

Chapitre II

Chapitre II Les exposés détaillés

Section 1 La recherche hydrologique

1-1 L'élaboration de la carte topographique

1-1-1 L'élaboration de la carte topographique

Pour la zone de la recherche, il n'y a que l'ancienne carte à l'échelle de 1/200.000 qui a été éditée il y a plusieurs dizaines d'années. Cette carte n'est pas suffisamment précise, et il existe beaucoup de points où l'état actuel de la situation routière et la répartition des villages ne correspondent pas à cette carte, ce qui empêche l'exploration sur le terrain et les diverses analyses. D'où il fallait élaborer la carte topographique plus précieuse.

Nous l'avons élaborée, en utilisant l'image de satellite SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre). Le détecteur de SPOT a deux modes: panchromatique et multispectral, ainsi son caractère réside dans le point qu'on peut obtenir une paire d'images qui nous permettent l'effet stéréoscopique. 1 pixel de l'image panchromatique correspond à 10m dans la haute précision de décomposition, et 1 pixel de l'image multispectral correspond à 20m. L'étendue d'une scène est 60km×60km. En synthétisant l'image panchromatique et l'image multispectrale, l'image synthétique de la couleur fausse qui possède à la fois l'image de haute précision de décomposition et les informations de la couleur.

Nous pouvons dessiner la ligne isohypse, en regardant d'une façon stéréoscopique l'image panchromatique. La carte topographique, le résultat de cette procédure, s'est faite par la superposition de la ligne isohypse sur l'image synthétisée de la couleur fausse. L'échelle de la carte topographique est 1/50.000, l'intervalle des lignes isohypses est 10m. En mesurant le point de repère sur la terre par chaque scène, la précision de la ligne isohypse devient moins de 10m. Dans la présente recherche, nous avons mesuré les points de repère sur la terre par D-GPS.

Les images panchromatiques que nous avons utilisées sont 8 scènes et 16 feuilles. L'image panchromatique a été prise pendant la période entre janvier et avril en 2000, et l'image multispectrale a été prise en décembre 1998 et 2000. Vous trouverez ci-jointes les 13 cartes topographiques en tant que les documents subsidiaires. Nous avons utilisé l'image de la couleur fausse synthétique de SPOT pour l'analyse de la flore, et la carte topographique pour l'analyse des réseaux hydrographiques.

1-1-2 L'analyse du réseau hydrographique

La zone de la recherche est divisée en cinq du point de vue des bassins des grandes rivières. Dans la Figure 2-1-1, nous présentons la carte du réseau hydrographique, en utilisant la carte topographique existante à l'échelle de 1/200.000. Dans cette figure, les frontières des bassins sont montrées par la ligne discontinue brune, et les frontières des bassins des affluents principaux, par la ligne droite fine. Dans le Appendice 1 à la fin de notre rapport, nous présentons les données concernant la forme des bassins des affluents principaux (l'étendue, la longueur du bassin, la largeur moyenne, le rapport de forme, la direction de la longueur du bassin). Nous obtenons la largeur moyenne des bassins, en divisant l'étendue des bassins par la longueur du bassin. La direction de la longueur du bassin est la direction en partant de la bouche. Elle est présentée en 360 degrés. Le rapport de forme est l'indice conçu afin de rendre la forme des bassins en valeur numérique. Nous pouvons le calculer, en divisant l'étendue par le carré de la longueur du bassin.

Le caractère des cinq zones est comme suit (cf. Figure 1-1-1).

① La partie est: le bassin de la Baoulé (4.721km²)

La Baoulé coule du sud au nord, en serpentant fortement. Au nord de la zone de la recherche, la Banifing conflue avec la Baoulé, en constituant l'angle aigu. Ainsi, la largeur de la rive gauche du bassin de la Baoulé devient plus étroite vers le nord. La largeur maximale au sud est près de 30km, et environ 20km, au centre. La largeur du bassin de la rive droite se varie de 10km à 40km. La largeur moyenne du bassin du courant principal de la Baoulé est calculée comme environ 50km.

Dans le bassin de la rive gauche, les directions du courant des affluents sont principalement NO-SE ~ SO-NE, et la direction de O-E ressort considérablement. Dans le bassin de la rive droite, elle est principalement O-E ~ SSO-NNO, et la direction de SE-NO est remarquable.

② La partie ouest: le bassin de la Banifing (4.660km²)

La Banifing coule du sud-ouest au nord-est, en serpentant doucement. Elle est divisée en deux en amont. La largeur de bassin d'un côté est 10~15km dans la partie d'amont, et 20~30km dans la partie au milieu.

Dans le bassin de la rive droite, la direction du courant des affluents est principalement SE-NO ~ NNO-SSE, et la direction de S-N est remarquable. Dans le bassin de la rive gauche, elle est principalement O-E ~ NNO-SSE, et la direction de NO-SE ressort considérablement.

La longueur du bassin du courant principal de la Banifing est environ 126km. La largeur moyenne du bassin est près de 37km, et le rapport de forme est calculé

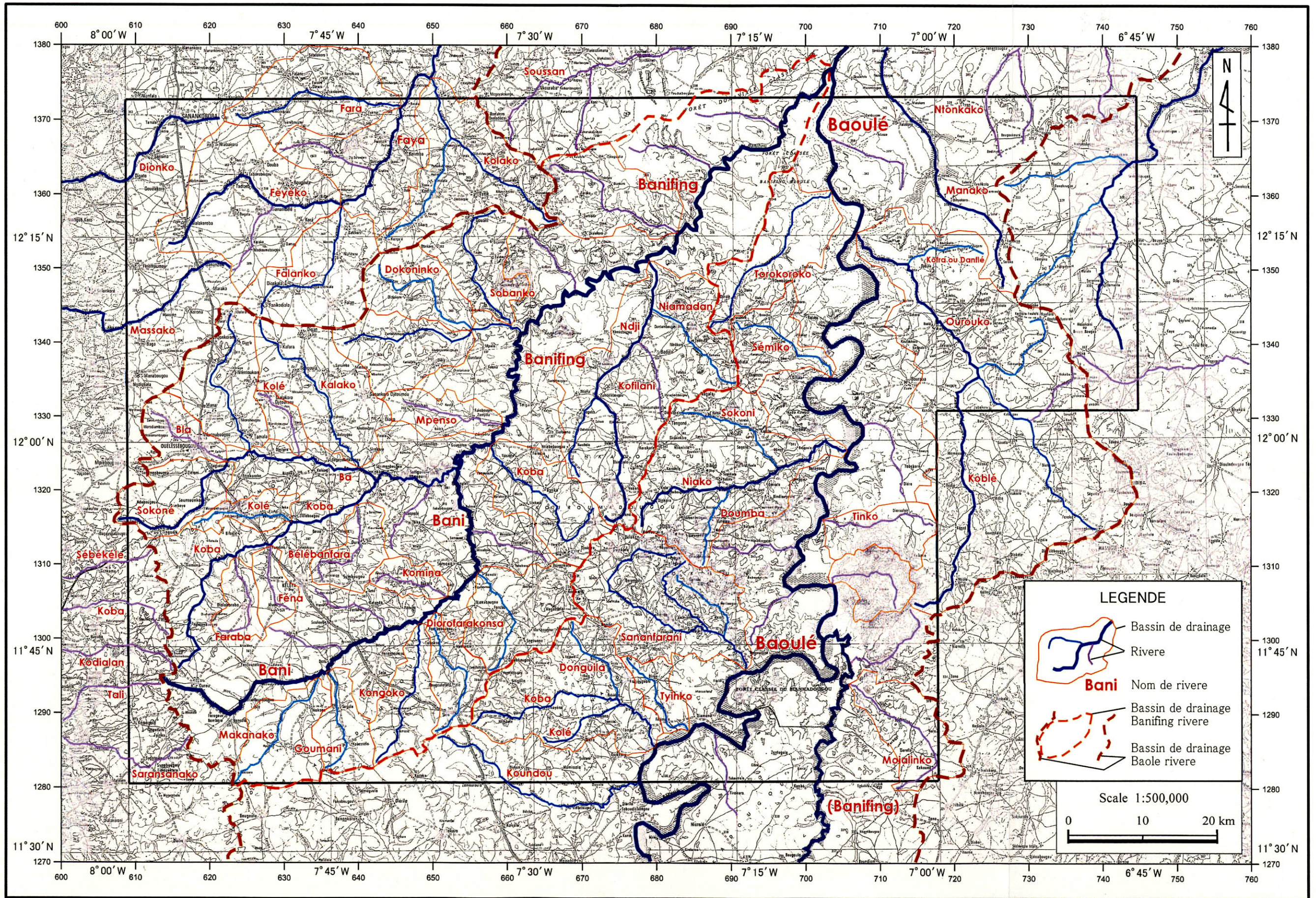


Figure 2-1-1 Carte du réseau hydrographique

comme 0.291.

③ La partie extrême est: le bassin de la rivière Bagoé (544km²)

La Bagoé est une grande rivière qui coule du sud au nord, parallèlement à la Baoulé. La partie extrême est correspond à la partie d'amont du bassin de la rive gauche de la Bagoé. La direction des affluents est principalement O-E ~ SO-NE.

④ La partie extrême nord-ouest: le bassin du Niger (1.460 km²)

Au nord-ouest de la zone de la recherche, Le Niger coule dans la direction de SSO-NNE ~SO-NE, et la partie extrême ouest de la zone de la recherche correspond à la partie d'amont du bassin de la rive droite du Niger. Les affluents dans la zone coulent sur une longueur de 30~60km vers le nord ou vers l'ouest, et confluent avec le Niger.

⑤ La partie extrême sud-ouest: le bassin du barrage Yanforila (215km²)

A l'ouest de la zone de la recherche, il existe le barrage Yanforila, d'où une rivière coule, en confluant avec le Niger. La partie extrême sud-ouest correspond à la partie d'amont du bassin de la rive droite de cette rivière. Les affluents dans la zone coulent de l'est à l'ouest.

Le réseau hydrographique présente la forme d'écorce, qu'il s'agisse du bassin grand ou du bassin petit. Les formes du bassin sont diverses. Elles sont en forme de triangle, de rectangle, de pomme de terre, de goutte, de feuille, etc. Comme nous présentons dans le Appendice 1 à la fin de notre rapport, les affluents principaux dans la zone de la recherche sont en moyenne d'environ 10~30km de longueur, de 4~12km de largeur, et de 0.30~0.48 du rapport de forme. Plus la forme du bassin est proche du carré ou du cercle, plus le rapport de forme s'approche à 1. Le fait que la valeur moyenne du rapport de forme est environ 0.4 signifie que, dans le cas où la longueur du bassin serait de 20km, la largeur moyenne correspond à 8km, et que le bassin est en forme de rectangle. Le réseau hydrographique en forme d'écorce et les formes des bassins mentionnées ci-dessus sont dus au fait que la pente du terrain est très douce, et que, à cause de l'action de latérite avancée, la structure géologique n'apparaît pas sur la surface de la terre.

1-2 La recherche par le forage

1-2-1 La grande ligne de la recherche

La recherche par le forage a été effectuée du 14 janvier au 1er février 2001. Les quatre trous (MJMB-E1~MJMB-E4) de la longueur totale de 160m ont été forés. Dans la Figure 2-1-2, nous présentons la position du forage. Les trois trous de

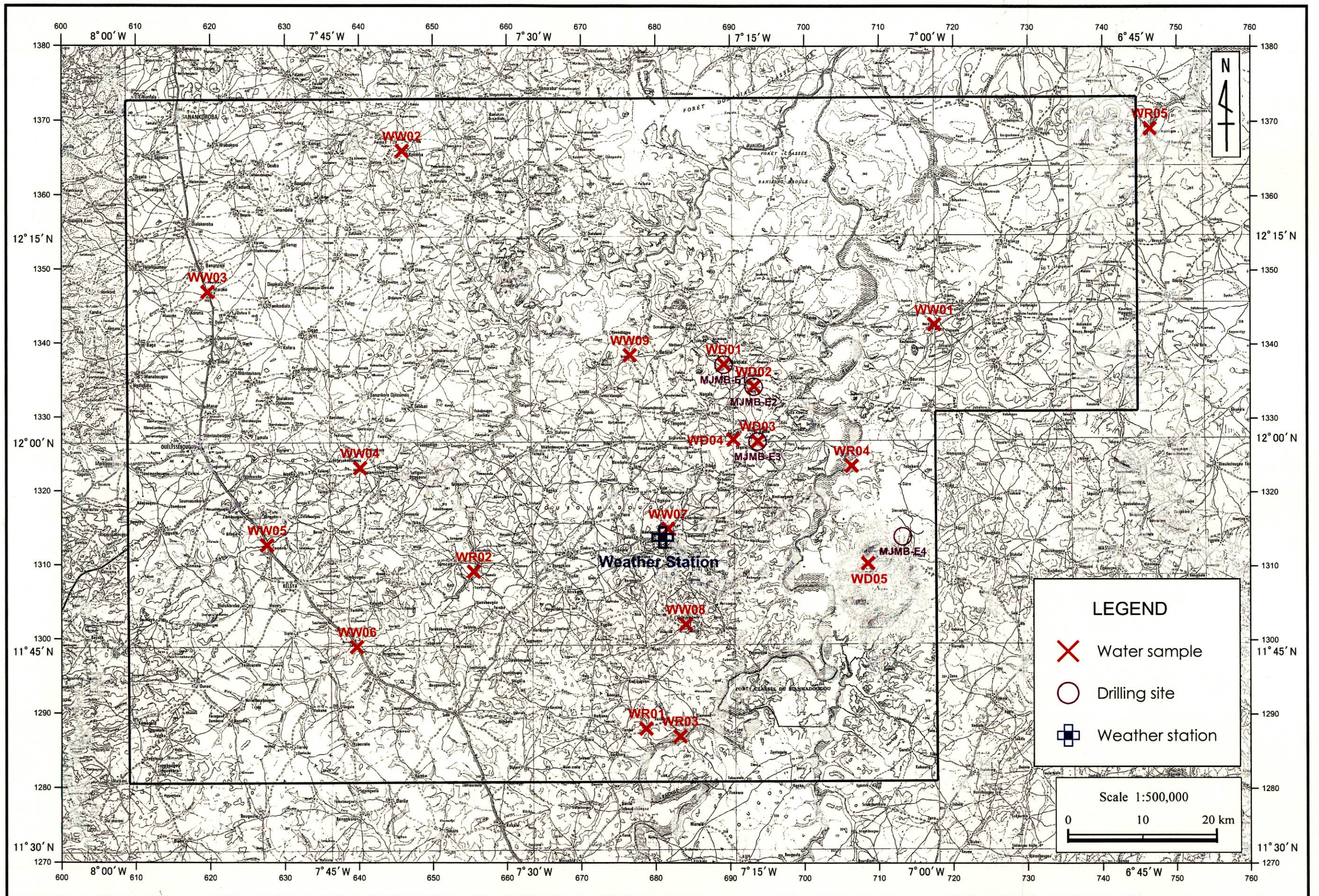


Figure 2-1-2 Carte de la position de la recherche hydrologique

MJMB-E1, E2, et E3 se situent dans la zone de Dogo qui est entouré de la Baoulé et de la Banifing. Le trou MJMB-E4 se situe dans la zone de Kékoro à la rive droite de la Baoulé.

L'objectif de la recherche par le forage est de prélever l'eau souterraine, et d'effectuer l'expérience du rétablissement du niveau de l'eau. Dans tous les quatre trous, nous avons identifié l'existence de l'eau, et avons fait un prélèvement.

1-2-2 La sélection des points de la recherche

Ayant saisi la zone de la recherche de l'exploitation des ressources des années précédentes et de cette année, la zone de la recherche de la structure géologique de cette année, et la répartition des zones indiquant la minéralisation, et, ayant enquêté la répartition des puits existants de l'eau, nous avons sélectionné les points du forage. Auprès de l'office de la Direction Nationale de l'hydraulique à Bougouni, nous avons obtenu, en tant que le document existant, le résultat de la recherche des ressources aquatiques qui a été effectuée autrefois dans la zone de Dogo.

A l'occasion de la sélection des points de la recherche, nous avons choisi en principe les points au voisinage de la route sur laquelle le grand camion peut passer, compte du fait que la situation des routes n'était pas bonne. Nous avons choisi aussi les points où l'on peut envisager l'existence de la couche contenant l'eau à la profondeur de moins de 40m, car c'était la saison sèche. Enfin, nous avons sélectionné les points qui devraient servir à la recherche de l'environnement, en tenant compte de la recherche du gisement dans le passé et dans un futur.

1-2-3 La méthode de la recherche

Nous avons confié les travaux du forage à FORACO, l'entreprise française. Nous avons utilisé une seule machine de forage, et avons fait les travaux de forage par une équipe pendant 10 heures par jour. L'équipe du forage se constitue de cinq personnes au total, dont un ingénieur de forage, et quatre assistants de forage. A part ces effectifs, certains ouvriers ont effectué les travaux auxiliaires à titre ad hoc. [Photo 2 / Annexe]

La méthode du forage est le procédé de *down-the-hall-drill* sans carottage. Nous avons prélevé et observé le copeau qui a été évacué du trou ou du tuyau du forage, en établissant la carte de colonne géologique. Le diamètre du forage est 9-7/8 *inch* pour la roche souple qui a subi l'action de latérite, et 6-1/2 *inch* pour la roche dure. En tenant compte de l'utilisation des trous dans un futur, après les travaux du forage, nous avons installé dans les trous la garniture fabriquée en chlorure de polyvinyle de 126mm de diamètre intérieur, afin de protéger le mur intérieur. En cas de besoin,

nous avons installé la garniture en grille pour la nappe aquifère. Entre le trou nu foré et la garniture, nous avons mis les gravillons, et protégé les trous par le ciment. Après l'installation de la garniture, nous avons effectué le lavage de l'intérieur des trous, l'expérience de rétablir le niveau de l'eau, et le prélèvement de l'eau souterraine. Pour les travaux du forage, nous avons puisé l'eau aux deux trous qui ont été forés en 1999 exclusivement pour les travaux du forage. [Photo 3 / Annexe]

Nous présentons la procédure de la recherche et son résultat dans le Tableau 2-1-1, et l'équipement et les produits consommables utilisés dans le Tableau 2-1-2.

Tableau 2-1-1 Procédure et le résultat de la recherche par le forage

Drill name		MJMB-E1	MJMB-E2	MJMB-E3	MJMB-E4
Depth		40 m	40 m	31 m	49 m
Date of start		22 Jan	16 Jan	19 Jan	29 Jan
Date of finish		24 Jan	19 Jan	21 Jan	31 Jan
Total work	day	2.3	5.5	2.2	7
Transport	day	0.3	2	0.2	2
Operation	day	1.3	1.5	1.3	2
Recovery test	day	0.7	0	0.7	1
Others	day	0	2	0	2
Drilling rate	m/day	30.1	26.7	23.8	24.5

Tableau 2-1-2 Equipement et les produits consommables utilisés dans la recherche par le forage

Equipment	Article	Specification and quantity
Drilling machine	Drill rig	BF250 (Blizzard85)
	Generator	QAS14 (50Hz, 400/230V, 10.5kW)
	Compressor	XAHS285 (12bar, 2400rpm, 151kW)
	Pomp	XAS65 (7bar, 2800rpm, 30kW)
Transporting vehicle	Autotruck	20 t × 2 (Renault)
	Water tank	10 t × 1 (Renault)
	Truck	1
Commuting vehicle	Pick-up	1 (Toyota)
Consumption	Cement	2 bags (40 kg)
	CMC	27 kg
	Grease	6 kg
	Diesel	2,060 litter
	Motor oil	180 litter

Nous avons effectué l'expérience pour rétablir le niveau de l'eau. Sa procédure est de monter successivement de l'eau par *air-lift* (extraction pneumatique, à air comprimé), en lavant en même temps l'intérieur des trous, d'arrêter ces travaux, et de mesurer la montée du niveau de l'eau. Dans le trou de MJMB-E2, le niveau de l'eau était profond, et la quantité était peu, si bien que nous ne pouvions pas effectuer l'expérience pour rétablir le niveau de l'eau.

1-2-4 Le résultat du forage

Nous présentons la carte de colonne géologique dans le Appendice 2 à la fin de notre rapport, et la carte de la garniture du forage dans le Appendice 3. La situation géologique de chaque trou est comme suit.

- MJMB-E1: Dans la profondeur jusqu'à 18m, il existe le sédiment d'un caractère résédimentaire qui n'a pas encore durci. Dans la profondeur de plus de 18m, il y a le schiste du complexe Birrimien. Le sédiment qui n'a pas encore durci se constitue de l'argile de gris clair, du sable brun clair ou rouge-brun, la pisolithe rouge-brune. La pisolithe existe dans les deux niveaux: la profondeur de 8~10m et de 16~17m. Le schiste de la roche de boue est fortement désagrégé et argilisé. Sa couleur est verte-grise. Il est riche en minerais de mica, et la structure de clivage de flux s'est développée. La profondeur de 29~31m est riche en veine de quartz. L'altération de minéralisation n'est pas reconnue. Les deux couches de pisolithe pourraient être la nappe aquifère.
- MJMB-E2: Sur la surface de la terre, la roche du complexe Birrimien est exposée, et cette roche continue jusqu'au fond du trou. Dans la profondeur de 0~8m, il existe le schiste désagrégé de la roche de boue, dont la couleur est verte-grise. Dans la profondeur de 8~12m, il y a le schiste désagrégé dont la couleur est verte-grise. Dans la profondeur de 12~26m, il y a le schiste de la roche de boue, dont la couleur est verte-gris ou brune-grise. Dans la profondeur de 26m~28m, il y a la roche métavolcanique de couleur gris foncé. Dans la profondeur de 28~40m, il y a le schiste de la roche de boue, frais et noir. En général, l'altération faible de la minéralisation de pyrite-calcite-chlorite-quartz-hématite est reconnue. La fissure existant à la profondeur de plus de 28m pourrait être la nappe aquifère.
- MJMB-E3: Dans la profondeur jusqu'à 15m, il existe le sédiment d'un caractère redédimentaire qui n'a pas encore durci. Dans la profondeur de plus de 15m, il y a la roche du type granite. Le sédiment qui n'a pas encore durci se constitue de l'argile gris clair ou brune, du sable gris-brun ou rouge-brun, et des granules. La qualité du sable est l'arkose, et les granules contiennent la pisolithe et le type granite à la partie inférieure. La couche du sable et des granules se constitue des

deux niveaux: la profondeur de 6~10m, et de 12~15m. La roche du type granite est grise claire ou grise, et il est le frais biotite-granodiorite. La profondeur de 23~24m présente l'aspect vert-gris, et accompagne la pyrite et le fer sulfuré blanc. La nappe aquifère pourrait être celle du gravier de la partie supérieure de la roche.

- MJMB-E4: Dans ces trous, la roche n'apparaît pas. Dans la profondeur de 0~12m, il existe la pisolithe jaune ou rouge-brune. Dans la profondeur de 12~15m, il y a la couche mixte de la pisolithe et de l'argile. Dans la profondeur de 15~44m, il existe l'argile rouge-brune. Dans la profondeur de 44~49m, il y a l'argile en qualité de sable, de couleur rouge-brune. Le fond du trou contient le gravier du grès gris. L'altération par la minéralisation n'est pas reconnue. La nappe aquifère pourrait être celle de l'argile en qualité de sable à la profondeur de plus de 44m.

1-2-5 L'expérience pour établir le niveau de l'eau

Nous avons effectué l'expérience pour rétablir le niveau de l'eau par la méthode suivante. D'abord, nous avons monté successivement de l'eau *par air-lift* (extraction pneumatique, à air comprimé), en lavant en même temps l'intérieur des trous. Puis, nous avons arrêté ces travaux, et mesuré la montée du niveau de l'eau. Nous présentons le tableau du résultat dans le Appendice 4 à la fin de notre rapport, et la figure du résultat dans le Appendice 5.

Nous avons calculé la transmissibilité par la méthode de piézomètre dans le test *in situ* de perméabilité, de formule d'un seul trou. Nous avons tracé "la durée passée — la différence entre le niveau équilibre de l'eau et le niveau de l'eau dans le trou" sur le graphe du sémi-logarithme. Veuillez voir la Figure du résultat de l'expérience (le Appendice 5 à la fin du rapport). Dans cette Figure, nous avons extrait la partie rectiligne (la ligne discontinue dans la Figure), et avons identifié la durée passée et la différence des niveaux de l'eau. Nous calculons le coefficient de transmissibilité par la formule 1 ci-dessus. Nous présentons la valeur du paramètre et le coefficient dans chaque trou dans le Tableau 2-1-3.

$$k = \frac{(2.3R)^2}{2L(t_2 - t_1)} \times \log\left(\frac{L}{R}\right) \times \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \dots\dots\dots \text{La formule 1}$$

- k : le coefficient de transmissibilité
 - R : le demi-diamètre de la garniture (63mm)
 - L : la longueur de la couche perméable
 - t_1, t_2 : la durée entre deux points arbitraires sur la partie rectiligne
 - h_1, h_2 : la différence avec le niveau équilibre de l'eau au temps t_1, t_2
- A propos, $L/R > 8$ est nécessaire.

Tableau 2-1-3 Coefficient de transmissibilité dans les trous de forage

Drill name	MJMB-E1	MJMB-E3	MJMB-E4
Equilibrium water level (cm)	577	365	1,905
Length of pervious layer (cm)	1,200	850	3,000
t ₁ (sec)	120	60	180
t ₂ (sec)	300	360	1080
h ₁ (cm)	1,777	368	1,329
h ₂ (cm)	1,668	178	608
Radius of casing (cm)	6.3	6.3	6.3
Coefficient of permeability (cm/sec)	3.05×10^{-5}	2.77×10^{-4}	3.54×10^{-5}
Quantity of yield (ton/hour)	0.7	3.0	1.0

Parmi les trois trous, le coefficient de transmissibilité est le plus élevé dans MJMB-E3, dont la valeur présente l'ordre de 10^{-4} , ce qui veut dire qu'un ordre plus élevé que les autres trous. En général, 10^{-4} signifie que le coefficient de transmissibilité est un peu bas; et 10^{-5} signifie la transmissibilité basse. Même quand nous avons comparé la quantité de l'eau montée à l'occasion de la montée successive de l'eau, le coefficient de transmissibilité dans MJMB-E3 est le plus élevé, et trois ou quatre fois plus que les autres trous. La quantité de la montée de l'eau de 3,0t/h est la valeur moyenne pour les puits de l'eau existants dans la zone de Dogo.

La cause de la valeur élevée du coefficient de transmissibilité dans MJMB-E3 est due au fait qu'il existe géologiquement la couche riche en l'interstice, du sable ou du granule, dans la partie supérieure de la roche, que le point de forage est topographiquement près de la rivière, et que la zone de l'eau dont ce trou dispose est un peu grande que les autres.

1-3 La recherche de l'eau sur la surface de la terre et de l'eau souterraine

1-3-1 La méthode de la recherche

En tenant compte de la répartition des bassins de rivière et du réseau hydrographique, nous avons prélevé l'eau des rivières et l'eau souterraine, et avons mesuré la qualité de l'eau, et analysé d'une façon simple la qualité de l'eau. A chaque point de prélèvement, nous avons noté l'endroit et les échantillons de prélèvement, et avons pris les photos et effectué la mesure de GPS. [Photo 4 et 21 / Annexe]

(1) Prélèvement des échantillons

Dans chaque point, nous avons prélevé trois litres de l'eau pour l'examen, en utilisant l'étui en polypropylène. En principe, après le prélèvement, nous avons conservé l'eau dans l'endroit frais et sombre, et avons effectué l'analyse de la qualité de l'eau dans 48 heures.

Nous montrons les points du prélèvement de l'eau dans la Figure 2-1-2, et les données dans les points de prélèvement dans l'Appendice 7 à la fin de notre rapport. WR01~WR05 représentent l'eau des rivières. WD01~WD05 et WW01~WW09 représentent l'eau souterraine. Le nombre de prélèvements est 5 pour l'eau des rivières, et 14 pour l'eau souterraine.

• L'eau des rivières

Comme la période de la recherche était la saison sèche, il n'y avait pas de l'eau courante sauf la Baoulé. Dans certaines rivières, il n'y avait que l'eau qui cessait de couler. C'est la raison pour laquelle nous avons prélevé l'eau courante aux deux points de la Baoulé, et pour le reste de trois points, nous avons prélevé l'eau relativement propre qui cessait de couler.

• L'eau souterraine

WD01~WD03 sont les trous que nous avons forés dans la présente recherche, et WD04 et WD05 sont ceux du forage dans la recherche du développement des ressources dans le passé. Dans le premier cas des deux, nous avons descendu l'étui de prélèvement dans le trou, et avons prélevé l'eau qui se situait de 2 mètres au-dessous du niveau de l'eau souterraine. Dans le cas de deuxième, nous avons prélevé au bout du tuyau l'eau qui a été successivement montée par la pompe installée dans l'eau du trou.

WW01~WW09 sont les puits de l'eau avec la pompe à pédale. Ils sont creusés par le forage. Nous avons prélevé, au bord des puis, l'eau qui a été puisée par la pompe.

(2) La mesure de la qualité de l'eau et l'analyse

Nous avons effectué la mesure de la qualité de l'eau sur les lieux de prélèvement et dans le camp, et effectué l'analyse de la qualité de l'eau dans le camp.

L'équipement simple de l'analyse de la qualité de l'eau est l'appareil portable qui utilise le spectrophotomètre. Le réactif réservé exclusivement à cet appareil est inclus dans l'équipement. Comme cet appareil est petit, l'analyse sur le terrain était possible. Cependant, une partie du réactif inclut la substance toxique. D'ailleurs, à part le réactif, nous avons utilisé l'acide sulfurique fort et le chloroforme. C'est la raison pour laquelle il fallait faire attention à l'utilisation de ces réactifs et à la ventilation. Nous avons mis toute la solution utilisée pour l'analyse dans l'étui en

polyéthylène, et, après avoir terminé la recherche, nous avons confié au laboratoire de DNGM de traiter et jeter cette solution.

Nous présentons les articles de mesure et la méthode de la mesure de la qualité de l'eau et de l'analyse simple dans le Appendice 6, et le résultat de l'analyse de la qualité de l'eau dans le Appendice 7 à la fin de notre rapport.

1-3-2 Le résultat de la recherche

(1) Le résultat à l'œil nu

Le caractère à l'œil nu de la matière du prélèvement est comme suit.

- L'eau dans les puits: Dans tous les cas de WW01~WW09, l'eau est transparente, et n'est pas troublée.
- L'eau du forage: Dans WW01, l'eau est de la couleur de jaune clair, et troublée en état de colloïde. Pour les cas de WW02~WW05, l'eau est transparente, mais elle contient la matière minuscule troublée. L'eau de WD01 est l'eau souterraine qui a été prélevée dans le trou de MJMB-E1. Mais, malgré la montée successive de l'eau après le forage, elle demeurait troublée.
- L'eau dans la rivière: Dans les cas de WR01 et WR02, l'eau est jaune claire, et troublée en état de colloïde. Pour WR03~WR05, l'eau est presque transparente, mais, elle est un peu colorée.

(2) La mesure de la qualité de l'eau

Pour chaque point, les caractères suivants sont reconnus.

- pH: Dans le cas de l'eau de forage de WD, elle est environ 7, et neutre. Pour l'eau dans la rivière de WR, elle est plus de 7, alcaline faible. Pour l'eau des puits de WW, elle est moins de 7, acide faible. WW06 présente 5.3, à savoir l'acidité. C'est peut-être dû à la cause géologique.
- Le taux de la conductivité électrique: Pour l'eau dans la rivière, moins de 10 S/m, pour l'eau de forage et des puits, 15~50 S/m. Exceptionnellement, WD01 présente la valeur très basse de 0.24 S/m. C'est parce que l'eau de prélèvement est troublée en état de colloïde.
- L'oxygène dissolu: Dans le cas de l'eau des puits, il est divisé en deux groupe: celui de 2~3 mg/l (WW03~WW07) et de près de 8 mg/l (WW01, 02, 09). Pour l'eau dans les rivières, il est 7~9 mg/l. Dans le cas de l'eau de forage, la valeur est variée entre 4 et 8 mg/l.
- La turbidité: Pour l'eau dans les rivières, elle est moins de 10 NTU. Pour l'eau dans les puits, elle est 5~21 NTU. Pour l'eau de forage, la valeur est variée entre 7 et 44 NTU. Exceptionnellement, WD01 présente la très haute valeur de 420 NTU.

WD01, WR 01, et WR02 qui sont troublés en état de colloïde, et WD02, WD03, et WD05 dans lesquels la matière troublée est reconnue à l'œil nu présentent la haute valeur de plus de 10 NTU.

(3) L'analyse de l'eau

La valeur mesurée de certains échantillons et éléments est négative, car le spectrophotomètre en tant que la méthode de mesure a provoqué l'eau trouble, et a influencé la mesure. De plus, pour la mesure de F et de B, l'existence de la substance perturbatrice est présumée. WD01 est troublé en état de colloïde. Pour six éléments, la valeur négative est détectée. Pour WR01 et WR02, à savoir l'eau des rivières, un peu de trouble est reconnu. Trois ou quatre éléments présentent la valeur négative.

Le résultat de l'analyse pour chaque élément est comme suit (cf. Figure 2-1-3).

- CN: La plupart des échantillons présentent la valeur très basse telle que 0,000 mg/l ou 0,001 mg/l. Seul WR03 contient la valeur significative de 0,005 mg/l.
- Cu: La plupart de l'eau des échantillons présentent la valeur très basse telle que 0,00 mg/l ou 0,01 mg/l. WW07 et WW08 présentent respectivement les valeurs significatives de 0,04 mg/l et de 0,02 mg/l.
- Fe: La valeur de mesure est variée entre 0,01 mg/l et 0,69 mg/l. Dans le cas de l'eau des puits, la valeur de mesure est basse. Pour le cas de l'eau de forage et de l'eau de la rivière, la valeur a tendance à être haussée. Dans la zone de la recherche, le sol de latérite, riche en fer et en aluminium, se développe. C'est la raison pour laquelle la valeur de fer est haute.
- Cr⁶⁺ : Sauf WD01 dont la valeur est 0,01 mg/l, la valeur de tous les autres est 0,00 mg/l.
- Mn: La plupart de l'eau des échantillons présente la valeur très basse de 0,1 mg/l ou 0,2 mg/l. La valeur de WW08 est 0,3 mg/l, et celle de WW04, 0,4 mg/l.
- B: La plupart de l'eau des échantillons présente la valeur très basse de 0,0 mg/l ou 0,1 mg/l. Mais, sept échantillons présentent la valeur négative, d'où l'existence de la substance perturbatrice est présumée.
- F: 16 matières des échantillons présentent la valeur négative. L'aluminium est présumé d'être la substance perturbatrice. L'aluminium est, comme le fer, l'élément constitutif principal du sol de latérite. C'est la raison pour laquelle trois échantillons présentent la valeur entre 0,03 mg/l et 0,58 mg/l. Mais, on ne peut pas avoir une confiance totale en ces valeurs.
- Zn: La valeur de mesure se varie entre 0,00 mg/l et 0,90 mg/l. Parmi ces valeurs, celles de WD05 et de WW02 sont un peu hautes, en présentant respectivement 0,90 mg/l et 0,21 mg/l.

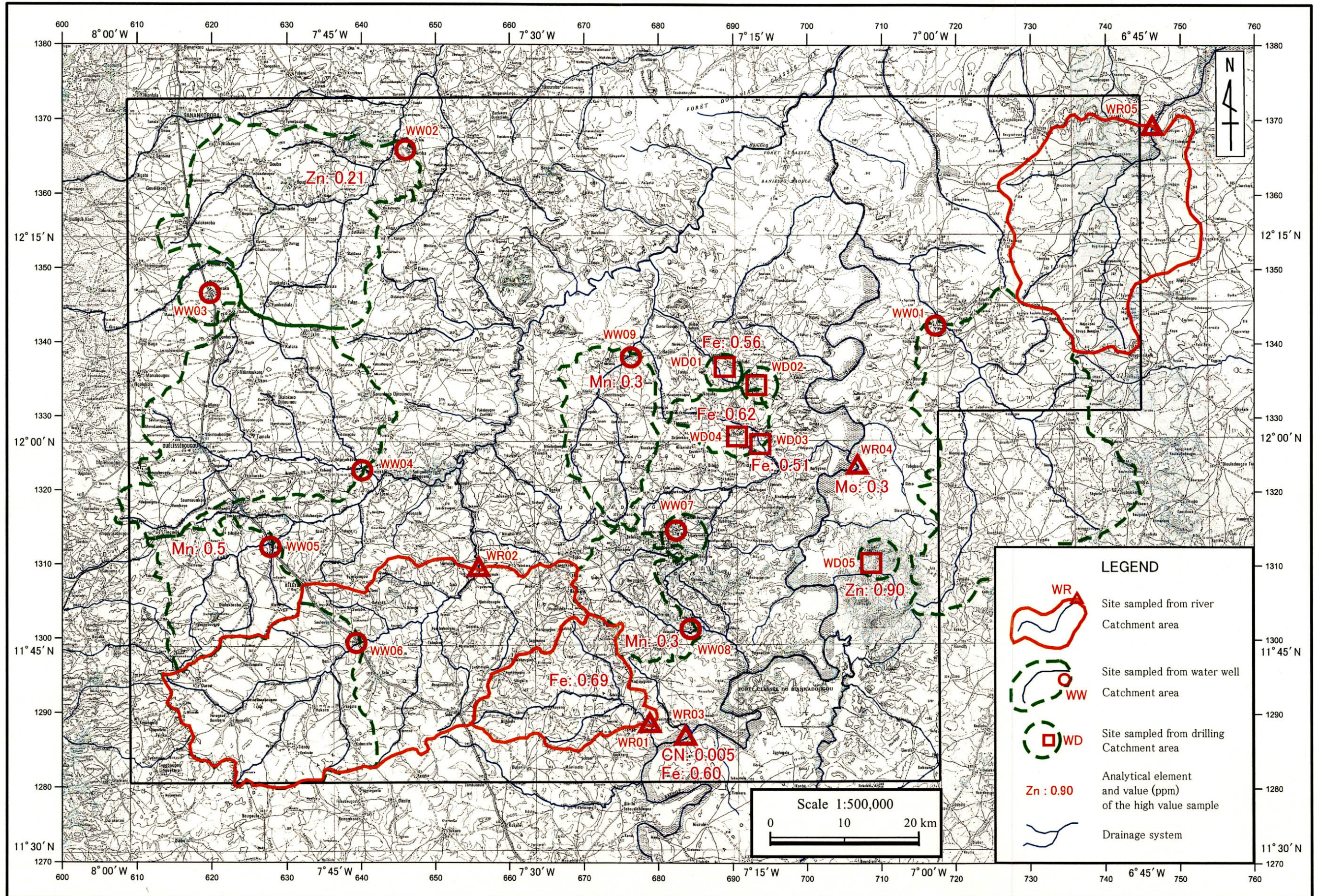


Figure 2-1-3 Carte du résultat de l'analyse sur la qualité de l'eau

- Cr: La plupart de l'eau des échantillons présente la valeur très basse de 0,00 mg/l ou 0,01 mg/l.
- Ni: Toute l'eau des échantillons présente la valeur très basse entre 0,00 mg/l et 0,03 mg/l.
- As: La plupart présentent la valeur très basse de moins de 2mg/l (moins de la limite de détection).
- COD: La plupart de l'eau des échantillons présente la valeur basse de moins de 3 mg/l. WR02 et WR05 de l'eau de la rivière présente la valeur haute de plus de 8 mg/l.

1-4 La recherche météorologique

1-4-1 La méthode de la recherche

Nous avons installé le système d'observation météorologique dans le village de notre camp, Dogo, qui se situe presque au centre de la zone de la recherche. Ainsi, nous avons établi le système d'observation automatique. Les articles d'observation sont la température, l'humidité, la quantité des précipitations, la direction et la vitesse du vent, et la quantité de soleil.

La position de l'installation est le terrain inoccupé à côté du camp. Elle se situe à plus de 20 mètres de distance des bâtiments et des arbres voisins. La hauteur de l'hygromètre et du thermomètre est 1,5 m au-dessus du sol. Celle de l'anémomètre, de la girouette, et de l'actinomètre est 2,5 m au-dessus du sol. Le pluviomètre est installé à 10 cm au-dessus du sol, sur le support en béton. [Photo 5 / Annexe]

Le système de cette observation se constitue de ces cinq détecteurs, des trois appareils automatiques de la mesure des données, des deux boîtes de pile. Comme il n'y a pas du courant d'électricité à Dogo, nous avons utilisé la pile de lithium en tant que la source d'énergie électrique. La mesure se fait toutes les heures. Les valeurs mesurées dans chaque détecteur sont épargnées dans la mémoire interne de l'appareil automatique de la mesure des données. Ainsi, les valeurs de mesure pour une année peuvent être conservées. La valeur conservée peut être lue par *flash memory* en forme de la carte, et transmise en ordinateur pour l'analyse des données. Nous présentons le contenu et la méthode d'observation météorologique dans le Appendice 8 à la fin de notre rapport.

En tant que les données existantes, nous avons recueilli les données météorologiques de ces dernières cinq années (1996~2000) de Bougouni qui se situe au sud de la zone de la recherche. Les contenus des données sont comme suit: la

température maximale moyenne par moi, la température minimale moyenne par moi, l'humidité maximale moyenne, l'humidité minimale moyenne, la quantité totale des précipitations, la quantité maximale des précipitations par jour, le nombre des jours de précipitation, la direction du vent qui est observée la plus souvent. Nous les présentons dans le Appendice 10 à la fin de notre rapport.

1-4-2 Le résultat de la recherche

Nous avons achevé l'installation du système d'observation météorologique le 2 février 2001, et avons commencé l'observation à partir du midi de ce même jour. Nous allons récupérer les données conservées à l'occasion de la recherche de l'année prochaine. Cette fois-ci, nous avons récupéré la valeur des observations de trois jours du 2 au 5 février. Nous présentons ce résultat des observations dans le Appendice 9 à la fin de notre rapport. Parmi ces données, nous présentons, ci-dessous et dans la Figure 2-1-4, la variation par jour de la température et de l'humidité du 4 février. De plus, nous présentons les données météorologiques de Bougouni pour les années 1996~2000 dans la Figure 2-1-5.

(1) La valeur d'observation à Dogo au 4 février 2001.

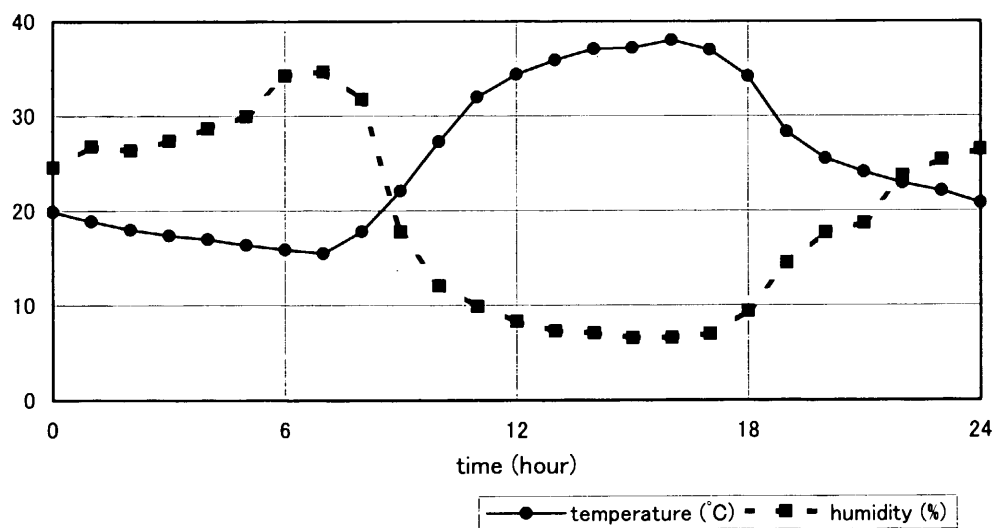


Figure 2-1-4 Variation par jour des données météorologiques (Dogo)

La température maximale est 38,0°C à 16h, et la minimale, 15,5°C à 7h. A partir du minuit jusqu'à 7h, la température est doucement en baisse. Une fois qu'elle devient la plus basse à 7h juste après la levée du soleil, elle monte brusquement, et dépasse 30°C à 11h. Entre 13h et 17h, la température demeure de 35C à 38C, et de

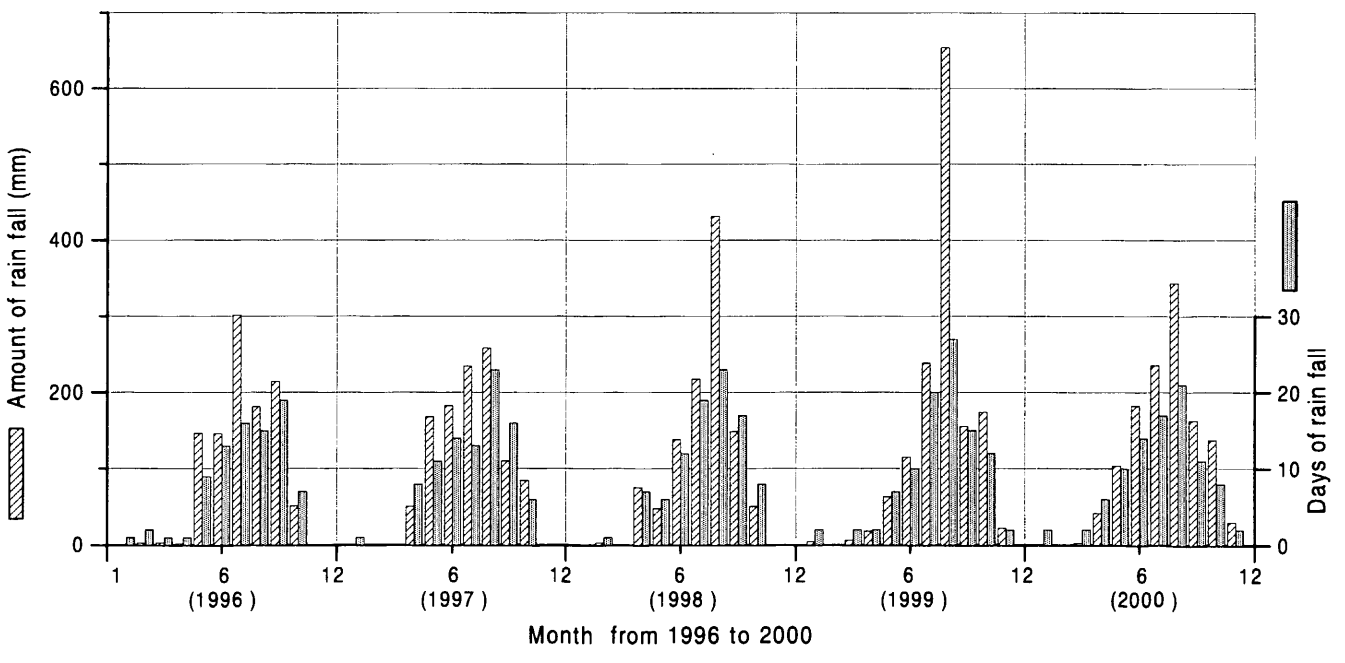
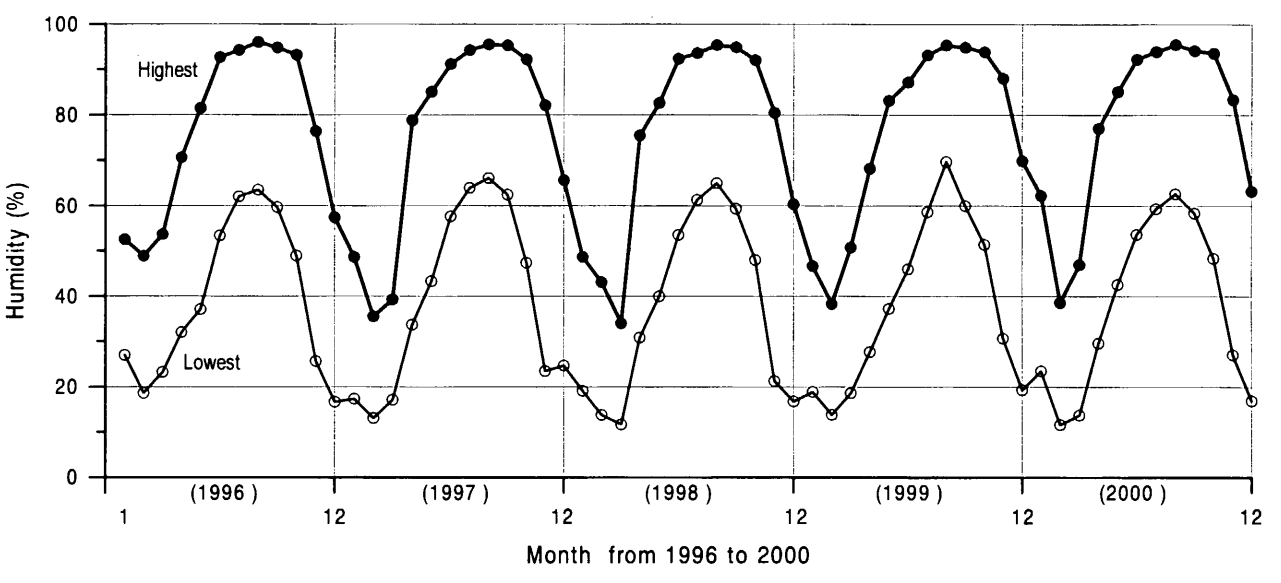
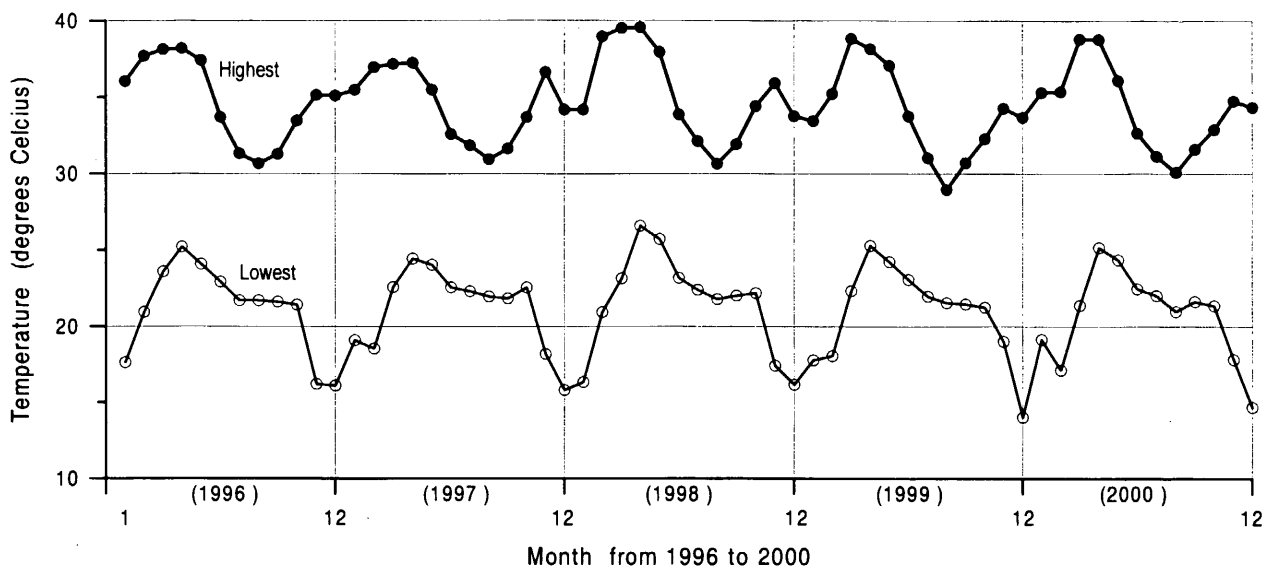


Figure 2-1-5 Variation annuelle des donnees meteorologiques (Bougouni)

18h juste avant la couche de soleil à 19h après la couche, elle descend brusquement. Entre 19h et le minuit, la température descend doucement.

L'humidité maximale est 34,7% à 7h, la minimale, 6,6% à 15h. Comme vous voyez dans la Figure, la température et l'humidité présentent clairement la proportion inverse. Du minuit à 7h, l'humidité augmente un peu brusquement. Une fois qu'elle devient maximale à 7h, elle diminue brusquement, et dépasse moins de 10% à 11h. Entre 13h et 17h, l'humidité demeure environ 7%, et augmente brusquement de 18h jusqu'au minuit.

(2) Les valeurs d'observation à Bougouni de 1996 à 2000

D'après les données d'observation de ces dernières cinq années, nous pouvons reconnaître le même cycle météorologique annuel, qui correspond d'une façon relativement claire, à la saison des pluies et à la saison sèche. Les phénomènes qui sont un peu différents des autres années sont comme suit. L'humidité de février et de mars en 1996 est relativement élevée. La température de février à d'avril en 1998 est élevée. La quantité des précipitations au mois d'août en 1999 est très importante, et la température est un peu basse.

La maximale et la minimale mensuelles sont comme suit.

Observation item	Maximum month / Value observed	Minimum month / Value observed
Average of highest temperature	April or March / 37~39 °C	August / 29~31 °C
Average of lowest temperature	April / 24~27 °C	December / 14~16 °C
Average of highest humidity	August / 95~96 %	February or March / 34~49 %
Average of lowest humidity	August / 63~70 %	February or March / 11~19 %
Precipitation	August or July / 260~650 mm/month	November to March / 0 mm/month
Days of rain fall	August or September / 19~23 days	November to March / 0 day

De l'avril à l'octobre, la direction du vent est principalement ouest, accompagné du vent sud. En novembre, le vent est. De décembre à mars, le vent du nord, ou du nord-est souffle principalement.

En ce qui concerne la variation de la température par mois, la maximale et la minimale ne se varient pas d'une même manière. Pour la température maximale, la période entre novembre et mai est celle de la haute température, et entre juin et octobre, celle de la basse température. Mais, pour la température minimale, la période entre novembre et février est celle de la basse température, et la période entre mars et octobre est celle de la haute température. Or, en ce qui concerne la variation de l'humidité par mois, la maximale et le minimale se varient d'une même manière. La maximale et la minimale sont tous les deux basses entre décembre et mars, et hautes entre mai et octobre. La quantité des précipitations est plus de 100 mm/mois entre mai et octobre, et 0~10mm/mois entre décembre et mars.

D'après les données ci-dessus, nous pouvons résumer le climat de la zone de la recherche comme suit.

- novembre~février: Peu de pluie, et sèche. La température maximale est élevée, mais la minimale est basse. Relativement agréable. La période entre janvier et mars est la plus sèche de l'année.
- mars~mai: Peu de pluie et sèche. Les températures maximale et minimale sont tous les deux élevées, et il fait très chaud. C'est la période la plus chaude de l'année.
- juin~octobre: Les jours des pluies sont nombreux. Beaucoup de l'humidité. La température maximale est basse, et la minimale, un peu élevée.

1-5 La réflexion

(1) Le bilan hydrologique

Le climat de la zone de la recherche est largement divisé en la saison des pluies et la saison sèche. Le bilan hydrologique est considérablement différent d'après ces deux saisons. Nous présentons ci-dessous le bilan hydrologique qui a été inféré du point de vue de la situation de la topographie, de la géologie, et du climat. Nous présentons aussi le diagramme de la variation successive dans la Figure 2-1-6.

L'eau dans la saison des pluies n'infiltrer pas immédiatement sur les lieux au sous-sol. Elle coule sur la surface de la terre, et se réunit dans les rivières petites et grandes, ou bien fait la flaque de l'eau dans le terrain creux. Dans la saison des pluies, il y a beaucoup d'humidité, et la température est relativement basse en comparaison de la saison sèche. Ainsi, la vitesse du courant dans la rivière est lente, et il n'y a pas beaucoup de ventilation. L'eau sur la surface de la terre infiltre unilatéralement dans le sous-sol, et le niveau de l'eau souterraine monte.

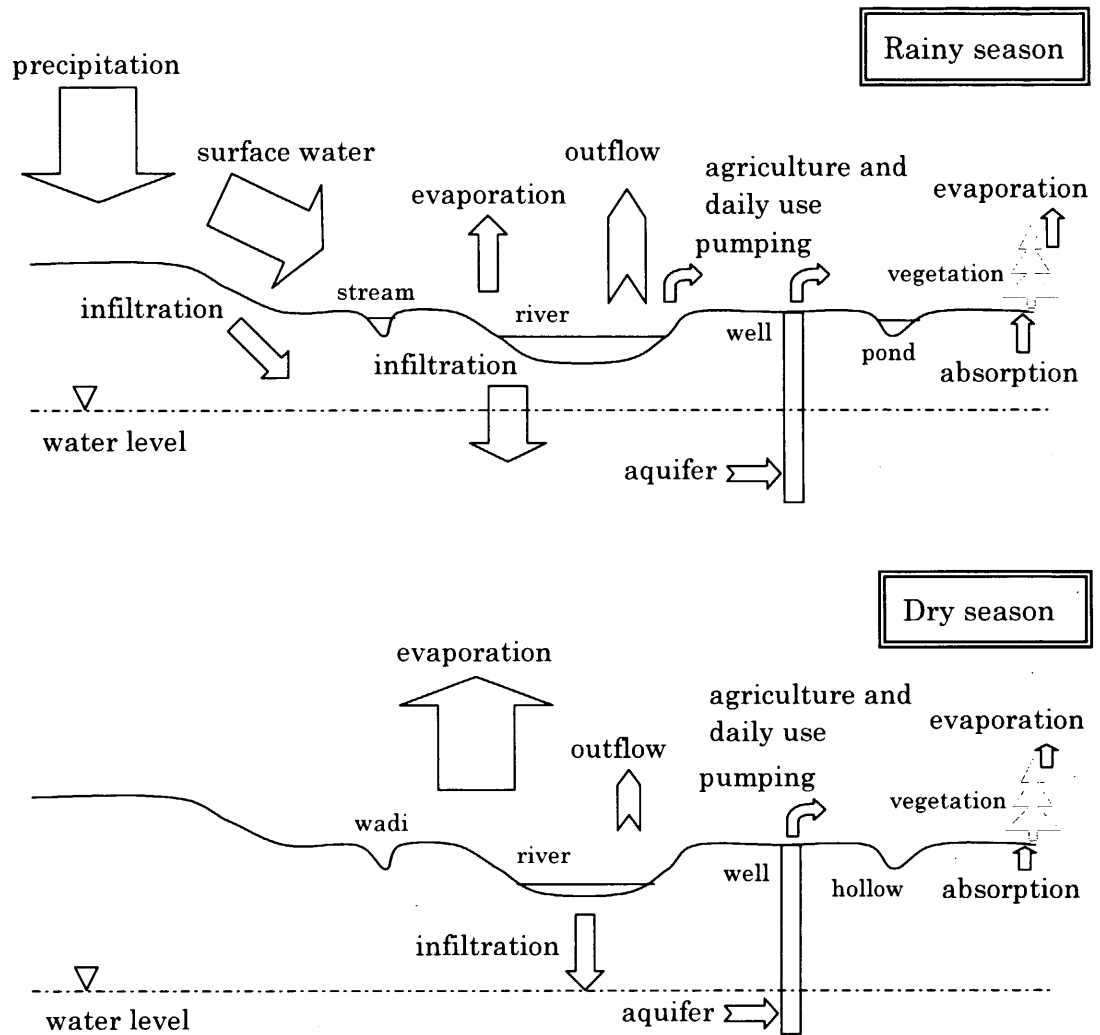


Figure 2-1-6 Diagramme de la variation successive du bilan hydrologique

Dans la saison sèche, il n'y a pas de pluie, et la quantité de vaporisation augmente dans la situation du beau temps, de la haute température, et de la basse humidité. Ainsi, l'eau souterraine se vaporise. A mesure que la quantité de vaporisation augmente, la flaque de l'eau disparaît, et le courant de rivière est interrompu de sorte que la plupart des rivières dessèchent. En même temps, le niveau de l'eau souterraine est en baisse. Mais, l'eau souterraine des puits de l'eau qui ont été forés à la profondeur de 40~60m ne dessèche pas.

La géologie de la zone de la recherche se constitue de la roche de granite et de la roche métamorphique faible, et il n'y a pas beaucoup de la fissure dans la roche. Le sol devient remarquablement latérite et argile, en se développant en épaisseur moyenne d'environ 30m. Le sol d'argile conserve bien l'eau, mais sa transmissibilité

n'est pas bonne. C'est pourquoi la transmissibilité de la couche n'est pas généralement élevée. Le coefficient de transmissibilité est 10^{-3} ~ 10^{-4} pour le groupe de haut coefficient, et 10^{-5} pour le groupe du bas coefficient. La nappe aquifère devrait exister à la frontière de la roche et du sol de latérite, dans la grande couche comme celle du granule dont le taux d'interstice est grand, et dans la fissure de la roche, et dans la fracture.

(2) La qualité de l'eau

En général, un peu de turbidité est reconnue dans la rivière, mais l'eau souterraine est propre à l'œil nu. Du point de vue de la qualité de l'eau, aucune valeur négative est reconnue.

L'eau dans la rivière présente la faible alcalinité, et l'eau souterraine présente la faible acidité, car dans le sous-sol peu profond, la qualité de l'eau devient alcaline à cause de l'environnement acide où se développe l'action de latérite, et dans le sous-sol profond la qualité de l'eau devient acide à cause de l'environnement de réduction.

Comme la quantité d'oxygène dissolu est basse, c'est-à-dire entre 2,1 et 3,3, dans l'eau souterraine de cette partie, la réaction de réduction se poursuit, et l'oxygène est consommé. C'est parce que la nappe aquifère est profonde, et les matières organiques qui se produisent dans la vie des riverains sont affluées dans la nappe aquifère (L'eau évacuée dans la vie et l'eau sale s'infiltrent dans le sous-sol sans traitement).

Dans WR02 et WR05, COD est haut, c'est-à-dire plus de 8 mg/l, ce qui est expliqué par le fait que la quantité de la matière organique est beaucoup, qu'il y a beaucoup de matières troubles, et que le fer bivalent et le sulfure sont nombreux.

La caractéristique de l'eau de la surface et souterraine prélevée est comme suit:
1) la teneur des éléments métaux est en général extrêmement basse, car, dans la zone de la recherche, il n'existe pas d'industrie minière qui provoque la pollution des métaux lourds, 2) le même type d'effet négatif par les habitants est peu nombreux, 3) il n'y a pas beaucoup des ressources minérales sauf l'or. On ne sait pas la tendance de la pollution de la matière organique, parce que, dans notre recherche, nous n'avons pas effectué l'analyse de la qualité de l'eau sur les matières organiques.

En général, comme le sol de latérite se développe, la valeur de fer est haute, , ce qui veut dire que la quantité du fer en tant que l'arrière-plan du phénomène naturel est élevée. Dans WD05, les valeurs de F et Zn sont hautes, parce que la zone de Kékoro, la zone du prélèvement, est considérée comme la vaste zone de minéralisation. Il faut remarquer que, dans WR03, CN présente la seule valeur significative, bien que ce ne soit pas haute.