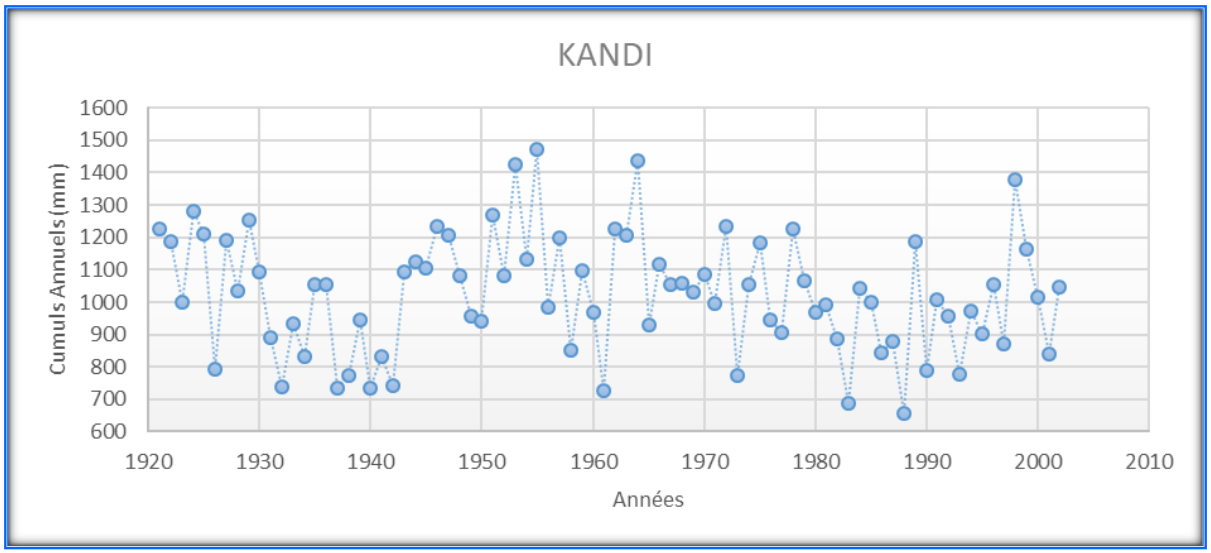


Figure 44 *: cumuls annuels de la pluie sur la station de KANDI*

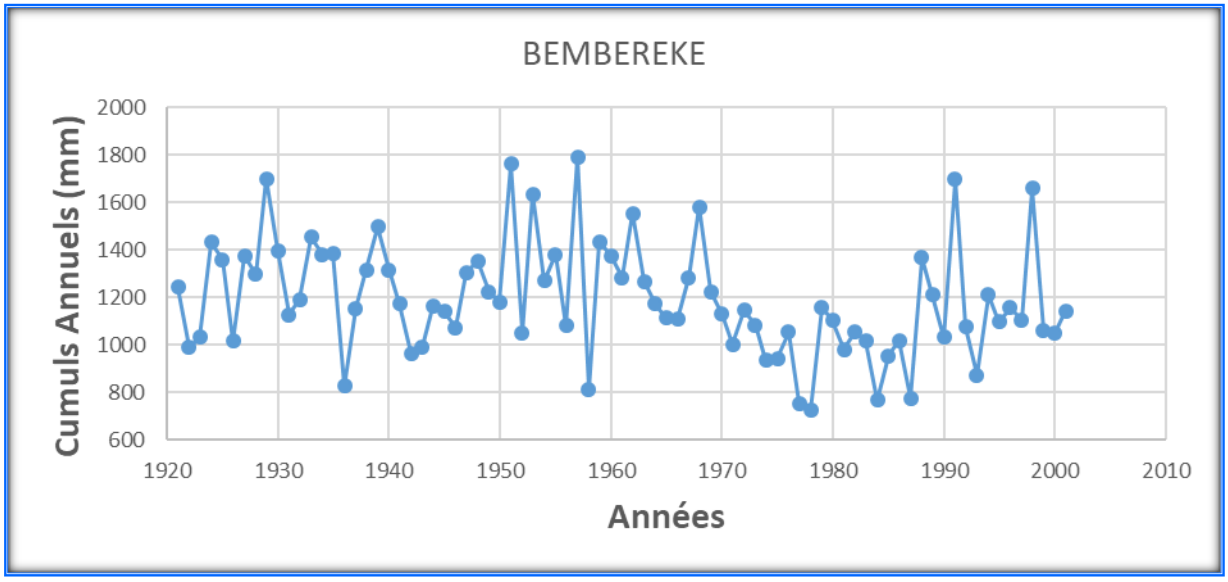


Figure 45 *: cumuls annuels de la pluie sur la station BEMBEREKE*

Tableau 42 *: Pluies maximales annuelles et moyennes interannuelles*

Désignation	Pluie moyenne interannuelle (mm)		Pluie maximales annuelles (mm) Années Sèches							Pluie maximales annuelles (mm) Années Humides						
	Valeurs issues des isohyètes du CIEH (1925-1984)	Valeurs obtenues des données météo	Valeurs issues des isohyètes du CIEH			Valeurs obtenues par ajustement statistique des données météo de l'ASECNA				Valeurs issues des isohyètes du CIEH			Valeurs obtenues par ajustement statistique des données météo de l'ASECNA			
			5 ans	10 ans	50 ans	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans	5 ans	10 ans	50 ans	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
Natitingou (1922-2018)	1318	1260	1 136	1 041	874	1 080	1 010	915	886	1 500	1 595	1 762	1 430	1 570	1 870	1 990
Banikoara (1921-2002)	1015	994	868	808	711	862	816	747	727	1 121	1 194	1 330	1 120	1 210	1 420	1 510
Kandi (1921-2002)	1086	1020	919	854	748	854	794	704	677	1 197	1 278	1 428	1 190	1 310	1 590	1 710
Bembèrèkè (1921-2002)	1244	1190	1 056	976	846	982	906	795	760	1 411	1 516	1 714	1 400	1 550	1 900	2 050

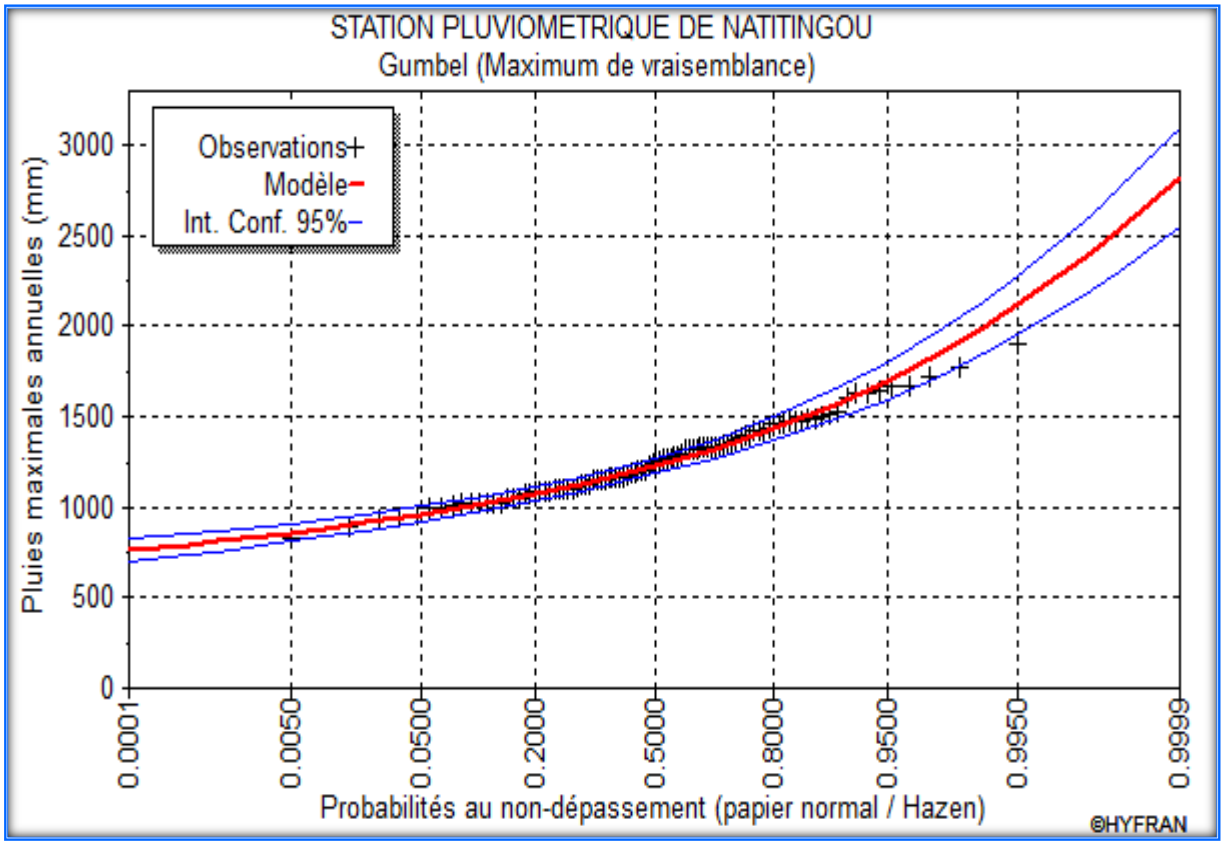


Figure 46 *: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Natitingou*

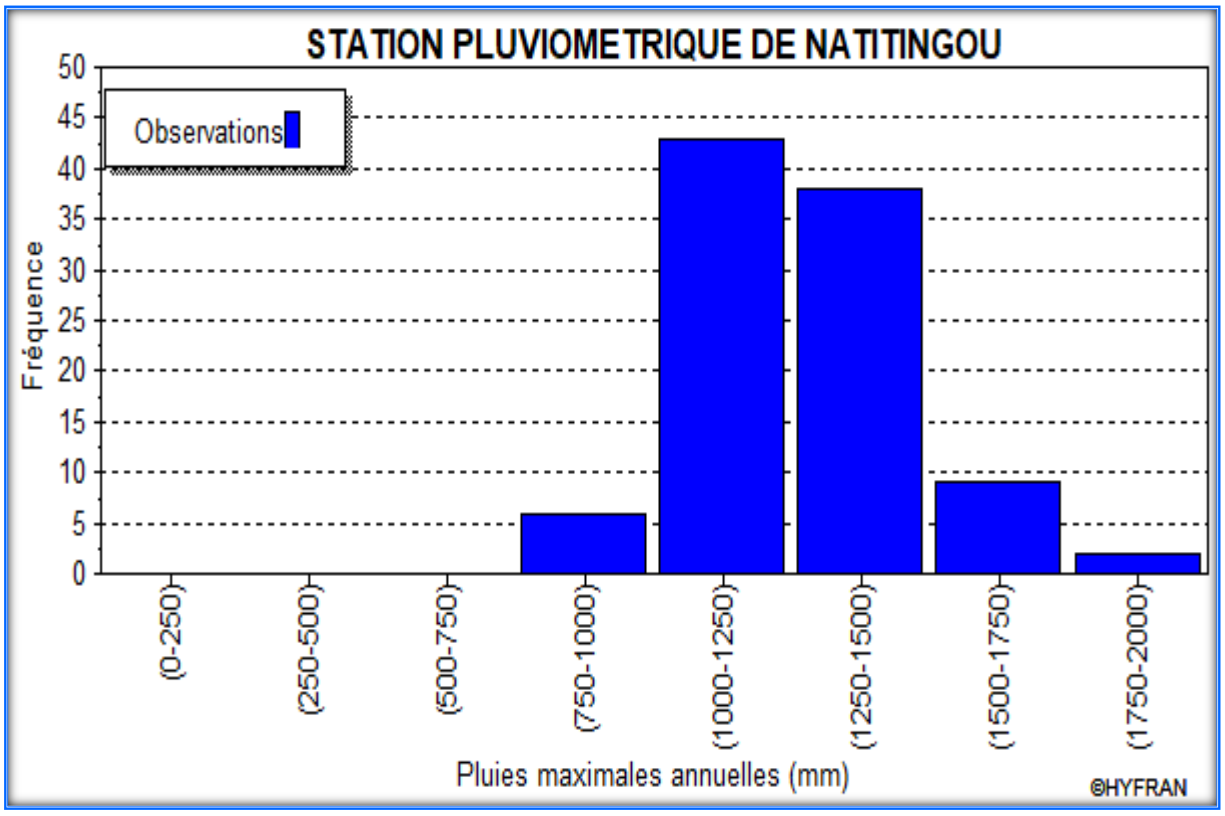


Figure 47 *: Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Natitingou*

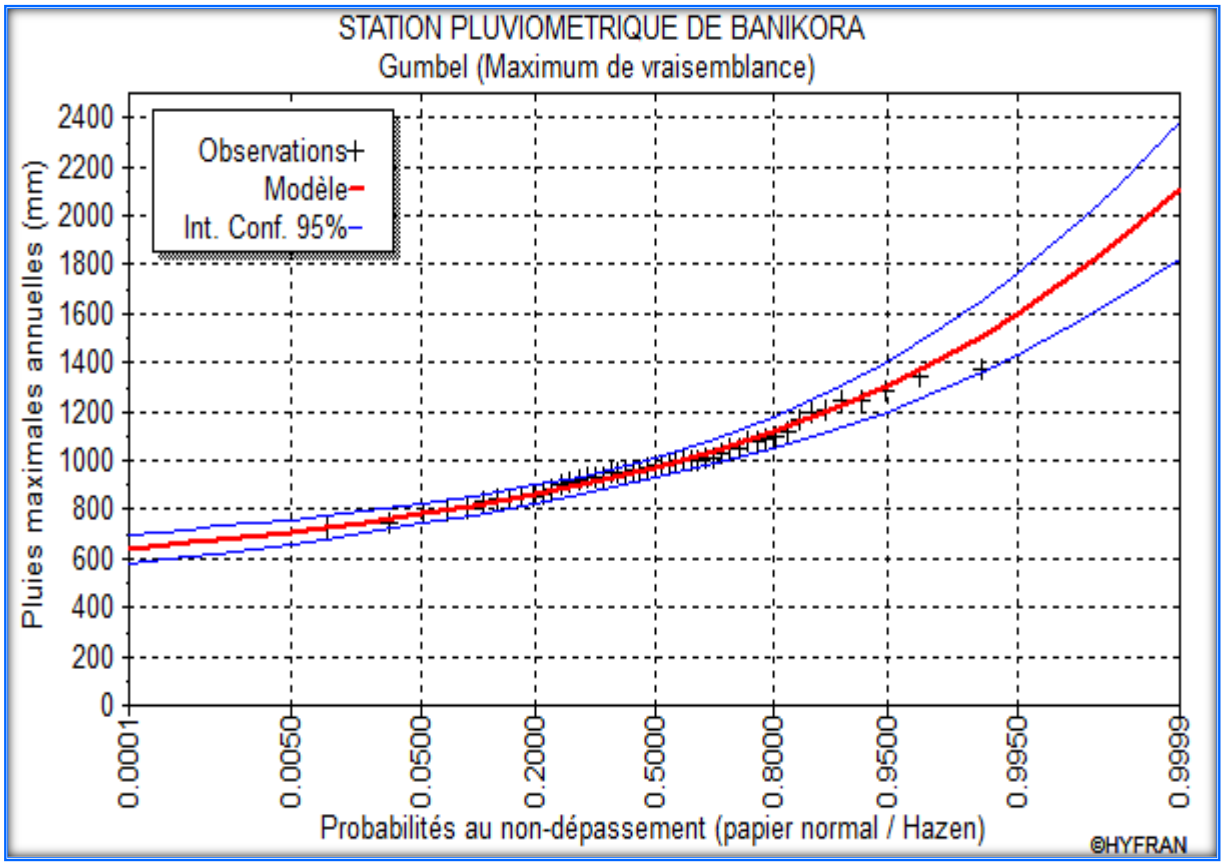


***Figure 48**: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Banikoara*

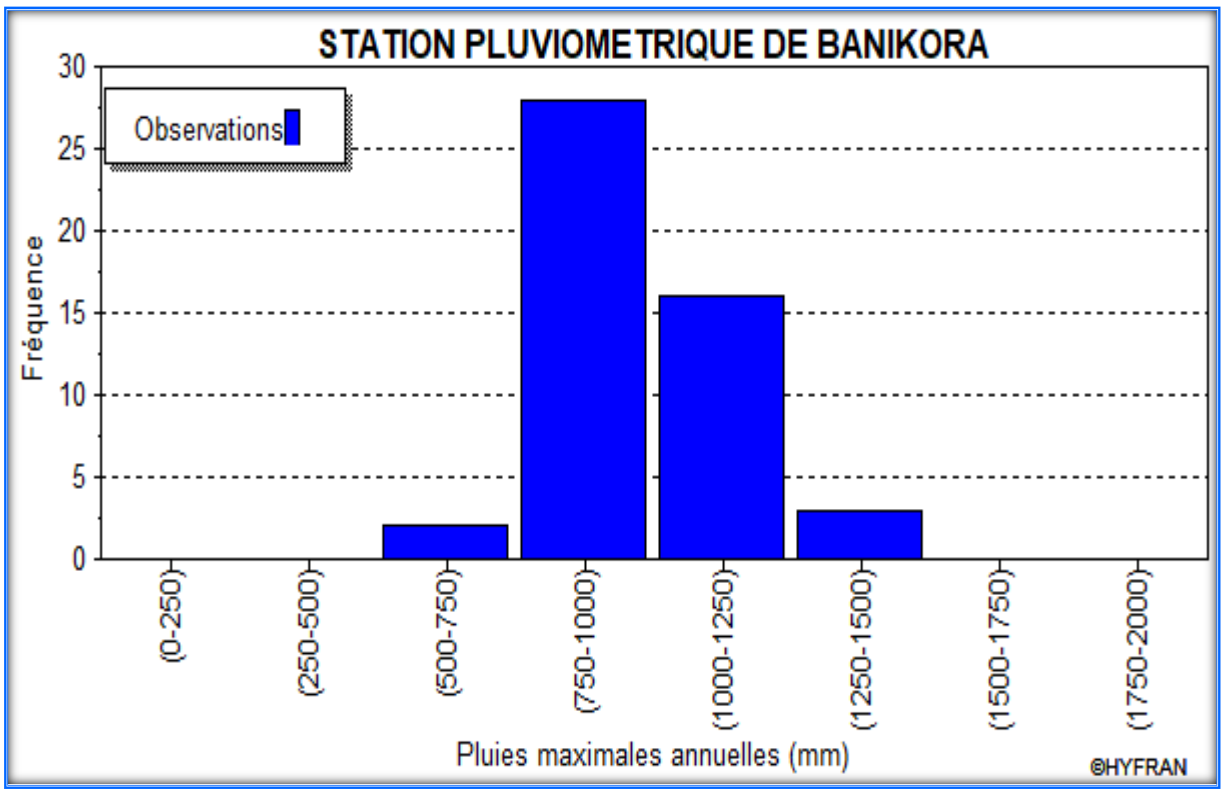


***Figure 49**: Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Banikoara*

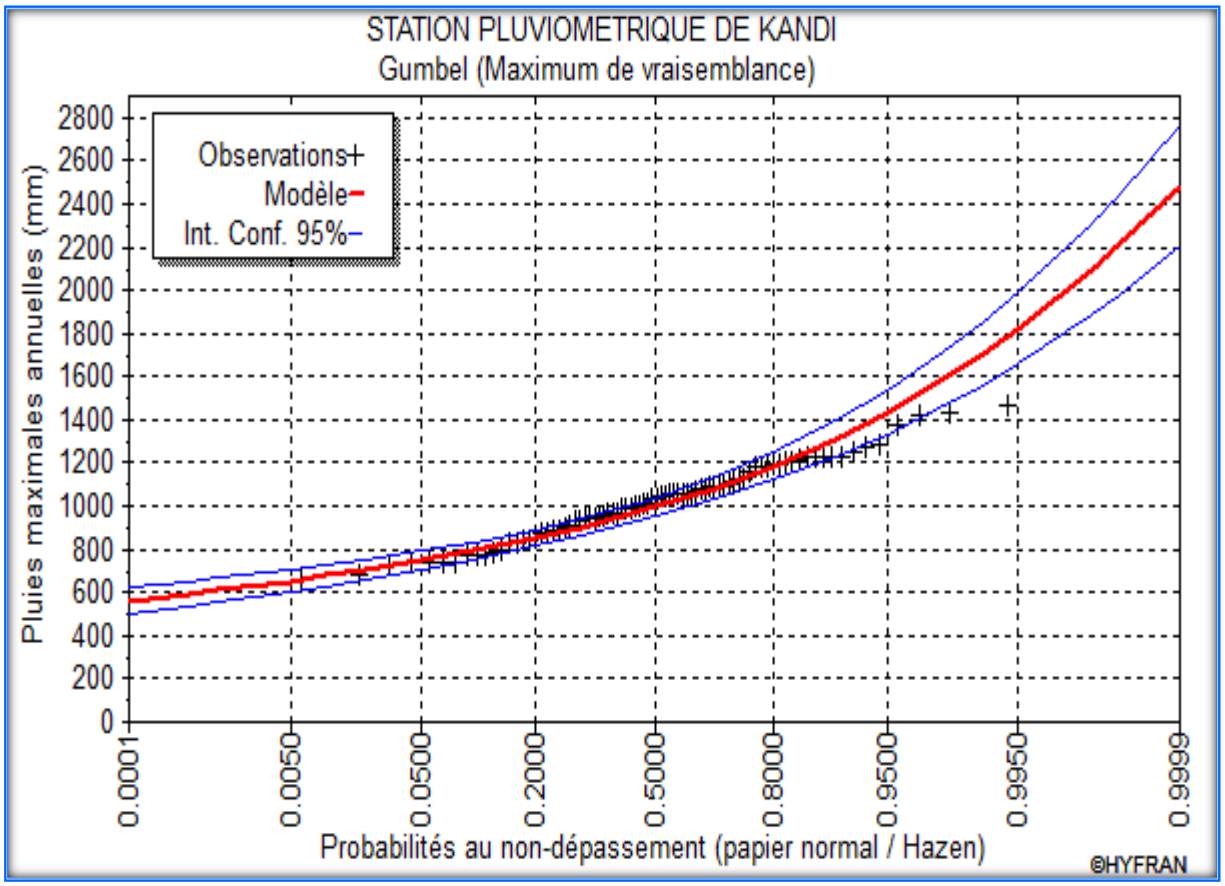


Figure 50 *: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Kandi*

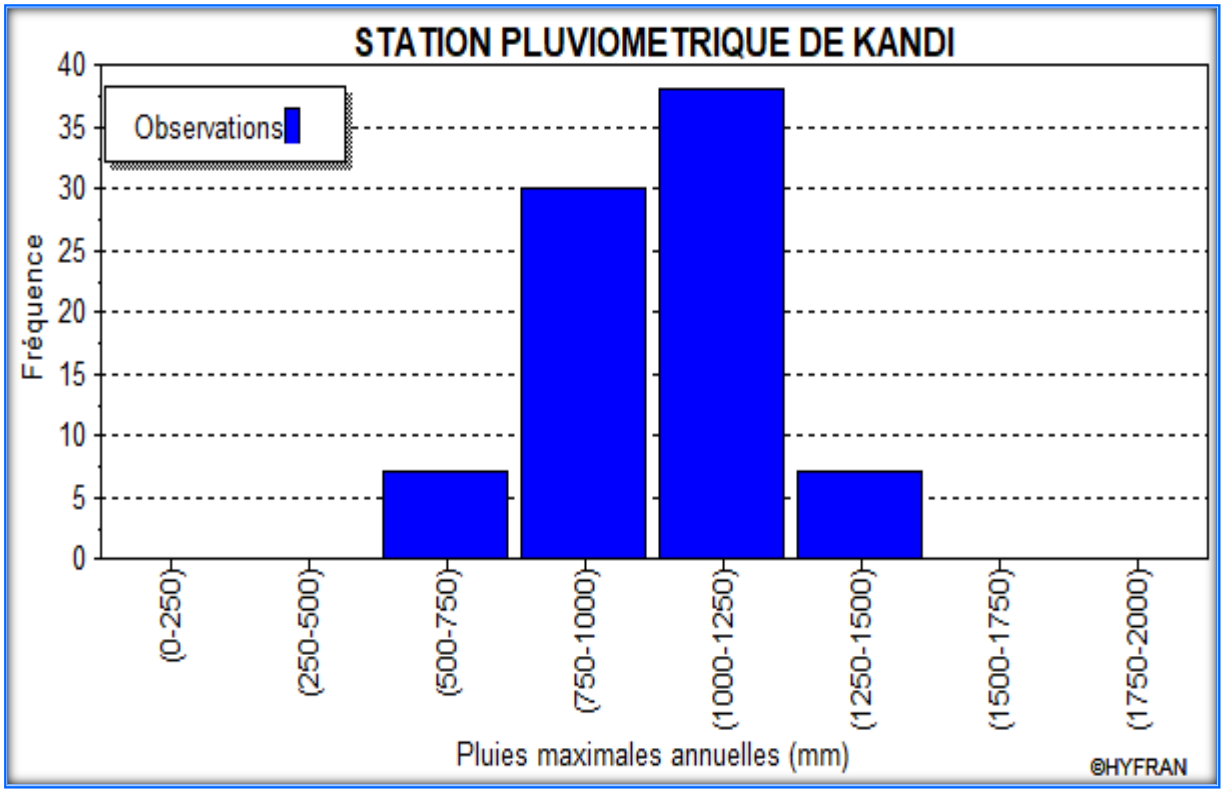


Figure 51*: Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Kandi*

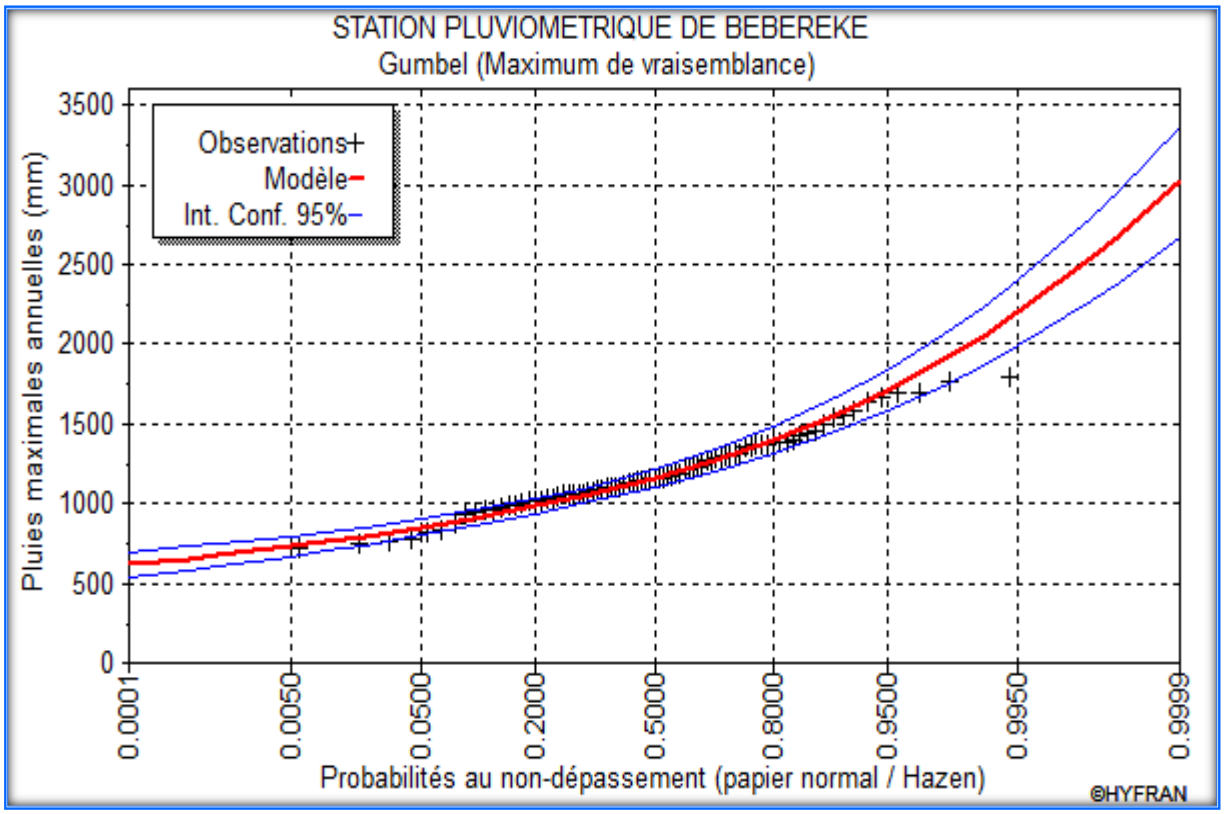


Figure 52 *: courbe d'ajustement à la loi Gumbel pour la station de Kandi*

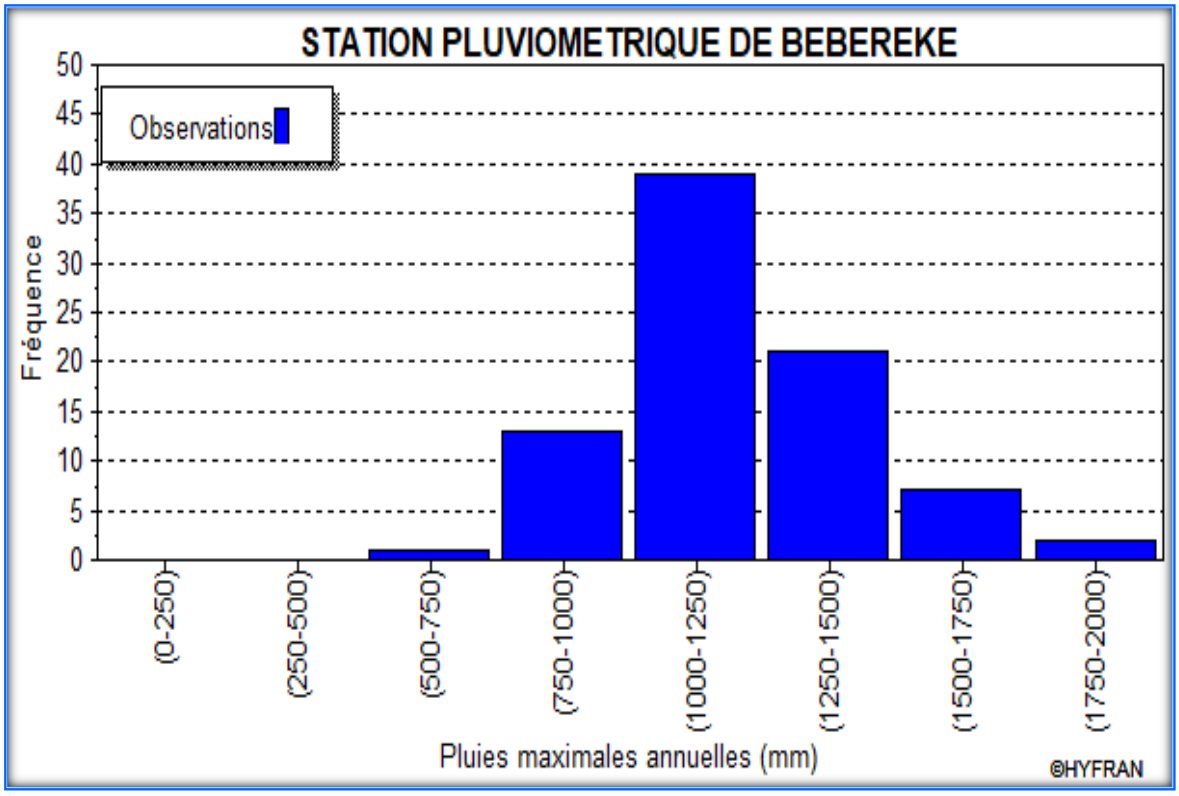


Figure 53*: Histogramme Pluies max annuelles Station Pluviométrique de Kandi*

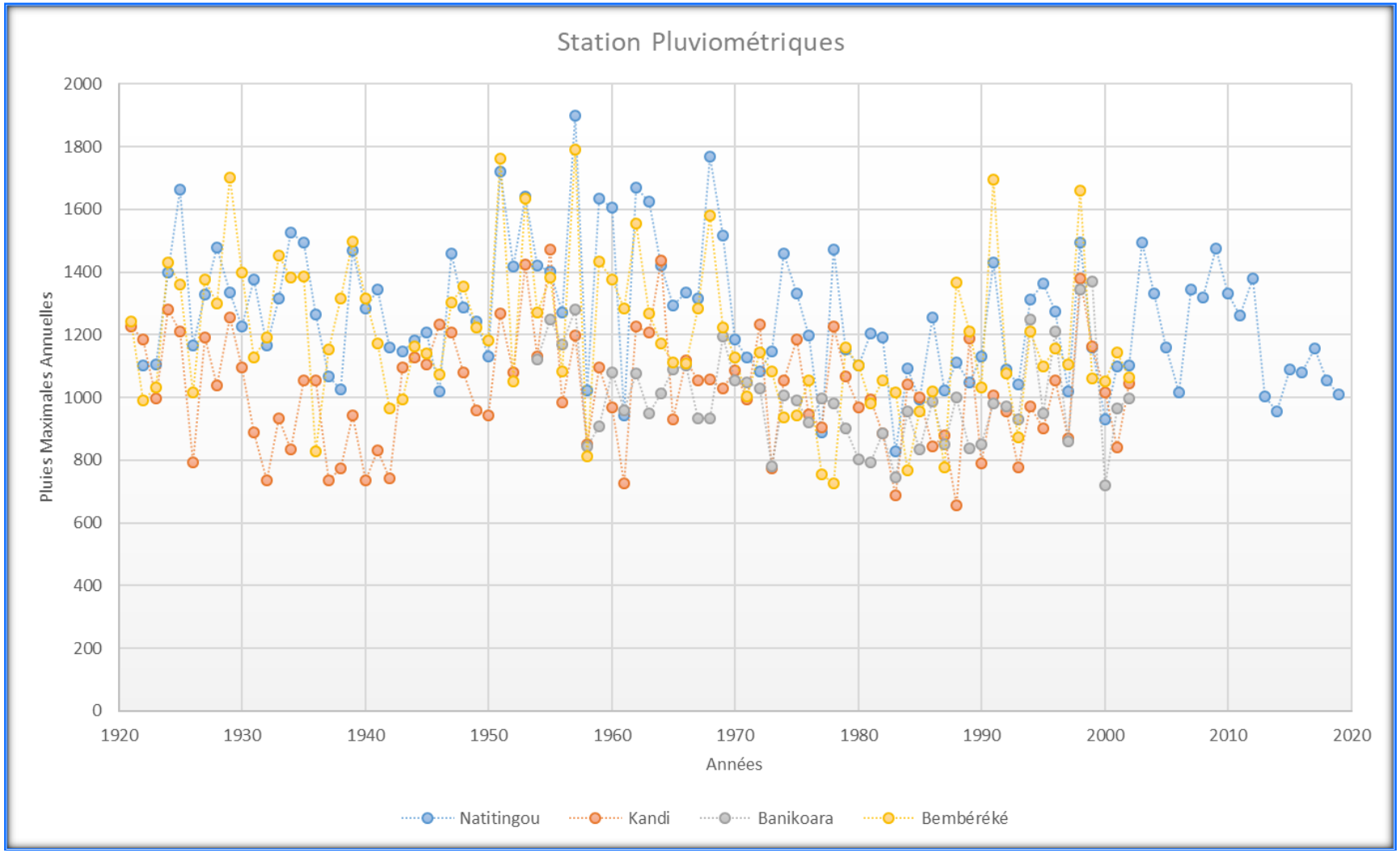


Figure 54 *: Comparaison des cumuls annuels des 4 stations retenues dans le cadre de cette étude*

2.3. Hauteur de pluie - Intensité - Durée - Fréquence

L'intensité est le rapport entre la hauteur de pluie tombée pendant une période d'observation et la durée de cette période exprimée en millimètre par heure.

On détermine l'intensité à partir des paramètres a et b de MONTANA et en utilisant la relation qui existe entre cette intensité et la durée d'averse correspondant au maximum de la crue ou temps de concentration t_c du bassin versant à savoir :

$$I = a \times t_c^{-b}$$

Les coefficients a et b de Natitingou établis par le CIEH serviront de base de calcul pour la prédétermination des crues de projet.

Les coefficients a et b pour la fréquence décennale sont dans le tableau ci-dessous :

Tableau 43 : *Coefficients de Montana de fréquence décennale du Bénin*

Villes	Pluie < 1 heure					Pluie < 2 heures				
	a				b	a				b
	(1 an)	(2 ans)	(5 ans)	(10 ans)	(1 an)	(1 an)	(2 ans)	(5 ans)	(10 ans)	(1 an)
					(10 ans)					(10 ans)
Bohicon	4,60	4,94	5,98	7,70	0,40	33,40	34,86	39,22	46,50	0,90
Cotonou	3,80	3,99	4,56	5,50	0,30	34,80	35,94	39,38	45,10	0,90
Kandi	4,30	4,78	6,21	8,60	0,40	30,00	31,30	35,20	41,70	0,90
Natitingou	4,50	4,93	6,23	8,40	0,40	31,50	32,72	36,39	42,50	0,90
Parakou	4,10	4,48	5,61	7,50	0,40	31,80	33,23	37,53	44,70	0,90
Save	3,60	3,78	4,31	5,20	0,30	23,80	25,79	31,76	41,70	0,80

2.4. Détermination du coefficient de ruissellement (Cr)

Lorsque la pluie tombe sur le sol elle peut suivre différents cheminements :

- Une partie peut s'infiltrer dans le sol
- Une partie peut être piégée dans des dépressions du sol et former des flaques
- Une partie ruisselle sur le sol et finit par rejoindre les réseaux d'assainissement ou le milieu naturel situé au point bas.

En fonction du type de sol sur lequel tombe la pluie la répartition du volume d'eau entre les différents cheminements présentés ci-dessus peut être très différente. Ainsi à chaque type de surface il est possible d'affecter un coefficient de ruissellement (Cr - déterminable à l'aide du tableau fourni ci-après).

Type de surface	Coefficient de ruissellement (Cr) compris entre
Zone d'activités tertiaires	
centres villes	0,70 / 0,95
autres	0,50 / 0,70
Zone résidentielle	
pour 1 pavillon	0,30 / 0,50
ensemble de pavillons détachés	0,40 / 0,60
ensemble de pavillons attachés	0,60 / 0,75
Zone industrielle	0,50 / 0,90
Cimetières - Parcs	0,10 / 0,25
Zone de jeux	0,25 / 0,35
Rue et trottoirs	
asphalte	0,95
béton	0,95
pavé	0,85
Pelouse (sol sablonneux)	
pente < 2 %	0,05 / 0,10
2 % < pente < 7 %	0,10 / 0,15
pente > 7 %	0,15 / 0,25
Pelouse (sol terreux)	
pente < 2 %	0,13 / 0,17
2 % < pente < 7 %	0,18 / 0,22
pente > 7 %	0,25 / 0,35

Valeurs des coefficients de ruissellement en fonction du type de surface

2.5. La température

Tableau 44 *: Température moyennes*

Tableau T.C.III.2 - Températures moyennes mensuelles aux stations synoptiques du Bénin (en °C)
(d'après Asecna Cotonou)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Cotonou	Max	30.7	31.4	31.8	31.4	30.8	29.0	27.8	27.7	28.4	29.5	30.8	30.8	30.0
	Min	23.8	25.3	25.6	24.3	23.5	23.5	23.5	23.3	23.5	23.6	24.0	23.6	24.1
Aéro	Moy	27.3	28.3	28.7	27.9	27.2	26.3	25.7	25.5	26.0	26.6	27.4	27.7	27.1
	Max	34.1	35.4	34.9	33.4	32.8	20.5	29.0	29.0	30.2	31.4	33.7	33.7	32.3
Bohicon	Min	22.2	23.4	23.6	23.3	22.9	22.0	21.6	21.3	21.6	22.0	22.6	22.4	22.4
	Moy	28.2	29.4	29.3	28.4	27.9	26.3	25.3	25.2	25.9	26.7	28.0	28.1	27.4
	Max	34.8	36.2	35.4	33.8	32.6	30.7	29.2	28.6	29.8	31.4	33.7	34.1	32.5
Save	Min	21.3	22.5	22.9	22.7	22.3	21.7	21.3	20.9	21.2	21.6	21.8	20.9	21.7
	Moy	28.1	29.4	29.2	28.3	27.5	26.2	25.3	24.8	25.5	26.5	27.8	27.5	27.1
	Max	34.1	36.1	36.1	34.5	32.5	30.6	29.1	28.4	29.4	31.3	33.3	33.7	32.4
Parakou	Min	18.7	21.1	22.7	27.8	22.0	21.2	20.8	20.6	20.3	20.5	19.2	18.3	20.6
	Moy	26.4	28.6	29.4	28.7	27.3	25.9	25.0	24.5	25.0	25.9	26.3	26.0	26.5
	Max	34.3	36.3	36.9	35.4	33.3	31.1	28.9	28.4	29.8	32.1	33.9	34.1	32.9
Natitingou	Min	19.2	20.7	22.5	23.0	22.2	21.2	20.7	20.6	20.3	20.2	18.5	18.5	20.6
	Moy	26.8	28.5	29.7	29.2	27.8	26.2	24.8	24.5	25.1	26.2	26.2	26.3	26.7
	Max	33.9	36.5	38.4	38.1	35.6	32.7	30.4	29.6	30.5	33.7	35.1	33.8	34.1
Kandi	Min	16.1	18.9	23.2	25.0	24.3	22.6	21.8	21.5	21.3	21.4	17.8	15.6	20.9
	Moy	25.0	27.5	30.8	31.7	30.0	27.7	26.1	25.6	26.0	27.6	26.5	24.7	27.5

2.6. L'Evaporation

Valeur moyenne mensuelles de l'ETP Penman (en mm/j) (D'après Asecna Cotonou)

Tableau T.C.III.5 - Valeurs moyennes mensuelles de l'ETP Penman (en mm/j) (d'après Asecna Cotonou)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. an.
Cotonou	4,18	4,74	5,14	5,02	4,43	3,48	3,49	3,70	3,91	4,17	4,49	4,15	4,24
Bohicon	3,91	4,55	4,65	4,49	3,92	3,53	2,98	2,88	3,33	3,57	4,01	3,82	3,81
Save	4,02	4,60	4,73	4,46	4,02	3,39	2,70	2,65	2,93	3,32	3,77	3,70	3,68
Parakou	5,11	5,54	5,91	5,08	4,63	3,91	3,15	3,03	3,36	3,75	4,42	4,78	4,38
Natitingou	4,81	5,29	5,98	6,09	5,27	4,48	3,65	3,65	3,81	4,55	4,88	4,61	4,75
Kandi	4,48	5,23	5,86	6,23	5,55	4,92	4,12	3,95	4,10	4,54	4,19	4,03	4,76

Tableau 45 *: ETP*

2.7. Calcul du bilan hydrologique

Il est très important de quantifier les précipitations et l'évapotranspiration sur un bassin versant ça nous aide à reproduire sont bilan hydrique et aussi d'estimer les réserves. Ces informations sont très utiles pour la construction des retenues d'eau et leur gestion.

Lorsqu'il n'existe aucune mesure de débit on doit recourir à des formules théoriques qui permettent d'évaluer l'écoulement moyen annuel à partir de données climatiques générales.

Le principe de la méthode d'évaluation consiste à estimer le déficit d'écoulement moyen annuel et à considérer que globalement l'eau non consommée par évaporation contribue à l'écoulement au niveau du bassin. Cela revient à négliger en particulier les pertes par infiltration profonde qui percolent au-delà du bassin versant.

L'équation du bilan hydrique est définie comme suite :

$$P = E + R + I$$

2.7.1. Détermination de la lame d'eau précipitée

Les données de la station synoptique de Natitingou seront utilisées pour les études à COBLY car ce dernier ne dispose pas de station avec des séries chronologiques assez longue.

Les données des stations de Kandi et Bembèrèkè seront utilisées pour les études à GOGOUNOU et KALALE.

Les données des stations de Kandi et BANIKOARA seront utilisées pour les études à KARIMAMA.

- **Méthode arithmétique**

  Les stations sont bien reparties et notre relief du bassin est homogène donc la méthode est applicable.

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i}{n}$$

Pmoy = La précipitation moyenne annuelle au niveau du bassin
Pi = Précipitation moyenne annuelle au niveau d'une station de mesure.
n = Nombre total de stations

2.7.2. Détermination de l'ETR ou déficit d'écoulement :

On obtient L'évapotranspiration réelle ETR Par la différence entre hauteur moyenne annuelle des précipitations et la hauteur moyenne annuelle de la lame d'eau uniformément répartie sur le bassin.

- ***Méthode de COUTAGNE***

  Cette méthode consiste à déterminer le déficit d'écoulement en fonction du paramètre (λ) et de la température moyenne annuelle.

  Les précipitations sont en (m).

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{1}{0.8+0.14T}$$

- ***Méthode de TURC***

  TURC définit le déficit d'écoulement en fonction d'un paramètre (L) et de la précipitation moyenne annuelle.

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad avec \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

2.7.3. Détermination de la lame d'eau ruisselée :

R=ruissellement

P= précipitations moyennes annuelles (mm)

S = surface du bassin versant

- ***Méthode de TIXERONT - BERCALOFF***

$$R = \frac{P^3}{3 \times (ETP)^2}$$

- ***Méthode de SOGREAH***

$$R = 720\left(\frac{P - 250}{1000}\right)^{1.85}$$

- ***Méthode de COUTAGNE***

$$R = \left(0.164 - 0.00145\sqrt{S}\right) \times P$$

2.8. Volume annuel d'eau écoulé

A l'aide des données pluviométriques on passe à l'étude des ouvrages hydrauliques. La pluviométrie moyenne annuelle (Pma) et la superficie du bassin versant nous permet de déterminer le volume d'écoulement annuel (Vem) qui passe dans le barrage.

Vem = Ce x Pma x S

Avec

Ce = coefficient d'écoulement moyen annuel (0.05 à 0.2 est une valeur probable pour bassins versants)
P_{ma} = pluviométrie moyenne annuelle
S = superficie du bassin versant.

Le dimensionnement de la retenue doit être faite en tenant en compte :

- Les besoins en eau pour l'alimentation en potable
- Les pertes par évaporation et par infiltration
- Les pertes de volume par sédimentation
- Les apports par les eaux de crue ou par le captage de sources.

2.9. Détermination de la lame d'eau infiltrée

Calculer l'infiltration par la différence entre les divers éléments du bilan hydrique. ETR=Déficit.

$$I = P_{moy} - ETR_{moy} - R_{moy}$$

2.10. Méthodes de détermination des débits de crues décennale

Condition générale du déroulement de l'étude hydrologique

La détermination des caractéristiques physiques des bassins et des conditions d'écoulement a été réalisée à partir des documents cartographiques des informations bibliographiques et des données pluviométriques disponibles sur la région. Les logiciels Google Earth et Global Mapper sont utilisés pour délimiter les bassins versants qui ont permis d'analyser le relief et estimer les paramètres physiques des bassins : superficie périmètre pente de l'écoulement coefficient de ruissellement.

Documents et outils de base

En plus des informations récoltées sur le terrain les documents ci-après ont servi de base pour l'étude hydrologique :

- La carte topographique des bassins versants avec courbes de niveau ;
- Les cartes des isohyètes de pluies annuelles et journalières de fréquence décennale ;
- Les données pluviométriques de la station de Parakou ;
- Le coefficient de Montana de la ville de Parakou établi par le C.I.E.H ;

- Les logiciels Hyfran Global Mapper 16 et AutoCAD sont utilisés respectivement pour l'ajustement statistique des pluies et la délimitation des bassins versants.

2.10.1 Présentation des méthodes de calcul

De nombreux modèles de prévision du débit ruisselé. On cite ici quatre méthodes :

- La méthode rationnelle ;
- ORSTOM ;
- C.I.E.H
- SCS

❖ *Méthode rationnelle*

Cette méthode permet de calculer le débit de pointe à l'exutoire d'un bassin versant. D'après le principe de la méthode pour une averse donnée homogène dans le temps et dans l'espace d'intensité (mm/h) le débit à l'exutoire du BV atteint sa valeur maximale lorsque la durée de l'averse est au moins égale au temps de concentration Tc du BV.

Q=KAIR

Avec :

- Q= débit maximal m3/s
- A=Superficie du bassin versant ha
- I=Intensité de pluie mm/h
- R=Coefficient de ruissellement
- K=facteur de conversion = 275.10-3

$I(t_c\ T) = a*t^b c$ où a et b sont les coefficients de Montana pour le lieu en fonction de la période de retour T.

La détermination de l'intensité de l'averse I passe d'abord par celle du temps de concentration Tc qui à son tour dépend de la longueur du plus long cheminement hydraulique et de la pente moyenne du bassin versant.

Le tc qui est le temps mis par les eaux pour atteindre les ouvrages peut être calculé en utilisant :

La formule de Kirpich permet le calcul du temps de concentration est :

$$tc = \frac{L^{1.15}}{52 \times H^{0.38}}$$

L : longueur du plus long chemin hydraulique
H : dénivelée entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin

<u>Les insuffisances de la méthode</u>

Lors de l'application de la méthode rationnelle on considère que l'intensité de la pluie est constante dans le temps et dans l'espace et sur toute la durée de l'averse. Ceci est

contraire aux observations puisque cela suppose une pluie strictement uniforme et l'on notera qu'il est extrêmement rare d'observer une telle pluie.
Les formules utilisées pour calculer le temps de concentration (tc) ne prennent pas en compte la pente transversale du bassin alors que c'est une caractéristique qui a une grande influence sur ce dernier.

❖ *Méthode du SCS-CN*

La méthode permet de calculer la lame d'eau ruisselée totale sur un bassin versant lors d'un orage donné (méthode développée aux USA). Il existe des tables de valeurs du paramètre en fonction de la nature du sol et de l'utilisation de la surface.

La méthode du SCS nécessite des connaissances sur les éléments suivants :

- Les données concernant les caractéristiques des précipitations et des tempêtes de la région
- Les valeurs de l'utilisation ou de la couverture du sol du traitement ou de la méthode de conservation des conditions hydrologiques et des caractéristiques du sol dans la région représentées par le numéro de courbe des précipitations (CN).

  Elle est définie par :

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

Où :

Pe= ruissellement à l'instant t
P= pluie totale à l'instant t
Ia= pertes initiales
S= rétention potentielle maximale qui mesure la capacité du bassin à retenir et stoker les précipitations.

$$Ia = 0.2S$$

Par conséquent à l'instant t la quantité d'eau ruisselée est :

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Le ruissellement pour un intervalle de temps est calculé comme la différence entre les ruissellements cumulés au début et à la fin de la période.

La capacité de rétention maximale S est reliée aux caractéristiques du bassin versant par l'intermédiaire d'un coefficient CN (Curve Number).

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

Les valeurs de CN sont comprises entre 30 (pour les sols perméables à taux élevé d'infiltration) à 100 (pour les masses d'eau).

Un modèle Pluie Débit a été construit sur le logiciel HEC-HMS

***Tableau 46**: Détermination du type de conditions antécédentes de précipitation.*

Type	Description	Précipitation les 5 jours précédents (mm)	
		Saison de dormance	Saison de croissance
I	Conditions optimales du sol	< 13	< 36
II	Condition moyenne de la crue annuelle	13 - 28	36 - 53
III	Pluie abondant ou faible pluie et faible température les 5 jours précédents	> 28	> 53

***Tableau 47**: Conversion d'un CN de type II à un CN de type I ou III*

CN type II	CN correspondant	
	type I	type III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

❖ *Méthodes de CIEH et ORSTOM*

L'évaluation des débits de crues décennale est aussi faite à partir du manuel élaboré par les équipes du CIEH de l'ORSTOM du Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF-ENGREF (LCT) du BCEOM et de la FAO.

Le « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche » définit les deux (2) méthodes actualisées de l'ORSTOM et du CIEH.

Ces méthodes actualisées et révisées publiées en 1996 s'appliquent aux bassins versants situés entre les isohyètes annuelles 150-200 et 1 200 mm ayant des superficies comprises entre 02 ou 1-2 km² à 1 500 ou 2 000 km².

À ce titre elles conviennent pour les bassins versants de superficie supérieure à 4 km^2.

La check-list préconise :

- L'utilisation de la méthode ORSTOM pour les bassins versants de superficie inférieure à 15 Km2 et une correction au temps de base si Ig > 12 ;

- L'utilisation de la méthode ORSTOM pour les bassins versants de superficie comprise entre 15 et 60 Km2.

Méthode ORSTOM

Cette méthode de type déterministe repose sur l'utilisation de l'hydrogramme unitaire. L'estimation de la taille et de la forme de la crue décennale s'effectue en trois phases :

- Calcul de la hauteur de pluie décennale dont on estime que tombant dans des conditions médianes d'humectation des sols elle engendre la crue décennale. Cette hauteur est étendue à l'ensemble du bassin par l'intermédiaire du coefficient d'abattement.
- Détermination du volume de ruissellement à l'aide d'une série d'abaques ayant comme entrées la taille du bassin versant son relief et sa perméabilité globale.
- Calcul de la forme de l'hydrogramme unitaire par une autre série d'abaques basés sur la superficie du bassin et son relief et détermination du débit maximal qui en résulte.

L'avantage de cette méthode comme pour toute méthode de type déterministe c'est qu'elle laisse la possibilité à l'utilisateur d'intervenir à chacune des étapes et de moduler les résultats des abaques en fonction de sa connaissance du terrain. La formulation proposée par cette méthode pour le calcul du débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est définie par la relation suivante :

$$Q_{\max 10} = A \times P_{10} \times \alpha_{10} \times K_{r10} \times {}^{S}/_{T_b}$$

Avec :

- ✓ Q_{max10} : le débit maximum décennal (m^3 /s)
- ✓ **A** : le coefficient d'abattement
- ✓ α : le coefficient de pointe
- ✓ P_{10} : la précipitation décennale ponctuelle journalière (mm) ;
- ✓ K_{r10} : le coefficient de ruissellement décennal
- ✓ S : la superficie du bassin versant (km^2) ;
- ✓ Tb : le temps de base (s).

Équation 1 : Formule de la méthode ORSTOM pour la détermination de la crue décennale.

Ces paramètres dépendent des caractéristiques climatiques régionales et des caractéristiques géomorphologiques de chaque bassin (surface indice de pente perméabilité).

Pluie journalière décennale (P10)

La pluie journalière décennale P_{10} est déterminée à partir des séries pluviométriques de Natitingou sur des périodes d'observation de plus de 80 ans. On adoptera une pluie de projet P_{10} égale à 110 mm.

Coefficient d'abattement (A)

La précipitation moyenne sur le bassin versant Pm10 est obtenue en multipliant la hauteur de précipitation ponctuelle P_{10} par le coefficient d'abattement A déterminé par l'équation simplifiée de Villaume (1974) :

Pm10 = A. P10

Avec $$A = 1 - \frac{(161 - 0.042 \text{ x Pan})}{1000} \times logS$$

S : Superficie du bassin versant en km² ;

Pan : Précipitation moyenne annuelle (mm) qui est déterminée à partir des séries de pluies annuelles de Parakou1350 mm/an.

Coefficient de ruissellement (Kr10)

Les coefficients de ruissellement sont déduits des abaques de la méthode d'AUVRAY-RODIER (Crues et Apport ; manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. (FAO-CAMAGREF-ORESTOM-CIEH : 1996 : pages 37-40). D'après la décomposition de l'ORSTOM en termes de perméabilité et de pente nos investigations sur terrain et la monographie hydrologique des bassins versants nous a permis de retenir les types de sol ci-dessous à proportion égal. Il s'agit de :

RI (P3) : bassin relativement imperméable. Mélange en proportions à peu près égales de sols imperméables (1) et de sols perméables (P voir ci-après). Si au contraire le bassin est relativement homogène il peut être constitué de sols imperméables avec une couverture végétale non négligeable qui gêne la formation de pellicules imperméables de sols à recouvrement gravillonnaire continu d'épaisseur notable de certaines arènes granitiques et enfin de sols avec des formations pelliculaires fragiles.

❖ **Infiltrabilité du sol**

La typologie des sols observés sur la carte géologique et au cours des visites de terrain nous révèle que les sols sont à majorité argilo – sableux. Ce type de sol peut être classé dans la catégorie des sols relativement imperméables.

Pour les bassins urbains nous avons supposé que leurs sols sont imperméables. Nous avons donc deux catégories de bassins versants :

Bassins Relativement Imperméables (RI).

❖ **Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale**

Les coefficients de pointe varient en fonction de la structure du réseau hydrographique. Nous avons essentiellement utilisé trois valeurs de coefficients de pointe selon la Check list (FAO 1996).

α=19 : Bassins versants dont la structure du réseau hydrographique est en arête de poisson unilatérale.
α=2.4 : Bassins versants dont la structure du réseau hydrographique est en arête de poisson unilatérale mais moins marqué que le premier cas.
α=2.6 : Bassins versants dont la structure du réseau hydrographique ne présente aucune particularité.

❖ **Coefficient de correction**

Le coefficient de correction est fonction de la perméabilité et de la taille du bassin versant.
Nous avons les valeurs suivantes (FAO 1996) :

m= 1.0 3 : Petits bassins versants imperméables
m= 1.04 : Petits bassins versants relativement imperméables
m= 1.10 : Grands bassins versants imperméables

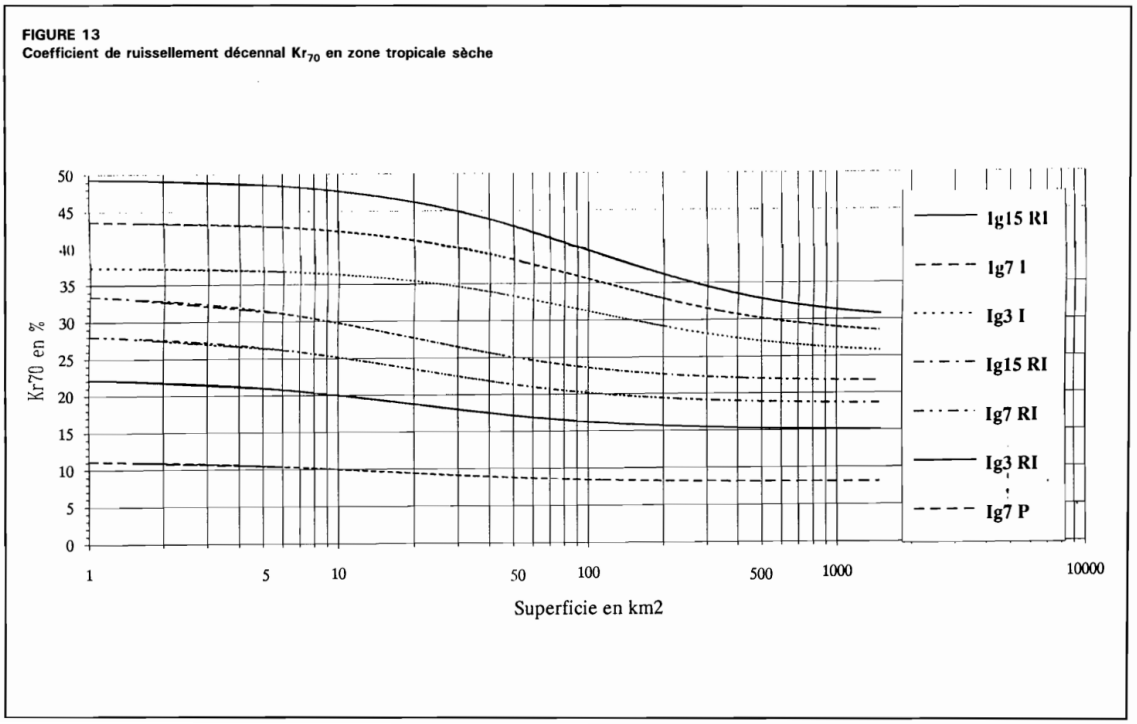


Figure 55 *: Graphique de détermination du coefficient de* Kr_{70}

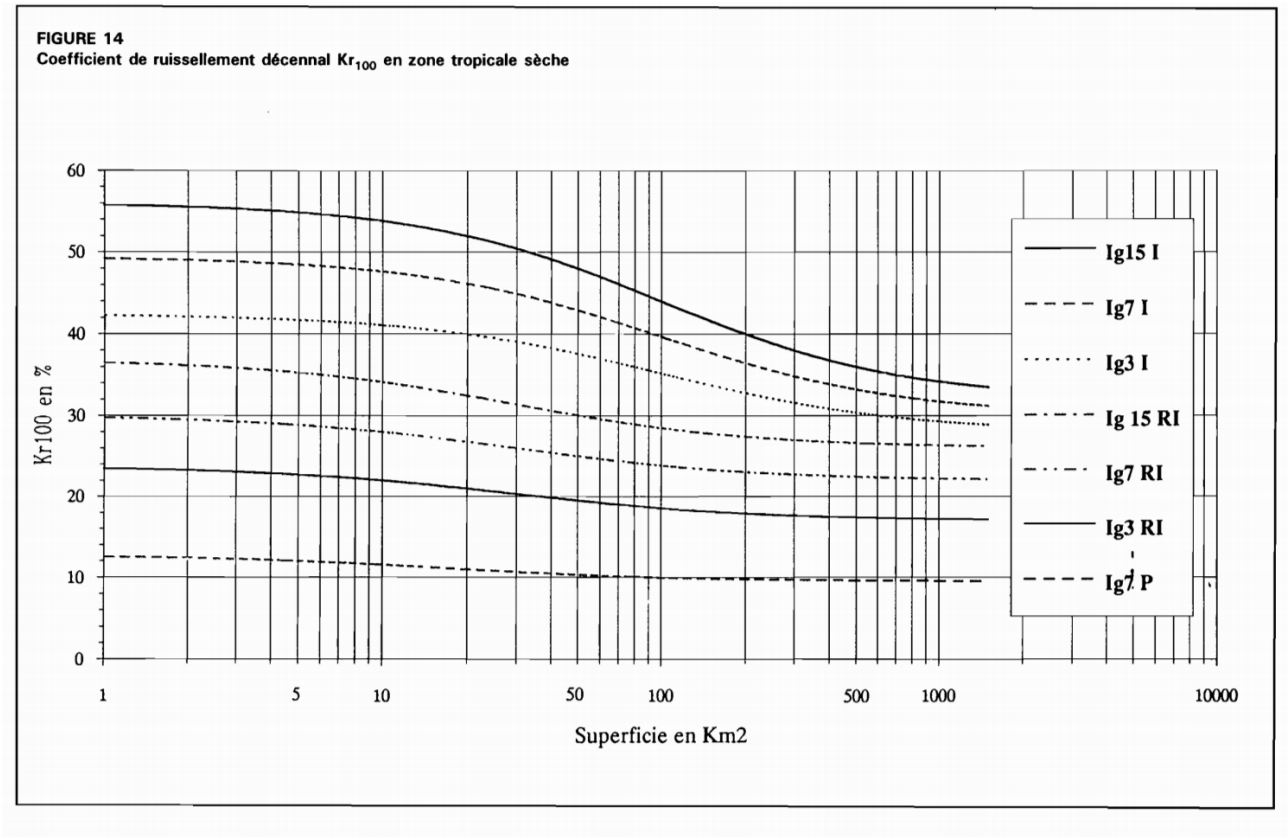


***Figure 56**: Graphique de détermination du coefficient de Kr_{100}.*

Temps de base (Tb)

Les temps de base sont déduits des abaques de la méthode d'AUVRAY-RODIER (cf. Crues et Apports ; manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. (FAO-CAMAGREF-ORESTOM-CIEH : 1996 : pages 44-46).

Pour la région tropicale sèche les relations proposées correspondent uniquement à des hydrogramme unitaires. Il est fort probable que dans de très nombreux cas les valeurs ainsi calculées soient proches de celles de l'hydrogramme réel ; les bassins très imperméables étant rares et la couverture végétale suffisamment fournie tendant à allonger les temps caractéristiques des crues.

Les relations proposées et les courbe de la figure 17 sont de la forme :

$$Tb_{10}=axS^{0.36} + b$$

Les paramètres a et b varient en fonction de la pente :

$$
\begin{array}{lll}
Ig = 1 & Tb_{10} = 560 \,.\, S^{0,36} + 400 \\
Ig = 3 & Tb_{10} = 325 \,.\, S^{0,36} + 315 \\
Ig = 7 & Tb_{10} = 163 \,.\, S^{0,36} + 142 \\
Ig = 10 & Tb_{10} = 95 \,.\, S^{0,36} + 80 \\
Ig = 15 & Tb_{10} = 75 \,.\, S^{0,36} + 55 \\
Ig = 25 & Tb_{10} = 44 \,.\, S^{0,36} + 28 \\
Ig = 30 & Tb_{10} = 35 \,.\, S^{0,36} + 20
\end{array}
$$

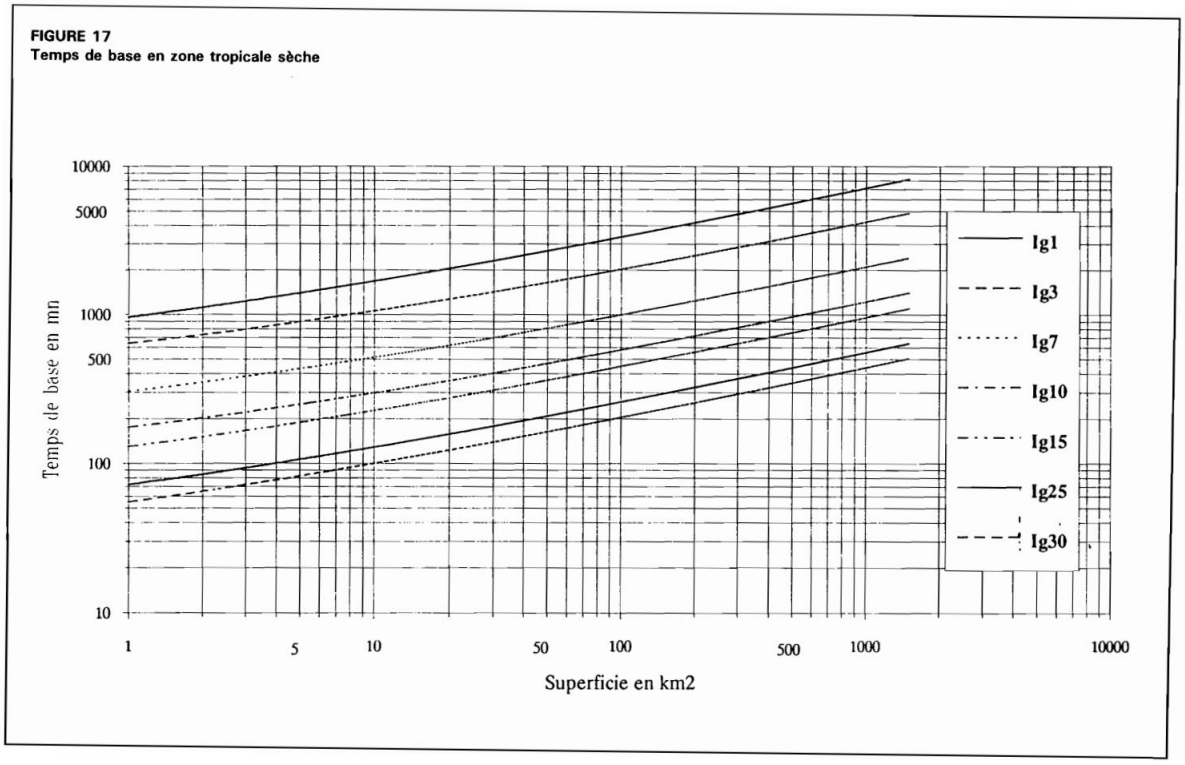


***Figure 57**: Détermination des temps de base*

Méthode de CIEH

A partir de corrélations multiples entre les débits de pointe décennaux de 414 bassins versants et un certain nombre de valeurs caractérisant la Physiographie du bassin (surface indice de pente global densité de drainage) et la zone climatique (pluie annuelle ou pluie décennale journalière). Les auteurs proposent un ensemble d'équations permettant de calculer par zones géographiques et climatiques le débit de pointe de la crue décennale. Les variables utilisées dans ces équations sont facilement déterminables pour un bassin non étudié et leur quantification n'est pas subjective. La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q_{10} est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a \times S^{S} \times P_{an}{}^{P} \times Ig^{i} \times Kr_{10}{}^{k} \times Dd^{d} \ldots\ldots\ldots\ldots$$

Équation 2 : Formule de la méthode CIEH pour la détermination de la crue décennale

S : superficie du bassin versant en Km^2
Ig : indice de pente globale
Pan : pluie annuelle (mm) ; elle sert à sélectionner la zone et traduit implicitement les grands ensembles de végétation ;
Pj10 : pluie journalière décennale ; elle intervient directement dans les régressions la carte CIEH homogénéisé en 1985 a favorisé ce choix.

Tableau 48 *: Liste des équations retenues pour l'étude*

Description	Zone	Equation retenue	r
Longitude comprise entre 10° Ouest et 10° Est	Equation N°17	$Q_{10} = 30.2 \times S^{0.492} \times PM10^{-0.972} \times K_{r10}^{0.948}$	0.874
	Equation N°18	$Q_{10} = 0.0678 \times S^{0.661} \times I_g^{0.412} \times K_{r10}^{1.105}$	0.888
Afrique de l'Ouest (de 10°E à 10°W)	Equation N°25	$Q_{10} = 1.46 \times S^{0.542} \times K_{r10}^{0.511}$	0.792
	Equation N°26	$Q_{10} = 146 \times S^{0.479} \times PM10^{-969} \times K_{r10}^{0.457}$	0.809
	Equation N°27	$Q_{10} = 0.560 \times S^{0.542} \times Ig^{0.279} K_{r10}^{0.510}$	0.806

2.11. Appréciation des méthodes utilisées choix des débits de projet

La démarche pour la détermination des débits comporte des incertitudes liées à plusieurs facteurs :

- Estimation des paramètres de calcul (pente et coefficient de ruissellement en particulier) ;
- Débits obtenus par calcul qui sont de l'ordre de 50 % à 100 % (cf. manuel crues et apports page 30).

De ce fait pour la mise en œuvre des calculs hydrauliques et le choix définitif des sections d'ouvrage le Consultant a tenu compte :

- Des observations sur le terrain ;
- De la configuration du site de l'ouvrage concerné ;
- Des enquêtes auprès des riverains ;

Bassins versants	Surface	Méthode
Petit bassin	4 Km^2 < S	La méthode rationnelle
Bassin moyen	4 km^2 < S < 15 km^2	Méthode ORSTOM
Bassin de grande surface	S > 15	Méthode ORSTOM et Méthode de CIEH

2.12. Estimation des débits de pointe de crue supérieur à 10 ans

Les débits de crues autres que la décennale s'obtiennent en multipliant le débit de crue décennale par la valeur C.

Deux documents de référence sont utilisés pour l'estimation des débits de pointe de crue supérieur à 10 ans il s'agit de :

- **L'INT 77-284**

  A défaut de statistiques climatique suffisamment complètes pour apprécier valablement l'intensité des précipitations tout à fait exceptionnelles on pourra le cas échéant obtenir un ordre de grandeur du débit correspondant à une période de retour supérieur à 10 ans en multipliant le débit Q de la période retour égale à 10 ans par un facteur C dont les valeurs sont les suivantes :

  C= 1.25 pour T= 20 ans

  C= 1.6 pour T= 50 ans

  C= 2 pour T= 100 ans

- ***Crues et Apports : [Manuel pour l'estimation des crues et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche CIEH - ORSTOM - CEMAGREF - FAO - 1996.]***

  Les méthodes Orstom et CIEH se réfèrent au calcul de la crue décennale. Sauf dans certains cas particuliers prévoir un temps de retour de 10 ans n'est pas suffisant pour un projet. Le choix de la période de retour dépasse le cadre du manuel utilisé. Mais ils proposent cependant ici une méthode permettant de passer de la crue décennale Q10 à la crue centennale Q100

  La plupart des études concernant le passage de la crue décennale à la crue de projet proposent une simple relation linéaire du type

  Q100=C x Q10 dans laquelle C'est un coefficient majorateur supérieur à 1.

  La méthode qui conduit aux estimations les plus fortes (sécurité maximale) en Afrique de l'Ouest et du centre est la méthode dite du Gradex (Grésillon et al 1977) utilisée pour calculer le coefficient C de passage à la crue centennale dans toute la sous-région.

  Le coefficient C est fonction des précipitations de même temps de retour pour le temps de base caractéristique du bassin versant. On arrive ainsi à l'expression :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \cdot \frac{(T_b / 24)^{0,12}}{K_{r10}}$$

  Où P_{10} est la précipitation journalière correspondant à une période de retour de 10 ans

  P100 est la précipitation journalière correspondant à une période de retour de 100 ans

Tb est le temps de base en heures

Kr10 est le coefficient de ruissellement de la crue décennale (exprimé en fraction et non pas en pourcentage).

D'autre travaux ont proposé autres valeurs comme les travaux de G. Maton qui proposent un coefficient majorateur de 13 pour parvenir de la crue décennale à la crue cinquantennale l'Association Européenne d'Études et d'Équipements Ruraux (ASEER) qui propose 14 pour la crue cinquantennale et 2 pour la crue centennale.

Pour le calcul des débits pour les périodes de retour supérieur à 10 ans nous avons retenu les coefficients de l'INT 77

III. POTENTIELS HYDROLOGIQUES RELATIFS A CHAQUE ZONE DE PROJET

Identification de climat :

Différentes formules permettent d'identifier le climat et se dernier joue un rôle important dans le bilan hydrique.

Indice d'aridité annuel de E. De MARTONNE :

P= précipitation annuelle (mm).

T=température annuelle °C.

$$I = \frac{p}{T + 10}$$

Valeur de I	Type de Climat
0 - 5	Hyper aride
5 - 10	Aride
10 - 20	Semi-aride
20 - 30	Semi-humide
30 - 40	Humide
40 – 55	Hyper Humide

Indice d'aridité de la FAO

I = P/ETP

Climat	Indice de FAO
Hyper aride	P/ETP < 0,03
Aride ou désertique	0,03 < P/ETP < 0, 2
Semi-aride ou sahélien	0,2 < P/ETP < 0,5
Sub-humide	0,5 < P/ETP < 0,75

Localité	Température moyenne annuelle (°C)	ETP (mm/j)	Pluie moyenne annuelle (mm)	Indice d'aridité de FAO	Indice d'aridité annuel de E. De MARTONNE	Conclusion
COBLY	26.7	4.75	1260	0.73	34.33	Sub-humide/humide
GOGOUNOU	27.5	4.76	1050	0.60	28	Sub-humide/semi-humide
KALALE	27.5	4.76	1190	0.68	31.73	Sub-humide/humide
KARIMAMA	27.5	4.76	994	0.57	26.5	Sub-humide/semi-humide

3.1. COBLY

Le réseau hydrographique fait ressortir des cours d'eau non pérenne. Le cours d'eau principal est le Konipéakou dont les principaux affluents sont de l'amont vers l'aval Tapouta Kinpouaké et le Dikadoté. La densité est assez faible et les écoulements s'arrêtent déjà en décembre ou début janvier. La direction générale du réseau hydrographique est du Sud vers le Nord. Le cours d'eau principal à une longueur de 14.7 km. Le bassin a une forme allongée. Possibilité de mobiliser la ressource en eau en réalisant un ouvrage de retenu.

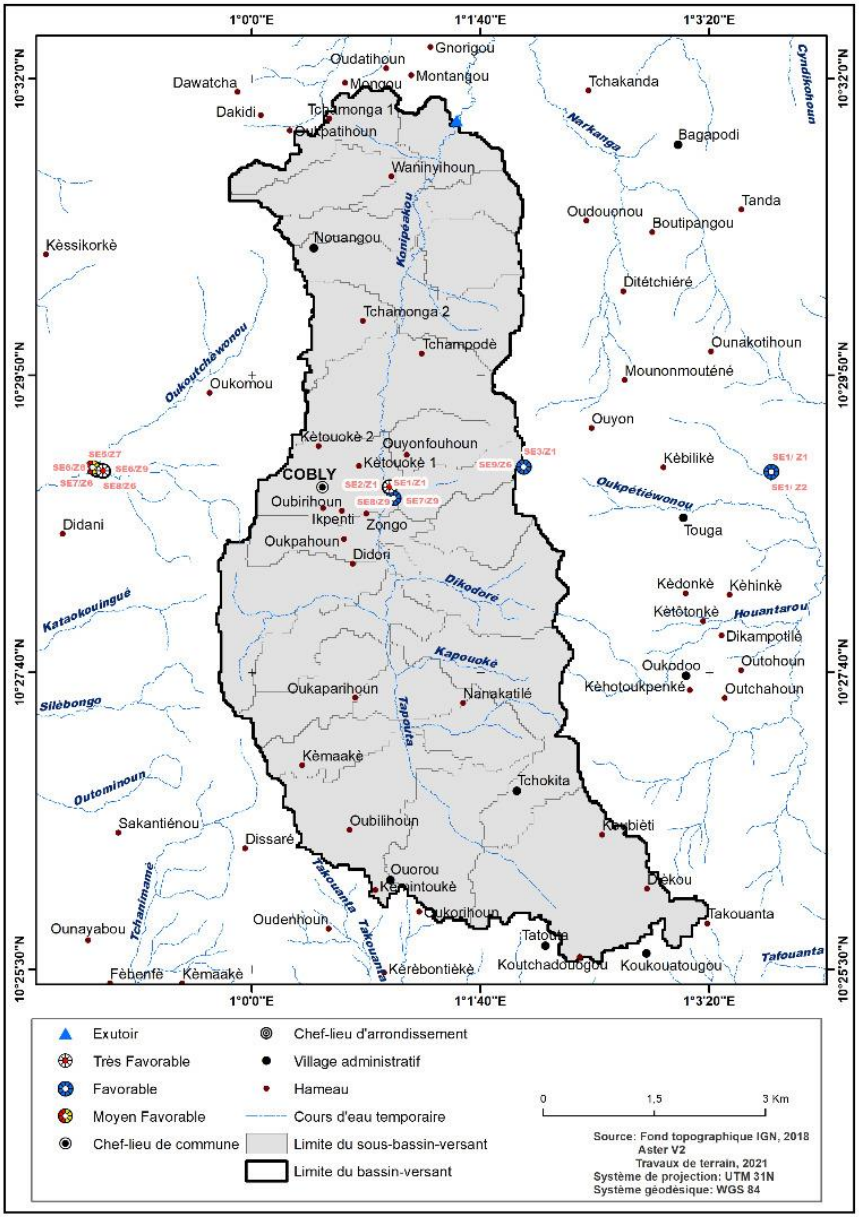


Figure 58 *: Carte du réseau hydrographique de COBLY et les environs*

3.2. GOUGOUNOU

Le réseau hydrographique fait ressortir des cours d'eau non pérenne. Le cours d'eau principal est le GNINARIN il a plus de vingt affluents. Le réseau hydrographique est dense mais les écoulements arrêtent déjà vers fin janvier. Le cours d'eau principal à une longueur de 49.10 km. Possibilité de mobiliser la ressource en eau en réalisant un ouvrage de retenu.



Figure 59 *: Carte du bassin versant du réseau hydrographique de GOGOUNOU et les environs*

3.3. KALALE

Le réseau hydrographique fait ressortir des cours d'eau non pérenne. Le cours d'eau principal est le OUAMOTI il a plus de vingt affluents les plus importants sont l'Otolodji et le Zara. Le réseau hydrographique est dense mais les écoulements arrêtent déjà vers fin janvier. Possibilité de mobiliser la ressource en eau en réalisant un ouvrage de retenu.

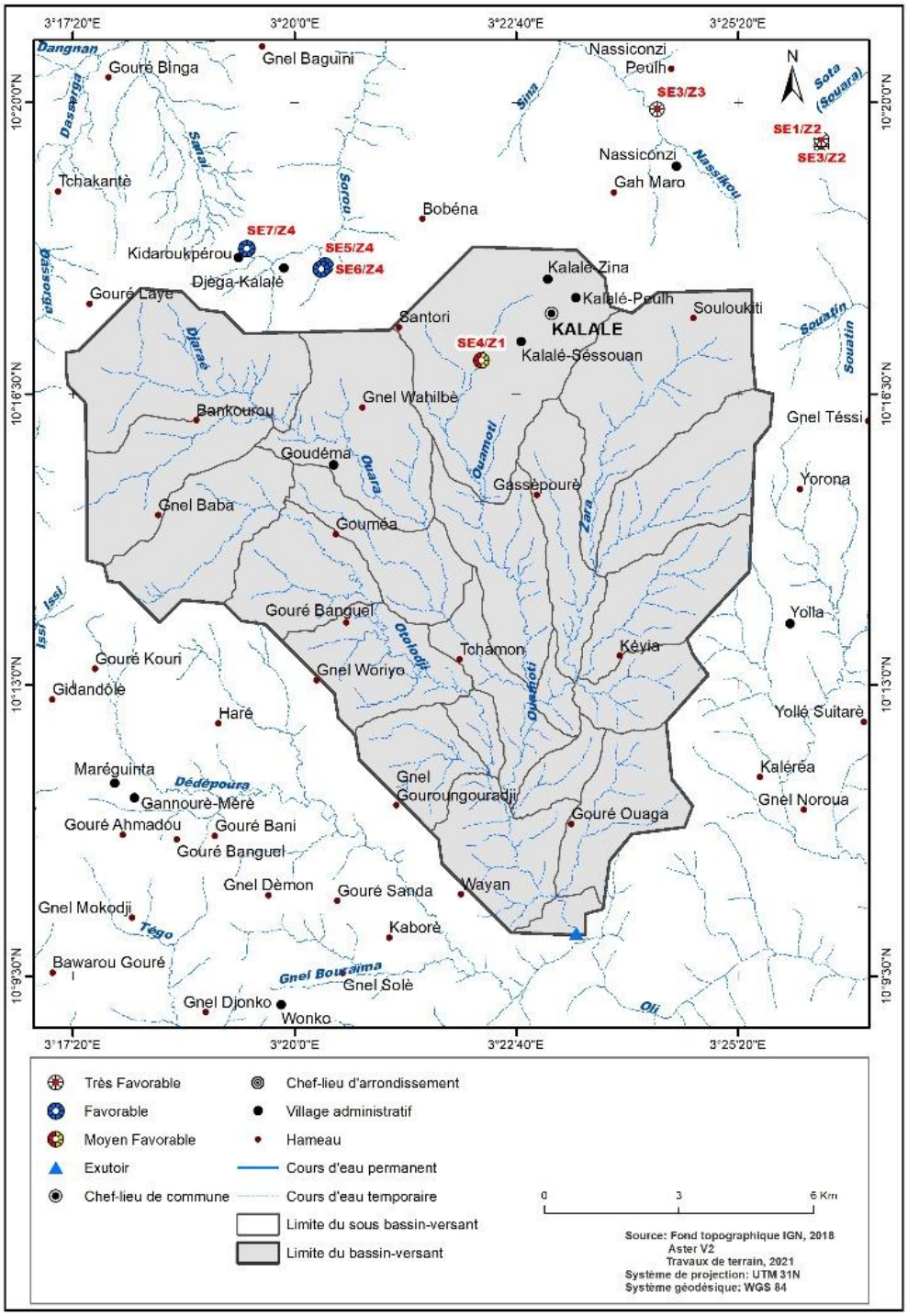


Figure 60 *: carte du réseau hydrographique de KALALE et environs*

3.4. KARIMAMA

Le réseau hydrographique fait ressortir des cours d'eau pérenne. Le cours d'eau principal est le Niger. Le réseau hydrographique est dense l'écoulement est pérenne. La ville est traversée par le Niger donc la ressource est disponible sans la réalisation d'un ouvrage de retenue. Une prise directe sur le Niger est possible.

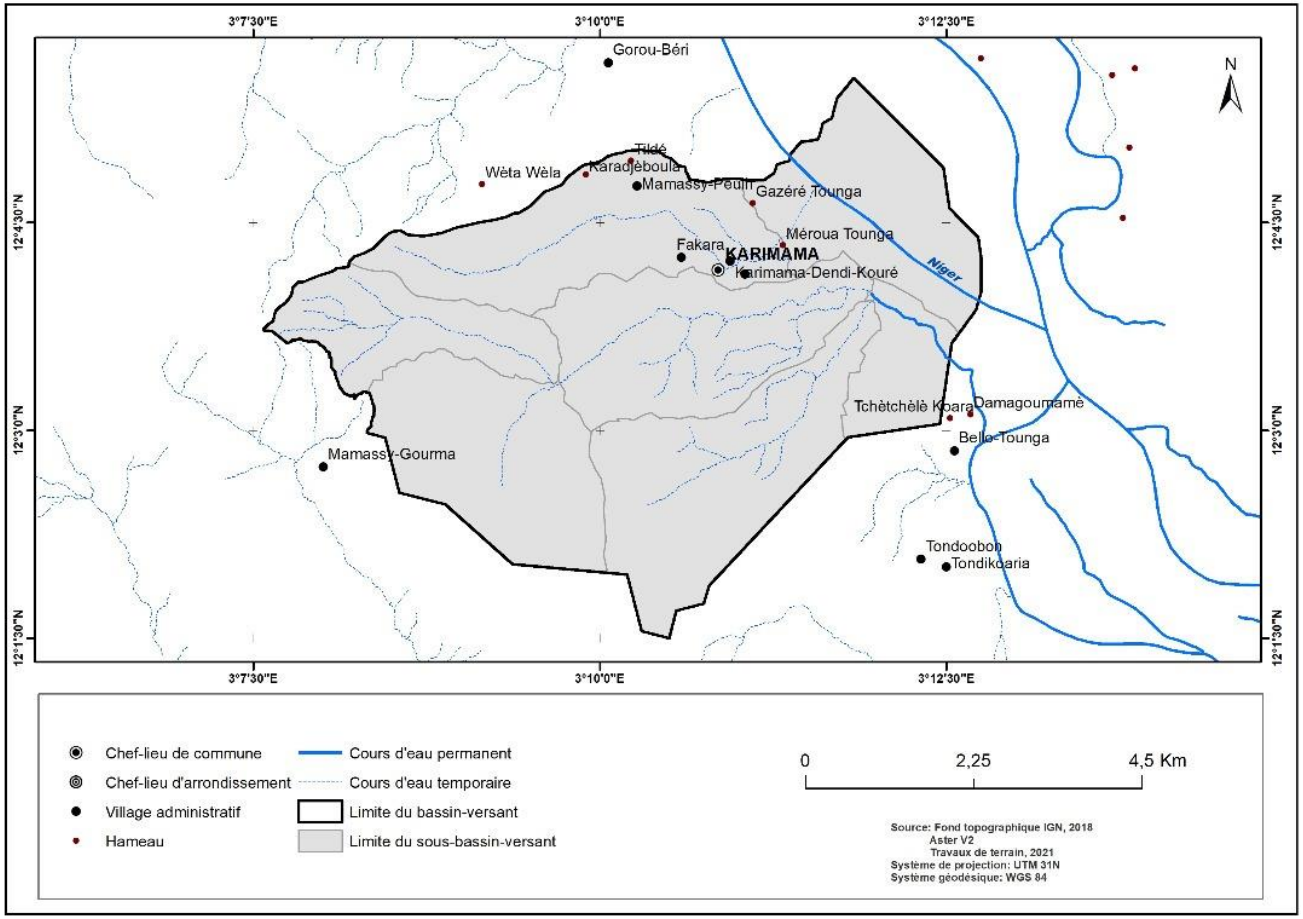


***Figure 61** : Carte du réseau hydrographique de KARIMAMA et environs*

IV. DELIMITATION ET IDENTIFICATION DES BASSINS VERSANTS EXPLOITABLES

4.1. COBLY

4.1.1. Les caractéristiques physiques du bassin versant retenu :

Superficie du bassin à l'exutoire retenu	**40.08 km^2**
Périmètre du bassin versant	**48.36 km**
Longueur du cours d'eau principal	**14.7 km**
Indice de compacité	**2.15**
Longueur du rectangle équivalent	**22.39**
Indice global de pente	**3.57**
Altitude max	**471 m**
Altitude min	**219 m**

4.1.2. Données climatiques

Les données climatiques valable sur le bassin versant retenu sont celles de Natitingou

Pluie moyenne annuelle	**1260 mm**
Pluviométrie annuelle décennale année sèche	**1080 mm**
Pluviométrie annuelle cinquantennale année sèche	**915 mm**
Pluie journalière décennale	**110 mm**
ETP	**4.75 mm/j**
Température moyenne	**26.7 °C**

4.1.3. Calcul hydrologique

Temps de concentration (Tc)	**370 mn**
Coefficient de ruissellement R/P	**16.54 %**
Débit décennal Q_{10}	**131.5 m^3/s**
Débit Cinquantennale Q_{50}	**210.14 m^3/s**
Déficit d'écoulement (ETR)	**800.5 mm**
La lame d'eau ruisselée (R)	**208.42 mm**
La lame d'eau infiltrée (I)	**251.08 mm**

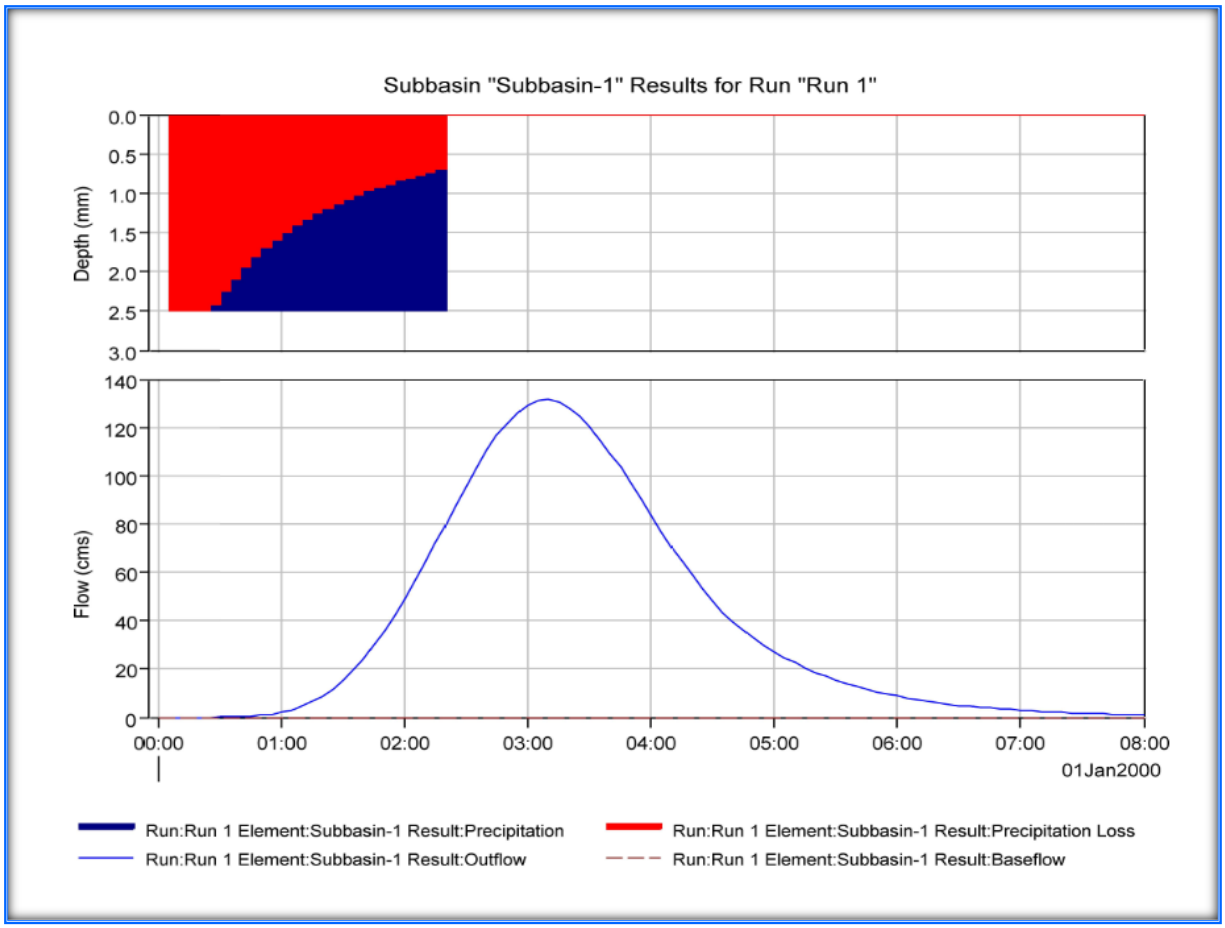
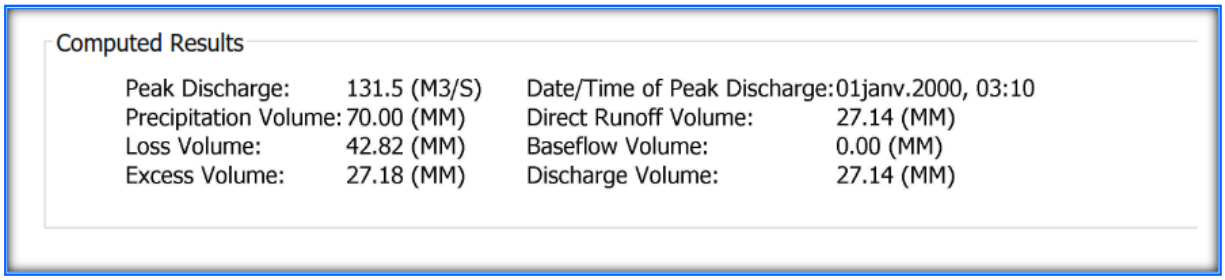


Figure 62 *: Hydrogramme de la crue décennale à l'exutoire du BV du bassin versant.*



Computed Results

Peak Discharge:	131.5 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01janv.2000, 03:10
Precipitation Volume:	70.00 (MM)	Direct Runoff Volume:	27.14 (MM)
Loss Volume:	42.82 (MM)	Baseflow Volume:	0.00 (MM)
Excess Volume:	27.18 (MM)	Discharge Volume:	27.14 (MM)

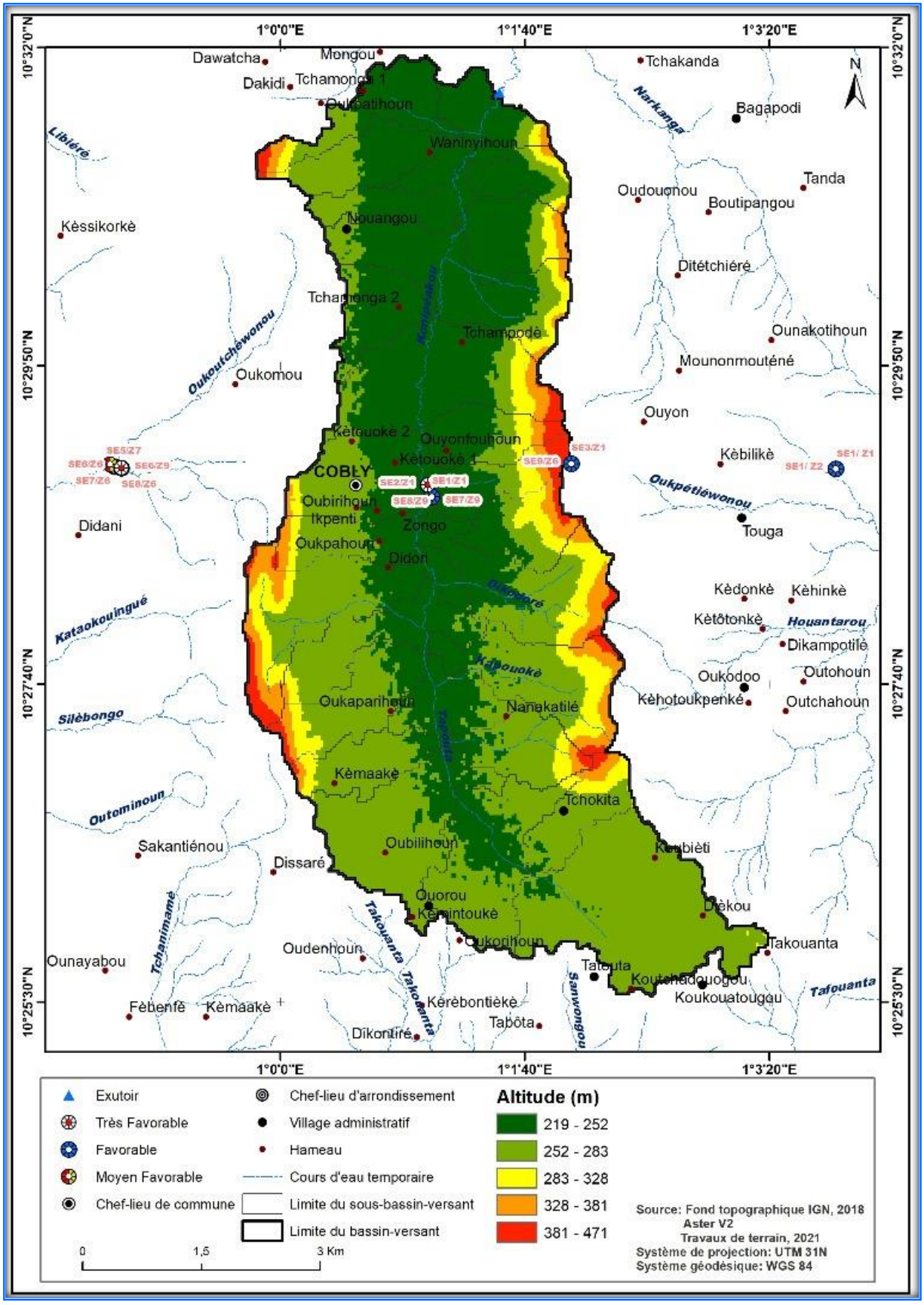


***Figure 63**: Carte du bassin versant du projet pour la localité de COBLY*

4.2. GOGOUNOU

4.2.1. Les caractéristiques physiques du bassin versant retenu :

Superficie du bassin à l'exutoire retenu	**309.04 km^2**
Périmètre du bassin versant	**135.42 km**
Longueur du cours d'eau principal	**49.10 km**
Indice de compacité	**2.17**
Longueur du rectangle équivalent	**62.79**
Indice global de pente	**1.11**

4.2.2. Données climatiques

Les données climatiques valable sur le bassin versant retenu sont celles de Kandi et Bembèrèkè

Pluie moyenne annuelle	**1050 mm**
Pluviométrie annuelle décennale année sèche	**915 mm**
Pluviométrie annuelle cinquantennale année sèche	**797 mm**
Pluie journalière décennale	**110 mm**
ETP	**4.76 mm/j**
Température moyenne	**27.5 °C**

4.2.3. Calcul hydrologique

Temps de concentration (Tc)	**1052 min**
Coefficient de ruissellement R/P	**13%**
Débit décennal Q_{10}	**477.5 m^3/s**
Débit Cinquantennale Q_{50}	**764 m^3/s**
Déficit d'écoulement (ETR)	**752.16 mm**
La lame d'eau ruisselée (R)	**136.63 mm**
La lame d'eau infiltrée (I)	**163.21**

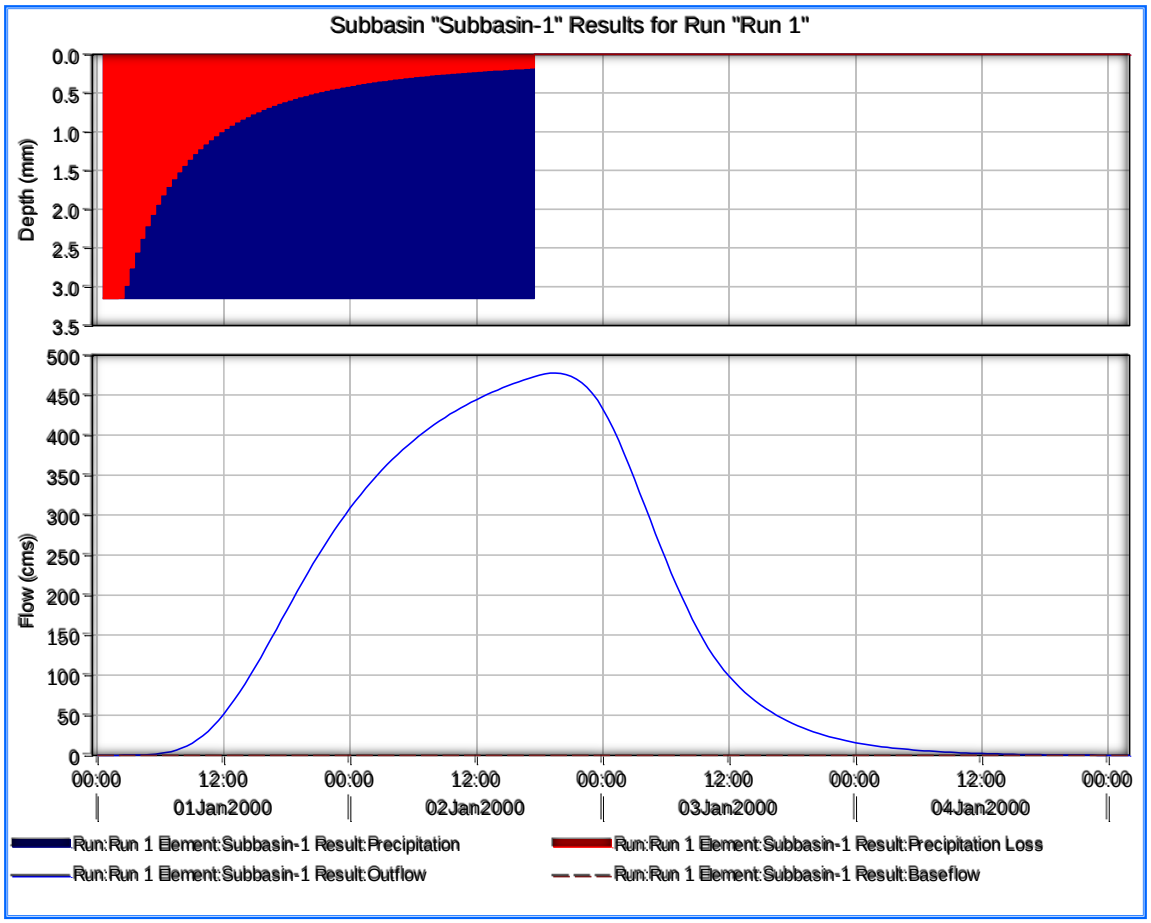


Figure 64 *: Hydrogramme de la crue décennale à l'exutoire du BV de GOGOUNOU*

Project: Project 1 P2 Simulation Run: Run 1

Start of Run:	01janv.2000, 00:00	Basin Model:	Basin 1
End of Run:	05janv.2000, 02:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:	02oct.2021, 18:34:11	Control Specifications:	Control 1

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Subbasin-1	309.04	477.5	02janv.2000, 19:30	58184.3
Reach-1	309.04	477.5	02janv.2000, 19:30	58184.3
Junction-1	309.04	477.5	02janv.2000, 19:30	58184.3

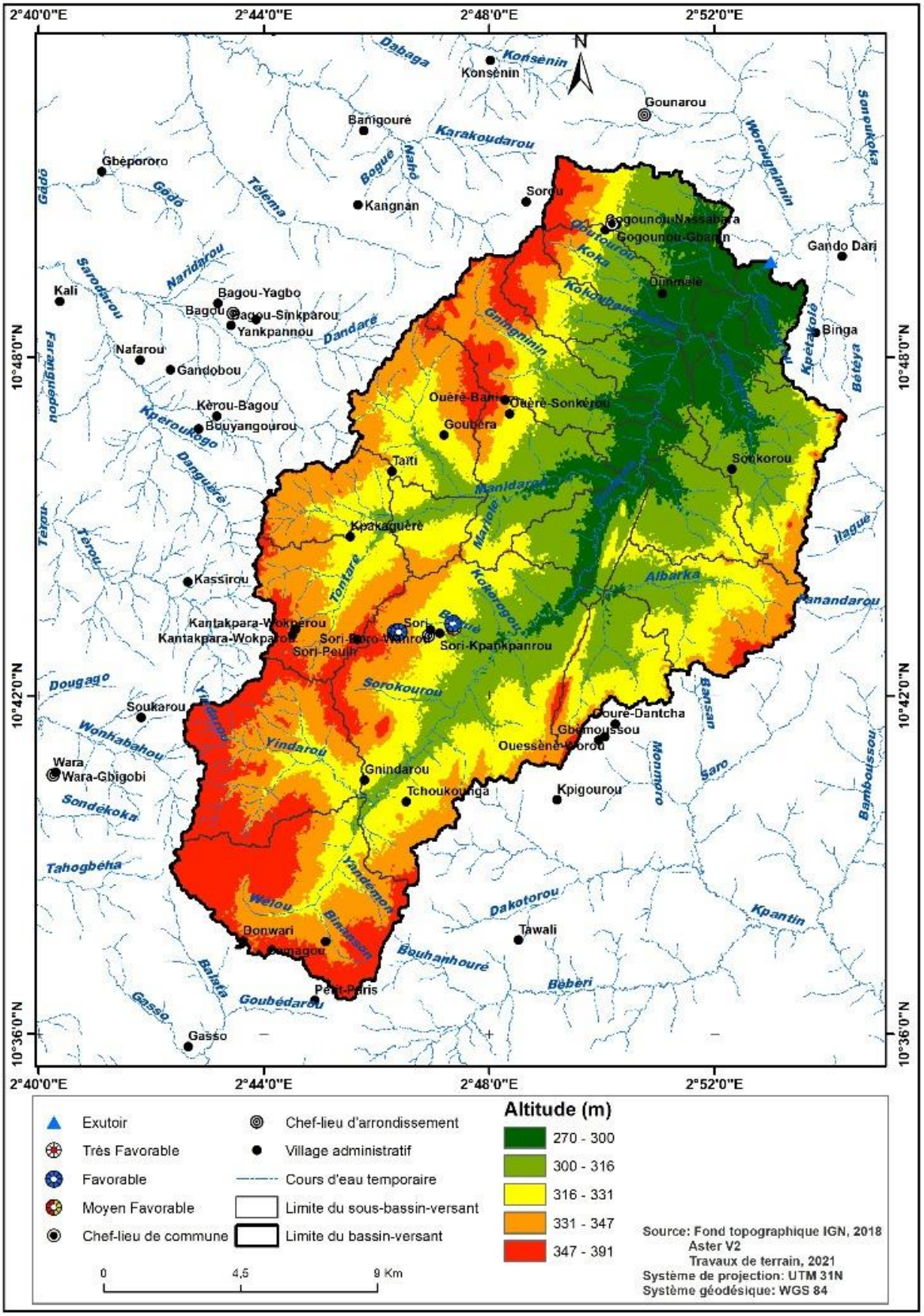


***Figure 65**: Carte du Bassin versant du projet pour la localité de GOGOUNOU*

4.3. KALALE

4.3.1. Les caractéristiques physiques du bassin versant retenu :

Superficie du bassin à l'exutoire retenu	**145.05 km^2**
Périmètre du bassin versant	**55.5 km**
Longueur du cours d'eau principal	**20.18 km**
Indice de compacité	**1.3**
Longueur du rectangle équivalent	**20.73**
Indice global de pente	**6.27**

4.3.2. Données climatiques

Les données climatiques valable sur le bassin versant retenu sont celles de Bembèrèkè

Pluie moyenne annuelle	**1190 mm**
Pluviométrie annuelle décennale année sèche	**906 mm**
Pluviométrie annuelle cinquantennale année sèche	**795 mm**
Pluie journalière décennale	**120 mm**
ETP	**4.76 mm/j**
Température moyenne	**27.5 °C**

4.3.3. Calcul hydrologique

Temps de concentration (Tc)	**764 min**
Coefficient de ruissellement R/P	**15.51%**
Débit décennal Q_{10}	**231 m^3/s**
Débit Cinquantennale Q_{50}	**370 m^3/s**
Déficit d'écoulement (ETR)	**793.86 mm**
La lame d'eau ruisselée (R)	**186.09 mm**
La lame d'eau infiltrée (I)	**210.05 mm**

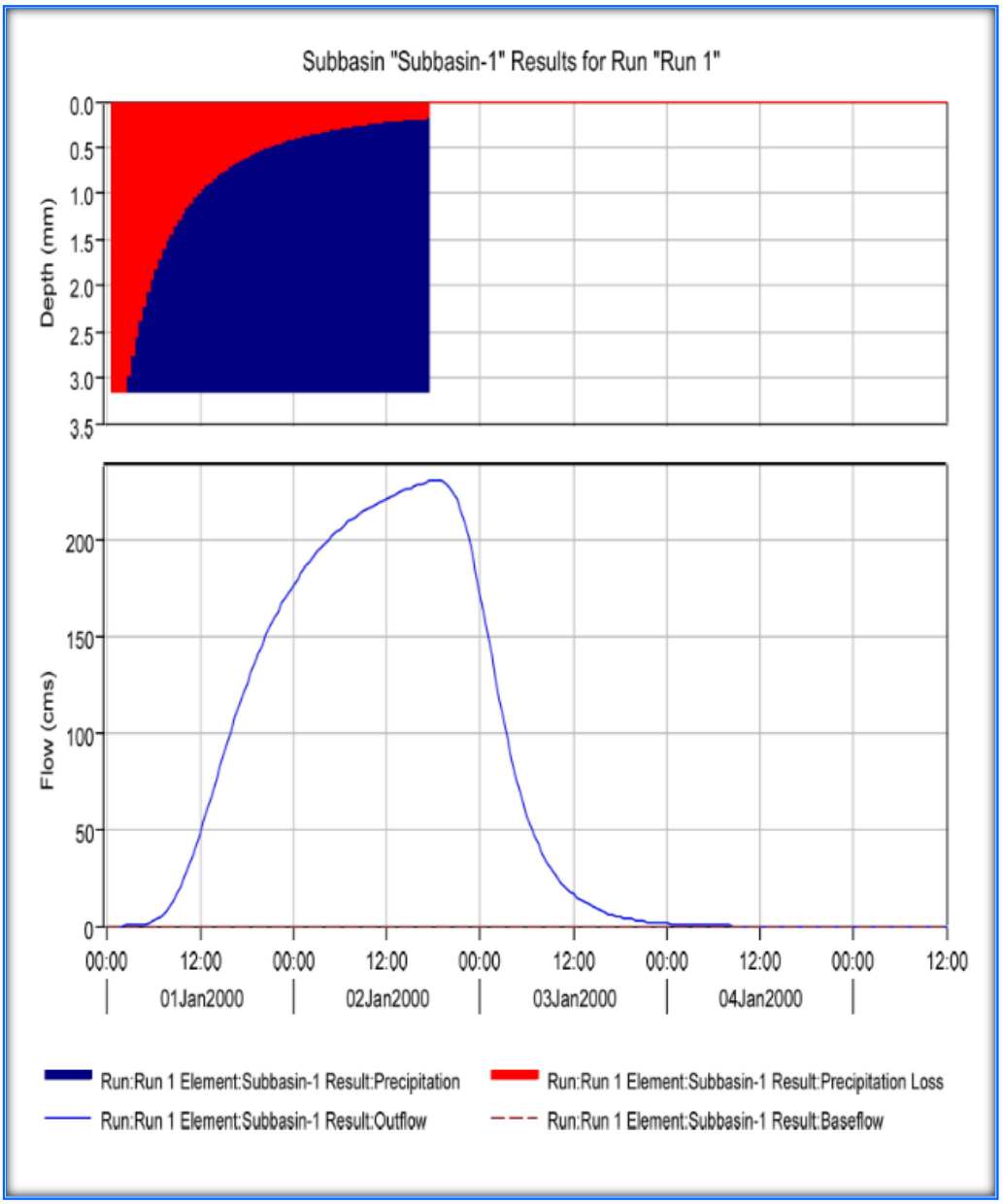


Figure 66 *: Hydrogramme de la crue décennale à l'exutoire du BV de KALALE*

Computed Results

Peak Discharge:	231.0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	02janv.2000, 18:30
Precipitation Volume:	37923.3 (1000 M3)	Direct Runoff Volume:	27309.2 (1000 M3)
Loss Volume:	10614.1 (1000 M3)	Baseflow Volume:	0.0 (1000 M3)
Excess Volume:	27309.2 (1000 M3)	Discharge Volume:	27309.2 (1000 M3)

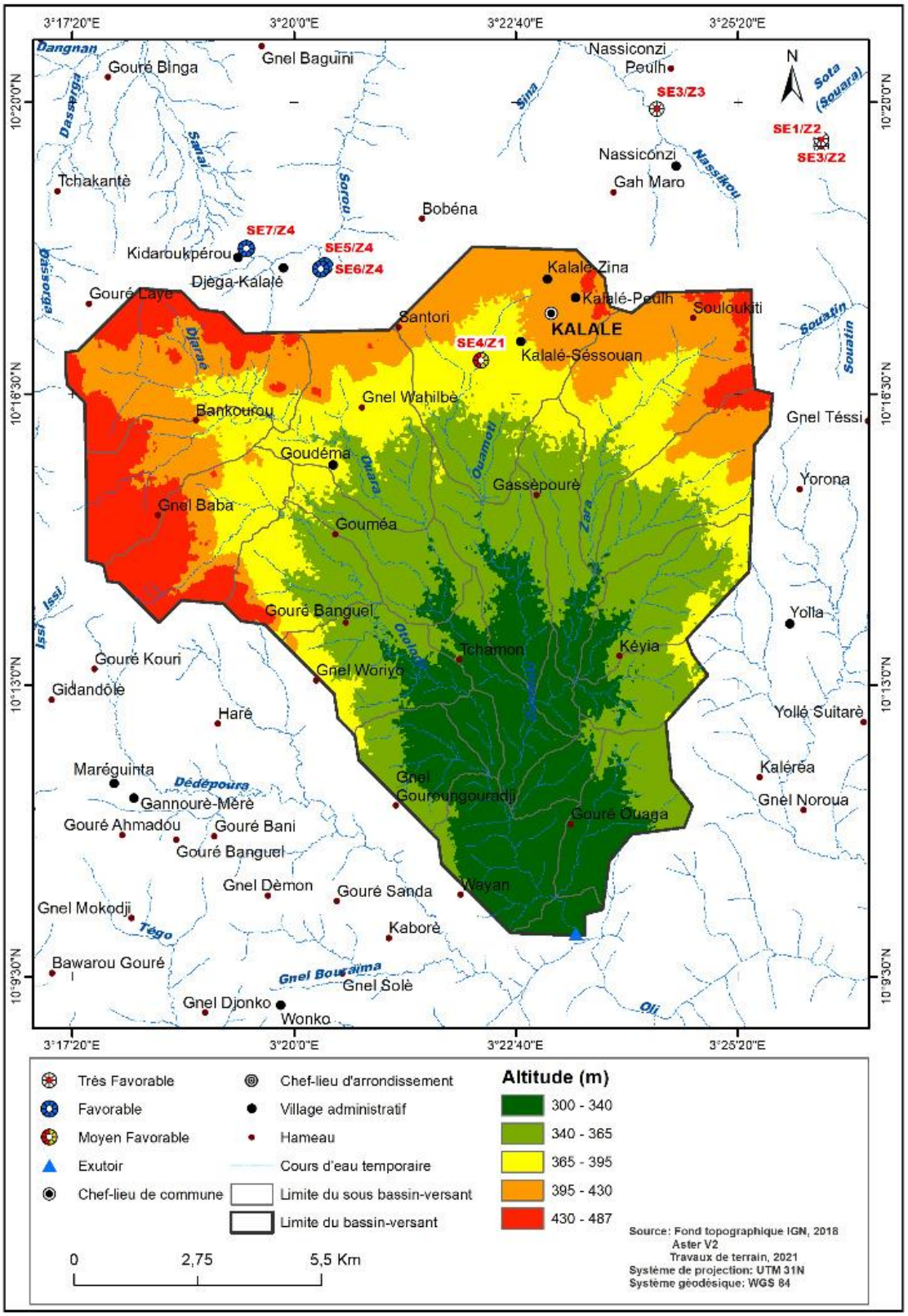


***Figure 67**: Carte du bassin versant du projet pour la localité de KALALE*

4.4. KARIMAMA

La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 1000 mm. La courbe de tarage montre la disponibilité de l'eau.

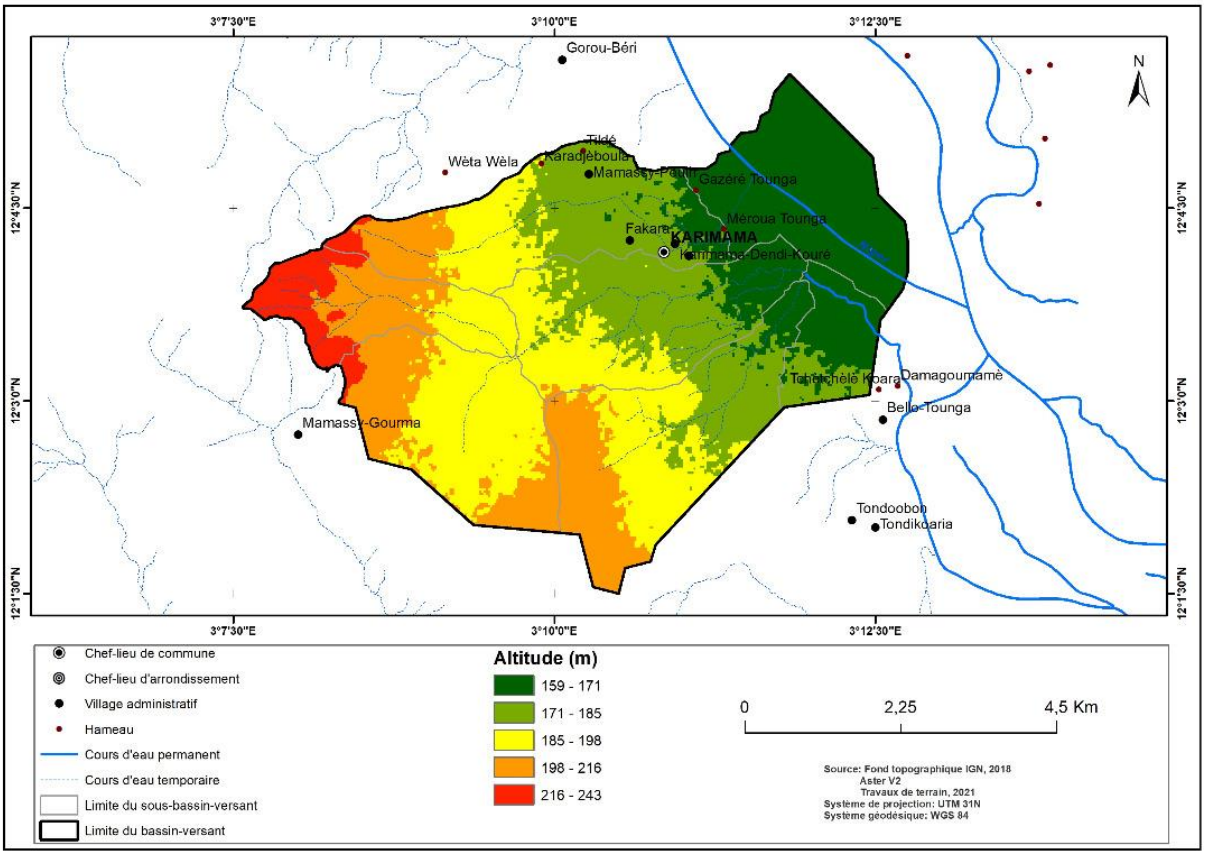
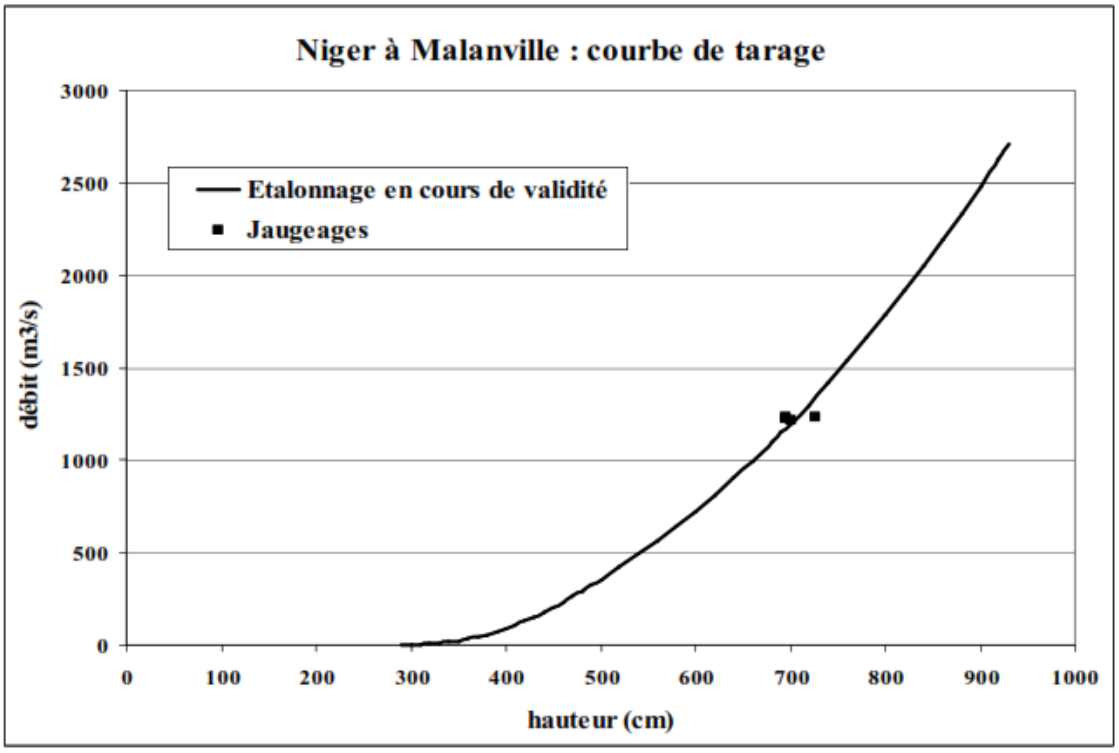


Figure 68 *: carte du bassin versant qui contrôle la localité de Karimama*

Pluie moyenne annuelle	**994 mm**
Pluviométrie annuelle décennale année sèche	**816 mm**
Pluviométrie annuelle cinquantennale année sèche	**747 mm**
Pluie journalière décennale	**100 mm**
ETP	**4.76 mm/j**
Température moyenne	**27.5 °C**

Etalonnage :

93 jaugeages ont été exécutés dont 04 de 2002 à 2007. L'étalonnage actuel reste valide de 1997 à nos jours.



V. DEFINIR LE VOLUME MOYEN ANNUEL EXPLOITABLE POUR CHAQUE BASSIN VERSANT

L'analyse des paramètres climatiques (la pluviométrie ETP la température) et les calculs hydrologiques (Déficit d'écoulement la lame d'eau ruisselée et le coefficient de ruissellement) nous ont aidé à évaluer les volumes d'eau moyen récupérables par bassin. Pour les localités de COBLY GOGOUNOU et KALALE il sera nécessaire de réaliser un ouvrage de retenue pour pourvoir mobiliser les besoins.

Tableau 49 : Evaluation des volumes mobilisables par bassin

Localité	Surface bassin versant (km^2)	Pluie moyenne annuelle (mm)	Pluie de l'année sèche (50 ans) mm	Coefficient de ruissellement %	Lame d'eau ruisselée (mm)	Volume annuel écoulé en année normale (m^3)	Volume annuel écoulé en année sèche (m^3)
COBLY	40.08	1260	915	16.54	208.42	8 332 632	4 767 518
GOGOUNOU	309.04	1050	750	13	136.63	42 183 960	32 019 634
KALALE	145.05	1190	795	15.63	180.23	26 978 664	14 990 917
KARIMAMA		994	747		Cours d'eau pérenne donc possibilité de faire un prélèvement direct		

VI. SYNTHESE

6.1. COBLY

Le réseau hydrographique du bassin versant retenu est moins dense mais la pluviométrique moyenne (1260 mm/an) est assez importante. L'exutoire retenu nous permet de contrôler un bassin d'une superficie de 40.08 km^2. Le réseau hydrographique est temporaire donc il n'y a pas écoulement toute l'année ce qui engendre la réalisation d'un ouvrage de retenue pour mobiliser les ressources en eau superficielles en vue de satisfaire nos besoins en eau toute l'année. Le volume annuel ruisselé est d'environ 8 332 632 m^3/an. La zone de l'exutoire n'est pas habitée. La classification du climat selon la FAO nous indique un climat sub-humide. L'infiltration est moyenne vue la quantité d'eau précipité. Coefficient d'infiltration=I/P=16.54 %.

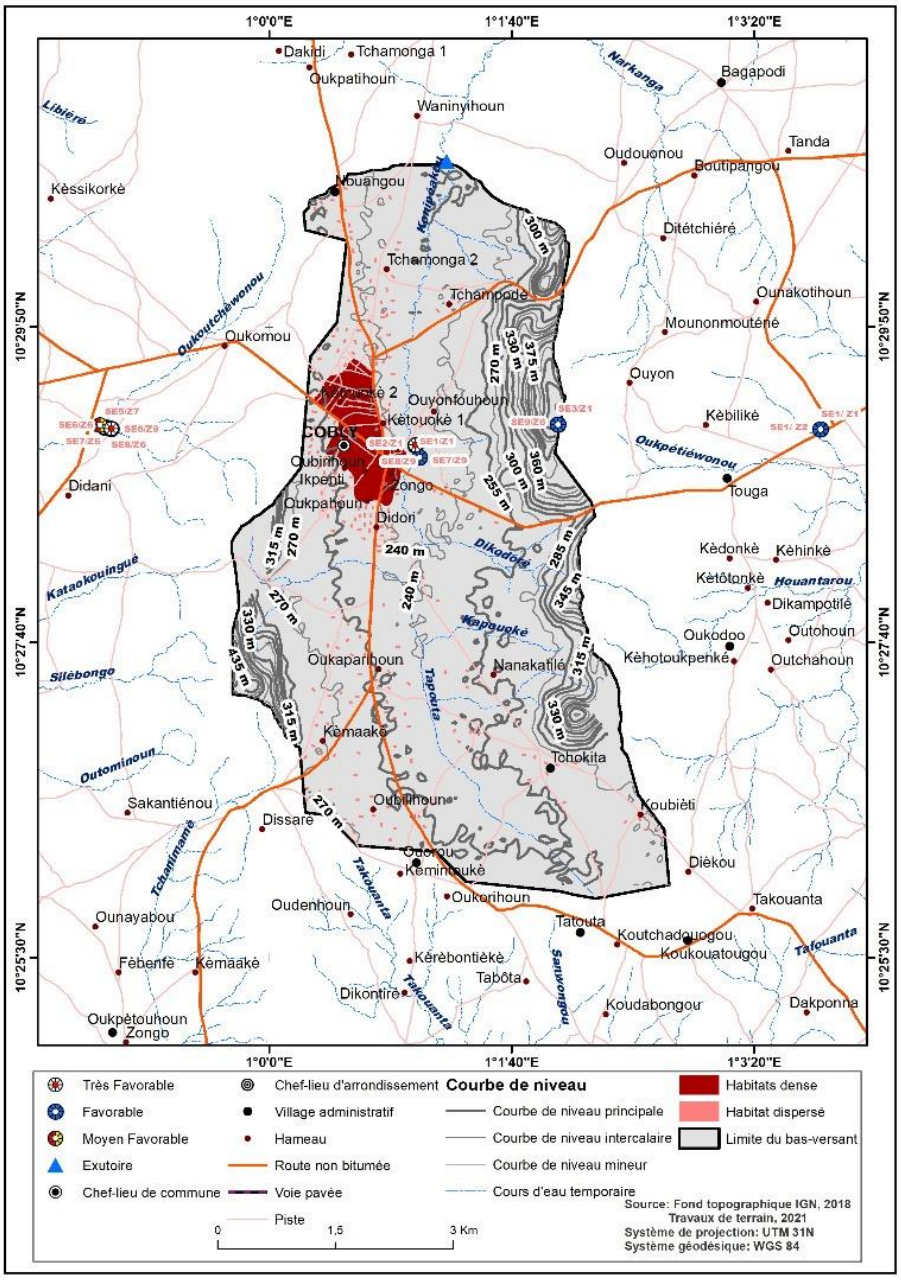


Figure 69 : carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine.

6.2. GOGOUNOU

Le réseau hydrographique du bassin versant retenu est dense mais la pluviométrique moyenne (1050 mm/an) est importante. L'exutoire retenu nous permet de contrôler un bassin d'une superficie de 309.04 km^2. Le réseau hydrographique est temporaire donc il n'y a pas écoulement toute l'année ce qui engendre la réalisation d'un ouvrage de retenue pour mobiliser les ressources en eau superficielles en vue de satisfaire nos besoins en eau toute l'année. Le volume annuel ruisselé est d'environ 42 183 960 m^3/an. La zone de l'exutoire n'est pas habitée. La classification du climat selon la FAO nous indique un climat sub-humide. L'infiltration est moyenne vue la quantité d'eau précipité. Le coefficient d'infiltration=I/P=13 %

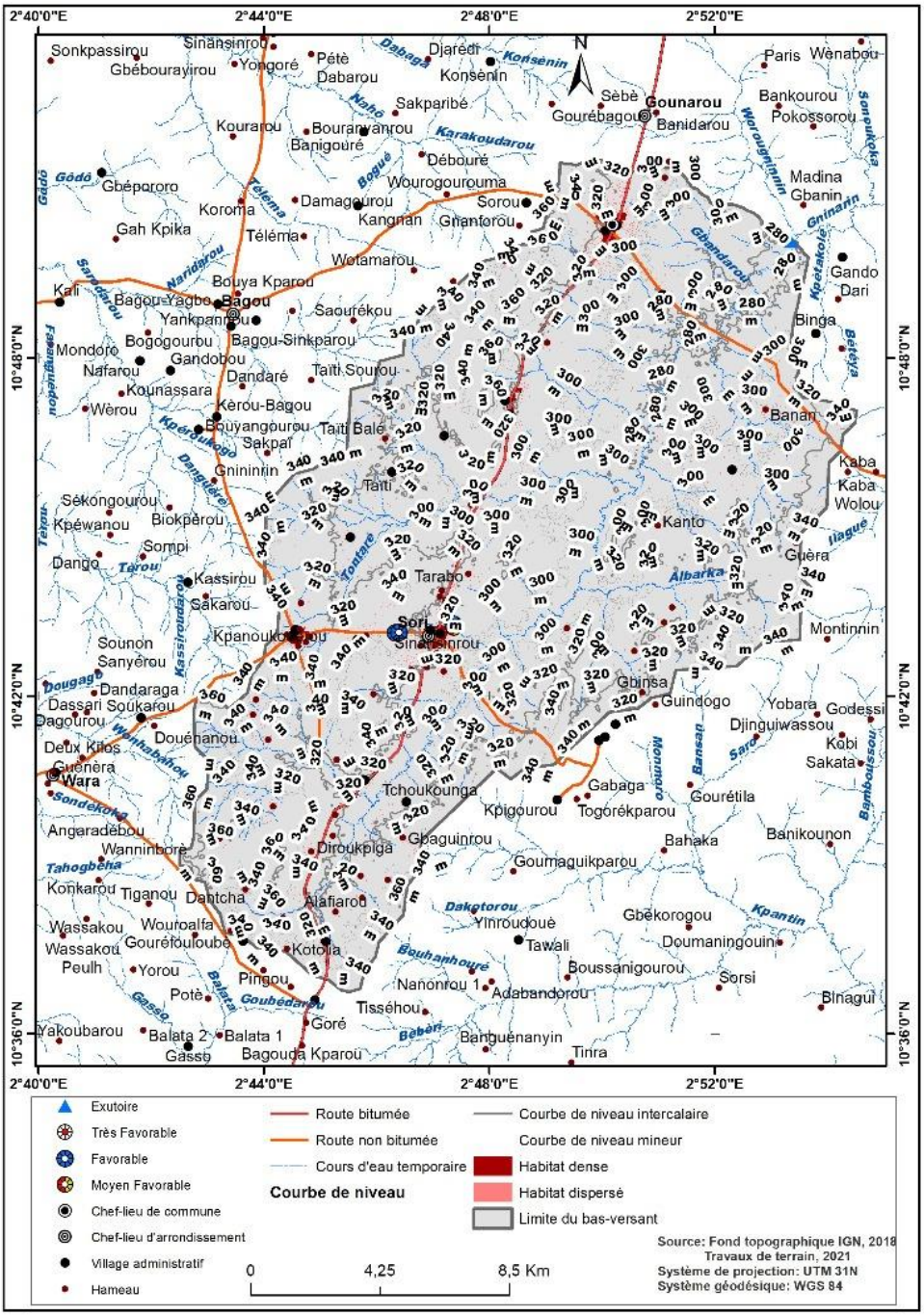


Figure 70 : carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine.

6.3. KALALE

Le réseau hydrographique du bassin versant retenu est très dense la pluviométrique moyenne (1190 mm/an) est importante. L'exutoire retenu nous permet de contrôler un bassin d'une superficie de 145.05 km^2. Le réseau hydrographique est temporaire donc il n'y a pas écoulement toute l'année ce qui engendre la réalisation d'un ouvrage de retenue pour mobiliser les ressources en eau superficielles en vue de satisfaire nos besoins en eau toute l'année. Le volume annuel ruisselé est d'environ 26 978 664 m^3/an. La zone de l'exutoire n'est pas habitée. La classification du climat selon la FAO nous indique un climat sub-humide. L'infiltration est moyenne vue la quantité d'eau précipité. Le coefficient d'infiltration=I/P=15.51 %

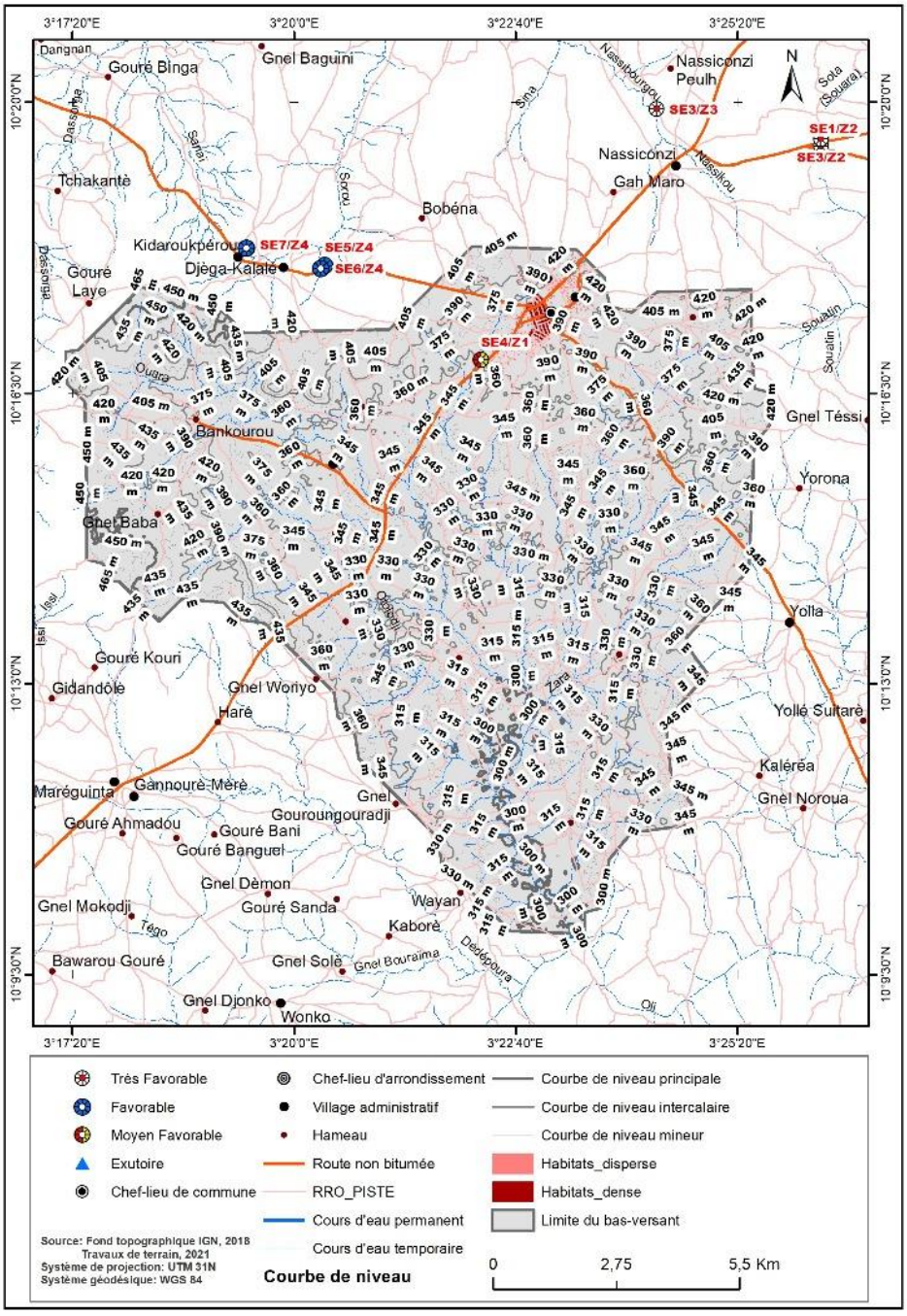


Figure 71 *: carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine.*

6.4. KARIMAMA

Le réseau hydrographique du bassin versant retenu est très dense la pluviométrique moyenne (994 mm/an). La localité est traversée par un cours d'eau très important le Niger. L'écoulement est permanent. Donc pas besoin de réaliser un ouvrage pour la maitrise de l'eau en matière de disponibilité.

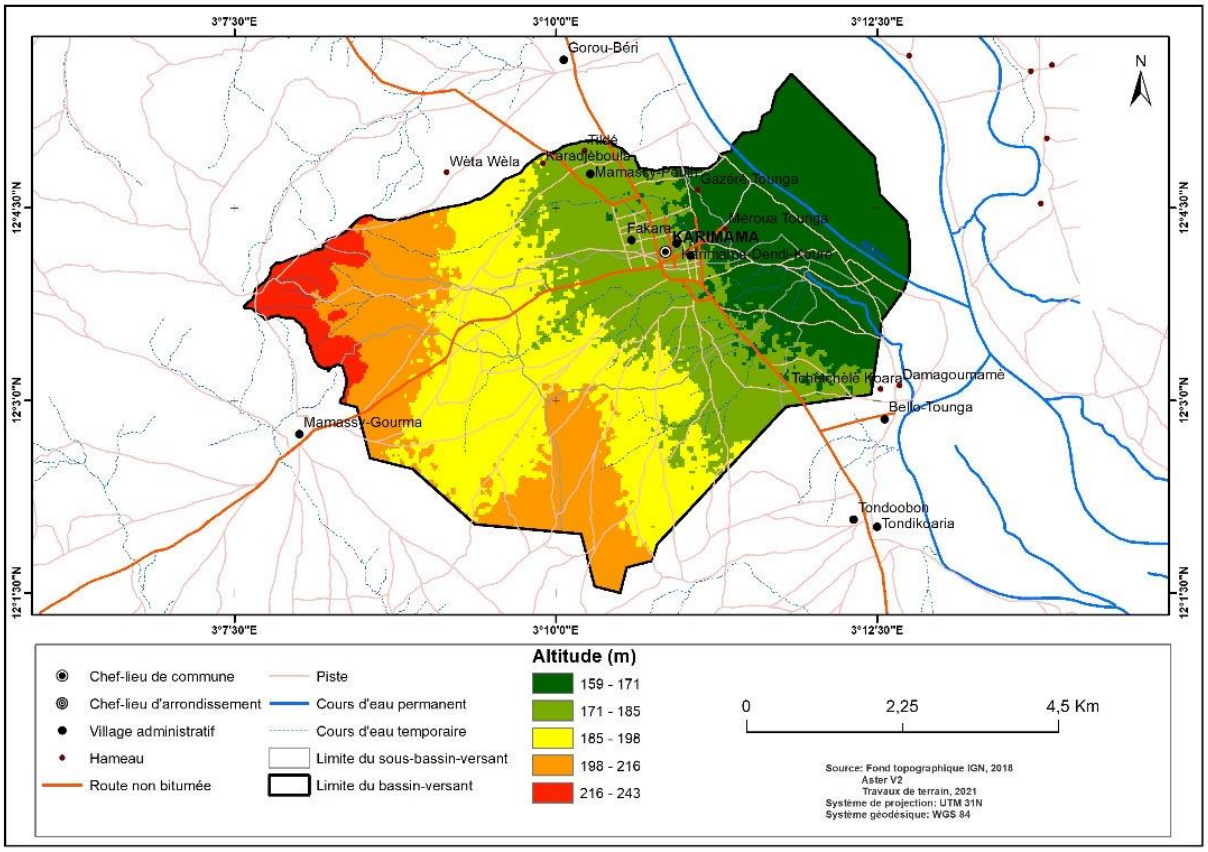


Figure 72 *: carte du bassin versant avec les zones d'occupation humaine.*

VII. RECOMMANDATION ET CONCLUSION

7.1. Recommandations

Il est important d'installer des équipements de mesure de ETP sur les mini barrages qui existent dans chaque zone en vue de comparer ces valeurs avec celles utilisées dans ce rapport. Au cas où l'option de réaliser des ouvrages de retenue sera adoptée il faut approfondir ces études et actualiser les données utilisées.

7.2. Conclusion

Pour mobiliser les ressources en eau de surface dans les localités de COBLY GOGOUNOU et KALALE la réalisation des ouvrages de retenues d'eau s'impose. Les volumes mobilisables sont évalués dans le rapport. Par contre dans la localité de KARIMAMA il y a un cours d'eau pérenne qui traverse la localité avec un débit très important. Donc une prise directe sur le Niger est possible pour couvrir les besoins en eau de la localité.