

ANNEXE 6B

Étude baseline des eaux de surface

SURFACE WATER BASELINE REPORT

**Préparé pour
Rio Tinto Ltd**

Rapport préparé par



SRK Consulting (UK) Limited
UK31243

DROITS D'AUTEUR ET CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

Les droits d'auteur (et tout autre droit de propriété intellectuelle applicable) de ce document et toute donnée ou tout modèle qui l'accompagnent et qui sont créés par SRK Consulting (UK) Limited (SRK) sont réservés par SRK et protégés par la législation internationale sur les droits d'auteur et autres. Les droits d'auteur sur tout élément constitutif de ce document tel que les illustrations sont détenus et réservés par le détenteur des droits d'auteur tel que mentionné dans ce document.

L'utilisation de ce document est strictement soumise aux conditions concédées par SRK aux destinataires désignés de ce document ou aux personnes auxquelles SRK a consenti à ce qu'il soit transféré (les « destinataires »). Sauf accord contraire de SRK, ceci ne confère aucun droit à aucun tiers. Ce document ne peut être utilisé ou invoqué à aucune fin autre que celle pour laquelle il est indiqué dans le présent document, et SRK ne peut être tenu responsable d'aucune perte ni aucun dommage causé par une telle utilisation ou invocation. Dans le cas où le destinataire du présent document souhaiterait en utiliser la teneur à l'appui de toute fin au-delà ou en dehors de celle expressément indiquée ou pour lever des fonds auprès d'un tiers lorsque le document n'est pas utilisé dans sa forme complète à cette fin, le destinataire doit, avant une telle utilisation, présenter à SRK une ébauche de tout rapport ou document produit par lui susceptible d'incorporer une partie quelconque de la teneur de ce document pour examen afin que SRK puisse s'assurer que celui-ci est présenté d'une manière qui reflète fidèlement et raisonnablement tout résultat ou toute conclusion produits par SRK.

Ce document ne peut être distribué à un tiers que dans son intégralité, comme le prévoit SRK, et ne peut être reproduit ou diffusé dans le domaine public (en tout ou en partie) ni sous aucune forme remaniée, abrégée ou autrement modifiée sauf accord exprès de SRK. Aucune autre œuvre du titulaire des droits d'auteur ne peut être séparée du présent document, utilisée ni reproduite à aucune autre fin que dans le cadre du présent document dans son intégralité, sous licence de SRK. Dans le cas où ce document serait divulgué ou distribué à un tiers, aucun dit tiers ne sera habilité à accorder foi aux informations, garanties ou déclarations susceptibles de figurer dans ce document, et les destinataires de ce document devront indemniser SRK de toute réclamation, toute perte et tout coût qui pourraient être encourus par SRK concernant ces dits tiers.

© SRK Consulting (UK) Limited 2022

version : Aug22_v1

Entité juridique SRK :	SRK Consulting (UK) Limited	
Adresse de SRK :	5th Floor Churchill House 17 Churchill Way Cardiff, CF10 2HH Pays de Galles, Royaume-Uni.	
Date :	December, 2022	
Numéro du projet :	UK31243	
Directeur de projet chez SRK :	Tony Rex	Consultant d'entreprise (hydrogéologie)
Gestionnaire de projet chez SRK :	Dylan John	Consultant supérieur (gestion de projet)
Entité juridique cliente :	Rio Tinto Iron Ore Atlantic Ltd	
Adresse du client :	6 St James Square London, SW1Y 4AD Angleterre, Royaume-Uni	

Table des matières

1	INTRODUCTION	4
2	DONNEES HYDROMETRIQUES REGIONALES	4
3	DONNEES HYDROMETRIQUES DU SITE MINIER	15
	3.1 Réseau de drainage	15
	3.2 Contexte historique	15
	3.3 Réseau hydrométrique et disponibilité des données	18
	3.4 Fiabilité des données	18
4	DONNEES HYDROLOGIQUES DE REFERENCE	19
	4.1 Débits totaux	19
	4.1.1 Introduction	19
	4.1.2 Bassin versant de Miya	23
	4.1.3 Bassin versant de Loffa	26
	4.1.4 Bassin versant de Woron	29
	4.1.5 Bassin versant de Dianiworo	32
	4.1.6 CBassin versant de la Soumourou	32
	4.1.7 Bassin versant de Fokou ouest	35
	4.1.8 Bassin versant de Siankoun	38
	4.2 Régulations du débit	41
	4.3 Séparation débit de base/débit orageux	41
	4.4 Composantes du débit : débit orageux	42
	4.4.1 Introduction	42
	4.4.2 Débit orageux dans les petits bassins versants	43
	4.4.3 Débit orageux dans un bassin versant plus grand	44
	4.5 Composantes du débit : débit de base	48
	4.5.1 Introduction	48
	4.5.2 Bassin versant de Mala	48
	4.5.3 Bassin versant de Miya	51
	4.5.4 Bassin versant de Loffa	54
	4.5.5 Bassin versant de Woron	57
	4.5.6 Bassin versant de Dianiworo	59
	4.5.7 Bassin versant de la Soumourou	59
	4.5.8 Bassin versant de Fokou ouest	62
	4.5.9 Bassin versant de Siankoun	65
	4.5.10 Hydrogrammes de débit de base	68
	4.5.11 Indice de débit de base	69
5	CONCLUSION	71
6	RÉFÉRENCES	I



Liste des tableaux

Tableau 2-1 :	résumé des débits (m ³ /s) aux stations hydrométriques régionales des rivières en aval du site minier	6
Tableau 3-1 :	bassin versant des montagnes Ouéléba et Pic de Fon*	16
Tableau 4-1 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de Mala ¹	23
Tableau 4-2 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de Miya ¹	23
Tableau 4-3 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de Loffa ¹	29
Tableau 4-4 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de Woron ¹	29
Tableau 4-5 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de rivière Dianiworo ¹	32
Tableau 4-6 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de la rivière Soumourou ¹	35
Tableau 4-7 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique ¹	35
Tableau 4-8 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de la rivière Siankoun ¹	38
Tableau 4-9 :	pourcentage de ruissellement orageux dans les petits bassins versants, Ouéléba (OUL) et Pic de Fon (PDF)	43
Tableau 4-10 :	composantes du débit, bassin versant Whisky 1, saison humide 2007	43
Tableau 4-11 :	détails des épisodes orageux, 22-23 août et 25-26 août 2012 sur la rivière Miya à Nionsonmoridou	45
Tableau 4-12 :	débits de base de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de Mala ¹	51
Tableau 4-13 :	débits de base de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de Miya ¹	51
Tableau 4-14 :	débits de base de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de la Loffa ¹	57
Tableau 4-15 :	débits de base de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de la Woron ¹	59
Tableau 4-16 :	débits de base de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de rivière Dianiworo ¹	59
Tableau 4-17 :	débits de base de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de rivière Soumourou ¹	62
Tableau 4-18 :	débits de base de centile normalisés (l/s/km ²), rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique ¹	62
Tableau 4-19 :	débits de centile normalisés (l/s/km ²), bassin versant de la rivière Siankoun ¹	65
Tableau 4-20 :	valeurs de l'indice de débit de base de bassins versants de référence	70

Liste des figures

Figure 2-1 :	bassins hydrographiques régionaux et réseau hydrométrique national dans la zone minière.....	5
Figure 2-2 :	hydrogrammes saisonniers des principales rivières en aval du site minier	8
Figure 2-3 :	a) débit annuel total dans la Milo, la Dion et le Niger. b) Rivière Milo à Kankan : débit annuel total en proportion du débit annuel total dans le fleuve Niger à Tiguibery	10
Figure 2-4 :	débit annuel total dans la rivière Diani à Bac Diani.....	12
Figure 2-5 :	courbes des débits classés des rivières Milo, Dion, Niger et Diani.....	13
Figure 2-6 :	Courbes des débits classés adimensionnelles des rivières Milo, Dion, Niger et Diani .	14
Figure 3-1 :	cours d'eau et bassins versants d'eaux de surface drainant Ouéléba et Pic de Fon .	17
Figure 4-1 :	stations hydrométriques de référence	20
Figure 4-2 :	courbes des débits classés normalisés des stations KIN2 et MAL dans le bassin versant de la rivière Mala	21
Figure 4-3 :	courbe des débits classés normalisés de la station KIN1 dans le bassin versant de la rivière Mala	22
Figure 4-4 :	courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Miya	24
Figure 4-5 :	courbe des débits classés normalisés de la rivière Farako à Wataferedou.....	25
Figure 4-6 :	courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Loffa.....	27
Figure 4-7 :	courbes des débits classés normalisés des sous-bassins versants dans le bassin versant de la rivière Loffa drainant le Pic De Fon	28
Figure 4-8 :	courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Woron	30

Figure 4-9 :	courbe des débits classés normalisés du déversoir Whisky 5 dans le bassin versant de la rivière Woron	31
Figure 4-10 :	courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Dianiworo.....	33
Figure 4-11 :	courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Soumourou	34
Figure 4-12 :	hydrogramme normalisé de la rivière Fokou ouest au déversoir Fokou ouest	36
Figure 4-13 :	courbe des débits classés normalisés de la rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique	37
Figure 4-14 :	courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Siankoun.....	39
Figure 4-15 :	courbe des débits classés normalisés de la rivière Siankoun à l'aéroport de Beyla...	40
Figure 4-16 :	exemple de séparation du débit de base, du débit intermédiaire et du débit orageux pour la rivière Woron à Orono, 2012-2013	42
Figure 4-17 :	a) précipitations orageuses et ruissellement orageux et b) pourcentage de précipitations et ruissellement orageux dans les petits bassins versants d'Ouéléba et Pic de Fon.	44
Figure 4-18 :	épisodes de crue dans le bassin versant de Miya, 22-23 et 25-27 août 2012.....	47
Figure 4-19 :	courbes des débits de base classés normalisés des stations KIN2 et MAL dans le bassin versant de la rivière Mala	49
Figure 4-20 :	courbe des débits de base classés normalisés de la station KIN1 dans le bassin versant de la rivière Mala	50
Figure 4-21 :	courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Miya	52
Figure 4-22 :	courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Farako à Wataferedou ..	53
Figure 4-23 :	courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Loffa	55
Figure 4-24 :	courbes des débits de base classés normalisés des sous-bassins versants dans le bassin versant de la rivière Loffa drainant le Pic De Fon.....	56
Figure 4-25 :	courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Woron	58
Figure 4-26 :	courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Dianiworo	60
Figure 4-27 :	courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Soumourou	61
Figure 4-28 :	hydrogramme du débit de base quotidien normalisé de la rivière Fokou ouest au déversoir Fokou ouest.....	63
Figure 4-29 :	courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique	64
Figure 4-30 :	courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Siankoun.....	66
Figure 4-31 :	courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Siankoun à l'aéroport de Beyla.....	67
Figure 4-32 :	hydrogrammes de débit de base (supérieur) et de débit de base spécifique (inférieur) de cours d'eau du côté est d'Ouéléba	68
Figure 4-33 :	hydrogrammes de débit de base (supérieur) et de débit de base normalisé (inférieur) de cours d'eau du côté ouest d'Ouéléba	69

Liste des annexes techniques

A	STATIONS HYDROMÉTRIQUES DE RÉFÉRENCE.....	A-1
B	COURBES DE TAUX NIVEAU-DÉBIT.....	B-1
C	FIABILITÉ DES COURBES DE TAUX.....	C-1
D	HYDROGRAMMES DES COURBES DES DÉBITS TOTAUX CLASSÉS ET DES DÉBITS CLASSÉS AUX STATIONS HYDROMÉTRIQUES DE RÉFÉRENCED-1	
E	TAUX DE PRÉCIPITATIONS ET DE RUISELLEMENT DANS LES PETITS BASSINS VERSANTS	E-1

RAPPORT DE RÉFÉRENCE SUR LES EAUX DE SURFACE

1 INTRODUCTION

Le présent rapport fournit des informations de référence sur l'hydrologie des eaux de surface du site minier de Simandou à Ouéléba et Pic de Fon, à l'appui de l'EISE de la mine. Le programme hydrologique de Simandou a consisté en un programme de surveillance du débit dans les bassins versants du site minier et en un collationnement des données hydrométriques obtenues auprès de la Direction nationale de l'Hydraulique (DNH) pour les principaux cours d'eau en aval du site. Toutes les données hydrologiques enregistrées par le programme de surveillance hydrologique du site et fournies par la DNH sont gérées dans une base de données¹ Hydata. Le présent rapport est structuré comme suit :

- La section 2 présente les données hydrométriques des rivières régionales, et décrit leur régime hydrologique.
- La section 3 présente le réseau de surveillance hydrologique du site minier et un résumé des données disponibles.
- La section 4 présente les données hydrométriques du site minier qui servent de base à l'évaluation (rapportée ailleurs) de l'impact de l'aménagement minier sur le débit.

2 DONNEES HYDROMETRIQUES REGIONALES

Le réseau régional de drainage des rivières et des stations hydrométriques est illustré à la Figure 2-1. Le site minier se trouve sur la ligne de partage des eaux entre les rivières Milo et Dion qui coulent vers le nord, affluents du fleuve Niger transfrontalier qui se jette dans le Mali, et la rivière Diani transfrontalière qui coule au sud jusqu'au Libéria et finalement se jette dans le golfe de Guinée. Le réseau hydrométrique est géré par la DNH.

Le Tableau 2-1 résume les débits aux stations hydrométriques régionales sur les rivières Niger, Milo, Dion et Diani en aval du site du projet. La Figure 2-1 montre davantage de stations que la base de données du projet n'en dispose. La Figure 2-2 présente les hydrogrammes des débits quotidiens moyens aux stations hydrométriques en aval du site minier.

¹ Hydata est un système de base de données et analyse hydrologiques conçu par l'institut hydrologique du R.-U. (aujourd'hui appelé *UK Center for Ecology and Hydrology*)

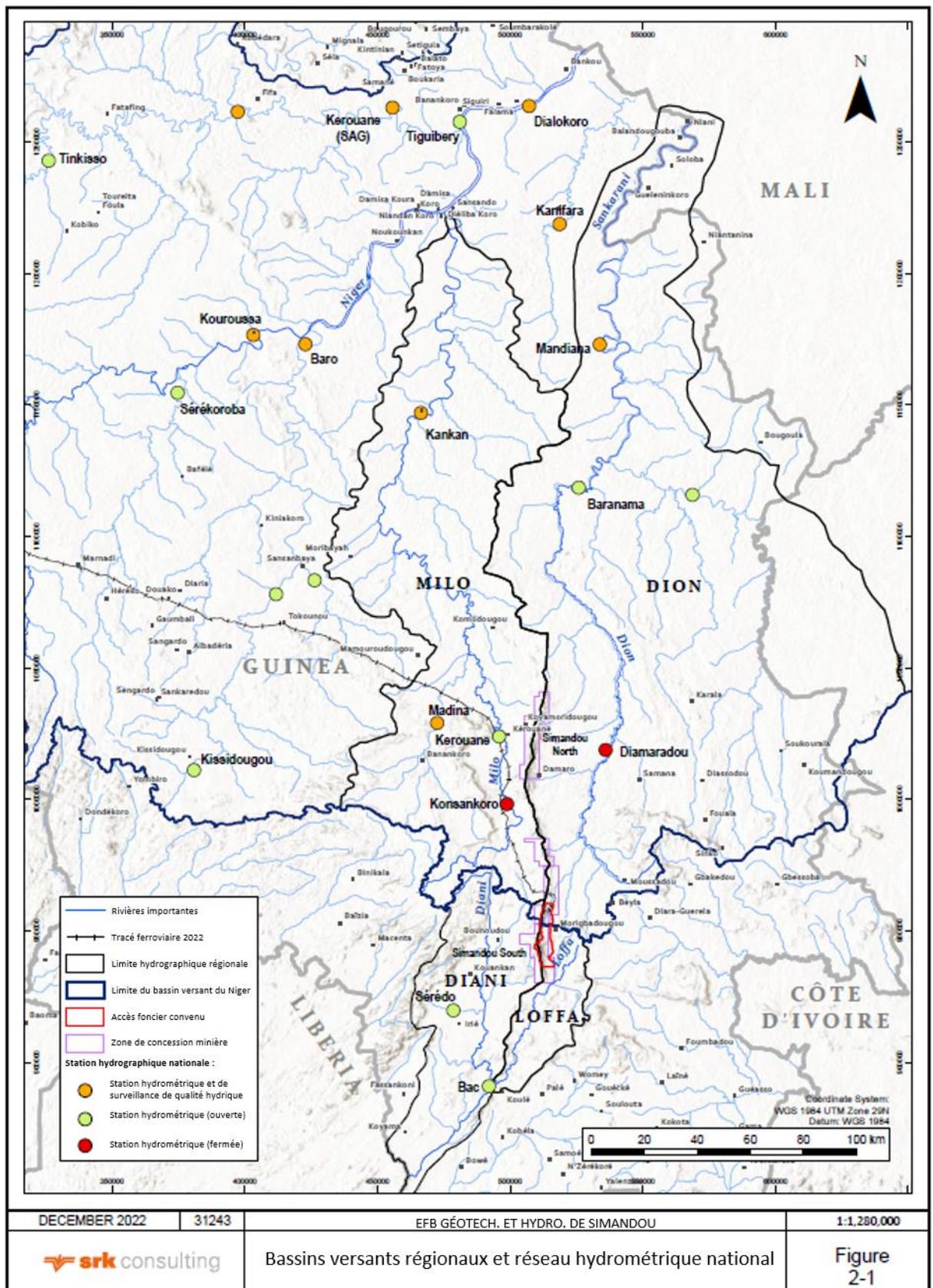


Figure 2-1 : bassins hydrographiques régionaux et réseau hydrométrique national dans la zone minière

Tableau 2-1: résumé des débits (m³/s) aux stations hydrométriques régionales des rivières en aval du site minier

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
Bassin du Niger													
<i>Fleuve Niger à Tiguibery (mai 1952 - décembre 1979), superficie du bassin versant : 67 600 km²</i>													
Moyenne mensuelle	267	139	82.1	63.5	91.7	331	1015	2349	3782	3216	1465	569	1114
Maxi. quotidien	644	342	254	218	487	1840	3440	5230	6700	7170	5630	2080	7170
Mini. quotidien	65.4	36.7	15.8	15.8	20.2	36.7	137	602	1600	949	346	150	15.8
n	24	23	23	23	25	25	26	26	26	26	26	26	
<i>Rivière Milo à Kankan (jan.1952 - fév. 2006), superficie du bassin versant : 9620 km²</i>													
Moyenne mensuelle	32.2	18.7	14.3	16.2	27.8	80.2	224	456	601	398	166	68.7	175
Maxi. quotidien	103.0	62.2	61.3	87.1	144.0	465.0	881.4	911.8	1022	1036	701.6	325.0	1036
Mini. quotidien	2.9	0.5	0.0	0.0	0.7	0.9	1.3	46.3	253.7	81.3	29.3	11.3	0
n	47	47	46	46	46	45	45	44	45	45	45	45	
<i>Rivière Milo à Kérouané (août 1970 - déc. 1980), superficie du bassin versant : 1695 km²</i>													
Moyenne mensuelle	11.8	6,4	4.0	6,2	12.3	33.1	59.1	105	128	74.4	48.4	23.1	42.6
Maxi. quotidien	42.6	13.0	19.7	29.1	63.3	116	179	175	235	187	114	62.9	235
Mini. quotidien	6,3	1.9	1,8	2,1	2,1	3.1	2.4	14.1	62.6	23.9	17.8	7.6	1,8
n	3	4	5	5	6	5	6	8	8	7	7	6	
<i>Rivière Milo à Konsankoro (mars 1955 - déc. 1980), superficie du bassin versant : 990 km²</i>													
Moyenne mensuelle	7.8	6,2	6.8	9.2	11.8	27.4	45.8	67.9	83.9	49.9	22.9	13.0	29.4
Maxi. quotidien	24.8	21.9	40.6	58.7	128	308	341	340	385	322	177	58.7	385
Mini. quotidien	4.2	1.3	0.9	1.0	1.6	2.0	1.6	8.8	8.2	1.6	1.6	2.8	0.9
n	11	13	16	16	19	20	17	20	21	17	14	10	

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
Rivière Dion à Baranama (jan. 1971-mars 2006), superficie du bassin versant : 6590 km²													
Moyenne mensuelle	38.0	28.0	18.7	18.3	33.0	61.5	115.5	212.4	260.6	175.8	91.3	51.5	100.9
Maxi. quotidien	193	159	130	76.6	137	223	377	406	394.2	375	321	193	406
Mini. quotidien	4.2	1.9	1.4	2.7	5.7	14.6	20.8	30.9	104	37.7	15.9	10.5	1.4
n	19	19	19	19	19	23	24	26	26	25	24	21	
Bassin du Diani													
Rivière Diani à Bac (mars 1975-juil. 2006), superficie du bassin versant : 4095 km²													
Moyenne mensuelle	23.6	15.6	16.5	28.8	41.0	69.6	124	246	295	202	103	44.8	92.1
Maxi. quotidien	220	117	182	93.0	154	325	292	514	551	574	551	194	574
Mini. quotidien	10.8	6.8	5.4	4.6	6.8	10.6	16.5	30.6	91.9	71.4	42.5	21.5	4.6
n	28	27	28	29	29	29	28	28	28	28	27	27	

Source : Direction Nationale de l'Hydraulique

n = nombre de mois de chaque mois dans le relevé disponible

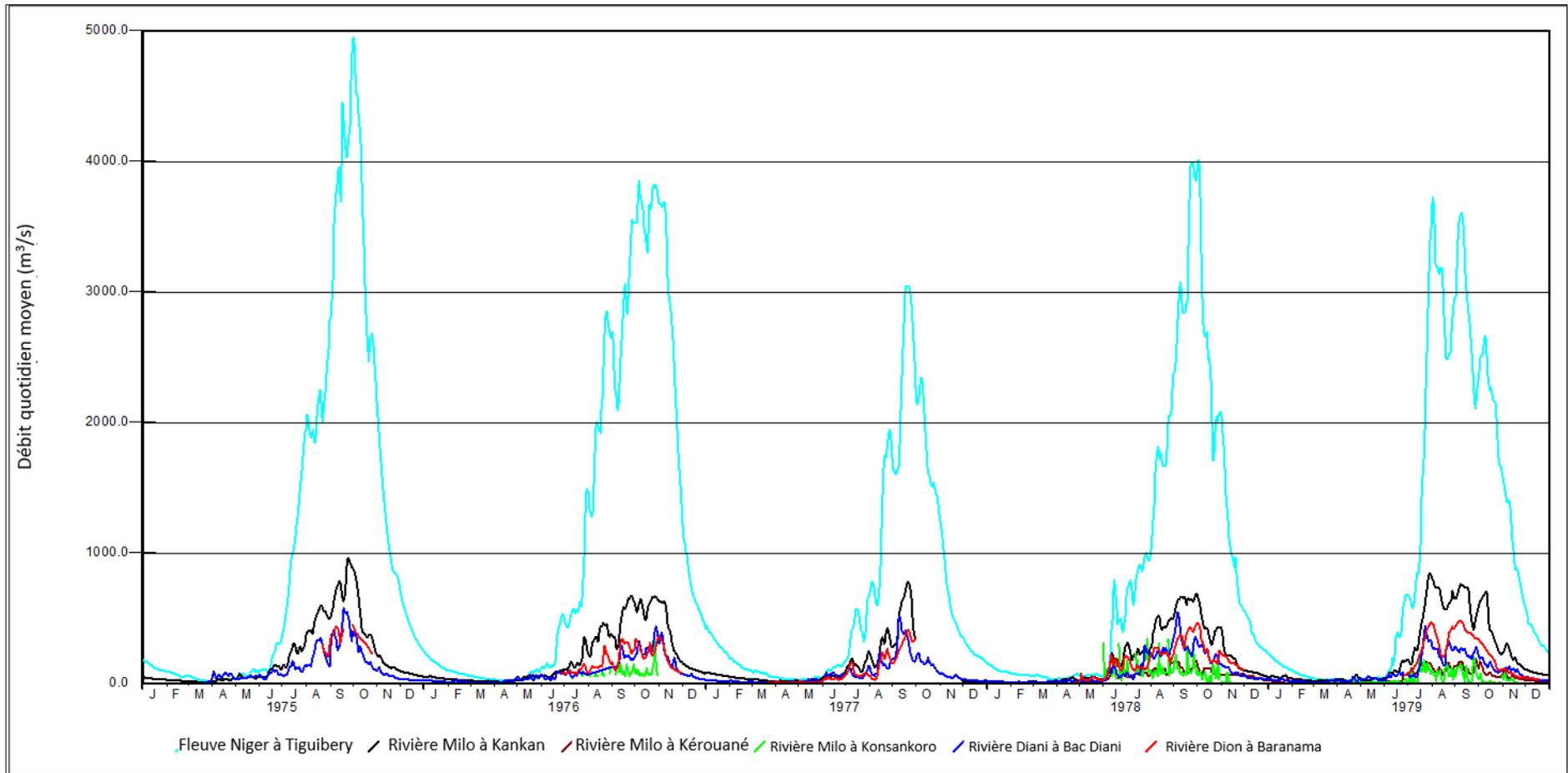


Figure 2-2 : hydrogrammes saisonniers des principales rivières en aval du site minier

Les débits augmentent graduellement après le début de la saison pluvieuse en avril/mai, atteignent leur pic vers septembre, puis s'atténuent à nouveau jusqu'aux conditions de débit de base alimenté par les eaux souterraines en janvier/février. Les pics de débit arrivent plus tôt aux stations en amont plus près du site minier, et la durée de l'hydrogramme des crues saisonnières sera plus longue aux stations en aval qui sont plus éloignées du site et aux stations au sud du site où la saison humide dure plus longtemps.

La chaîne du Simandou forme le cours supérieur sud-est du bassin de la rivière Milo et le cours supérieur sud-ouest du bassin de la rivière Dion/Sankarani. Le débit à Konsankoro et Kérouané sur la rivière Milo et à Baranama sur la rivière Dion provient en grande partie de l'écoulement de l'eau de la chaîne du Simandou. En l'absence d'hydrométrie sur les affluents de la rive gauche (ouest) du Milo et de la rive droite (est) du Dion, ou faute de données disponibles, il est difficile de déterminer la proportion du débit de chaque rivière qui s'écoule depuis la chaîne. Il est par contre possible d'estimer la contribution des rivières Milo et Dion au débit du fleuve Niger. La Figure 2-3 montre le débit annuel total du Niger à Tiguibery, de la rivière Milo à Kankan et de la rivière Dion à Baranama. Le débit dans la rivière Milo en proportion du débit dans le Niger est également représenté. Le débit du Niger (ligne noire) est très variable d'année en année. Le débit dans la rivière Milo (ligne bleue) est beaucoup moins variable, et apporte probablement une plus grande stabilité au régime du Niger en aval de leur confluence. Les stations affichent toutes deux un déclin global à long terme du débit. Le relevé hydrométrique sur le Dion est relativement court, et ne chevauche pas bien les relevés de la rivière Milo et du Niger.

La Figure 2-3 (ligne rouge) montre que, sur une base annuelle, la rivière Milo, telle que mesurée à Kankan, contribuait à hauteur d'environ 18 % du débit du Niger dans les années 1970. Cette proportion a augmenté régulièrement jusqu'à environ 20 % dans les années 1980. La cause de la diminution du débit dans les deux rivières, dans le cas du Milo jusqu'au début des années 1990, est incertaine, mais pourrait être liée au déclin à long terme des précipitations dans la région (voir le rapport Référence climatique locale, section 14). On ne dispose pas de données sur les tendances du débit des rivières au cours des dernières années.

La superficie du bassin versant de la Milo jusqu'à Kankan est de 9 900 km², soit 15 % de la superficie du bassin du Niger jusqu'à Tiguibery. Dans les années 1970, le débit total annuel moyen dans la Milo était d'environ 5 milliards de mètres cubes, soit 0,5 MMC par km². Cela contraste avec le débit moyen du Niger à Tiguibery, de 28 milliards de mètres cubes / 67 600 km² = 0,4 MMC par km². Le bassin versant de la Milo fournit donc 20 % de plus d'eau par unité de surface que le bassin du Niger à Tiguibery dans son ensemble, et constitue donc un affluent relativement important. On peut attribuer l'importance de la Milo à sa position sur le côté ouest de la chaîne du Simandou qui, bien qu'orientée nord-sud, fait face aux vents de mousson ouest-africains qui soufflent du sud-ouest et sont généralement plus humides que le côté est.

La superficie du bassin versant de la Dion jusqu'à Baranama est de 6590 km², soit 10 % de la superficie du Niger jusqu'à Tiguibery. Le débit total annuel moyen dans la rivière fleuve Dion en 1971-1972 était de 2,7 milliards de mètres cubes, soit seulement 7 à 11 % du débit du Niger à Tiguibery. Le débit moyen du bassin versant de la Dion au début des années 1970 était de 0,4 millions de mètres cubes (MMC) par km², soit le même que la moyenne du Niger à Tiguibery. La contribution de la Dion au Niger est donc inférieure à celle de la Milo. Le débit plus faible de la Dion est probablement imputable aux précipitations généralement plus faibles sur le versant est de la chaîne du Simandou que sur le versant ouest.

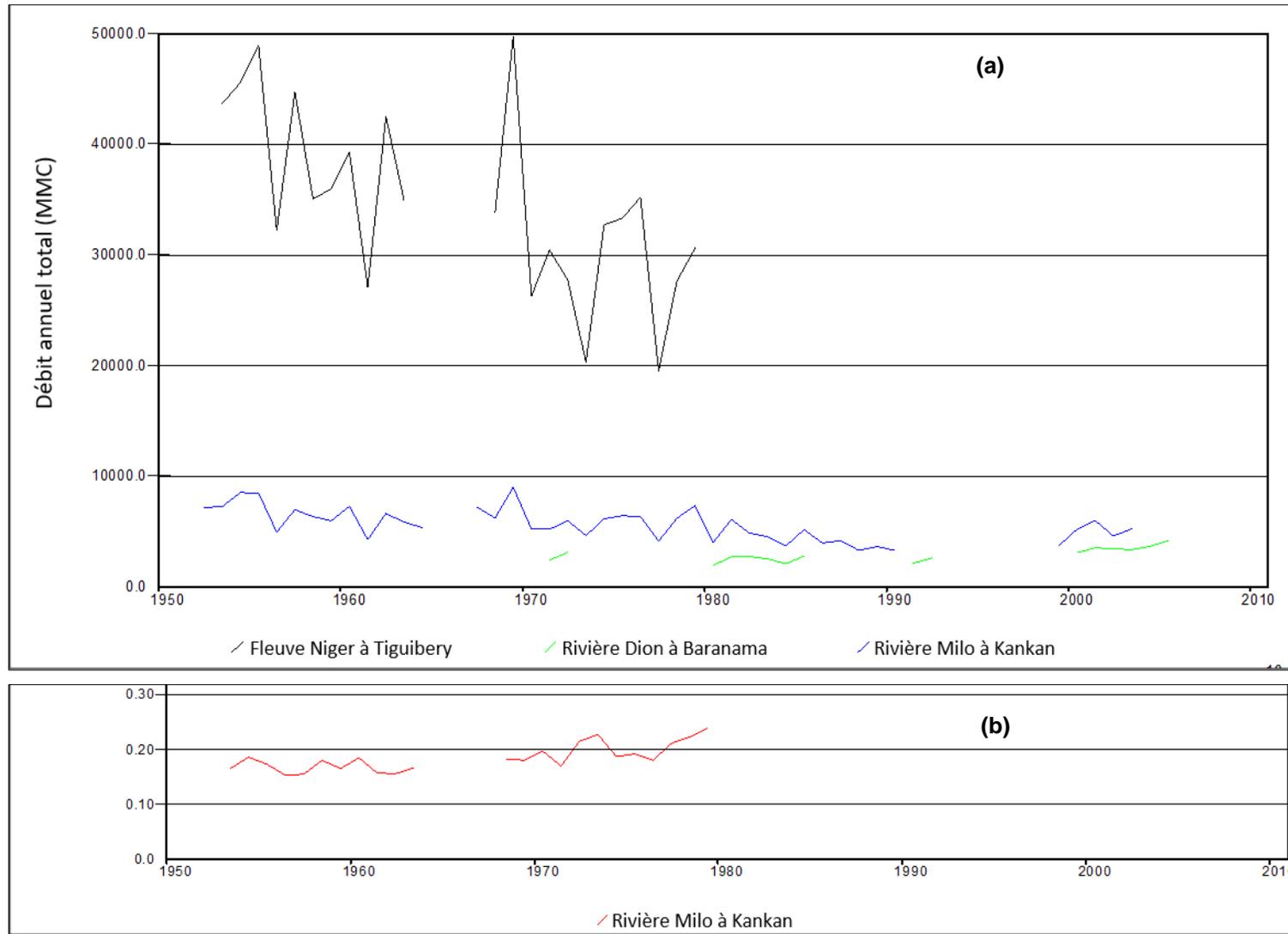


Figure 2-3 : a) débit annuel total dans la Milo, la Dion et le Niger. b) Rivière Milo à Kankan : débit annuel total en proportion du débit annuel total dans le fleuve Niger à Tiguibery

Au sud-est, le site se jette dans la rivière Loffa. Au sud-ouest, le site se jette dans la rivière Diani. La Loffa et la Diani se rejoignent à l'extrémité sud de la chaîne du Simandou. La Figure 2-4 montre les débits annuels totaux mesurés dans la Diani à Bac, juste en aval de la confluence de la rivière Loffa. Les débits annuels à la fin des années 1970 et 1980 étaient en moyenne de 2,5 milliards de mètres cubes. Il semble que, dans les années 1990, le débit ait augmenté de façon marquée, de sorte que, depuis 2000, il est en moyenne de 4 milliards de mètres cubes. La cause de l'augmentation du débit est inconnue. La superficie du bassin versant du Diani à Bac est de 4095 km². Le débit moyen dans les années 1980 était de 0,6 MMC par km², et, depuis l'an 2000, d'un MMC par km², soit le double du débit de la Milo. On peut attribuer le débit plus élevé dans la Diani à sa position sud-ouest par rapport à la chaîne du Simandou et à des précipitations plus élevées.

D'après la période complète de relevé à chaque station, la Figure 2-5 et la Figure 2-6 présentent les courbes des débits classés d'une journée pour les stations hydrométriques de Konsankoro (Milo), Baranama (Dion), Bac (Diani) et Tiguibery (Niger). Une courbe des débits classés est une courbe de fréquence en pourcentage cumulé qui résume le régime d'un cours d'eau, des débits élevés aux débits faibles. La Figure 2-5 montre les débits exprimés en mètres cubes par seconde. La Figure 2-6 montre les débits normalisés en divisant les débits quotidiens par le débit quotidien moyen à long terme à chaque station.

Les courbes des débits classés normalisés de toutes les stations sont tracées ensemble à l'extrémité supérieure de la plage de débits. Vers l'extrémité inférieure de l'échelle de débit, les courbes de la Milo à Kankan et du Niger divergent, ce qui indique que leurs régimes de débit moyen à faible diffèrent. Pour l'heure, on ignore la raison de cette situation, mais cela pourrait être liée aux pertes de chenaux dans leurs vastes plaines inondables. Aux débits les plus bas, la courbe de la Milo se détache de celle du Niger, ce qui indique que le régime de débit de la Milo à l'extrémité la plus basse de l'échelle de débit est différent du régime du Niger. La raison en est inconnue.

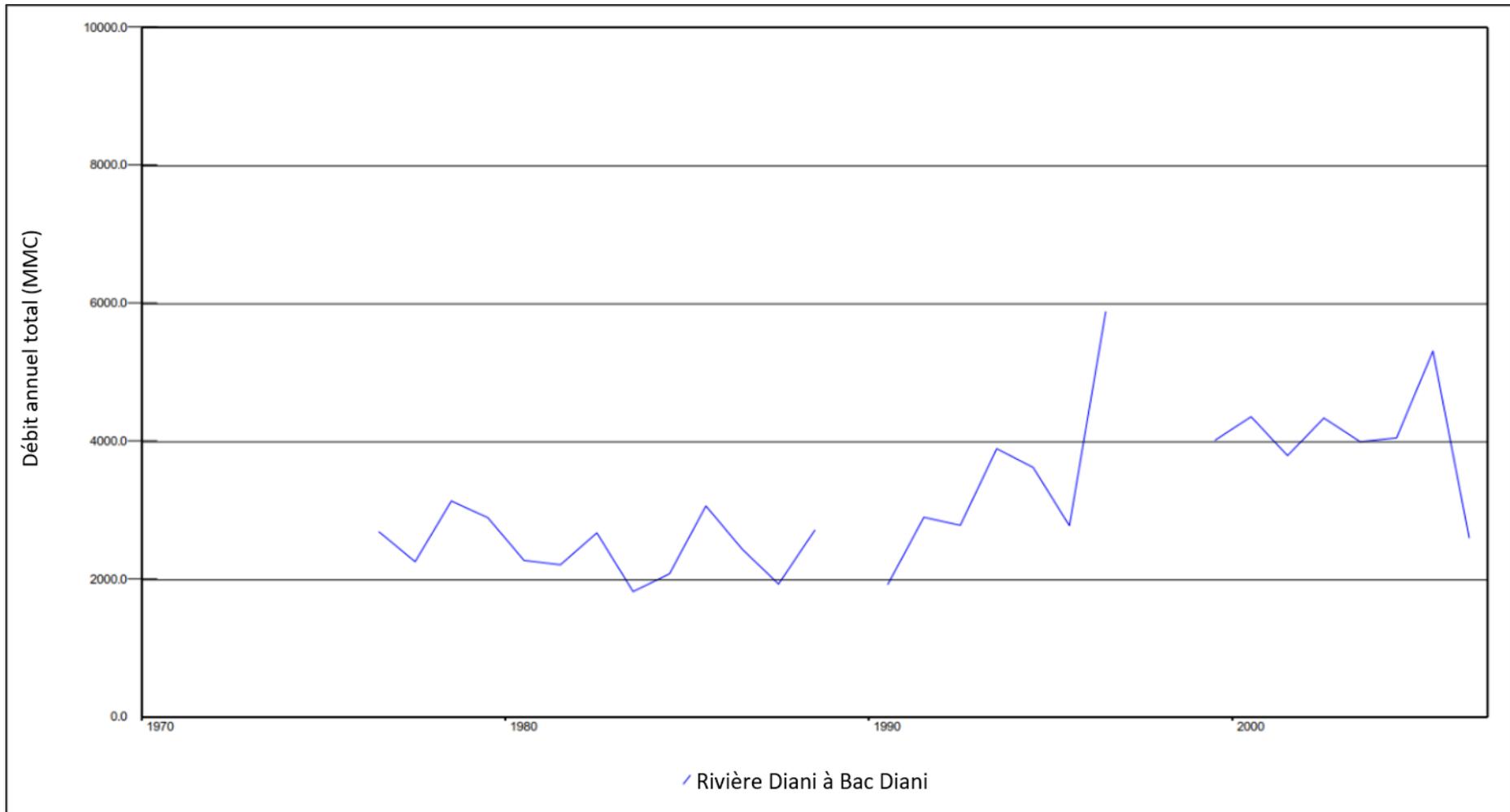


Figure 2-4 : débit annuel total dans la rivière Diani à Bac Diani

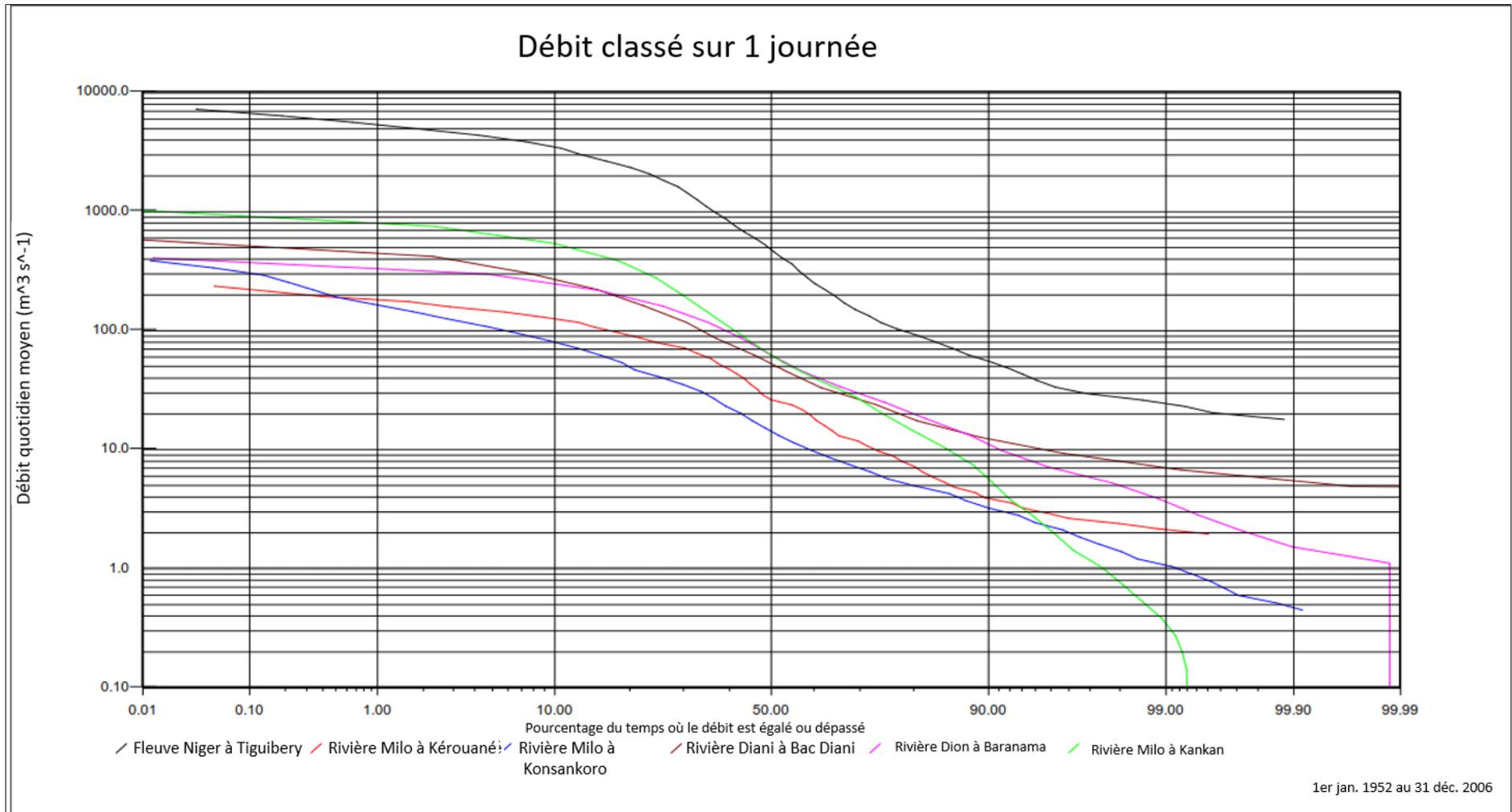


Figure 2-5 : courbes des débits classés des rivières Milo, Dion, Niger et Dian

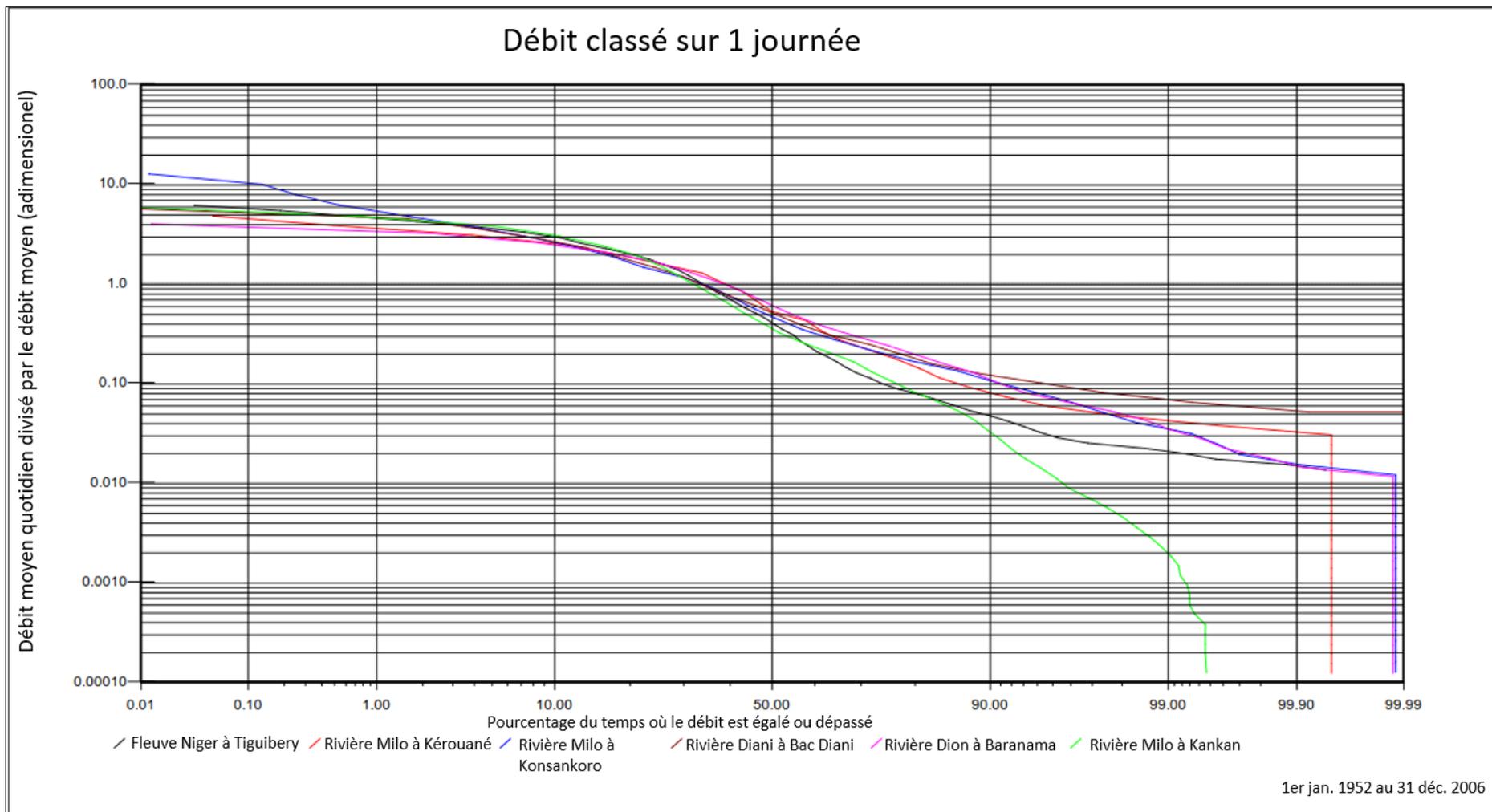


Figure 2-6 : Courbes des débits classés adimensionnelles des rivières Milo, Dion, Niger et Diani

3 DONNEES HYDROMETRIQUES DU SITE MINIER

3.1 Réseau de drainage

La Figure 4-1 montre le réseau de cours d'eau et les bassins versants qui drainent Ouéléba et Pic de Fon. Les bassins versants représentés à la Figure 3-1 sont définis comme primaires, secondaires ou tertiaires. Les bassins versants primaires représentent les principaux bassins hydrographiques associés à la chaîne montagneuse. Ceux-ci se subdivisent en bassins versants secondaires qui adoptent le nom du bassin versant primaire, suivi d'un suffixe numérique. Les bassins versants secondaires sont globalement alignés sur la résolution des bassins versants appliquée lors du processus d'EISE précédent. La subdivision des bassins versants tertiaires applique un suffixe alphabétique aux noms des bassins versants secondaires ; on l'introduit si nécessaire pour discrétiser les impacts des eaux de surface avec un niveau de détail plus élevé, ou quand l'infrastructure minière nécessite une subdivision complémentaire. Ces bassins versants sont présentés dans le Tableau 3-1. Les bassins versants à l'échelle régionale présentés à la section 2 sont également présentés dans le Tableau 3-1. S'il existe d'autres noms des bassins versants, ils figurent entre parenthèses.

La montagne d'Ouéléba est située à cheval sur le bassin hydrologique régional qui sépare les cours d'eau qui s'écoulent au nord jusqu'au fleuve Niger des cours d'eau qui s'écoulent au sud jusqu'à la rivière Diani. Les pentes nord-ouest et nord-est d'Ouéléba sont drainées respectivement par les bassins versants primaires de Mala et Miya. Les rivières Mala et Miya s'écoulent vers le nord jusqu'aux rivières Milo et Dion respectivement (section 2). Les pentes sud-est et sud-ouest d'Ouéléba sont drainées respectivement par les bassins versants primaires de Loffa et Woron.

Le Pic de Fon est drainé par les bassins versants primaires de Woron, Dianiworo et Fokou ouest à l'ouest, et par les bassins versants primaires de Loffa et Fokou est à l'est. Le bassin versant de Fokou est lui-même un affluent de la Loffa. Les bassins versants de Woron et de Dianiworo s'écoulent vers le sud-ouest jusqu'à la rivière Soumourou, qui se jette dans la Diani. Le bassin versant de Fokou ouest s'écoule vers le sud jusqu'à la Diani. Le Loffa s'écoule vers le sud jusqu'à la Diani.

3.2 Contexte historique

Le programme hydrologique des eaux de surface de Simandou a débuté au milieu des années 2000 et comprenait l'installation de stations hydrométriques et la surveillance des débits dans les bassins versants drainant à la fois Pic de Fon et Ouéléba. Des stations ont été établies sur les flancs des montagnes et dans les villages situés près du pied des montagnes. Les données hydrométriques ont été recueillies de façon intensive jusqu'à la fin de la décennie, mais à partir de 2014 environ, la collecte automatique de données et les mesures hydrométriques pour le développement et la surveillance des relations niveau-débit (évaluation) se sont arrêtées pendant que le projet minier était en maintenance. Les relevés manuels des niveaux d'eau se sont poursuivis dans plusieurs stations villageoises, mais sans mesure du débit pour les relations niveau-débit. Il en résulte pour la période 2014-2021 une lacune dans la disponibilité de relevés hydrométriques fiables à de nombreuses stations.

La rénovation du réseau et la collecte de données ont commencé en 2021. Au moment de la rédaction du présent rapport (octobre 2022), des mesures de débit régulières pour vérifier les relations niveau-débit sont en cours dans 18 des 35 stations. Les relations niveau-débit seront vérifiées une fois que des données suffisantes auront été recueillies. Les relevés hydrométriques des stations villageoises n'ont pour la plupart pas encore été prolongés au-delà de 2014 en raison de l'incertitude sur les relations niveau-débit après 2014. C'est pourquoi les données de référence présentées dans ce rapport portent sur les données recueillies entre 2005 et 2014 environ.

Tableau 3-1 : bassin versant des montagnes Ouéléba et Pic de Fon*

Régional	Primaire	Secondaire	Tertiaire
Milo	Mala	Mala1	
	Mala	Mala2 (Kinyeko)	Mala2a
	Mala	Mala2 (Kinyeko)	Mala2b
	Mala	Mala2 (Kinyeko)	Mala2c
	Mala	Mala2 (Kinyeko)	Mala2d
	Mala	MALA3	
	Mala	MALA4	
	Mala	MALA5	
Dion	Miya	Miya1	Miya1a
	Miya	Miya1	Miya1b (Boyboyba)
	Miya	Miya1	Miya1c
	Miya	Miya2	
	Miya	Miya3	
	Miya	Miya4	
	Miya	Miya5	
	Miya	Miya6	
	Miya	Miya7	
	Miya	Farako1	Farako1a
	Miya	Farako1	Farako1b
	Miya	Farako1	Farako1c
	Diani	Woron	Woron1
Woron		Woron1	Woron1b
Woron		Woron1	Woron1c
Woron		Woron1	Woron1d
Woron		Woron2 (Worongbe)	Woron2a
Woron		Woron2 (Worongbe)	Woron2b
Woron		Woron3	Woron3a
Woron		Woron3	Woron3b
Woron		Woron3	Woron3c
Dianiworo		Pulowaye	
Dianiworo		Wolou	
Dianiworo		Dianiworo	
Fokou ouest		Fokou ouest supérieur	
Loffa		Loffa	Loffa1
	Loffa	Loffa2	Loffa2a
	Loffa	Loffa2	Loffa2b
	Loffa	Loffa2	Loffa2c
	Loffa	Loffa2	Loffa2d
	Loffa	Loffa3	
	Loffa	Loffa4	Loffa4a
	Loffa	Loffa4	Loffa4b
	Loffa	Loffa4	Loffa4c
	Loffa	Loffa5	
Fokou est	Fokou est supérieur		

*Si les bassins versants ont un autre nom local, ce nom est indiqué entre parenthèses.

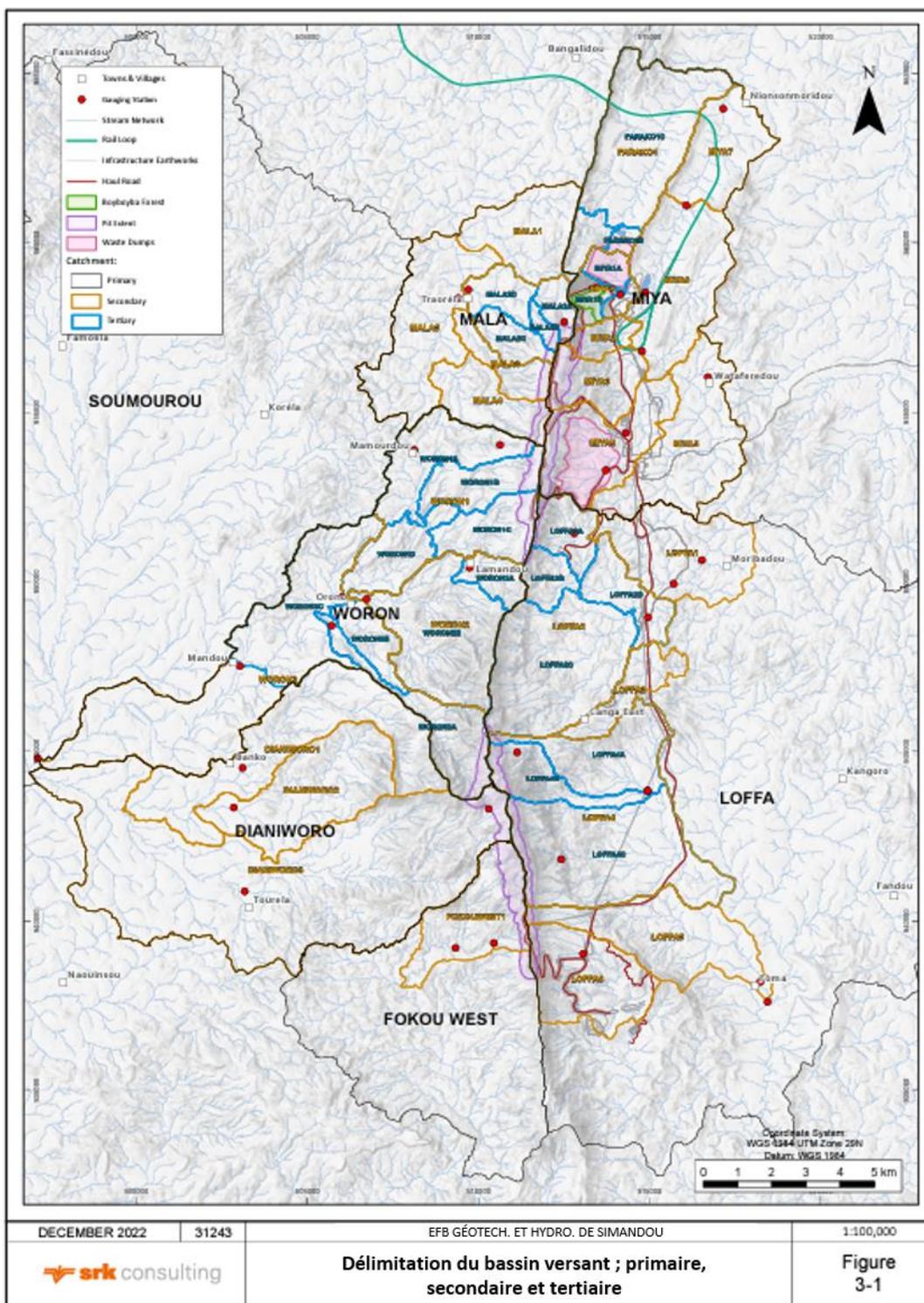


Figure 3-1 : cours d'eau et bassins versants d'eaux de surface drainant Ouéléba et Pic de Fon

3.3 Réseau hydrométrique et disponibilité des données

La liste des stations par bassin versant principal et la période des données disponibles à chaque station sont présentées à l'annexe A. La plupart des stations du réseau comprennent des sections transversales naturelles nominales. Exceptions : pour Ouéléba, la station RGS_MY2 est une section rectangulaire sous le pont Nionsonmoridou ; RGS_KIN1 est un déversoir composé en mince paroi triangulaire et rectangulaire ; RGS_W5W est un déversoir triangulaire en béton. Sur Pic de Fon, les stations RGS_W1W, W2W, W4W et Déversoir de Fokou ouest (FWW) sont des déversoirs triangulaires en béton. Les stations sont équipées de limnimètres et de transducteurs-enregistreurs de pression pour la surveillance continue du niveau de l'eau (les transducteurs enregistrent également la température de l'eau). Les stations situées dans les villages en aval d'Ouéléba et Pic de Fon (RGS_MY2 rivière Miya à Nionsonmoridou, RGS-MAL rivière Mala à Traorela, RGS_KIN2 rivière Kinyeko à Traorela, RGS_WBE1 rivière Worongbe à Lamadou, RGS_LOF2 rivière Loffa à route de Canga est, RGS_LOF3 Loffa à Foma, RGS_WOR3 Woron à Mandou, RGS_DIA Dianiworo à Tourela, RGS_PUL Pulawat Banko et RGS_WOL Wolou à Banko) sont gardées par des observateurs locaux qui enregistrent le niveau, la couleur et la turbidité de l'eau deux fois par jour en plus des données recueillies par les transducteurs de pression à ces stations. De nouvelles stations de surveillance des débits, appelées points de surveillance de référence et des impacts (PSRI), sont en cours d'aménagement autour d'Ouéléba, comme prévu dans le plan de surveillance hydrique de 2022 (SRK, 2022b). L'objectif des stations PSRI consiste à surveiller le débit² de base relativement près du mont Ouéléba, et l'impact que l'assèchement futur de l'aquifère du gisement entraînera sur le débit de base. Sur les cinq PSRI, deux sont situés à des stations hydrométriques de référence (RGS_KIN1 et RGS_W5W) dont les relevés sont présentés ici. Les trois autres PSRI n'ayant que de très courts relevés, ils ne sont pas présentés dans ce rapport.

3.4 Fiabilité des données

L'exactitude des données hydrométriques est contrôlée par l'exactitude du relevé du niveau d'eau et la relation niveau-débit à la station. L'exactitude du relevé du niveau d'eau est la plus élevée aux stations où des observateurs sont en poste. Les données de niveau d'eau recueillies par les observateurs servent à vérifier et ajuster les données enregistrées par les transducteurs de pression et à combler les lacunes du relevé automatique. Là où l'on ne dispose pas d'un observateur local, la vérification et l'ajustement des séries de niveaux d'eau enregistrées font appel à des observations occasionnelles (généralement une fois par mois) de la hauteur par le personnel hydrométrique. Le relevé de niveau d'eau issu des transducteurs de pression a été ajusté pour correspondre au relevé de niveau d'eau observé ou aux mesures de hauteur occasionnelles effectuées au moment du téléchargement des données (à intervalles d'environ un mois). Ces observations ponctuelles ont également servi à élaborer des relations niveau-débit.

² Dans ce rapport, le débit de base est considéré comme étant les eaux souterraines rejetées par les aquifères du gisement, les masses d'eau souterraines perchées dans les lignes de crête d'Ouéléba et Pic de Fon et les aquifères de socle en aval des lignes de crête.

Les relations niveau-débit ont été dérivées pour les stations de référence et ont servi à convertir les relevés de hauteur en débit. Les relations niveau-débit sont illustrées graphiquement à l'annexe B. L'annexe C présente une évaluation de la fiabilité des relations niveau-débit. Dans l'ensemble, les relations niveau-débit sont considérées comme fiables pour les faibles débits, mais moins fiables pour les débits plus élevés en raison de la rareté des mesures à débit élevé sur l'ensemble du réseau.

4 DONNEES HYDROLOGIQUES DE REFERENCE

4.1 Débits totaux

4.1.1 Introduction

La Figure 4-1 montre le réseau de cours d'eau et les bassins versants qui drainent Ouéléba et Pic de Fon, ainsi que les stations hydrométriques des rivières de référence. La Figure 4-1 comprend les bassins versants de Soumourou et de Siankoun ; ils n'ont pas été inclus dans la section 3 ci-dessus car ils ne drainent pas directement les monts Ouéléba et Pic de Fon, mais sont inclus ici car ils contiennent des stations hydrométriques des rivières de référence. Un hydrogramme et une courbe des débits classés du débit journalier (total) moyen à chacune des stations hydrométriques des rivières de référence énumérées à l'annexe A sont présentés à l'annexe D. Les débits des centiles 5, 10, 25, 50, 75, 90 et 95 sont tirés de la courbe des débits classés et tabulés avec le débit quotidien moyen pour la période de relevé à chaque station.

Pour chaque bassin versant primaire drainant Ouéléba et Pic de Fon, les courbes des débits classés ayant des périodes de relevé communes ont été normalisées en divisant par la superficie du bassin versant, et les unités hydrométriques ont été converties en unités de litres par seconde par kilomètre carré. Les débits aux centiles normalisés ont été extraits des courbes des débits classés, et sont présentés par bassin versant primaire. Cette analyse permet d'identifier les similitudes et écarts des débits normalisés entre les sous-bassins, ce qui affine la compréhension de l'hydrologie des cours d'eau drainant le bassin versant d'Ouéléba et Pic de Fon.

Le bassin versant de Mala draine les pentes nord-ouest d'Ouéléba. Le bassin versant est jaugé à trois stations : KIN1 Ouéléba 1 Source, KIN2 rivière Kinyeko à Traorela et MAL Mala à Traorela. La Figure 4-2 montre les courbes des débits classés normalisés des stations KIN2 rivière Kinyeko à Traorela et MAL Mala à Traorela. La Figure 4-3 montre la courbe des débits classés normalisés de la station KIN1, dont la période de relevé diffère des deux autres stations. Le Tableau 4-1 présente les statistiques des débits normalisés aux trois stations hydrométriques.

Les débits normalisés dans la rivière Kinyeko à Traorela toute au long de la plage de débits dépassent ceux de la rivière Mala voisine. En particulier, les débits normalisés de la Kinyeko à l'extrémité inférieure de la plage de débits (à savoir débits aux centiles 90 à 99) sont environ le double des débits de la Mala (Tableau 4-1). Les raisons en sont la structure géologique d'Ouéléba, qui dirige le flux d'eau souterraine dans le gisement vers le nord pour qu'il se jette dans le sous-bassin KIN1. Cette question est abordée plus en détail dans le rapport de référence sur les eaux souterraines (SRK, 2022a).

La courbe des débits classés normalisés de KIN1 Ouéléba 1 Source se situe au-dessus des courbes des stations KIN2 et MAL car elle représente un point de rejet primaire des eaux souterraines provenant de l'aquifère du gisement d'Ouéléba. En dehors de l'extrémité supérieure de la plage de débits, la courbe de la station KIN1 présente une pente beaucoup plus plate indiquant une faible plage de débits. Ceci est cohérent avec le fait que cette station surveille une source.

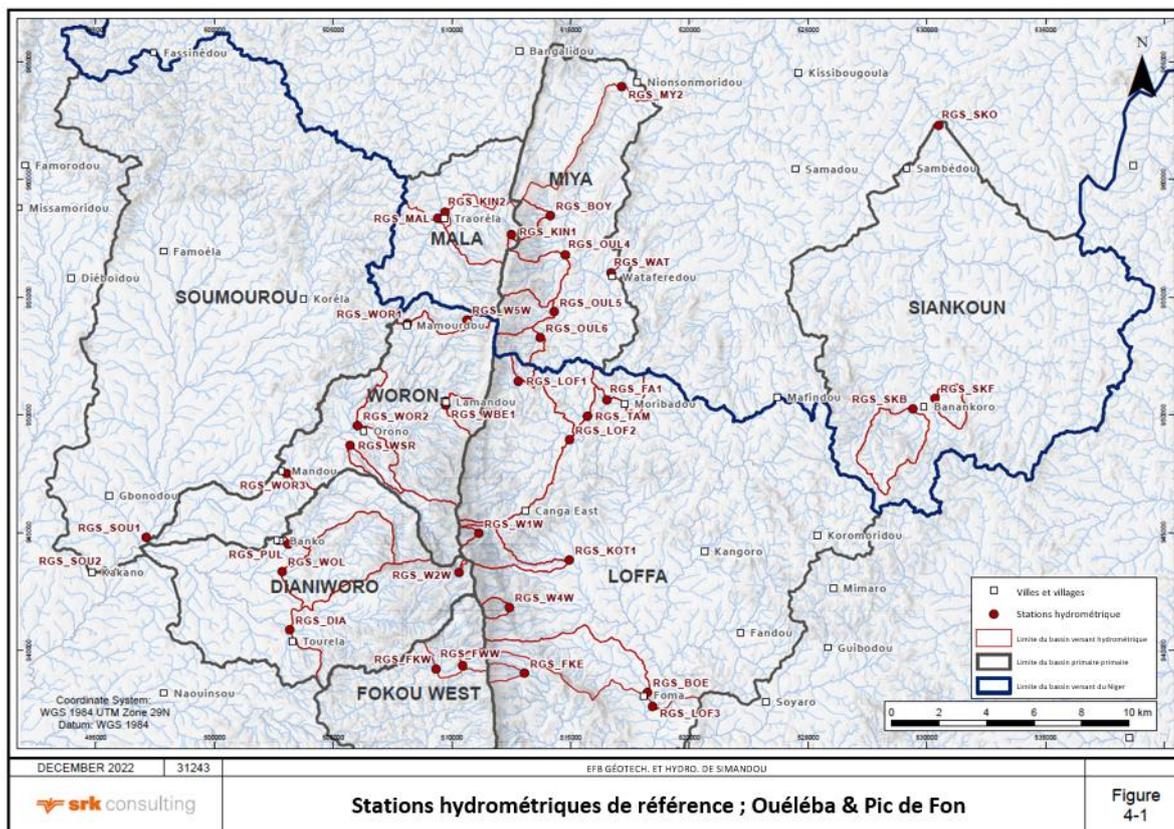


Figure 4-1 : stations hydrométriques de référence

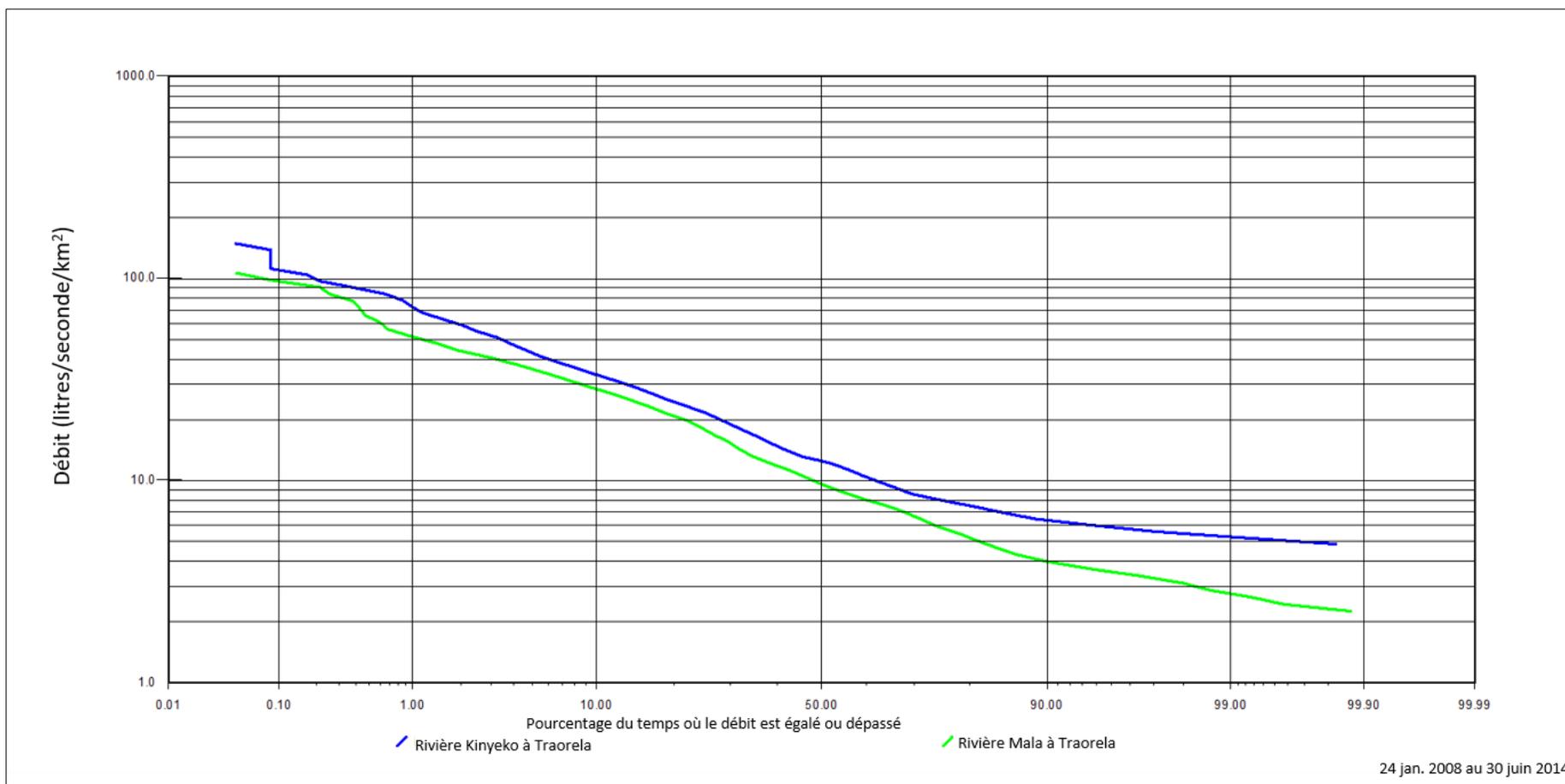


Figure 4-2 : courbes des débits classés normalisés des stations KIN2 et MAL dans le bassin versant de la rivière Mala

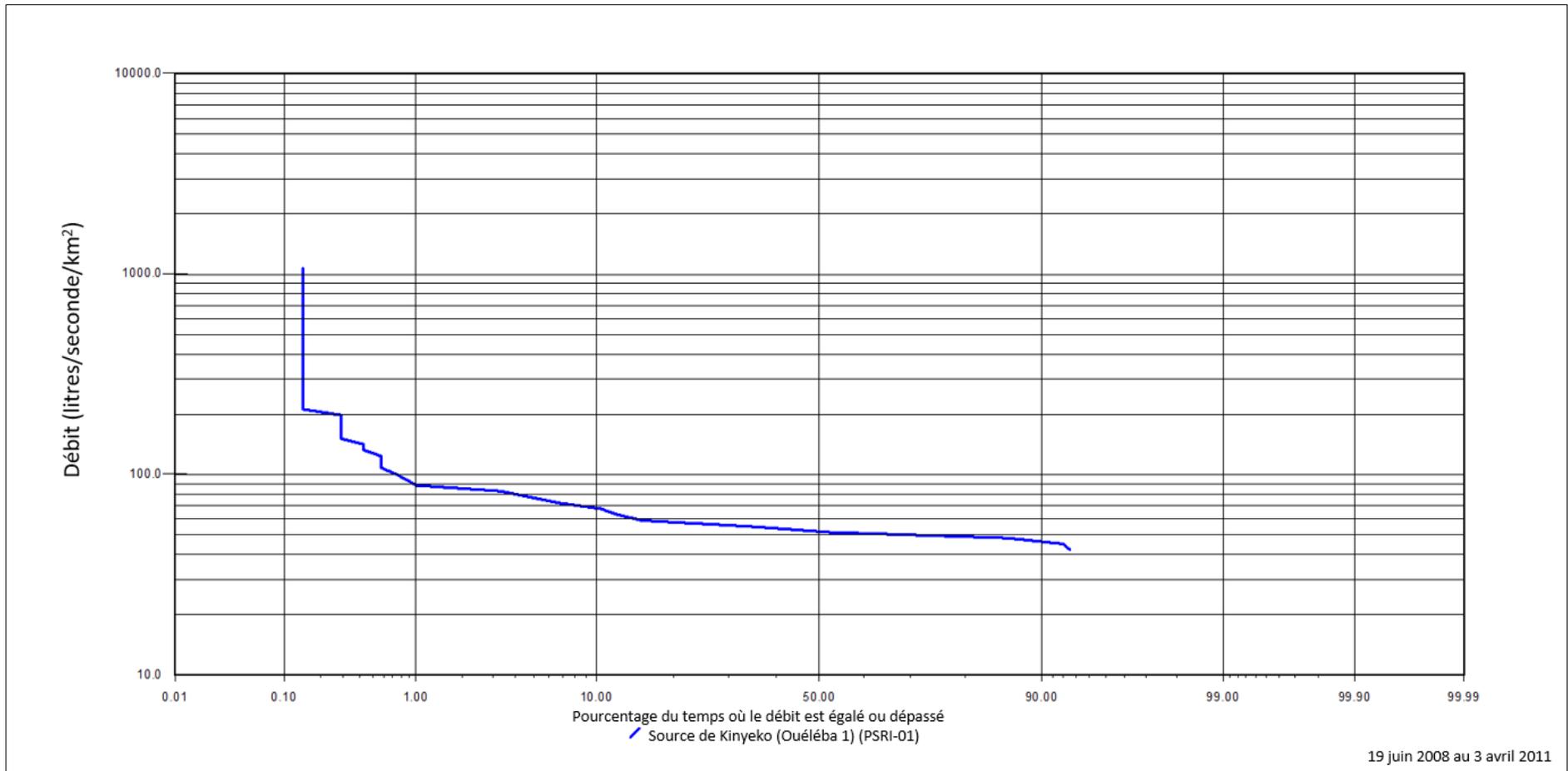


Figure 4-3 : courbe des débits classés normalisés de la station KIN1 dans le bassin versant de la rivière Mala

Tableau 4-1 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de Mala¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
KIN1 ³	0.16	0.009	76.4	67.8	56.9	51.9	49.2	46.0	41.2
KIN2	8.9	0.153	43.0	33.5	21.8	12.4	8.0	6,3	5.8
MALA	15.0	0.203	35.5	28.5	18.1	9.66	5.86	4.00	3.47

¹Période : 24/01/2008 au 30/06/2014. ²-DQM = débit quotidien moyen. ³ Période : 19/06/2008 au 03/04/2011

4.1.2 Bassin versant de Miya

Le bassin versant de Miya draine les pentes nord-est d'Ouéléba. La Figure 4-4 montre les courbes des débits classés normalisés des sous-bassins du bassin versant de Miya. La Figure 4-5 montre la courbe des débits classés normalisés de la rivière Farako à Wataferedou. Le Tableau 4-2 présente les statistiques des débits normalisés aux stations hydrométriques. Le sous-bassin de Boyboyba, situé à l'extrémité nord-est d'Ouéléba, et sur le côté opposé de la montagne au sous-bassin de Kinyeko, se distingue parmi les sous-bassins par un régime de débit normalisé nettement plus élevé que les autres. Tout comme le débit du sous-bassin de KIN1, ce phénomène est également lié à la régulation géologique sur la résurgence d'eau souterraine, et est discuté plus en détail dans le rapport de référence sur les eaux souterraines. Le sous-bassin versant de la rivière Farako est situé du côté est de la vallée de Miya, à l'est d'Ouéléba. Les débits normalisés sont très supérieurs à ceux des sous-bassins drainant Ouéléba, et sont considérés comme une résurgence d'eau souterraine structurellement régulée dans un bassin versant relativement petit (1,3 km²). On pense que la régulation structurelle non cartographiée augmente la superficie du bassin versant d'eau souterraine par rapport au versant bassin topographique. La résurgence d'eau souterraine dans ce sous-bassin constitue un apport relativement important aux débits de la rivière Miya.

Tableau 4-2 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de Miya¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
BOY	3.0	0.088	51.7	43.3	33.2	26.3	22.2	19.8	18.0
MY2	46.2	0.775	47.7	36.5	21.6	10.8	6.48	4.81	4.26
OUL4	4.5	0.076	36.3	25.4	17.7	13.1	10.8	8.61	7.73
OUL5	3.1	0.052	33.0	29.0	22.1	14.7	10.5	7.72	6.40
OUL6	2,1	0.034	33.8	28.0	20.7	13.7	10.7	6.70	5.01
WAT ³	1.3	0.186	412	281	164	95.2	53.9	38.1	33.4

¹Période : 09/07/2011 au 15/01/2014. ² DQM = débit quotidien moyen. ³Période : 24/02/08 au 29/04/12

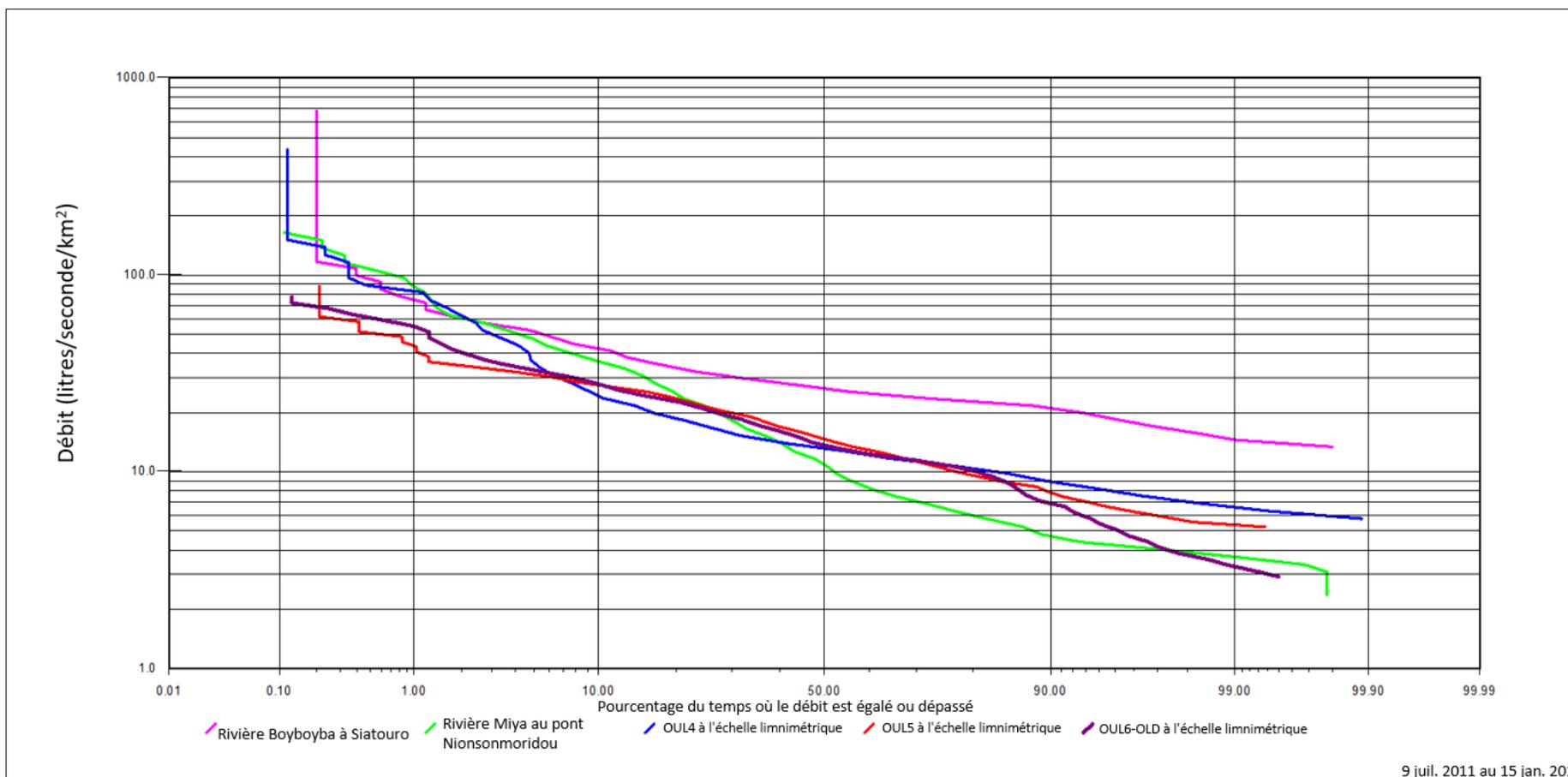


Figure 4-4 : courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Miya

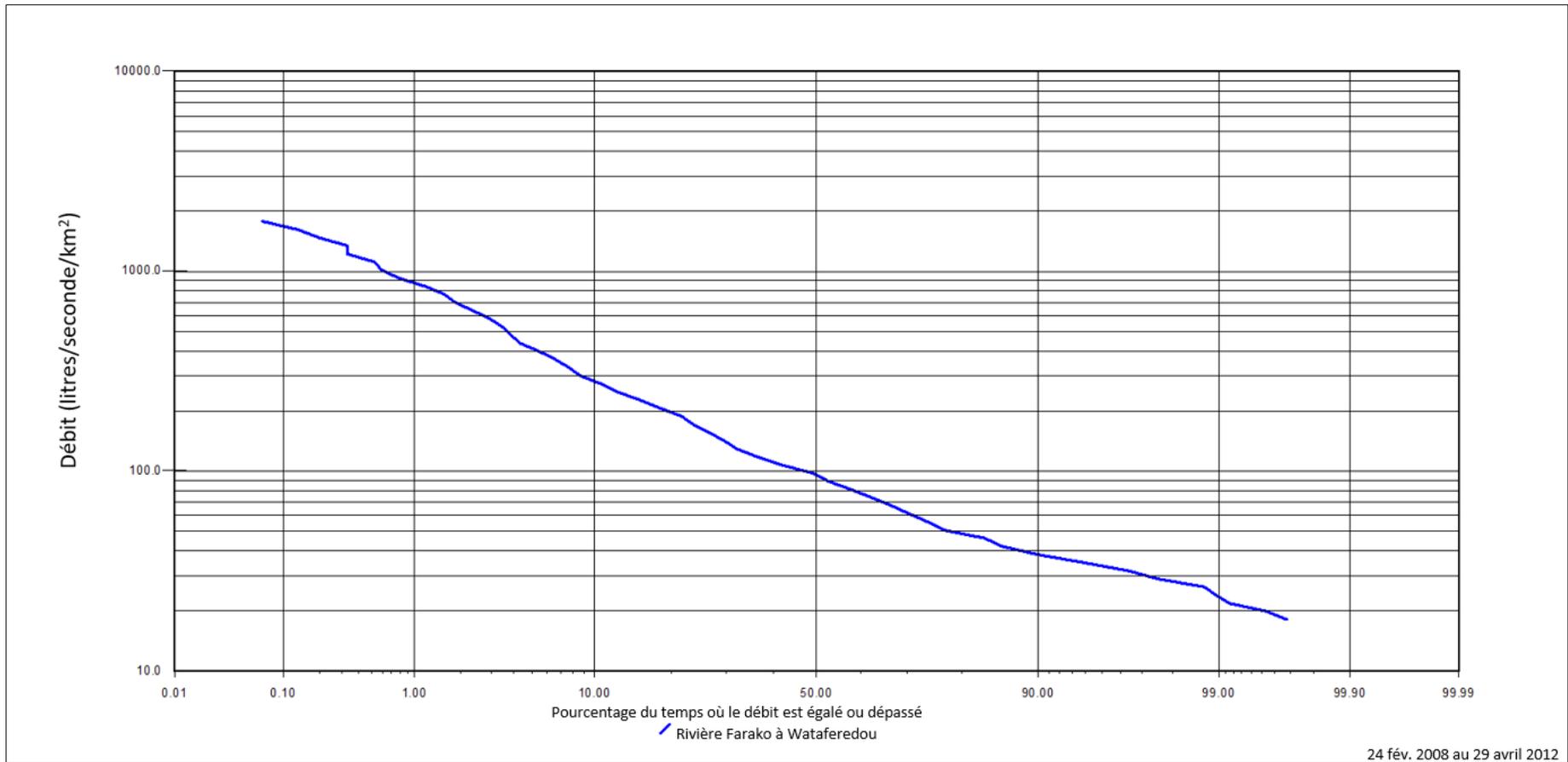


Figure 4-5 : courbe des débits classés normalisés de la rivière Farako à Wataferedou

4.1.3 Bassin versant de Loffa

Le bassin versant de Loffa draine les pentes sud-est d'Ouéléba et les pentes nord-est du Pic de Fon. La Figure 4-6 montre les courbes des débits classés normalisés aux stations hydrométriques du bassin versant de Loffa. L'affluent de la Loffa (LOF1), petit affluent du cours supérieur, draine le Canga côté sud-est d'Ouéléba. Les sous-bassins de Tamanko (TAM) et Farako (FA1) drainent principalement des socles rocheux. Les stations de la route de Canga est (LOF2) et de Foma (LOF3) sont situées en aval de la rivière principale. Le sous-bassin LOF2 draine les pentes sud-est d'Ouéléba, les pentes nord-est du Pic de Fon et la zone située entre le Pic de Fon et Ouéléba, dite ligne de crête centrale, ainsi que le Canga et les zones de socles rocheux. Le sous-bassin du LOF3 comprend les pentes orientales du Pic de Fon et une vaste zone de géologie du socle couvrant la partie orientale du bassin de la rivière Loffa.

Il y a peu de différence entre les courbes des débits classés normalisés aux stations représentées. Les débits normalisés dans la Tamanko et à la station LOF3 peuvent représenter des débits de résurgence d'eau souterraine dans le socle rocheux plus que dans les autres stations. Il y a peu de signes d'un apport significatif aux débits à LOF2 et LOF3 issu des eaux souterraines à Ouéléba ou au Pic de Fon. Cela suggère que les résurgences d'eau souterraine sur le versant sud-est d'Ouéléba et le versant nord-est du Pic de Fon ne sont pas particulièrement importantes.

La Figure 4-7 montre les courbes des débits classés normalisés des sous-bassins qui drainent les pentes orientales du Pic de Fon³. La rivière Boe draine principalement la géologie du socle, et seulement une petite section nord-sud de flanc de colline sur le Pic de Fon ; les débits normalisés à l'extrémité inférieure de la plage de débits sont faibles et caractéristiques de la géologie du socle, ce qui suggère une contribution relativement minime de l'eau souterraine du Pic de Fon. En revanche, la courbe de la rivière Fokou est montrée des débits normalisés relativement élevés, ce qui suggère une importante résurgence d'eau souterraine du Pic de Fon dans ce cours d'eau.

Le ruisseau Whisky 1 en amont du déversoir Whisky 1 est une source d'eau pour le camp de Canga est. On pense que le captage sur la période de relevé hydrométrique est de l'ordre de 1 à 4 l/s (équivalent à 2,1 à 8,5 l/s/km²). La captage a eu pour effet de réduire le débit au déversoir Whisky 1, de sorte que les débits relevés étaient inférieurs à ce qu'ils auraient été en l'absence de captage. La courbe présentée pour le déversoir Whisky 1 concerne les débits tels que relevés. La rivière Whisky 1 à Kotila (station KOT1) est située en aval du déversoir Whisky 1. Le sous-bassin draine un tronçon plus long du flanc du Pic de Fon que Whisky 1. Les débits normalisés à l'extrémité inférieure de la plage de débits sont du même ordre de grandeur que ceux du déversoir Whisky 1, ce qui suggère une résurgence d'eau souterraine du Pic de Fon, mais pas à l'échelle de la résurgence dans la rivière Fokou est.

Le Tableau 4-3 présente les statistiques des débits normalisés aux stations hydrométriques de la Figure 4-6 et de la Figure 4-7.

³ La courbe des débits classés du déversoir Whisky 4 n'est pas présentée en raison du relevé hydrométrique incomplet à cette station.

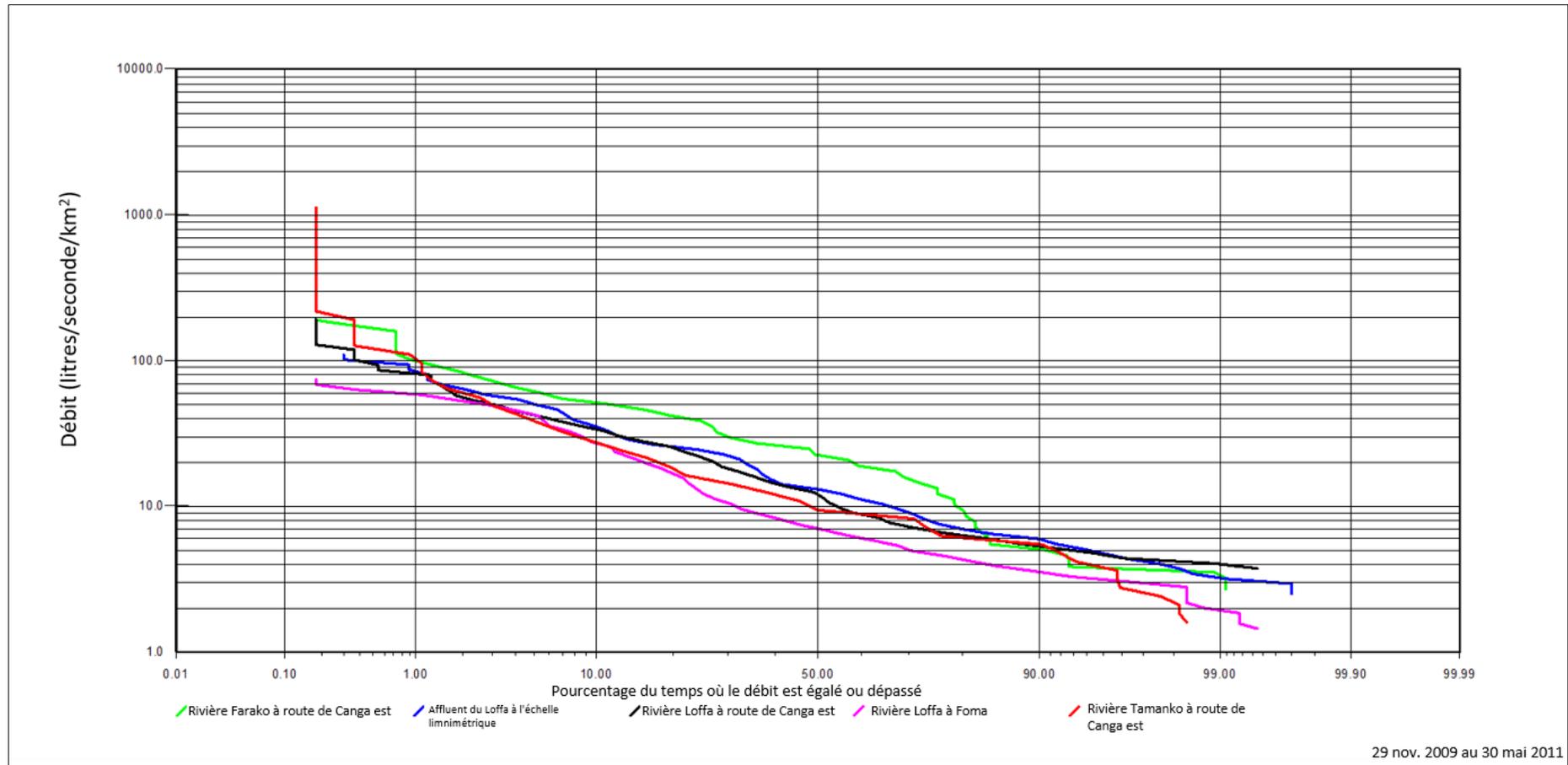


Figure 4-6 : courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Loffa

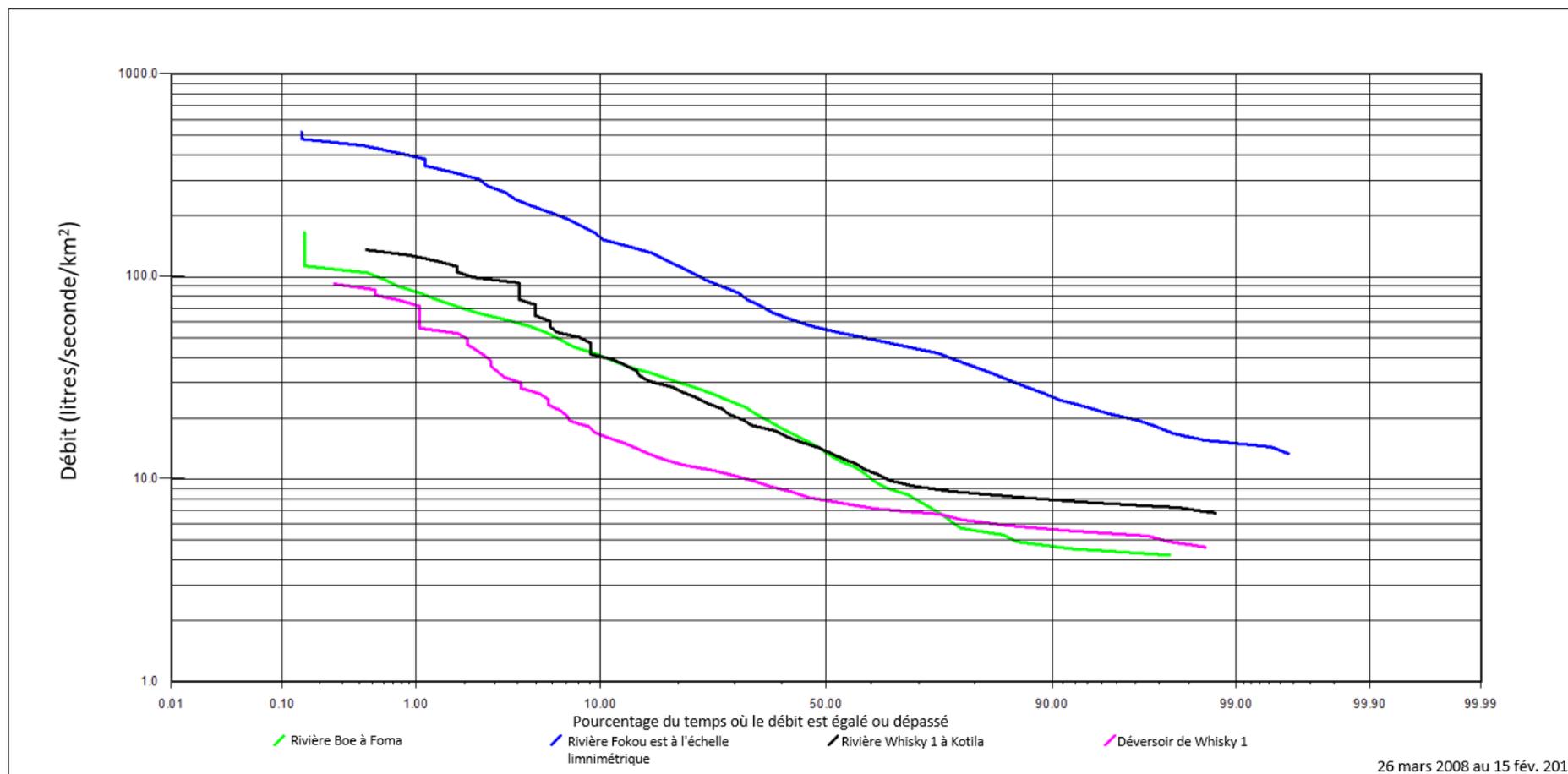


Figure 4-7 : courbes des débits classés normalisés des sous-bassins versants dans le bassin versant de la rivière Loffa drainant le Pic De Fon

Tableau 4-3 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de Loffa¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
FA1	2.64	0.072	61.1	51.9	39.0	23.4	13.9	4,8	3.8
LOF1	0.8	0.015	52.2	34.9	24.4	12.9	7.76	6.04	4.74
LOF2	22.2	0.369	42.4	33.1	21.5	12.1	6.80	5.30	4.62
LOF3	191	2.24	42.3	27.0	12.7	7.1	4.69	3.57	3.16
TAM	4.6	0.076	38.5	27.2	15.3	9.33	6.88	5.43	4.01
BOE ³	10.0	0.194	54.7	40.7	27.1	13.6	6.50	4.76	4.44
FKE ³	0.70	0.056	221	155	94.2	54.7	40.1	25.7	20.5
KOT1 ³	3.3	0.071	63.4	41.2	23.8	13.8	8.75	7.87	7.40
W1W34	0.47	0.005	26.9	16.5	11.1	7.83	6.50	5.61	5.33
W4W	0.80	0.014	Relevé hydrométrique incomplet. Courbe des débits classés non présentée.						

¹Période : 29/11/2009 au 30/05/2011. ² DQM = débit quotidien moyen. ³Période : 26/03/2008 au 15/02/2010. ⁴Les statistiques hydrométriques concernent les débits tels que relevés.

4.1.4 Bassin versant de Woron

Le bassin versant de Woron draine les pentes sud-ouest d'Ouéléba et les pentes nord-ouest du Pic de Fon, y compris la pente nord de l'Éperon occidental, crête qui s'étend en direction nord-ouest du Pic de Fon. La Figure 4-8 montre les courbes des débits classés normalisés aux stations hydrométriques du bassin versant de Woron. La Figure 4-9 montre la courbe des débits classés normalisés du déversoir Whisky 5, dont la période de relevé est plus courte. Le Tableau 4-4 présente les statistiques des débits normalisés aux stations hydrométriques. Le Woron draine les pentes sud-ouest d'Ouéléba, et est un affluent de la rivière Soumourou. Trois stations, WOR1, WOR2 et WOR3, sont situées sur le cours principal de la rivière. Deux stations, WBE1 et WSR, sont situées sur des affluents. La station WBE1 se trouve sur la rivière Worongbe, qui draine les pentes sud d'Ouéléba et la zone de ligne de crête centrale. La station WSR, sur la rivière Éperon occidental, draine les pentes nord-ouest du Pic de Fon et les pentes nord de l'Éperon occidental.

Les débits normalisés des rivières Worongbe et Éperon occidental à l'extrémité inférieure de la plage de débits sont nettement plus élevés que les débits sur le cours principal de la rivière Woron. Cela suggère qu'il existe d'importantes résurgences d'eaux souterraines provenant de l'extrémité sud d'Ouéléba (vers le Worongbe) et du Pic de Fon (vers la rivière Éperon occidental).

Sur la rivière Woron, les débits de base normalisés à WOR2 (Orono) et WOR3 (Mandou) sont plus élevés qu'à WOR1 (Mamourdou) en raison de l'influence des rivières Worongbe et Éperon occidental. Le bassin versant de Woron jusqu'à Mamourdou (station WOR1) affiche les débits normalisés les plus faibles, ce qui suggère que ce sous-bassin ne reçoit pas une quantité notable de résurgence d'eaux souterraines.

Tableau 4-4 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de Woron¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
WBE1	1,8	0.118	79.9	75.4	70.1	64.9	59.7	55.6	52.8
WSR	5,6	0.253	58.6	54.3	49.1	44.3	39.8	36.9	35.8
WOR1	2.9	0.066	62.5	48.6	29.2	15.9	9.59	7.67	6.79
WOR2	33.4	0.957	75.7	58.1	33.7	18.4	13.9	12.6	12.2
WOR3	51.7	1.27	48.3	42.2	35.4	19.5	13.8	12.2	11.5
W5W ³	0.4	0.012	76.4	71.9	47.6	20.1	8.95	5.13	4.52

¹Période : 20/09/2008 au 19/03/2012. ² DQM = débit quotidien moyen. ³Période : 20/07/2008 au 30/05/2009

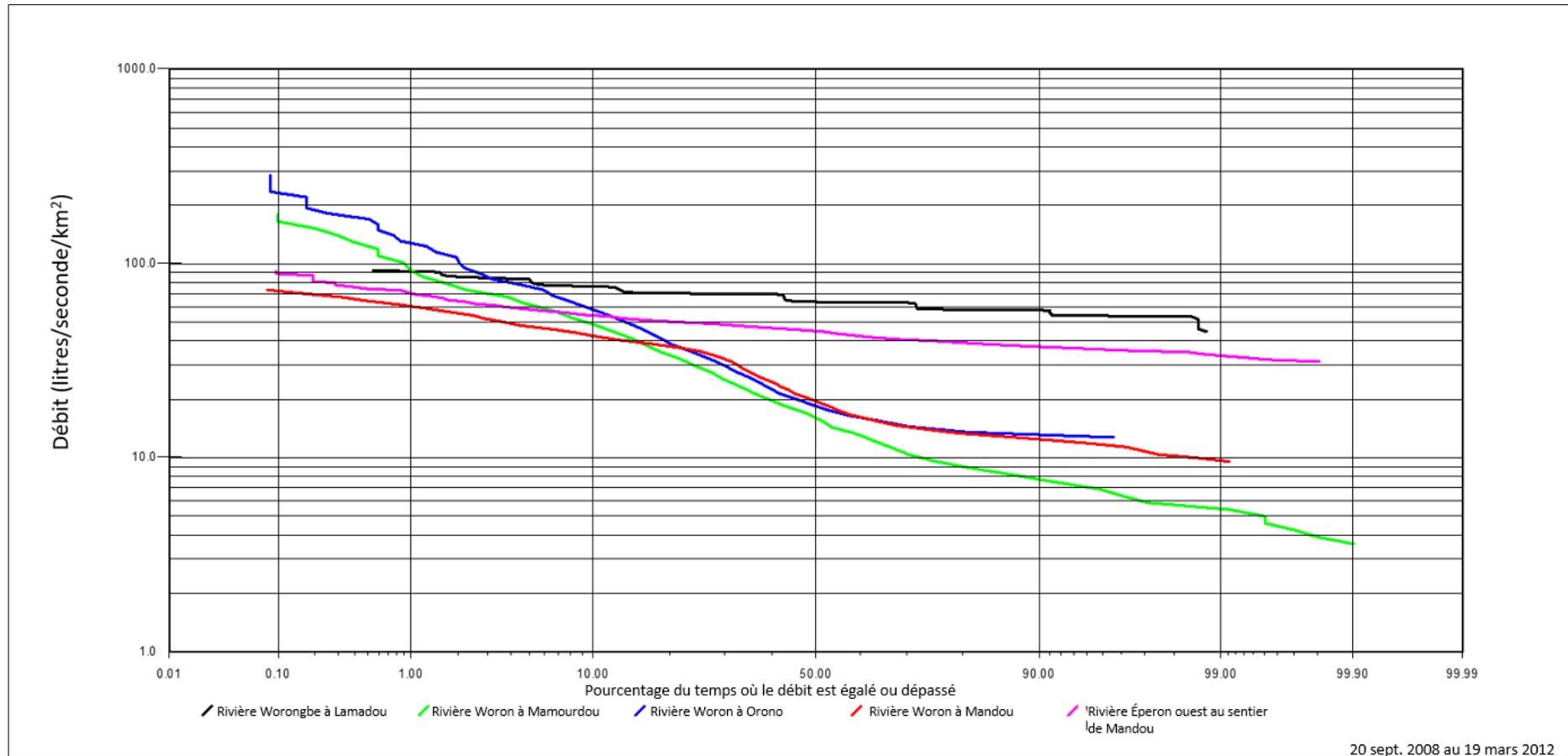


Figure 4-8 : courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Woron

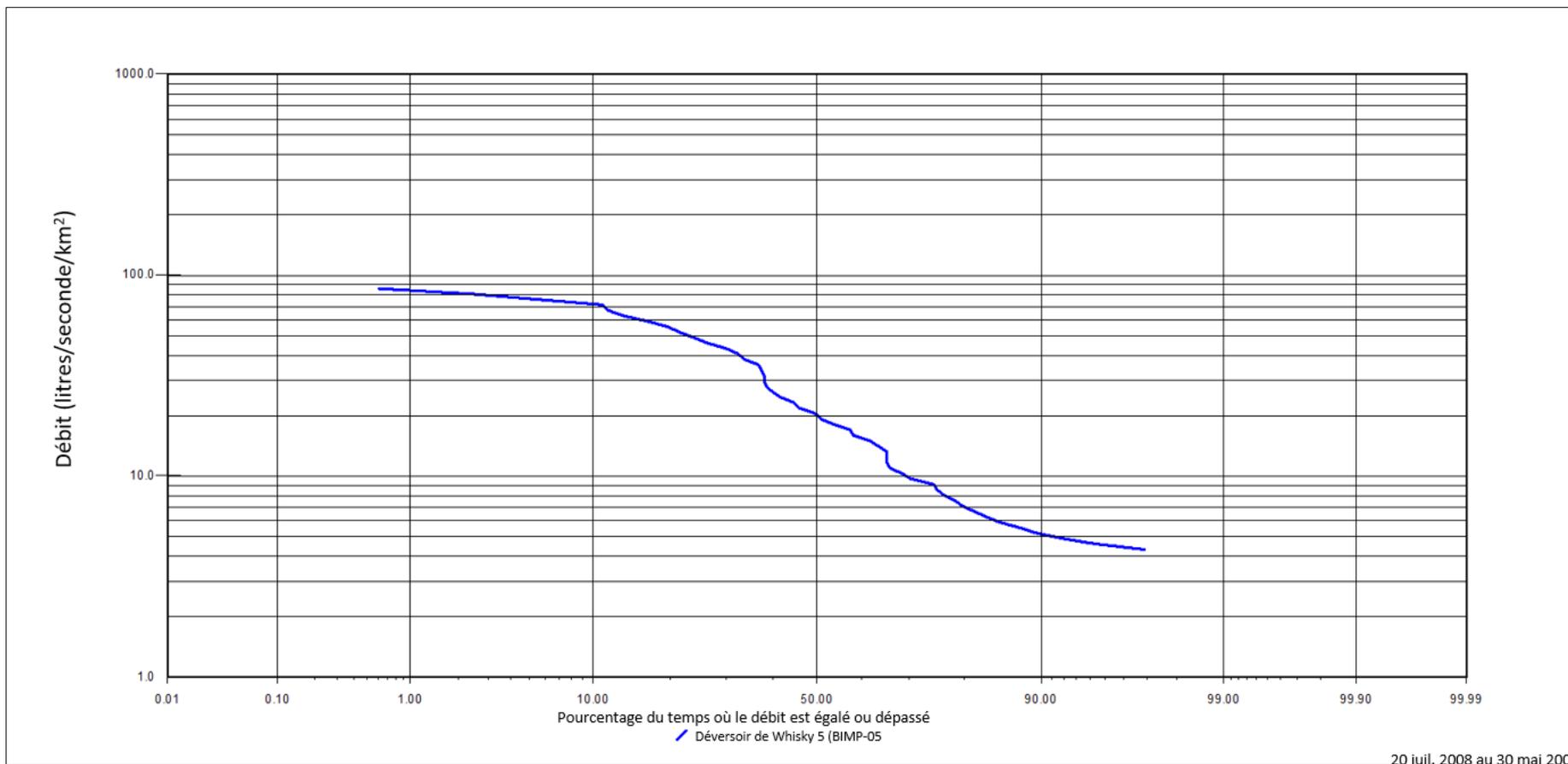


Figure 4-9 : courbe des débits classés normalisés du déversoir Whisky 5 dans le bassin versant de la rivière Woron

4.1.5 Bassin versant de Dianiworo

Le bassin versant de Dianiworo draine une section relativement courte des pentes sud et ouest de l'Éperon occidental et du Pic de Fon. La Figure 4-10 montre les courbes des débits classés normalisés aux stations hydrométriques du bassin versant de Dianiworo. Le bassin versant de Dianiworo, situé sur le côté ouest du Pic de Fon, est un affluent de la rivière Soumourou. Trois sous-bassins sont jaugés : les rivières Pulowaye, Wolou et Dianiworo. La rivière Pulowaye draine les pentes exposées sud-ouest de l'Éperon occidental, crête orientée nord-ouest s'étendant à partir de la chaîne du Pic de Fon. La rivière Wolou draine un sous-bassin interne au sein du bassin versant de Dianiworo, et ne draine les pentes ni de l'Éperon occidental ni de la chaîne du Pic de Fon. Le déversoir Whisky 2 surveille un petit cours d'eau supérieur dans le sous-bassin de la rivière Dianiworo.

La courbe des débits classés normalisés de la Pulowaye à Banko montre un régime de débit normalisé plus élevé que pour les autres sous-bassins, ce qui suggère une importante résurgence d'eaux souterraines provenant de l'Éperon occidental. La courbe des débits classés normalisés du déversoir Whisky 2 montre également des débits normalisés relativement élevés, ce qui suggère que des eaux souterraines se jettent dans ce cours d'eau, bien que les précipitations élevées sur le flanc ouest du Pic de Fon puissent également contribuer au débit normalisé plus élevé. L'effet des résurgences d'eaux souterraines provenant du Pic de Fon dans la Dianiworo perdure en aval à Tourela. La courbe de la Wolou à Banko affiche les débits normalisés les plus bas des quatre stations. La géologie de ce bassin versant est probablement constituée de socles rocheux, le régime de débit étant donc probablement représentatif de la géologie de socle.

Le Tableau 4-5 présente les statistiques des débits normalisés aux stations hydrométriques.

Tableau 4-5 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de rivière Dianiworo¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
DIA	23.7	0.415	58.8	42.1	24.9	8.51	4.94	3.57	3.00
PUL	7.2	0.401	193	161.2	72.6	26.4	16.7	11.5	9.57
W2W	0.4	0.006	55.4	29.6	12.0	6.32	4.66	3.92	3.67
WOL	14.3	0.190	41.9	35.8	20.2	6.97	3.25	2.17	1.77

¹Période : 06/08/2008 au 18/02/2012. ² DQM = débit quotidien moyen.

4.1.6 CBassin versant de la Soumourou

La rivière Soumourou draine une zone de basses terres de géologie de socle à l'ouest de la chaîne du Simandou, et est un affluent de la rivière Diani. La rivière Soumourou reçoit des débits de la rivière Woron en aval de la station SOU1 (Soumourou à Gbonodou) et de la rivière Dianiworo en amont de la station SOU2 (Soumourou à Kakano). La Figure 4-11 montre les courbes des débits classés normalisés aux stations SOU1 et SOU2.

La courbe des débits classés normalisés de la station SOU1 (Gbonodou) n'est pas influencée par Ouéléba et Pic de Fon, et la courbe à l'extrémité inférieure de la plage de débits peut être considérée comme représentative des socles rocheux. La courbe de la station SOU2 (Kakano) se situe au-dessus de celle de SOU1, ce qui indique que le débit de base du côté ouest d'Ouéléba et du Pic de Fon augmente le débit de base normalisé dans la rivière Soumourou.

Le Tableau 4-6 présente les statistiques des débits normalisés aux stations hydrométriques de la rivière Soumourou.

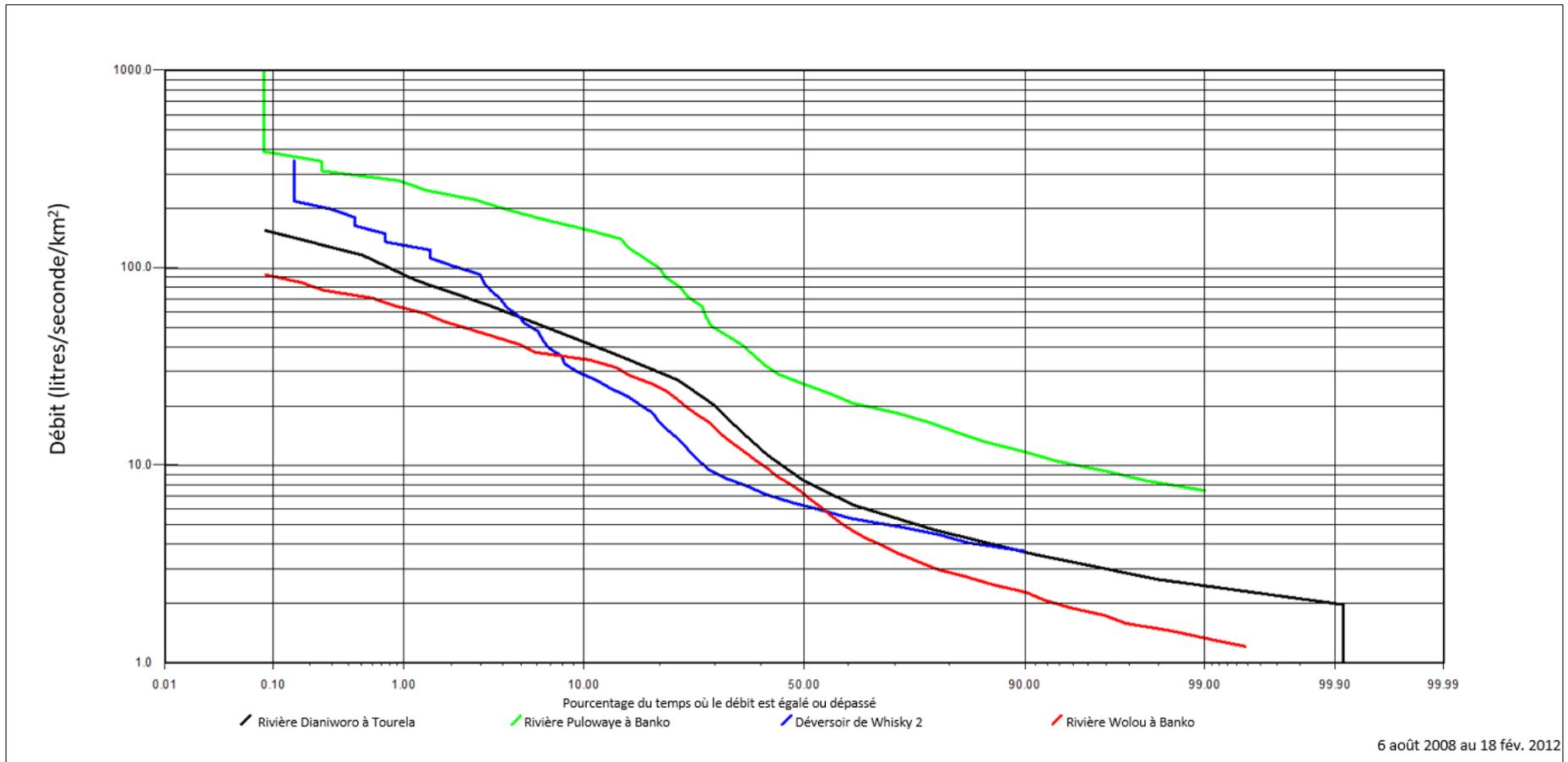


Figure 4-10 : courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Dianiworo

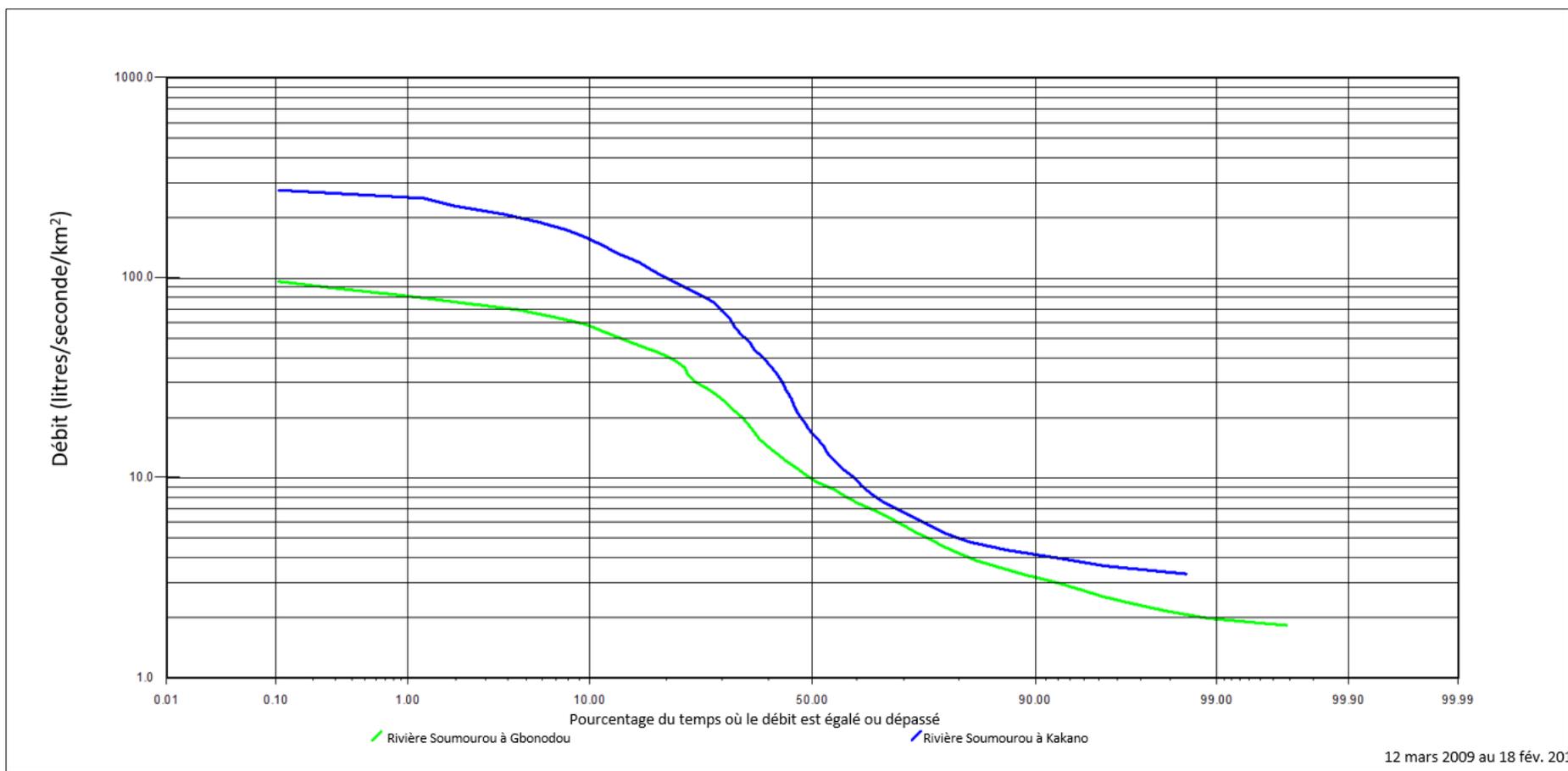


Figure 4-11 : courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Soumourou

Tableau 4-6 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de la rivière Soumourou¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
SOU1	172	3.54	68.2	57.6	30.6	10.0	4.91	3.16	2.58
SOU2	319	16.7	197	156	83.9	16.5	5.78	4.10	3.69

¹Période : 12/03/2009 au 18/02/2012. ² DQM = débit quotidien moyen.

4.1.7 Bassin versant de Fokou ouest

Le bassin versant de Fokou ouest draine les pentes sud-ouest du Pic de Fon et se jette dans la rivière Diani au sud-ouest du Pic de Fon. Le déversoir de Fokou ouest est situé sur la rivière Fokou ouest près de la crête sud-ouest du Pic de Fon, la superficie de son bassin versant étant de 0,8 km². La Figure 4-12 montre l'hydrogramme du débit normalisé total pour la période de relevé disponible au déversoir de Fokou ouest (02/10/2010 au 18/07/2011). Le relevé hydrométrique du déversoir n'étant pas considéré comme suffisamment long pour permettre l'élaboration d'une courbe des débits classés représentative, un hydrogramme des débits normalisés est représenté à la place.

Les débits normalisés quotidiens moyens de la rivière Fokou ouest au déversoir ont été de 119,3 l/s/km² au cours de la saison sèche, du 01/11/2010 au 31/03/2011. Ceci est la preuve d'une résurgence majeure d'eaux souterraines provenant du système aquifère du Pic de Fon. Il convient de noter que, du côté opposé de la crête du Pic de Fon, la rivière Fokou est, dans le bassin versant de Loffa, reçoit également une importante résurgence d'eaux souterraines, bien qu'inférieure. Les résurgences dans les deux rivières sont considérées comme structurellement régulées, et les superficies des bassins versants d'eaux souterraines sont considérés comme plus vastes que leurs bassins versants topographiques.

La Figure 4-13 montre la courbe des débits classés normalisés à la station FKO, la rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique, en aval du déversoir Fokou ouest. Entre les deux stations, la rivière Fokou ouest reçoit l'apport d'un affluent qui draine une partie des pentes occidentales du Pic de Fon. Les débits normalisés à la station FKO, à l'extrémité inférieure de la plage de débits, sont relativement élevés comparativement à ceux d'autres rivières, à plus de 10 l/s/km². Cela indique que le bassin versant de la rivière Fokou ouest est une importante zone de résurgence d'eaux souterraines sur le Pic de Fon.

Le Tableau 4-7 présente les statistiques des débits normalisés de la rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique (station FKO).

Tableau 4-7 : débits de centile normalisés (l/s/km²), rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique¹

Station	Superficie km ²	DQM ¹ m ³ /s	5% pile	10% pile	25 % pile	50% pile	75% pile	90% pile	95 % pile
FKO ²	5.4	0.222	89.1	57.7	44.4	31.3	23.9	19.0	16.0

¹Période : 28/04/2008 au 24/01/2010. ²DQM = débit quotidien moyen.

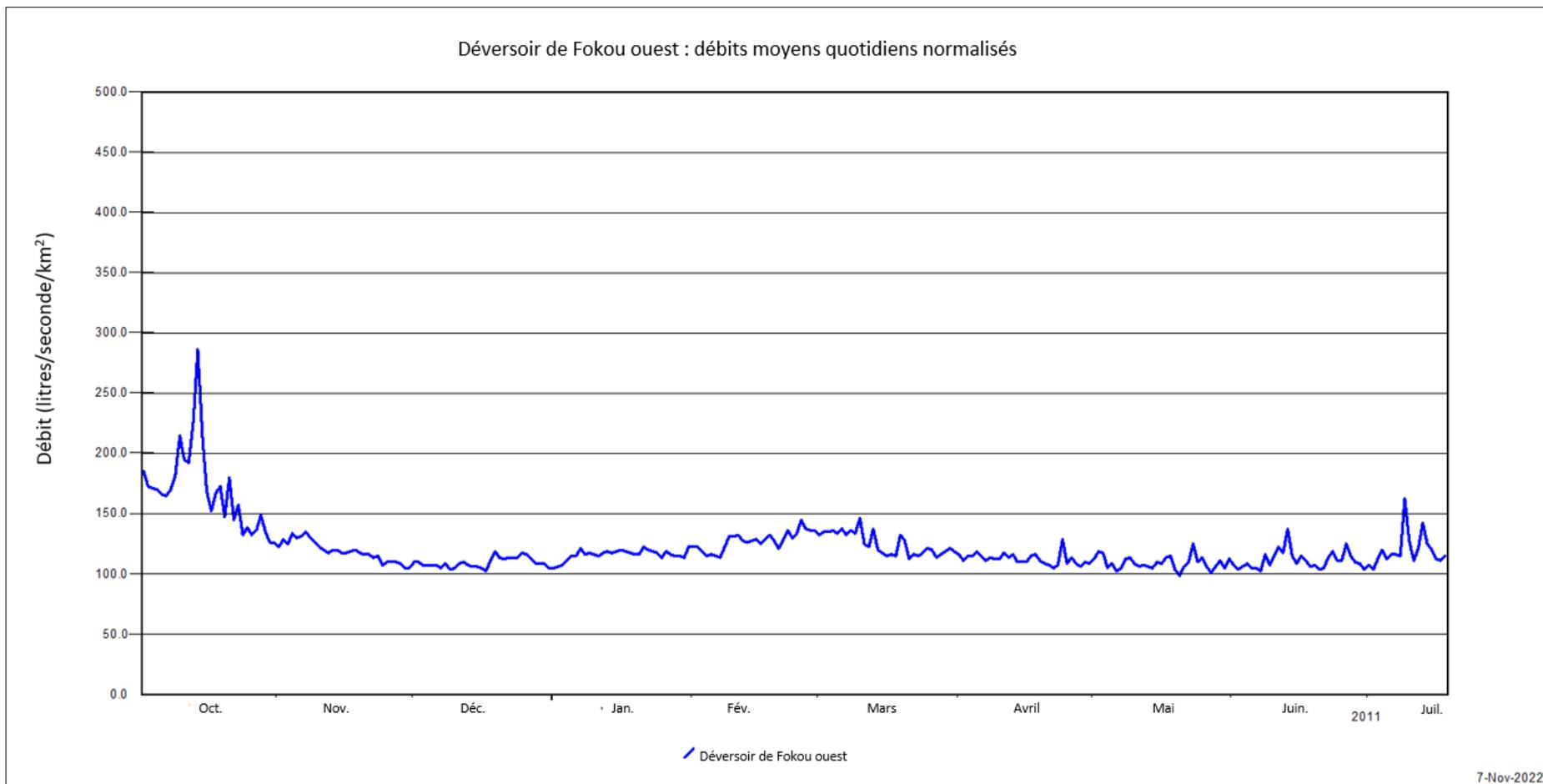


Figure 4-12 : hydrogramme normalisé de la rivière Fokou ouest au déversoir Fokou ouest

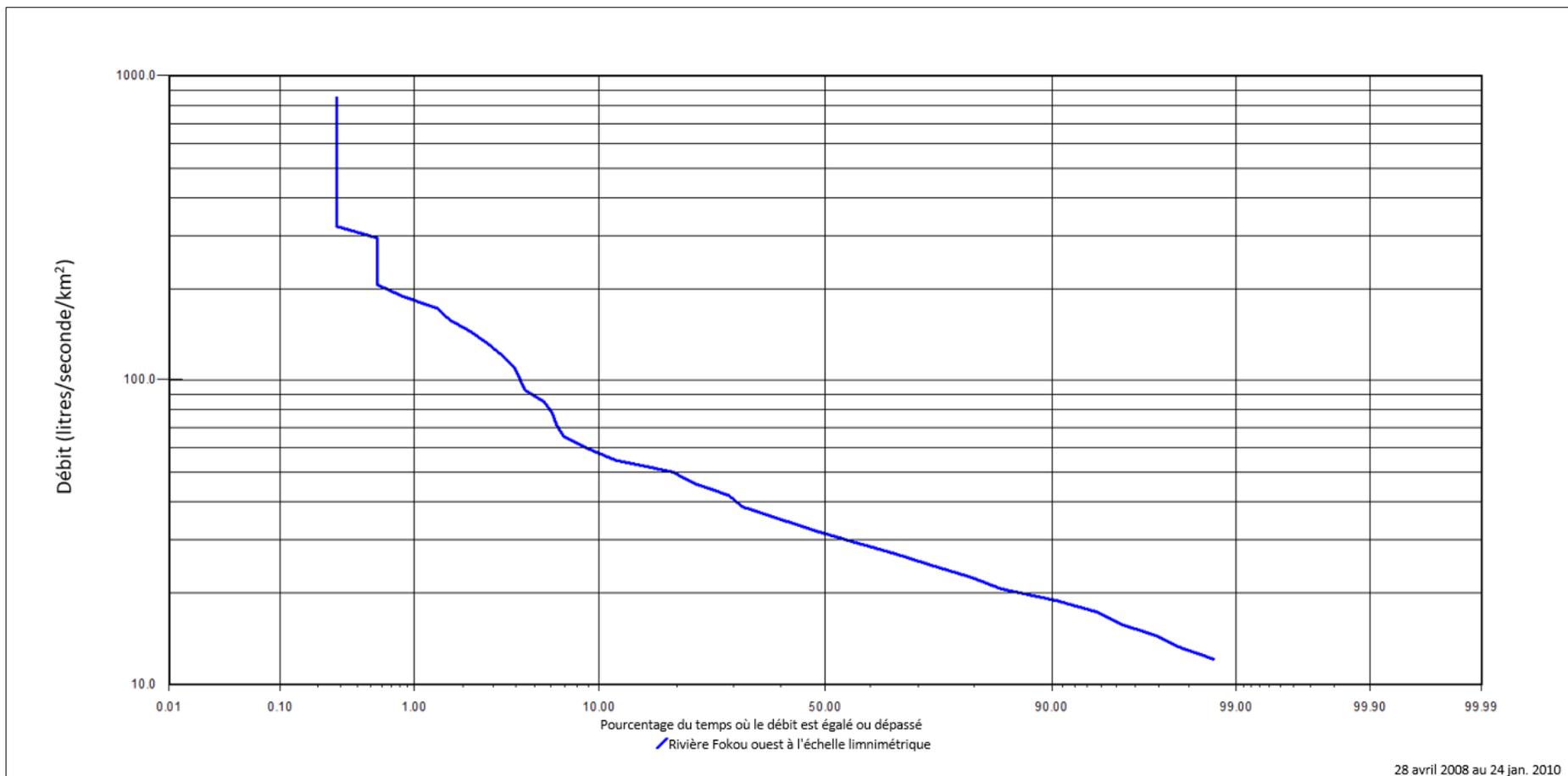


Figure 4-13 : courbe des débits classés normalisés de la rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique

4.1.8 Bassin versant de Siankoun

Le bassin versant de la rivière Siankoun est situé à environ 17 km à l'est d'Ouéléba, et n'est pas relié hydrauliquement à la montagne. Le bassin versant draine vers le nord et contient l'aéroport de Beyla. Tout comme la rivière Miya, la rivière Siankoun est un affluent de la rivière Dion. La Siankoun draine des socles rocheux, et est vallonnée dans son cours supérieur par lequel passe la route menant de Beyla au camp de Canga est.

La Figure 4-14 montre les courbes des débits classés normalisés de deux cours d'eau supérieurs du bassin versant de la rivière Siankoun : la Siankoungbe (station SKB) et la Siankounfin (station SKF) au village de Banankoro, sur la route de Canga est. Le Siankoungbe et le Siankounfin sont des affluents de la Siankoun. La Figure 4-15 montre la courbe des débits classés normalisés de la rivière Siankoun à l'aéroport de Beyla (station SKO). Les courbes sont tracées sur des graphiques distincts car les périodes de relevé des stations diffèrent.

Le Tableau 4-8 présente les statistiques des débits normalisés aux stations hydrométriques du bassin versant de Siankoun. Les statistiques des débits normalisés des trois stations à l'extrémité inférieure de la plage de débits sont semblables à celles d'autres bassins versants drainant la géologie de socle.

Tableau 4-8 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de la rivière Siankoun¹

Station	Superficie km ²	DQM ¹ m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
SKB ²	7.1	0.113	39.8	32.1	22.1	13.4	6.28	3.70	2.67
SKF ²	8.7	0.055	15.0	11.8	8.69	6.15	1.85	0.775	0.611
SKO ³	145	2.00	46.5	33.6	17.3	8.40	4.14	2.93	2.51

¹DQM = débit quotidien moyen. ²Période : 17/04/2008 au 30/05/2011. ³Période : 08/10/2011 au 10/12/2012.

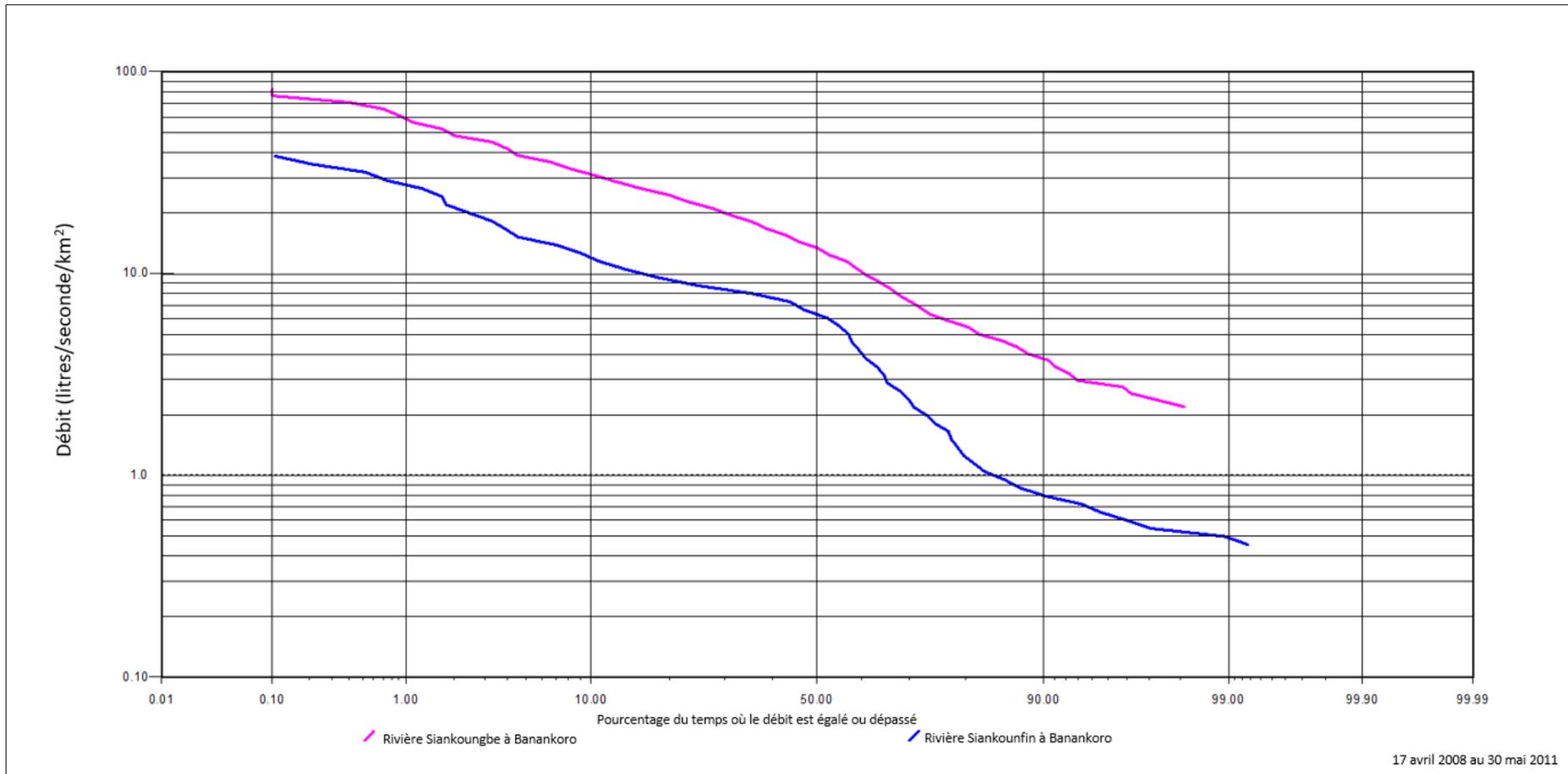


Figure 4-14 : courbes des débits classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Siankoun

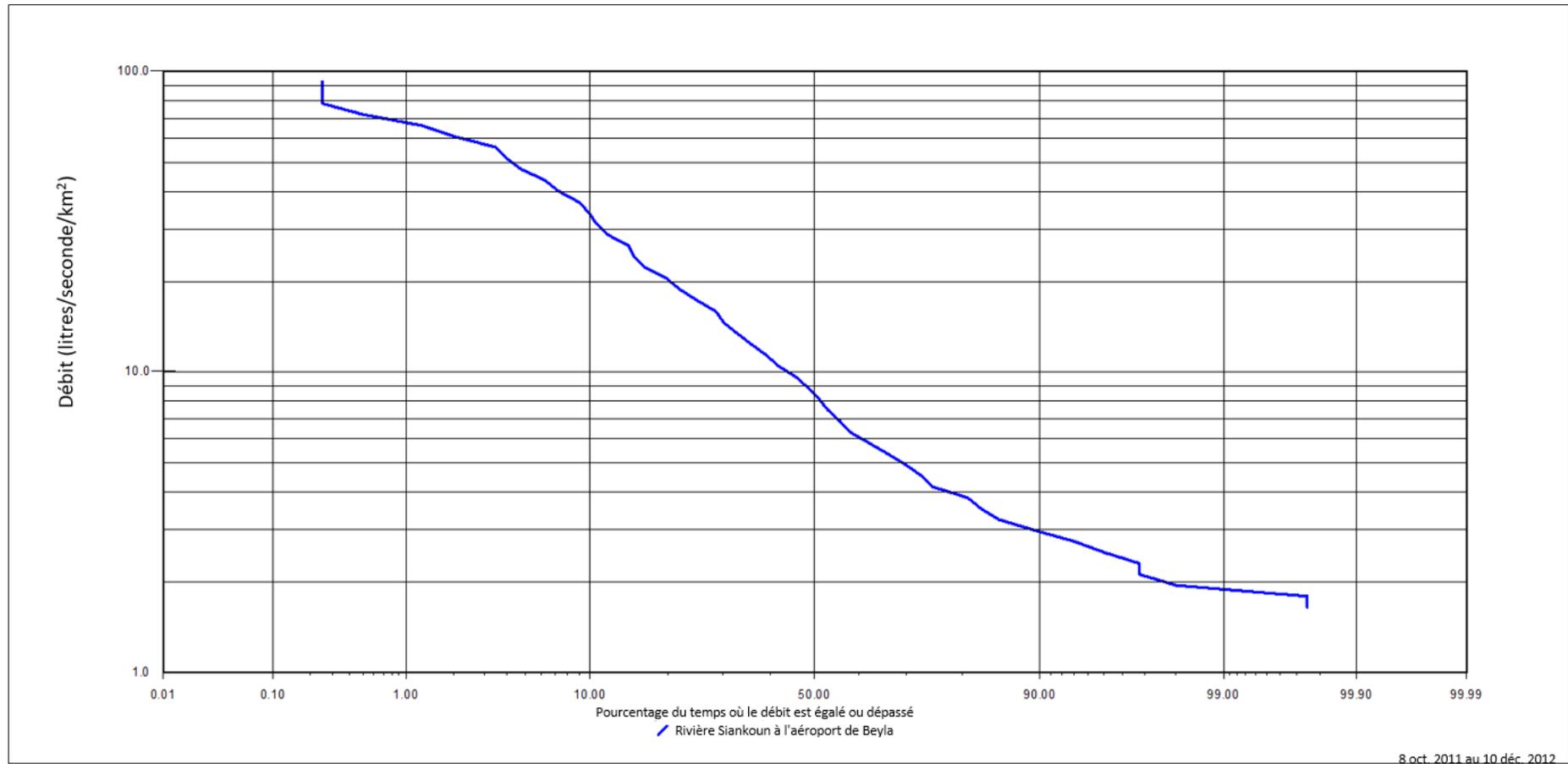


Figure 4-15 : courbe des débits classés normalisés de la rivière Siankoun à l'aéroport de Beyla

4.2 Régulations du débit

Comme il ressort de la section précédente et des hydrogrammes présentés à l'annexe D, le régime de débit des cours d'eau drainant Ouéléba et le Pic de Fon est régulé par le système aquifère et la structure géologique au sein des montagnes, et par le régime pluviométrique saisonnier. Tous les cours d'eau naturels du site, à l'exception des plus petits ruisseaux, ont des régimes de débit pérennes. La résurgence d'eaux souterraines constitue la composante pérenne du régime de débit de base. Là-dessus se superpose un régime saisonnier de ruissellement orageux éclair causé par des orages intenses relativement brefs pendant la saison humide. La saison humide est suivie d'une saison sèche avec seulement des orages occasionnels et les épisodes de crues qui en résultent.

Le régime de débit de base est illustré par les hydrogrammes des débits quotidiens présentés à l'annexe D. La saison humide commence généralement en mars. Le débit de base demeure faible jusqu'à début juillet, pendant que les sols se rechargent pour compenser leurs déficits hygrométriques. Le débit intermédiaire et le débit de base augmentent à partir de début juillet en raison de la résurgence issue des nappes du sol et souterraines sur les coteaux et les montagnes, respectivement, rechargées depuis le début de la saison humide. Les pics des hydrogrammes sont des épisodes de crues éclair ou des ruissellements (orageux) directs qui surviennent à la suite de fortes précipitations. Le ruissellement direct peut survenir quand les taux de précipitations orageuses dépassent les taux d'infiltration, et dans les basses terres, comme le long des chenaux, où les sols seaturent en raison du débit intermédiaire issu de la pente combiné aux précipitations directes. Le débit de base saisonnier reste élevé tant que la saison humide se poursuit. À mesure que les précipitations diminuent en septembre-octobre, les nappes souterraines se tarissent, et les débits intermédiaire et de base s'amenuisent. L'amenuisement des débits se poursuit pendant la saison sèche, de novembre à mars, les débits des cours d'eau étant maintenus par la résurgence d'eaux souterraines.

4.3 Séparation débit de base/débit orageux

L'hydrogramme du débit total à chaque station hydrométrique de référence (annexe D) a été séparé afin d'identifier l'hydrogramme du débit de base dans le but de recenser les cours d'eau qui reçoivent des résurgences d'eaux souterraines particulièrement importantes. Le ruissellement direct (débit orageux) a également été séparé pour certains petits sous-bassins versants afin d'estimer le pourcentage de précipitations orageuses qui ruissellent. Cette section décrit les méthodes appliquées pour séparer le débit de base et le débit orageux de l'hydrogramme du débit total. Les sections suivantes présentent les données de référence sur le débit orageux et le débit de base.

La méthode de séparation du débit de base est similaire à celle rapportée par l'institut hydrologique du R.-U.⁴ (1992), selon laquelle on calcule les minima de débit de périodes consécutives de n jours sans chevauchement, puis on recherche les points de retournement dans cette suite de minima. On relie ensuite les points de retournement pour obtenir l'hydrogramme de débit de base, sous réserve que les ordonnées de l'hydrogramme de débit de base ne puissent pas être plus grandes que les ordonnées de l'hydrogramme observé.

S'écartant de la méthode de l'institut hydrologique, qui applique une période standard de 5 jours pour les rivières du Royaume-Uni, les périodes de n jours utilisées se chevauchent et variaient de 3 à 180 jours, ce qui permettait d'évaluer différents degrés de lissage de l'hydrogramme du débit de base. On a opté pour une période de 14 jours pour normaliser la séparation du débit de base à Simandou. La Figure 4-16 montre un exemple de séparation du débit de base avec une période de 14 jours pour la rivière Woron à Orono (station WOR2). Le débit de base est le débit situé sous la ligne rouge. Le débit orageux et le débit intermédiaire se situent au-dessus de la ligne rouge.

⁴ Aujourd'hui appelé *UK Centre for Ecology and Hydrology* (UKCEH)

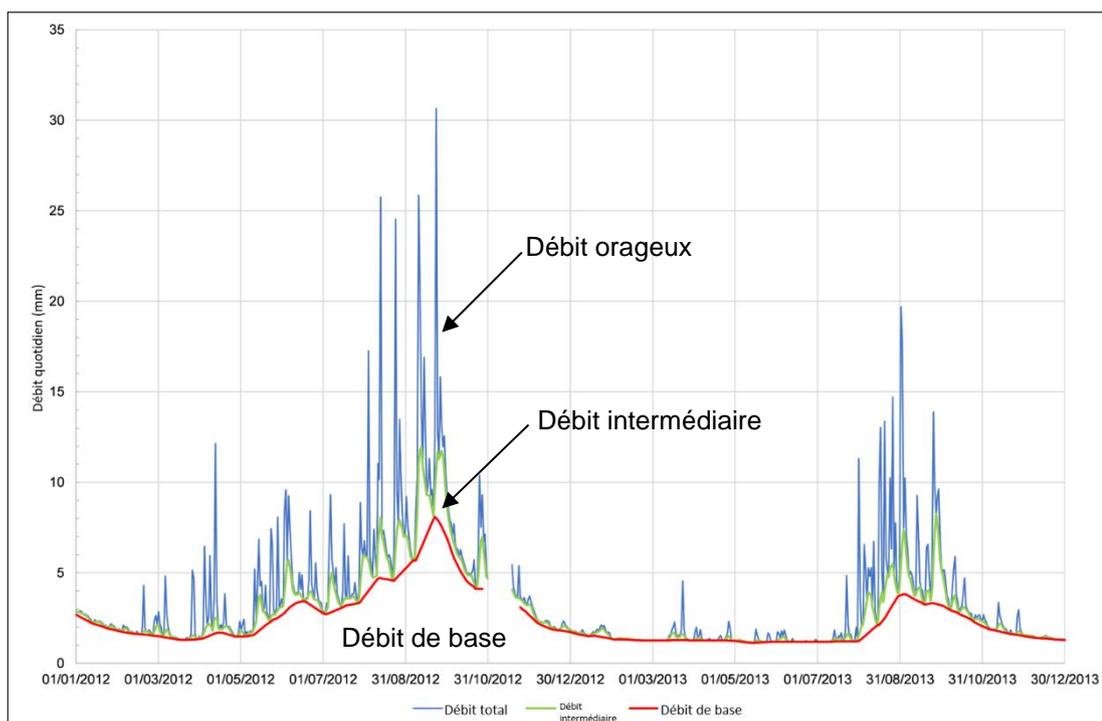


Figure 4-16 : exemple de séparation du débit de base, du débit intermédiaire et du débit orageux pour la rivière Woron à Orono, 2012-2013

On a opté pour une période de 3 jours pour normaliser la séparation du débit orageux.

Les sections qui suivent présentent les données de référence sur le débit orageux et le débit de base dérivées de la séparation des hydrogrammes de débit total à chaque station hydrométrique.

4.4 Composantes du débit : débit orageux

4.4.1 Introduction

On considère généralement que le débit orageux (parfois appelé écoulement rapide ou ruissellement direct) résulte d'un écoulement superficiel, en conséquence soit du dépassement des capacités d'infiltration du sol par le taux de précipitations, souvent appelé ruissellement en nappe, soit de zones saturées à la base des pentes près des canaux, souvent appelées écoulement superficiel saturé.

Le débit orageux se manifeste principalement pendant la saison humide, lors de fortes pluies orageuses. Les hydrogrammes des flux orageux dans les bassins versants d'Ouéléba et du Pic de fon ont tendance à être « éclair », avec des pics de débit survenant pendant les orages ou peu après, selon le lieu de l'orage par rapport à la station hydrométrique, et des baisses rapides des débits dès l'arrêt des pluies orageuses (Figure 4-16), souvent jusqu'à zéro pendant les périodes sèches entre orages, et en particulier en saison sèche. Le ruissellement orageux, souvent exprimé en pourcentage des précipitations orageuses et appelé coefficient de ruissellement, varie selon les caractéristiques des précipitations telles qu'intensité et durée, les caractéristiques du sol, dont l'hygrométrie antérieure du sol, et les caractéristiques végétales.

Cette section présente un nombre limité d'analyses du ruissellement par rapport aux précipitations afin d'obtenir une indication des taux de ruissellement orageux dans les petits et grands bassins versants de Simandou.

4.4.2 Débit orageux dans les petits bassins versants

Le ruissellement direct a été séparé de l'hydrogramme du débit total pour un échantillon relativement petit de 35 épisodes orageux dans cinq petits bassins versants d'Ouéléba et Pic de Fon. Les petits bassins ont été choisis en raison de la facilité d'estimation des apports pluviométriques. La méthode de séparation est décrite ci-dessus. Des périodes d'1, 2 et 3 jours sans chevauchement ont été appliquées au processus de séparation. Les résultats des périodes de 3 jours ont été acceptés et sont présentés comme représentatifs des taux de ruissellement direct. Les différents épisodes orageux, leur date, leur durée, les précipitations et le ruissellement dérivé sont présentés à l'annexe E. Le Tableau 4-9 résume les résultats.

Tableau 4-9 : pourcentage de ruissellement orageux dans les petits bassins versants, Ouéléba (OUL) et Pic de Fon (PDF)

Bassin versant	Superficie (km ²)	Nombre d'épisodes	Ruissellement mini. (mm)	Ruissellement maxi. (mm)	Ruissellement médian (%)
Boyboyba (OUL)	3.0	5	4.1	10.1	9.1
Whisky 1 (PDF)	0.47	6	6,4	29.3	16.8
Whisky 2 (PDF)	0.41	8	12.8	22.1	16.7
Whisky 4 (PDF)	0.80	2	3.5	5.3	4.4
Whisky 5 (OUL)	0.40	6	4.1	5.7	5.1
Chers tous,		35	3.5	29.3	7.1

Les taux de ruissellement orageux analysés varient considérablement de 3,5 à 29,3 % des précipitations, avec une valeur médiane de 7,1 %. La Figure 4-17a montre qu'il existe une corrélation positive entre précipitations orageuses et ruissellement dans tous les bassins versants. Il n'existe en revanche qu'une très faible corrélation entre précipitations et pourcentage de ruissellement (Figure 4-17b).

Tableau 4-10 : composantes du débit, bassin versant Whisky 1, saison humide 2007

Date de début	Date de fin	Début/milieu/fin de la saison humide	Précipitations mm	Débit mm	Débit de base mm	Débit orageux mm	Débit/précipitations %	Débit de base/précipitations %	Débit orageux/précipitation %	Débit de base/débit = indice de débit de base
02/05/07	15/07/07	Début	547.4	115.8	101.2	14.6	21.2	18.5	2.7	0.87
16/07/07	22/09/07	Milieu	1736.8	661.0	339.9	321.2	38.1	19.6	18.5	0.51
23/09/2007	04/11/2007	Fin	290.3	223.3	203.8	19.3	19.3	70.2	6.7	0.91

Le débit orageux en proportion des précipitations et du débit est dynamique au fil d'une saison humide. Au début de la saison humide, lorsque les déficits hygrométriques du sol se comblerent, le débit orageux représente un faible pourcentage des précipitations (2,7 % ici), et environ 13 % du flux total. Au milieu de la saison humide, le débit orageux monte brusquement à 18,5 % des précipitations orageuses et environ 49 % du débit total, ce qui suggère que les nappes du sol sont saturées. À la fin de la saison humide, tandis que les précipitations diminuent et que les sols drainent, ce qui permet une plus grande infiltration, le débit orageux baisse à 6,7 % des précipitations, et environ 35 % du débit. La plage en pourcentage du ruissellement sur une base semi-saisonnière est compatible avec la plage en pourcentage du ruissellement sur une base épisodique.

4.4.3 Débit orageux dans un bassin versant plus grand

Afin d'illustrer l'ampleur du débit orageux dans une forte crue sur un bassin versant plus grand, l'analyse de deux épisodes de crue survenus en août 2012 sur la rivière Miya au pont Nionsonmoridou (superficie du bassin versant : 46,2 km²) est présentée à la Figure 4-18 et au Tableau 4-11 (SWS, 2013).

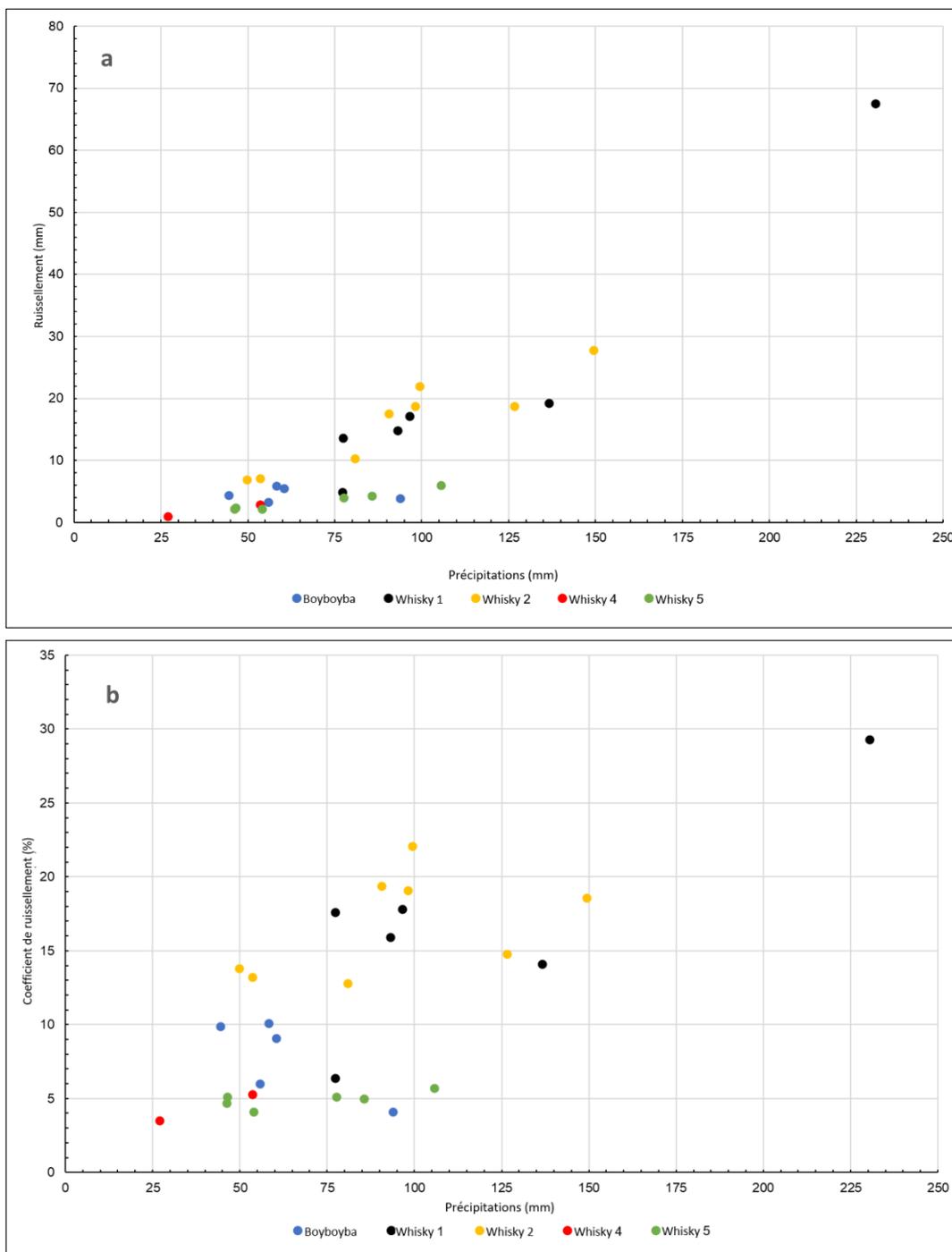


Figure 4-17 : a) précipitations orageuses et ruissellement orageux et b) pourcentage de précipitations et ruissellement orageux dans les petits bassins versants d'Ouéléba et Pic de Fon.

L'analyse ci-dessus porte sur les précipitations orageuses et le ruissellement orageux à des moments précis (épisodes). La division de la relation entre débit orageux et débit flux de base peut toutefois varier au fil du temps. Une analyse du débit orageux et du débit de base dans le bassin versant Whisky 1 au cours de la saison humide de 2007 illustre cette situation (Tableau 4-10). La saison humide est scindée en trois périodes représentant le début, le milieu et la fin. Le débit total, le débit de base et le ruissellement orageux ont été évalués pour chaque période.

Tableau 4-11 : détails des épisodes orageux, 22-23 août et 25-26 août 2012 sur la rivière Miya à Nionsonmoridou

Analyse	Épisode orageux (2012)	
	22-23 août	25-27 août
Précipitations orageuses		
Moyenne locale sur 5 jours Précipitations antérieures totales et (Hygrométrie antérieure à l'épisode)	17 mm (sec)	55 mm (humide)
Date et heure de début des précipitations orageuses	22/08/2012 22:00	25/08/2012 17:45
Date et heure de fin des précipitations orageuses	23/08/2012 05:00	26/08/2012 03:30
Date et heure du centroïde de l'orage	23/08/2012 00:25	25/08/2012 22:55
Durée des précipitations	7 heures	9,75 heures
Précipitations totales (moyenne locale)	48,9 mm	94,2 mm
Ruissellement		
Date et heure de début du débit orageux	22/08/2012 22:45	25/08/2012 21:30
Date et heure de fin du débit orageux	24/08/2012 12:45	31/08/2012 10:15
Durée du débit orageux	38 heures	133 heures
Date et heure du pic de débit	23/08/2012 16:30	26/08/2012 10:15
Pic du niveau d'eau	1,843 m	2,736 m
Pic de débit (débit de base compris)	7,96 m ³ /s	23,20 m ³ /s
Pic de débit orageux (hors débit de base)	6,76 m ³ /s	21,95 m ³ /s
Délai du bassin (entre centroïde des précipitations et pic de débit)	~16 heures	~9 heures
Délai jusqu'au pic de débit à compter du début du débit orageux	17,75 heures	10 heures
Volume du ruissellement orageux (comme profondeur)	5,7 mm	25,7 mm
Débit orageux en pourcentage des précipitations (coefficient de ruissellement)	11,6%	27,2%

Le débit orageux en pourcentage des précipitations lors des épisodes des 22-23 et 25-27 août était de 11,6 % et 27,2 % respectivement, dans la plage de pourcentage de ruissellement des petits bassins indiquée ci-dessus.

Les données du Tableau 4-12 démontrent également une forte non-linéarité de la réponse du bassin versant au changement des conditions hygrométriques du sol antérieures. Pour un doublement de la profondeur des précipitations orageuses, l'écart d'humidité du bassin versant a provoqué les écarts suivants de réponse hydrologique dans l'hydrogramme orageux des 25-27 août par rapport à l'hydrogramme des 22-23 août :

- Triplement du pic de débit.
- Quadruplement du volume de ruissellement orageux.
- Multiplication par 3,5 de la durée du ruissellement orageux.
- Hausse du coefficient de ruissellement de ~12 % à ~27 %.

- Réduction d'environ 7 heures du délai de bassin.

Il convient de noter que ces épisodes ont eu lieu en août, lorsque la végétation du bassin versant était à son niveau le plus dense et que les niveaux hygrométriques antérieurs étaient relativement élevés. En 2012, le changement d'affectation foncière dans le bassin versant pour le développement de la mine a été limité à la construction de voies d'accès et de plateformes de forage sur Ouéléba.

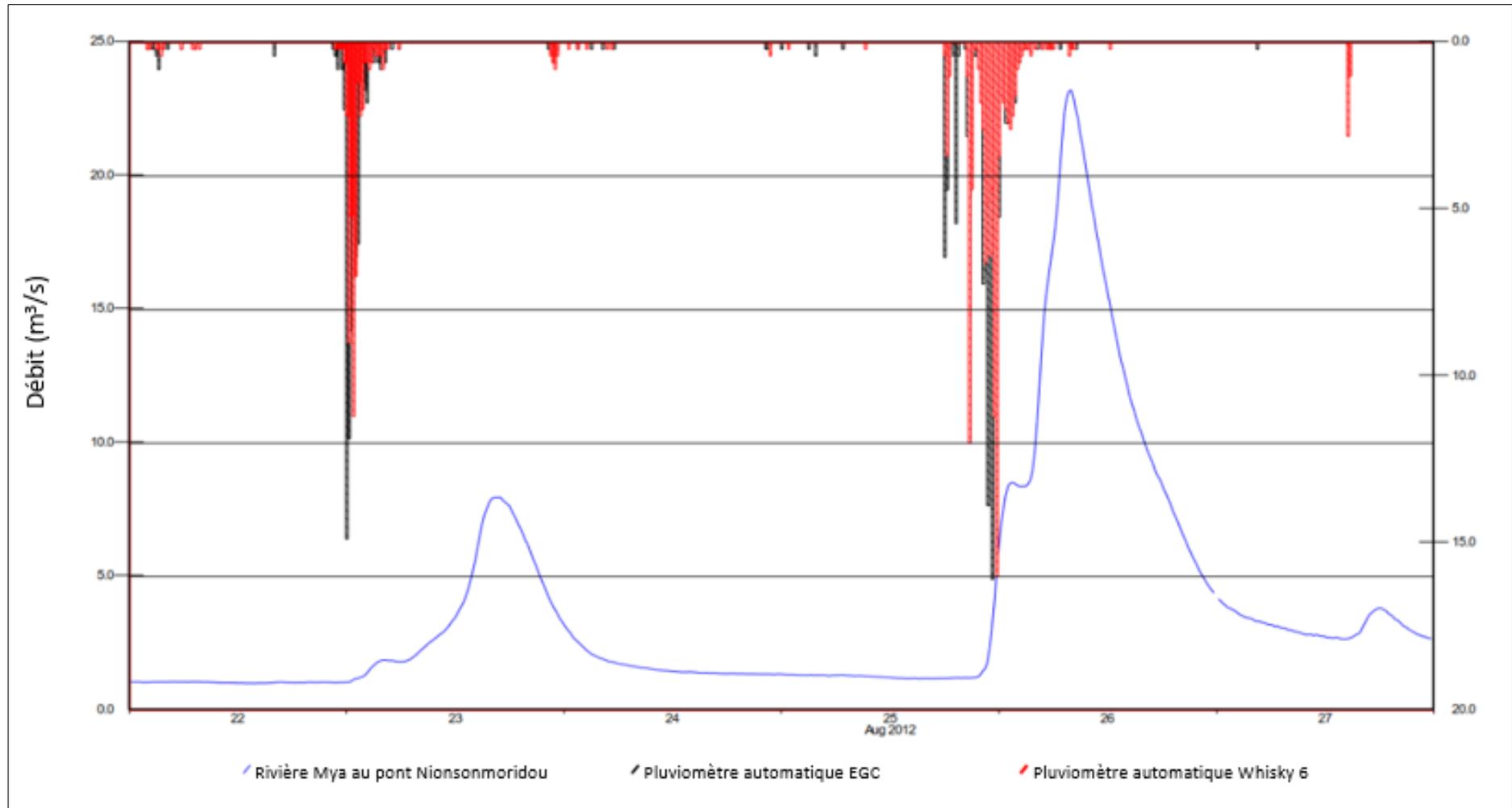


Figure 4-18 : épisodes de crue dans le bassin versant de Miya, 22-23 et 25-27 août 2012

4.5 Composantes du débit : débit de base

4.5.1 Introduction

Le débit de base (parfois appelé débit lent) se compose des eaux souterraines rejetées par les aquifères du gisement, les masses d'eau souterraines perchées dans les lignes de crête d'Ouéléba et Pic de Fon et les aquifères de socle en aval des lignes de crête. Des eaux souterraines sont continuellement rejetées dans les lits des cours d'eau par des sources situées sur les flancs des montagnes et en aval. Le caractère continu du processus de rejet donne lieu à la nature pérenne du débit de base dans le réseau de drainage.

Dans cette section, les courbes des débits classés servent à présenter des statistiques de référence sur le débit de base, car les changements dans les régimes de débit prévus en conséquence des activités minières se démontrent au mieux au moyen de courbes des débits classés, sous réserve que la même technique de séparation du débit de base soit appliquée partout. Comme à la section 4.1, les courbes des débits de base classés ont été normalisées en divisant par la superficie du bassin versant, et les unités hydrométriques ont été converties en unités de litres par seconde par kilomètre carré. À des fins de comparaison, chaque graphique présente les courbes de débits classés de cours d'eau d'un bassin versant principal commun, et pour une période de relevé commune. La technique de séparation s'est traduite par des périodes de relevé de débit de base légèrement plus courtes que celles des hydrogrammes du débit total présentées à l'annexe D. Les courbes de taux niveau-débit aux stations hydrométriques ayant été évaluées comme plus exactes aux débits inférieurs, les courbes des débits classés du débit de base peuvent être considérées comme relativement fiables. Il est néanmoins conseillé de faire preuve de circonspection lorsqu'on interprète les plages supérieures des courbes des débits de base classés, car il existe une incertitude quant à l'exactitude des courbes niveau-débit à des débits plus élevés.

4.5.2 Bassin versant de Mala

La Figure 4-19 présente les courbes des débits de base classés normalisés des stations KIN2 Kinyeko à Traorela et MAL Mala à Traorela dans le bassin de la rivière Mala. Le Tableau 4-12 présente les débits de base de centile normalisés aux stations hydrométriques. Alors que les débits de base normalisés à l'extrémité supérieure de la plage de débits sont très similaires, les courbes des débits classés divergent à l'extrémité inférieure de cette plage. Les débits de base normalisés de la rivière Kinyeko sont nettement plus élevés que ceux de la rivière Mala, ce qui indique que les résurgences d'eaux souterraines dans le sous-bassin de la rivière Kinyeko sont plus élevées que dans le sous-bassin de la rivière Mala.

La courbe des débits de base classés normalisés du troisième sous-bassin jaugé du bassin versant de Mala KIN1 Ouéléba 1 Source est présentée séparément à la Figure 4-20 (la période de relevé à cette station est différente des celle des deux autres). Le Tableau 4-9 présente les débits de base de centile normalisés de la station KIN1. Comme la station KIN1 se trouve à une source dont le bassin versant est d'une très petite superficie (0,16 km²), le débit est presque entièrement constitué d'eau souterraine. Les débits normalisés sont significativement plus élevés qu'à KIN2 et MAL, avec un débit normalisé moyen de 50 l/s/km² (DQM : 0,008 m³/s). Ceci suggère que la superficie du bassin versant des eaux souterraines est plus grande que le bassin versant topographique, et que les débits normalisés absolus à la source ne sont pas directement comparables aux débits normalisés à la station KIN2 en aval. Ouéléba 1 Source draine vers la station KIN2, et est largement responsable du maintien des débits de base relativement élevés de la Figure 4-20.

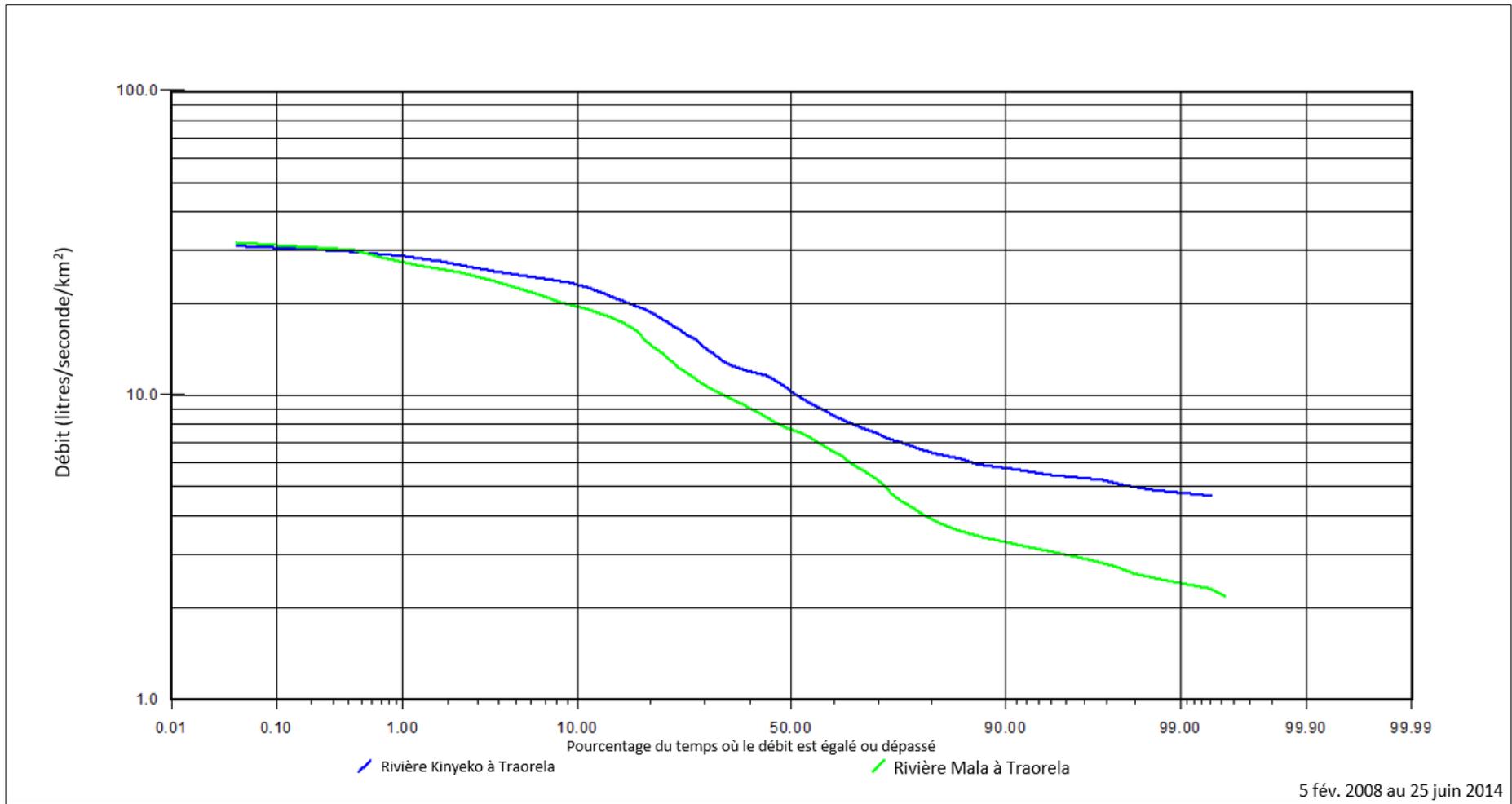


Figure 4-19 : courbes des débits de base classés normalisés des stations KIN2 et MAL dans le bassin versant de la rivière Mala

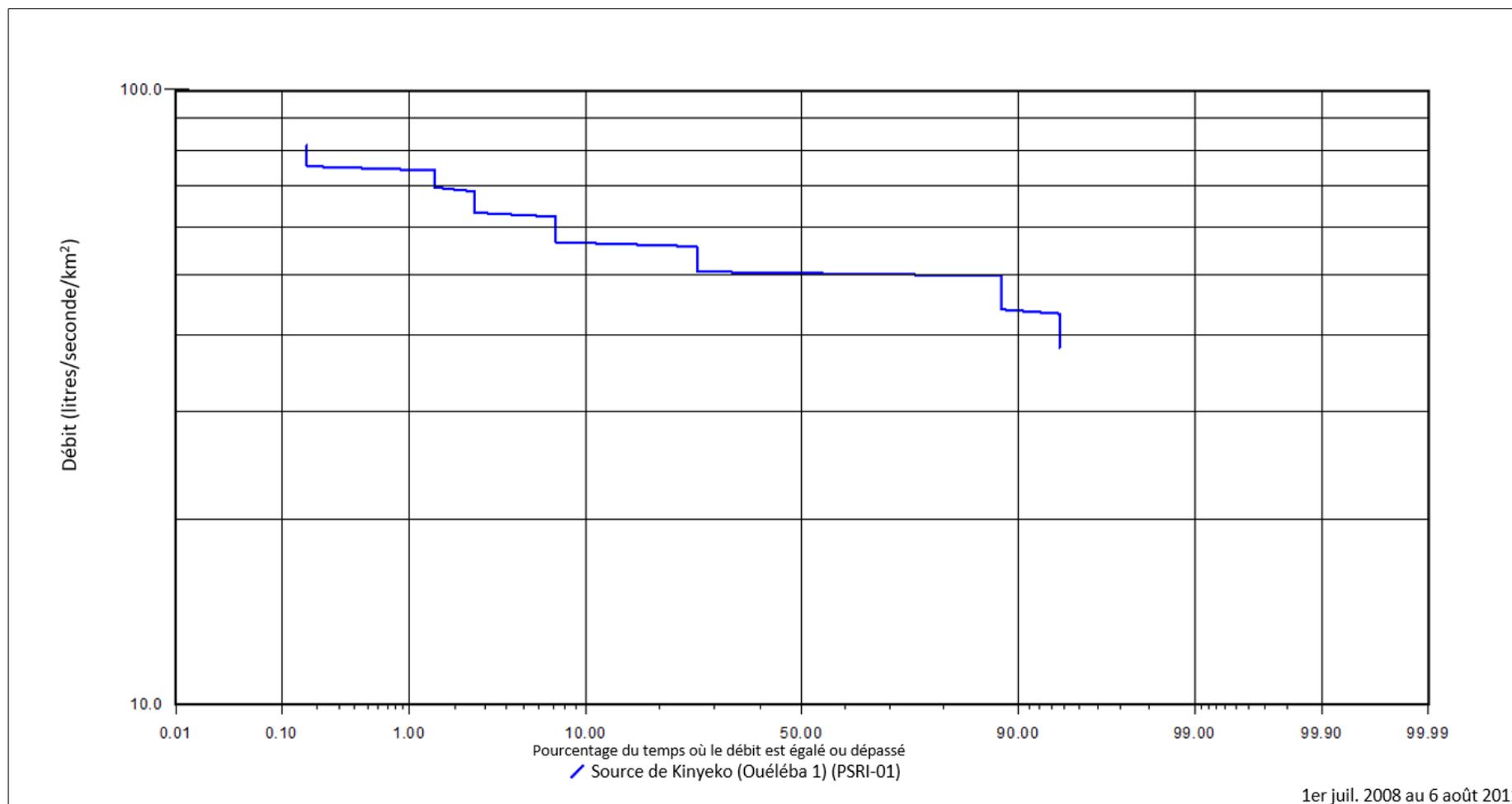


Figure 4-20 : courbe des débits de base classés normalisés de la station KIN1 dans le bassin versant de la rivière Mala

La nature échelonnée de la courbe des débits de base classés KIN1 est considérée comme étant due à la mauvaise discrétisation des variations des petits débits mesurés à la source.

Tableau 4-12 : débits de base de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de Mala¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
KIN1 ³	0.16	0.008	62.6	56.4	55.7	50.3	50.0	43.7	38.0
KIN2	8.9	0.109	24.9	22.9	16.4	10.3	6.90	5.74	5.36
MALA	15.0	0.143	22.5	19.5	12.3	7.70	4.43	3.28	2.98

¹ Période : 5-Feb-2008 au 25-Jun-2014. ² ADF-Average Daily Flow (baseflow). ³ Période Du 1er juillet 2008 au 6 août 2011.

4.5.3 Bassin versant de Miya

La Figure 4-21 présente les courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Miya. Le Tableau 4-13 présente les débits de base de centile normalisés aux stations hydrométriques. Les stations tracées et tabulées sont : BOY Boyboyba à Siatouro, MY2 Miya au pont Nionsonmoridou, et OUL4, OUL5 et OUL6-OLD

En tant que plus grand bassin versant, la station MY2 affiche la plus large plage de débit de base normalisé. Les courbes des débits classés des stations OUL4, OUL5 et OUL6 ont des pentes similaires, bien qu'il existe une certaine variabilité, ce qui suggère que ces sous-bassins versants de taille similaire ont des régimes de débit de base largement similaires. La courbe du sous-bassin versant de Boyboyba montre les débits normalisés les plus élevés parmi les sous-bassins versants dont le graphique a été tracé. La courbe des débits classés du Boyboyba indique également que ce cours d'eau a la plus faible plage de débits, et donc la plus faible variabilité saisonnière. On sait qu'il existe une importante résurgence d'eaux souterraines dans le cours supérieur du sous-bassin de Boyboyba, ce qui est manifeste dans la Figure 4-21 et le Tableau 4-10.

La Figure 4-22 montre la courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Farako à Wataferedou, côté est de la vallée de la Miya. La rivière Farako draine une zone de socles rocheux. Les débits de base normalisés sont deux fois plus élevés que ceux de la rivière Boyboyba. On estime que la forte résurgence d'eaux souterraines dans ce cours d'eau est due à des régulations structurelles qui font que le bassin versant d'eaux souterraines est plus vaste que la superficie du bassin versant topographique.

Tableau 4-13 : débits de base de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de Miya¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
BOY	3.0	0.071	33.2	30.7	26.3	22.6	21.4	17.0	14.9
MY2	46.2	0.659	30.6	27.4	22.2	13.5	5.34	4.21	3.82
OUL4	4.5	0.049	16.1	14.1	12.8	10.7	8.85	7.22	6.41
OUL5	3.1	0.036	20.7	18.6	14.9	11.8	7.63	5.68	5.26
OUL6	2,1	0.025	22.3	20.0	15.8	11.1	9.12	4.62	2.86
WAT ³	1.3	0.101	170	144	106	62.9	39.0	31.7	28.7

¹Période : 21/07/2011 au 11/01/2014. ² DQM = débit quotidien moyen. ³Période : 07/03/2008 au 25/04/2012.

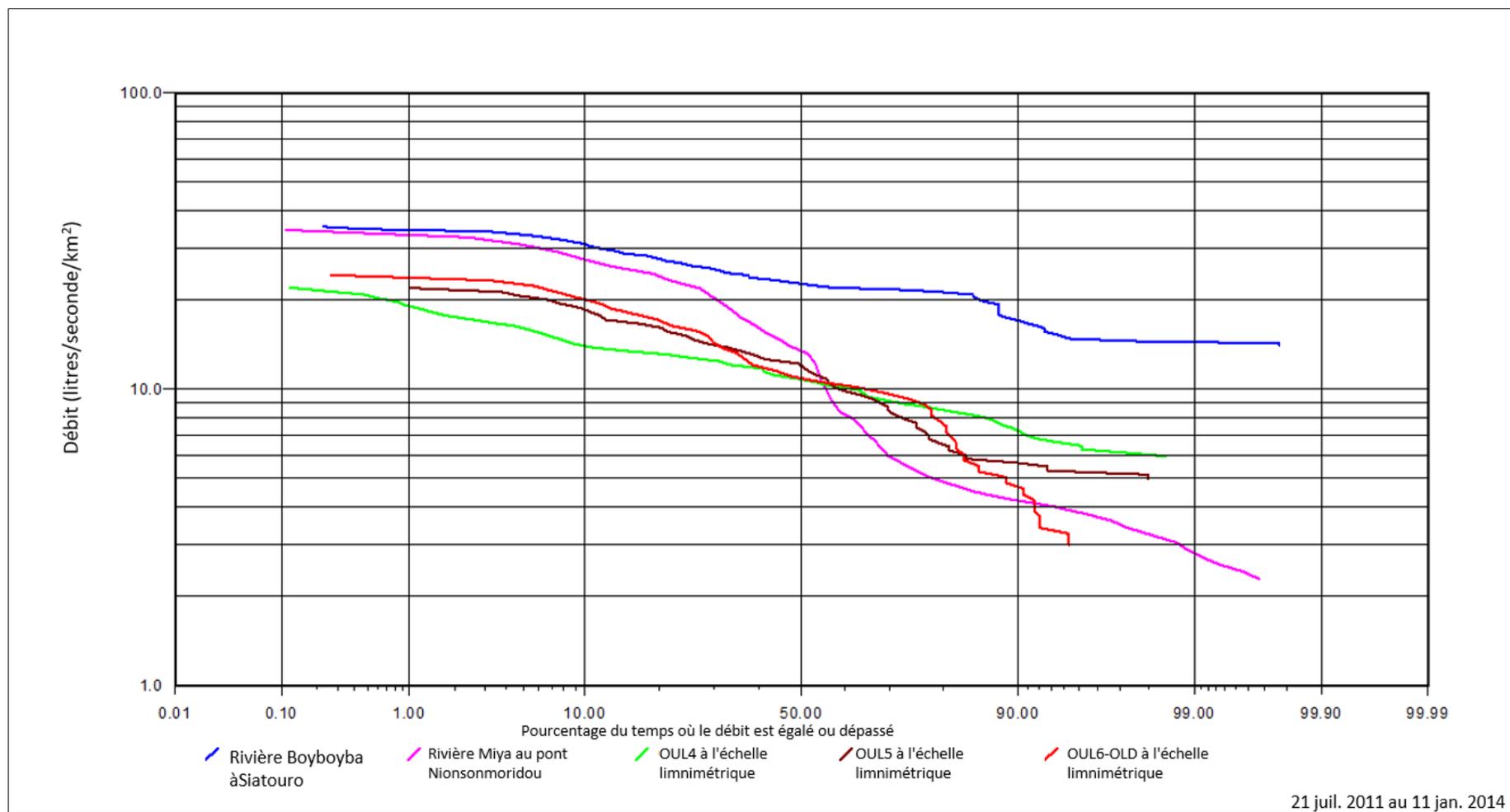


Figure 4-21 : courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Miya

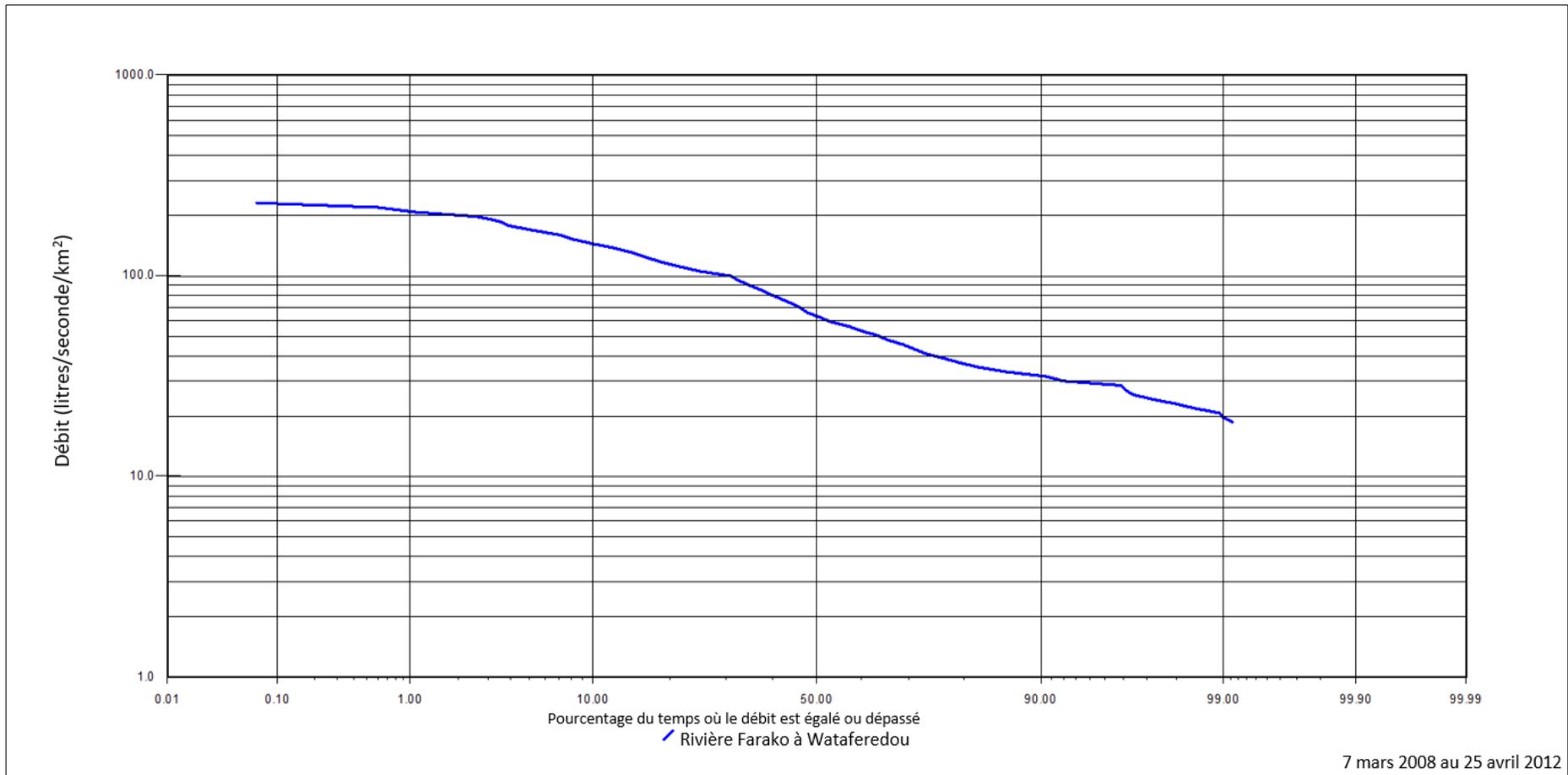


Figure 4-22 : courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Farako à Wataferedou

4.5.4 Bassin versant de Loffa

La Figure 4-23 présente les courbes des débits de base classés normalisés des stations qui surveillent le cours supérieur nord du bassin versant de Loffa, et les stations situées sur le cours principal de la rivière Loffa, à savoir route de Canga est (station LOF2) et à Foma (station LOF3).

Parmi les affluents du cours supérieur nord, le sous-bassin de l'affluent de la Loffa, à l'échelle limnimétrique (station LOF1), draine le Canga sur les pentes sud-est d'Ouéléba. La pente relativement abrupte de la courbe des débits de base classés normalisés et la plage de débits relativement large suggèrent que le stockage des eaux souterraines dans la Canga est restreint ; cela entraînerait une baisse du débit en saison sèche, et se traduirait par les débits normalisés les plus bas des stations dont le graphique a été tracé.

Les rivières Tamanko et Farako, stations TAM et FA1 respectivement, drainent des socles rocheux. Les débits normalisés dans les rivières Tamanko et Farako sont relativement faibles et considérés comme typiques de la géologie de socle.

Les débits normalisés à l'extrémité inférieure de la plage de débits sont les plus élevés à la station LOF2, la Loffa à route de Canga est. Le sous-bassin versant de la station LOF2 comprend les pentes sud-est d'Ouéléba, la ligne de crête centrale et les pentes nord-est du Pic de Fon. Le débit de base normalisé plus élevé suggère une résurgence d'eaux souterraines relativement élevée provenant des montagnes.

Les débits de base normalisés à l'extrémité inférieure de la plage de débits à la station LOF3 (Foma) sont plus faibles qu'à la station LOF2. Bien que le bassin versant de la station LOF3 draine les pentes orientales du Pic de Fon, il draine également une grande superficie de socles rocheux à l'est, ce qui réduit les flux normalisés à des niveaux similaires à ceux du sous-bassin versant de Tamanko et de Farako. À Foma, l'effet global de la résurgence d'eaux souterraines d'Ouéléba et du Pic de Fon sur le débit de base dans la Loffa est relativement limité.

La Figure 4-24 montre les courbes des débits de base classés normalisés des sous-bassins qui drainent les pentes orientales du Pic de Fon. Le débit de base normalisé dans la rivière Fokou est nettement plus élevé que dans les autres cours d'eau dont le graphique a été tracé, ce qui suggère une résurgence relativement importante d'eaux souterraines du Pic de Fon dans ce cours d'eau.

Comme il a été mentionné précédemment, le déversoir Whisky 1 est situé en aval de la prise d'eau du camp de Canga est. On pense que le captage est de l'ordre de 1 à 4 l/s (équivalent à 2,1 à 8,5 l/s/km²). La courbe présentée pour Whisky 1 est dérivée des débits tels que relevés ; on s'attendrait à ce que les débits de base soient plus élevés que ceux indiqués, d'une quantité approximativement égale au captage normalisé. Les débits de base normalisés dans la rivière Whisky 1 à Kotila (station KOT1) en aval sont également affectés par le captage.

La rivière Boe ne draine qu'une partie limitée du Pic de Fon ; la majeure partie du sous-bassin versant draine des socles rocheux. Par conséquent, les débits de base normalisés à l'extrémité inférieure de la plage de débits sont plus faibles dans le sous-bassin versant de la Boe que dans les autres cours d'eau dont le graphique a été tracé, et sont plus typiques de résurgences d'eaux souterraines provenant de la géologie de socle.

La courbe des débits de base classés normalisés n'est pas présentée pour le sous-bassin de Whisky 4 sur le pic de Fon car le relevé hydrométrique est trop incomplet.

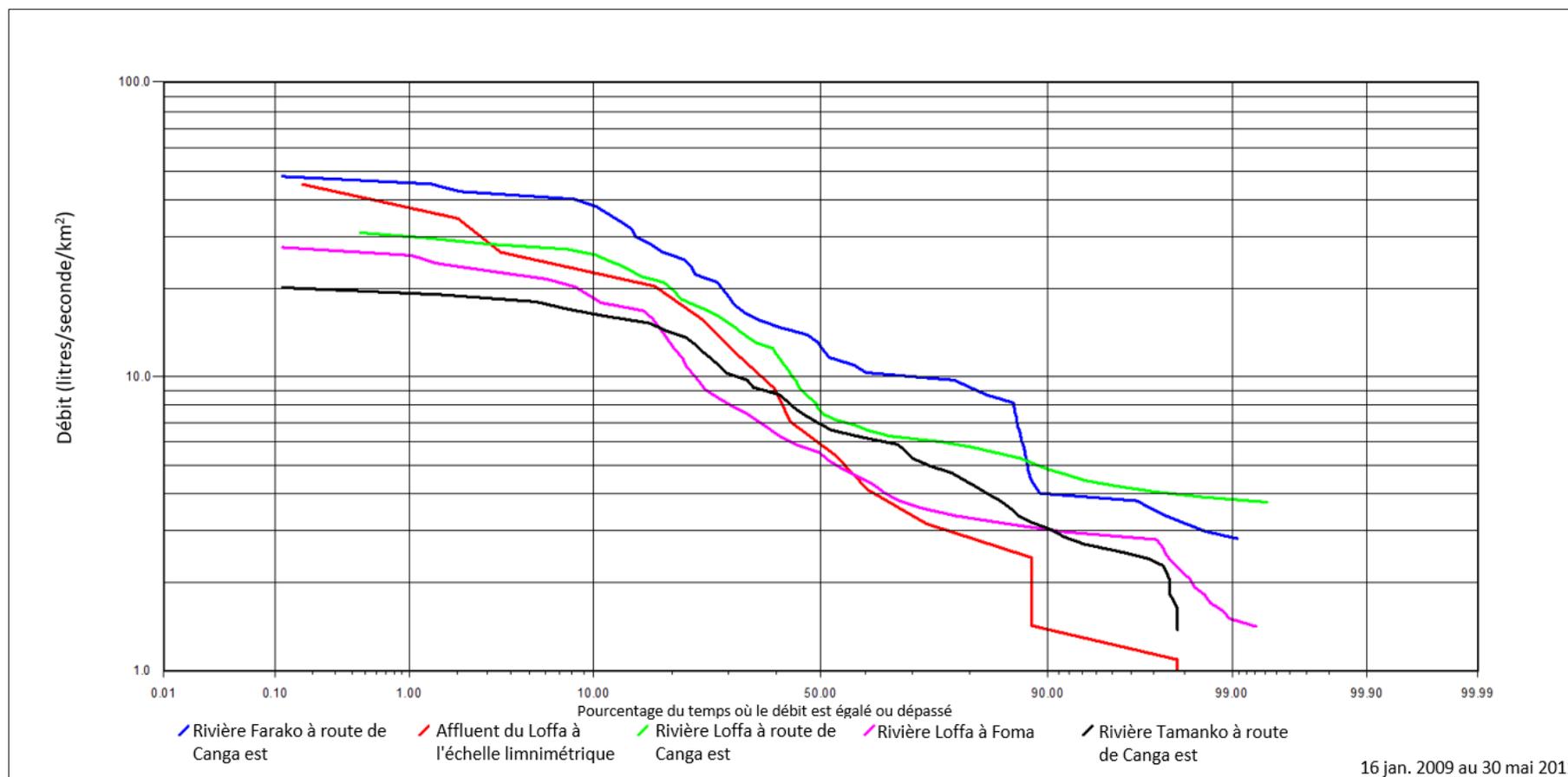


Figure 4-23 : courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Loffa

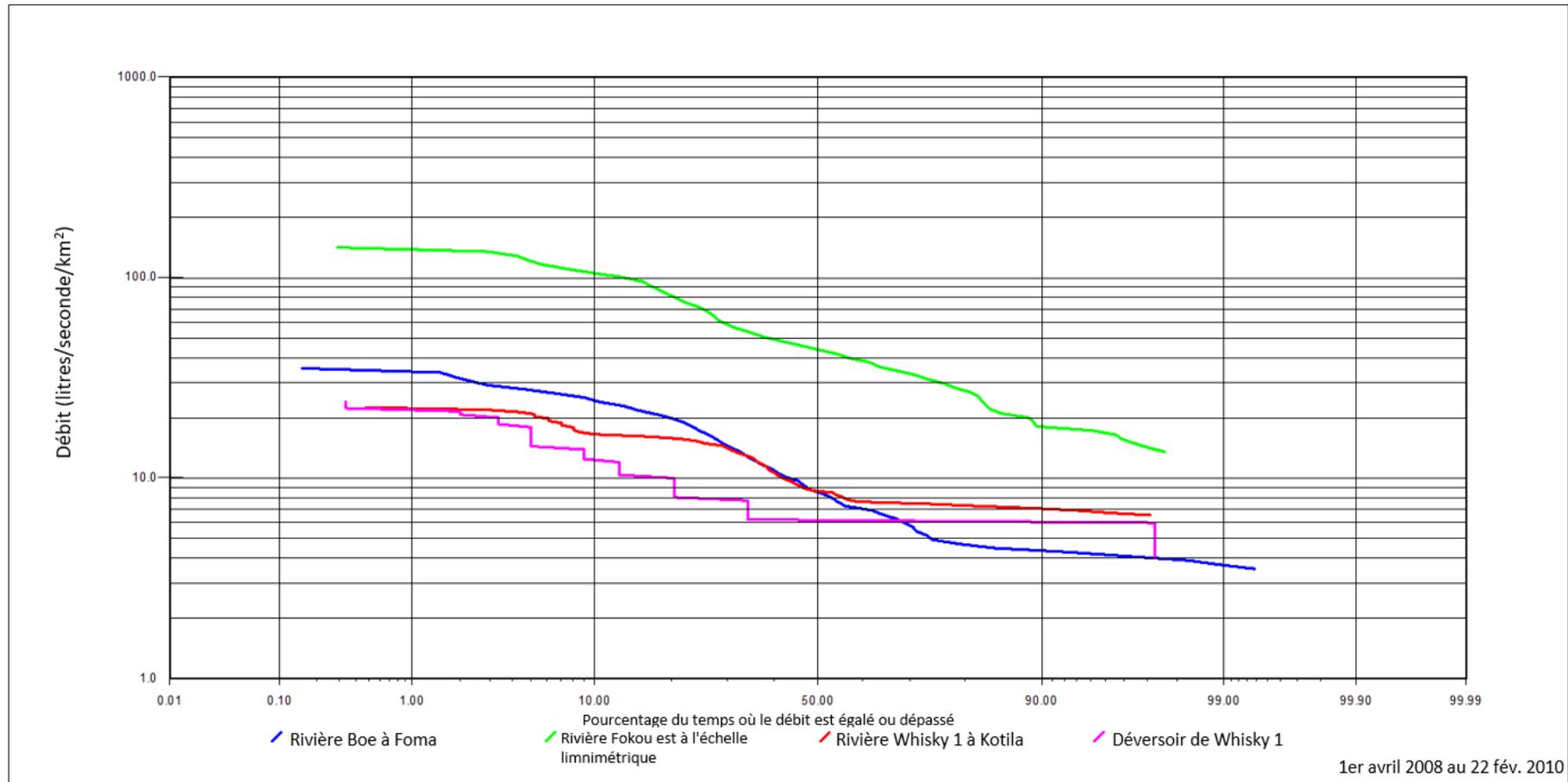


Figure 4-24 : courbes des débits de base classés normalisés des sous-bassins versants dans le bassin versant de la rivière Loffa drainant le Pic De Fon

Le Tableau 4-14 présente les débits de base de centile normalisés aux stations hydrométriques du bassin versant de la Loffa.

Tableau 4-14 : débits de base de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de la Loffa¹

Station	Superficie km ²	DQM ¹ m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
FA1 ²	2.64	0.044	42.8	37.6	22.7	12.7	9.97	4,17	3.61
LOF1 ²	0.8	0.008	26.93	24.22	15.44	6.26	2.45	1.43	1.25
LOF2 ²	22.2	0.266	27.44	24.73	17.48	7.73	6.07	4.79	4.16
LOF3 ²	191	1.52	22.27	19.45	9.54	5.47	3.57	2.86	2.65
TAM ²	4.6	0.040	18.7	16.3	12,5	7.08	4.90	3.05	2.59
BOE ³	10.0	0.118	27.6	24.4	17.2	8.58	4.89	4.33	4.07
FKE ³	0.70	0.037	122	105	70.9	43.7	30.4	17.9	16.7
KOT134	3.3	0.036	20.7	16.6	15.2	8.72	7.38	6.90	6.68
W1W34	0.47	0.004	18.0	12.1	8.2	6.07	5.89	5.78	5.75
W4W	0.80	Relevé hydrométrique incomplet. Courbe des débits de base classés non présentée.							

¹DQM = débit quotidien moyen (débit de base). ²Période : 16/01/2009 au 30/05/2011. ³Période : 01/04/2008 au 22/02/2010. ⁴Les statistiques hydrométriques concernent les débits tels que relevés.

4.5.5 Bassin versant de Woron

La Figure 4-25 présente les courbes des débits de base classés normalisés dans le bassin versant de la rivière Woron. Le Tableau 4-15 présente les débits de base de centile normalisés aux stations hydrométriques. Les stations tracées et tabulées sont : WBE1 Worongbe à Lamadou, WSR rivière Éperon occidental au sentier de Mandou, WOR1 Woron à Mamourdou, WOR2 Woron à Orono et WOR3 Woron à Mandou. Le déversoir Whisky 5 de la station a été omis car il n'a qu'un bref relevé hydrométrique fiable.

Les pentes des courbes des débits de base classés normalisés de la rivière Worongbe à Lamadou et de rivière Éperon ouest sont similaires, ce qui suggère des régimes de débit de base similaires. La courbe du Worongbe se situe au-dessus de celle de la rivière Éperon ouest, ce qui indique que les débits de base normalisés sont plus élevés dans cet affluent. Au centile 95, le débit de base normalisé dans la Worongbe est environ 10 fois plus élevé que le débit dans la rivière Éperon ouest. La plage des débits de base normalisés dans ces deux sous-bassins est considérablement réduite par rapport à la rivière Woron. On sait que la Worongbe et la rivière Éperon ouest reçoivent d'importantes résurgences d'eaux souterraines ; le Worongbe, depuis l'extrémité sud-est de l'Ouéléba et de la ligne de crête centrale, et la rivière Éperon ouest, depuis les pentes nord-ouest du Pic de Fon.

La Worongbe se jette dans la rivière Woron en amont de la station WOR2 à Orono, ce qui fait que les débits de base normalisés à Orono sont les plus élevés des trois stations de la rivière Woron. La rivière Éperon ouest se jette dans le Woron en amont de la station WOR3 à Mandou. Les débits de base normalisés à Mandou sont plus faibles qu'à Orono en raison de la plus grande superficie du bassin versant, et peut-être aussi en raison des pertes de débit vers les sédiments alluviaux dans le bief entre Orono et Mandou. Les débits de base normalisés dans la Woron à Mamourdou sont plus faibles qu'à Orono ou Mandou car le bassin versant de Mamourdou, qui draine les pentes ouest d'Ouéléba, ne reçoit pas de résurgences d'eaux souterraines notables.

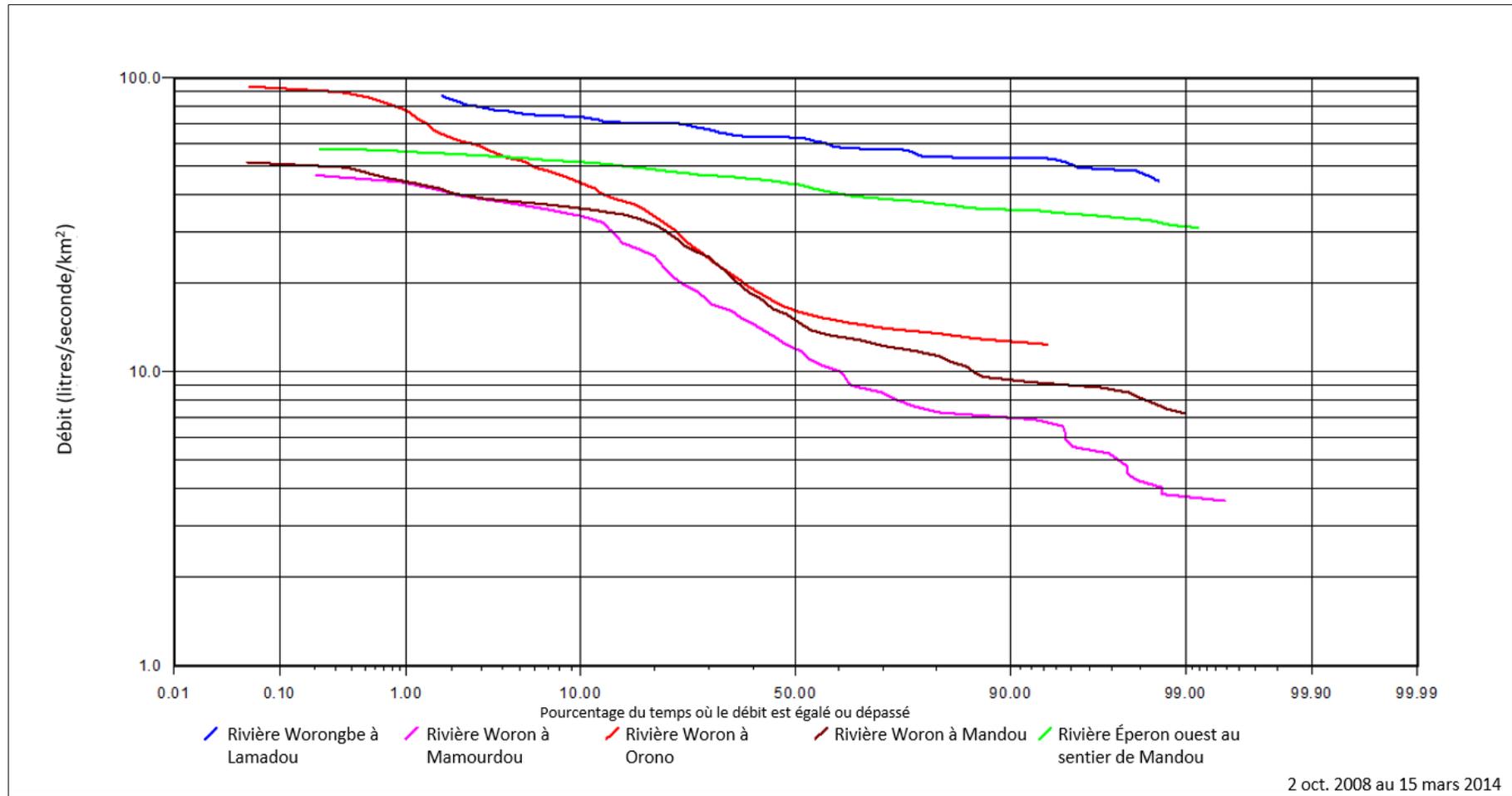


Figure 4-25 : courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Woron

Tableau 4-15 : débits de base de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de la Woron¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
WBE1	1,8	0.112	78.6	77.1	72.4	64.7	55.7	49.5	47.4
WSR	5,6	0.241	57.8	55.0	46.5	41.9	37.7	35.1	31.6
WOR1	2.9	0.045	39.5	33.2	19.9	11.9	7.95	6.76	5.68
WOR2	33.4	0.773	49.4	41.4	25.3	16.3	13.5	12.3	11.9
WOR3	51.7	1.01	42.3	38.6	28.6	16.4	13.1	11.6	10.4

¹Période : 02/10/2008 au 15/03/2014. ²DQM = débit quotidien moyen.

4.5.6 Bassin versant de Dianiworo

La Figure 4-26 montre les courbes des débits de base classés normalisés dans le bassin versant de la rivière Dianiworo.

Le sous-bassin versant de la Pulowaye draine les pentes sud de l'Éperon occidental, crête s'étendant vers le nord-ouest à partir du Pic de Fon. Les débits normalisés sont plus élevés dans le Pulowaye que dans d'autres sous-bassins versants de la Dianiworo, ce qui suggère des résurgences d'eaux souterraines relativement élevés depuis l'Éperon occidental dans ce sous-bassin. Le sous-bassin de la Wolou draine une zone de socles rocheux au sein du sous-bassin versant de la Dianiworo. Les débits normalisés sont les plus faibles de ce groupe de stations, et sont typiques des débits de base dans le sous-sol. Les débits normalisés au déversoir Whisky 2, à un petit sous-bassin dans le sous-bassin de la Dianiworo et dans la Dianiworo à Tourela sont similaires ; cela n'indique pas une contribution significative en eaux souterraines de cette partie du Pic de Fon.

Le Tableau 4-16 présente les débits de base de centile normalisés aux stations hydrométriques.

Tableau 4-16 : débits de base de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de rivière Dianiworo¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
DIA	23.7	0.258	33.7	28.5	15.6	6.03	3.76	3.07	2.60
PUL	7.2	0.263	136	90.5	41.8	21.4	14.5	10.7	8.8
W2W	0.41	0.002	13.9	10.5	7.34	4.59	2.82	2.43	2.30
WOL	4.3	0.136	30.6	26.6	12.8	4.74	2.53	1.77	1.49

¹Période : 12/08/2008 au 14/02/2012. ²DQM = débit quotidien moyen (débit de base).

4.5.7 Bassin versant de la Soumourou

La Figure 4-27 montre les courbes des débits de base classés normalisés de deux stations du bassin versant de la rivière Soumourou : la Soumourou à Gbonodou (station SOU1) et à Kakano (station SOU2). Les rivières Woron et Dianiworo se jettent dans la rivière Soumourou entre les stations SOU1 et SOU2. La courbe des débits de base classés normalisés de la station SOU2 montre des débits de base constamment plus élevés qu'à la station SOU1. La courbe de la station SOU1 reflète les résurgences d'eaux souterraines provenant des socles rocheux, tandis que celle de la station SOU2 reflète l'influence des résurgences d'eaux souterraines provenant d'Ouéléba et Pic de Fon.

Le Tableau 4-17 présente les débits de base de centile normalisés aux stations hydrométriques.

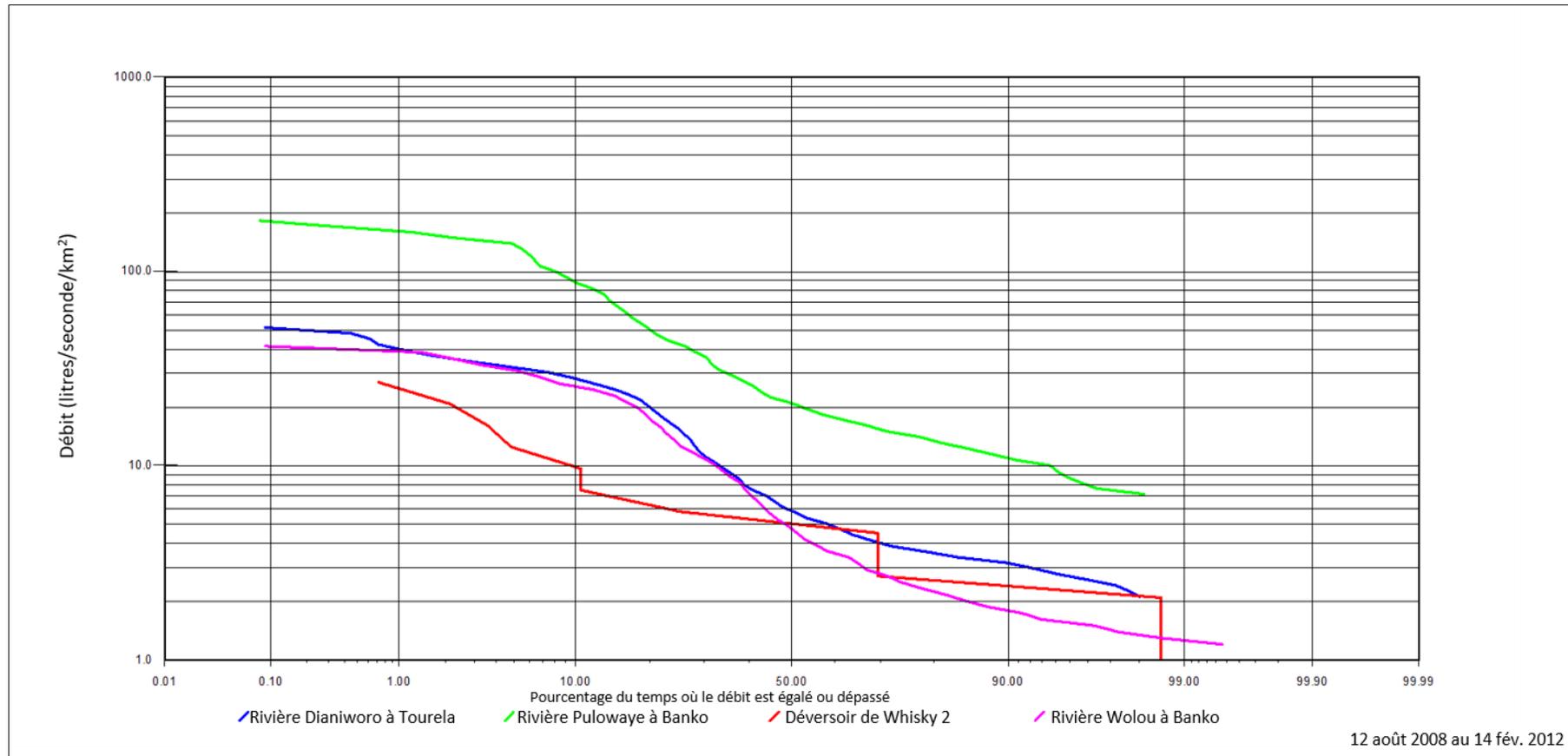


Figure 4-26 : courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Dianiworo

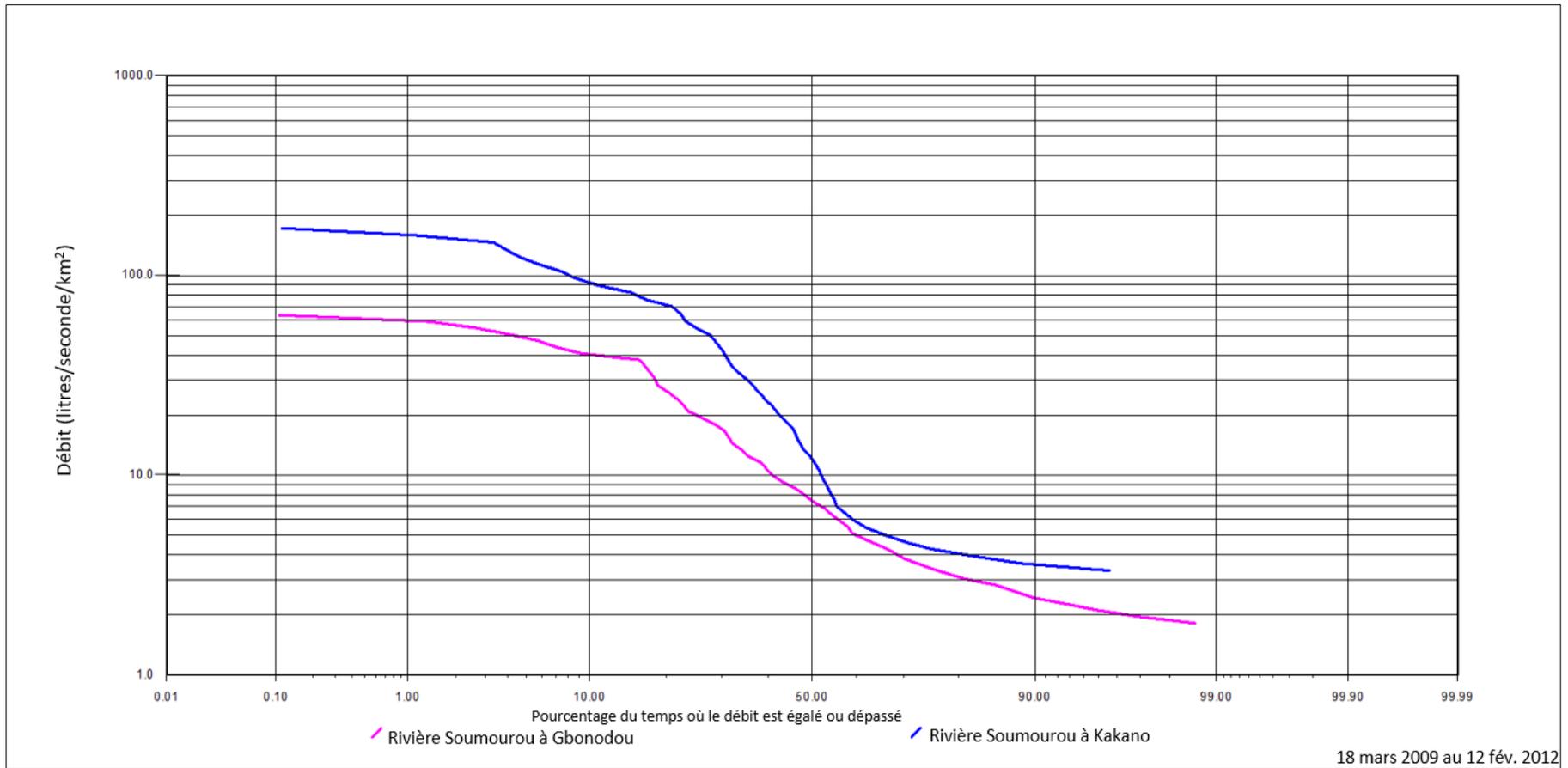


Figure 4-27 : courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Soumourou

Tableau 4-17 : débits de base de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de rivière Soumourou¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
SOU1	172	2.530	48.5	40.8	20.4	7.44	3.44	2.43	2.10
SOU2	319	10.719	117	92.6	54.4	12.1	4.27	3.54	3.32

¹Période : 18/03/2009 au 12/02/2012. ²DQM = débit quotidien moyen (débit de base).

4.5.8 Bassin versant de Fokou ouest

La Figure 4-28 montre l'hydrogramme du débit de base quotidien normalisé pour la période de relevé disponible au déversoir de Fokou ouest sur la rivière Fokou ouest (02/10/2010 au 18/07/2011). Le relevé hydrométrique du déversoir Fokou ouest n'étant pas considéré comme suffisamment long pour permettre l'élaboration d'une courbe des débits classés représentative, l'hydrogramme des débits de base normalisés est représenté à la place.

Le bassin versant de la rivière Fokou ouest draine les pentes sud-ouest du Pic de Fon et se trouve côté sud-ouest de la crête du Pic de Fon, à l'ouest de la rivière Fokou est qui se trouve côté est de la crête. La superficie du bassin versant au déversoir est de 0,8 km². Le débit de base quotidien normalisé moyen au déversoir en saison sèche de novembre 2010 à mars 2011 était de 112,2 l/s/km². Il s'agit du débit de base normalisé le plus élevé observé dans la zone du projet, ce que l'on l'attribue au fait qu'il représente le principal point de résurgence d'eaux souterraines depuis le Pic de Fon méridional.

La Figure 4-29 montre la courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique (station FKO). Cette station est située en aval du déversoir Fokou ouest. Un affluent rejoint la rivière Fokou ouest depuis le nord en amont de la station FKO. Cet affluent a pour effet de réduire les débits de base normalisés à la station FKO. Toutefois, les débits de base normalisés à l'extrémité inférieure de la plage de débits dépassent encore 10 l/s/km², ce qui suggère que le bassin versant de Fokou ouest est une importante voie de résurgence des eaux souterraines provenant du Pic de Fon.

Le Tableau 4-18 présente les débits de base de centile normalisés à la station FKO.

Tableau 4-18 : débits de base de centile normalisés (l/s/km²), rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique¹

Station	Superficie km ²	DQM ² m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
FKO	5.4	0.128	41.7	37.1	27.3	22.6	18.5	12.8	11.9

¹Période : 04/05/2008 au 20/01/2010. ¹DQM = débit quotidien moyen (débit de base).

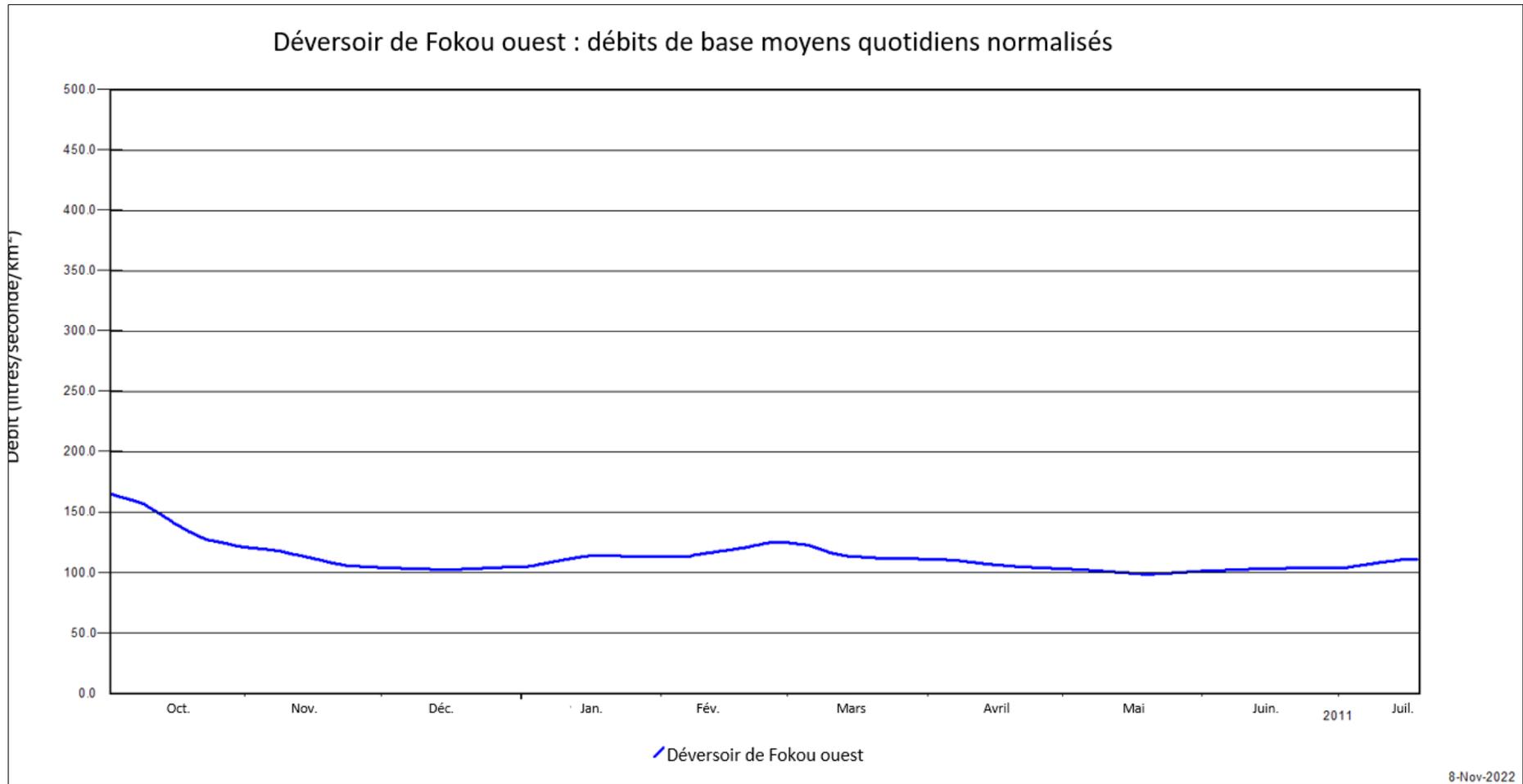


Figure 4-28 : hydrogramme du débit de base quotidien normalisé de la rivière Fokou ouest au déversoir Fokou ouest

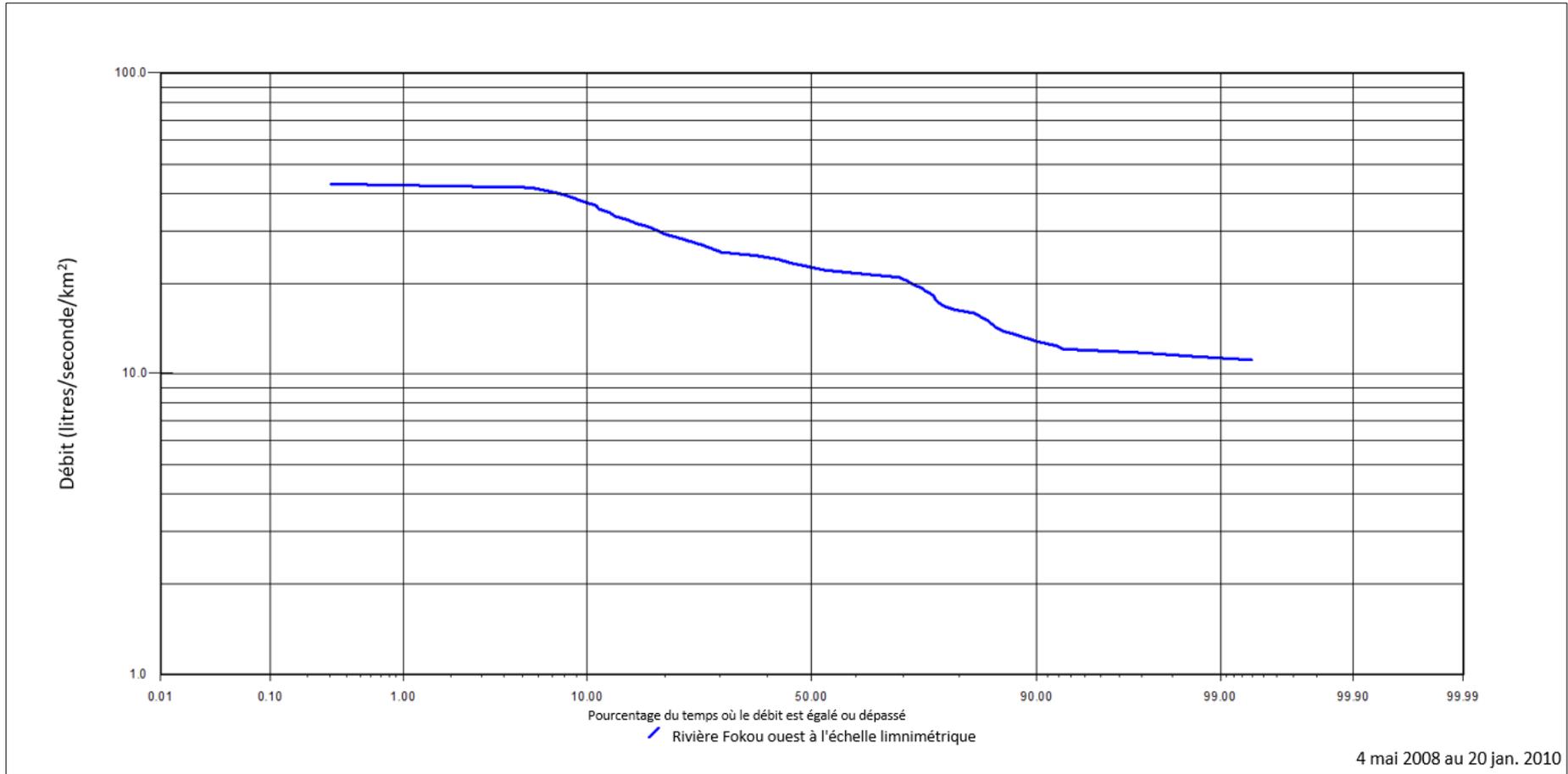


Figure 4-29 : courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Fokou ouest à l'échelle limnimétrique

4.5.9 Bassin versant de Siankoun

Le bassin versant de la rivière Siankoun se trouve à l'est d'Ouéléba, draine vers le nord jusqu'à la rivière Dion et contient l'aéroport de Beyla. Le bassin versant repose sur des socles rocheux. La Figure 4-30 montre les courbes des débits de base classés normalisés de stations de cours d'eau supérieur du bassin versant de la rivière Siankoun sur la rivière Siankougbe (station SKB) et la rivière Siankounfin (station SKF), toutes deux dans le village de Banankoro, sur la route de Canga est.

La Figure 4-31 montre la courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Siankoun à l'aéroport de Beyla (station SKO). La courbe est tracée sur un graphique distinct car la période de relevé diffère de celle des stations SKB et SKF. Toutes les courbes des débits classés du bassin versant de la rivière Siankoun indiquent des débits de base normalisés à l'extrémité inférieure de la plage de débits qui sont typiques des bassins versants reposant sur une géologie de socle.

Le Tableau 4-19 présente les débits de base de centile normalisés aux stations hydrométriques.

Tableau 4-19 : débits de centile normalisés (l/s/km²), bassin versant de la rivière Siankoun¹

Station	Superficie km ²	DQM ¹ m ³ /s	Centile 5	Centile 10	Centile 25	Centile 50	Centile 75	Centile 90	Centile 95
SKB ²	7.1	0.075	21.0	19.1	15.7	9.44	4.99	2.83	2.09
SKF ²	8.7	0.036	8.46	8.04	7.16	3.89	1.21	0.58	0.50
SKO ³	145	0.940	18.7	14.3	9.01	4.59	2.92	1.80	1.60

¹DQM = débit quotidien moyen (débit de base). ²Période : 17/04/2008 au 30/05/2011. ³Période : 08/10/2011 au 10/12/2012.

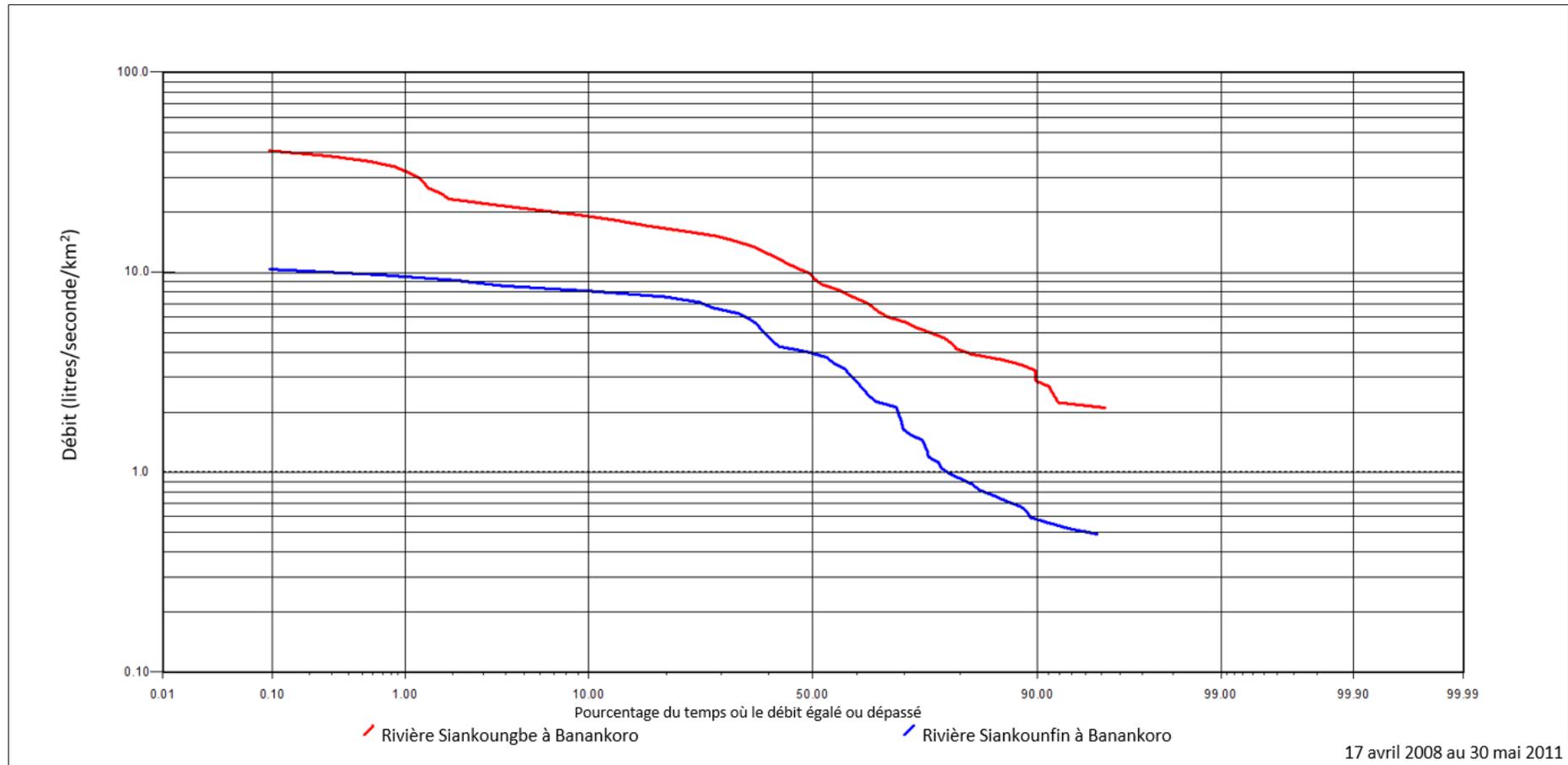


Figure 4-30 : courbes des débits de base classés normalisés des stations dans le bassin versant de la rivière Siankoun

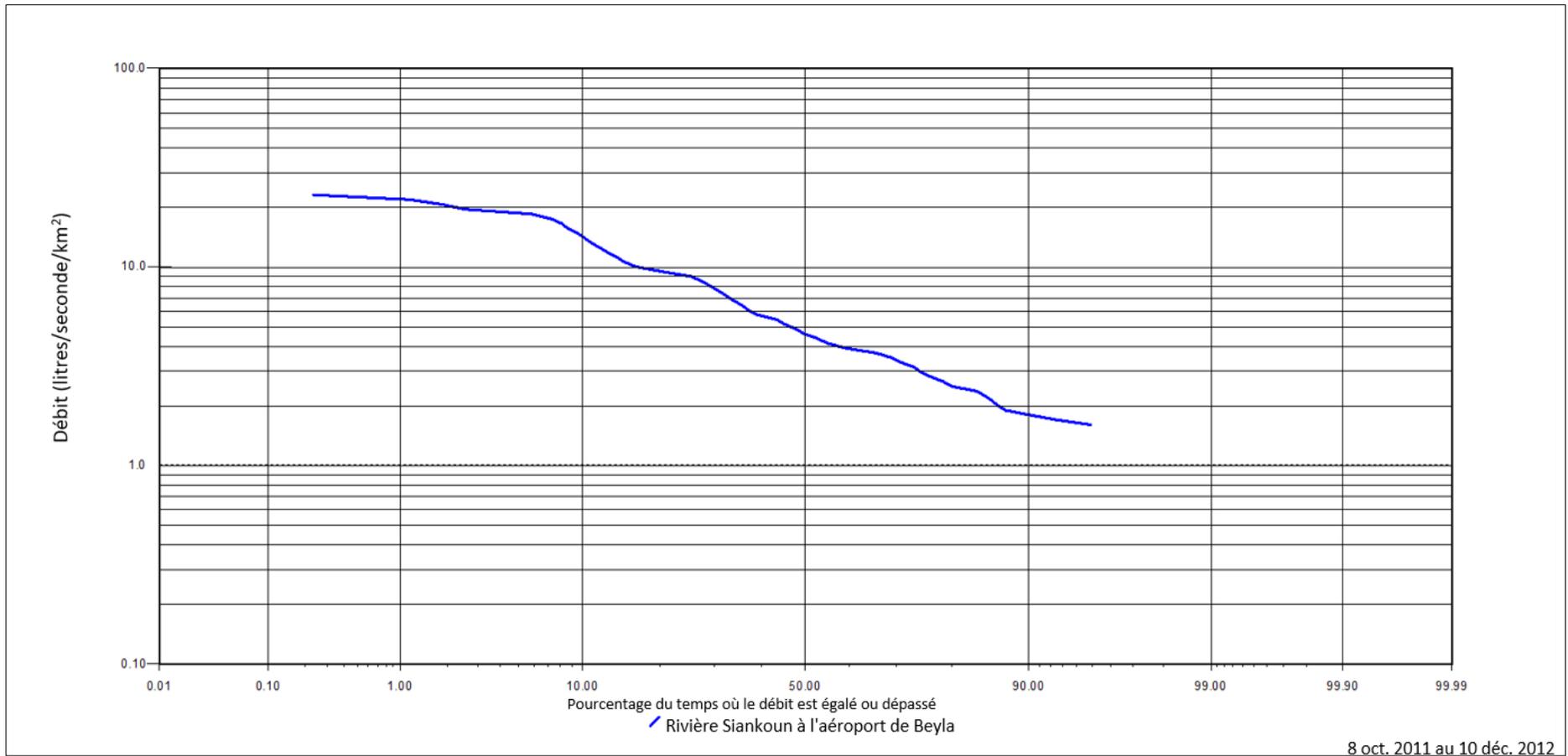


Figure 4-31 : courbe des débits de base classés normalisés de la rivière Siankoun à l'aéroport de Beyla

4.5.10 Hydrogrammes de débit de base

La Figure 4-32 et la Figure 4-33 montrent un certain nombre d'hydrogrammes de débits de base et de débits de base normalisés (en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) pour les cours d'eau drainant les flancs exposés est et ouest d'Ouéléba, respectivement.

Le débit de base en saison humide reflète l'influence du système aquifère rechargé et des gradients hydrauliques plus raides. En saison sèche, l'hydrogramme du débit de base reflète la résurgence provenant du système aquifère en conditions de recharge faible ou nulle.

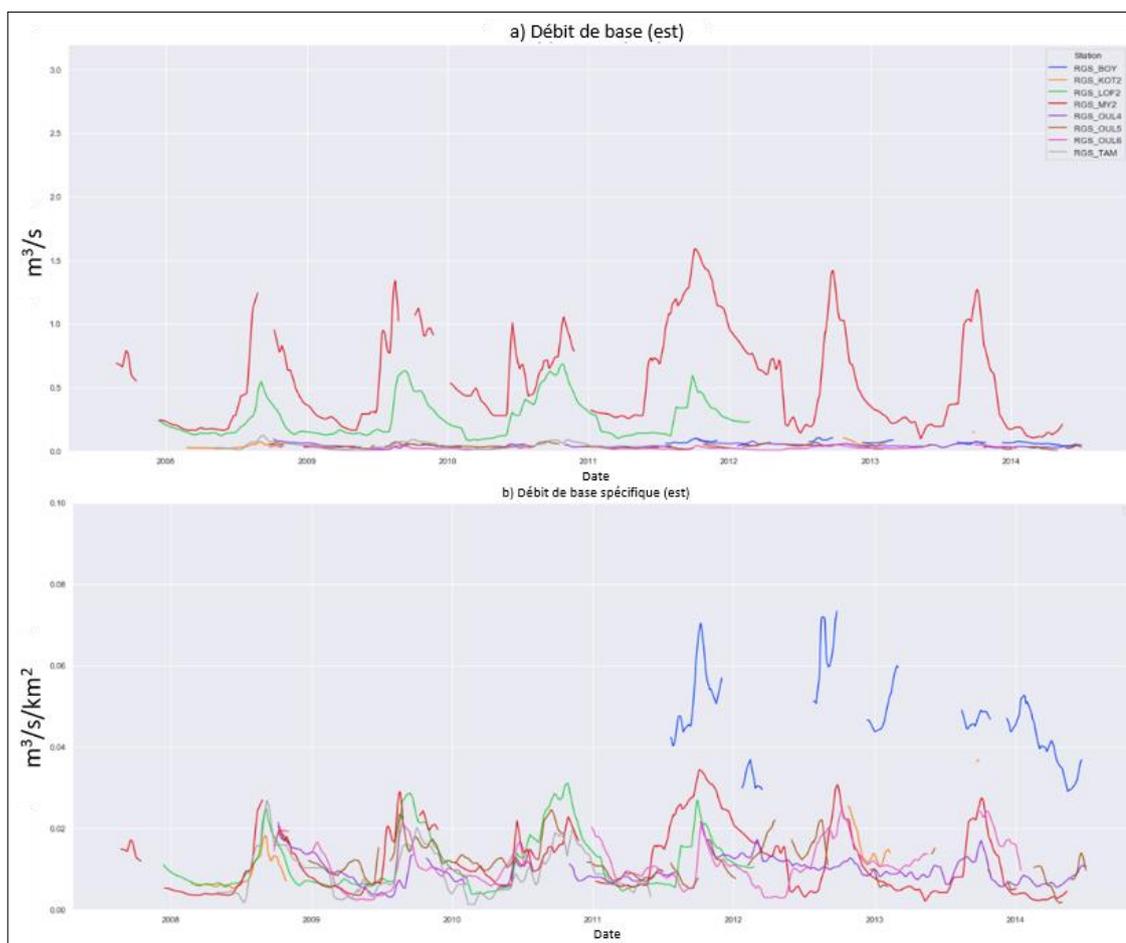


Figure 4-32 : hydrogrammes de débit de base (supérieur) et de débit de base spécifique (inférieur) de cours d'eau du côté est d'Ouéléba

La Figure 4-32, pour le côté est d'Ouéléba, montre que les débits de base les plus élevés sont enregistrés dans les grands bassins versants (station MY2 rivière Miya à Nionsonmoridou, 46,2 km^2 , et station LOF2 rivière Loffa à Route de Canga est, 22,2 km^2). Tous les autres flux de base sont relativement faibles et indiscernables. Toutefois, lorsqu'elle est exprimée en débit de base normalisé, la rivière Boyboyba apparaît comme ayant le débit de base par unité de surface le plus important, ce qui indique qu'elle est la principale voie de résurgence des eaux souterraines du côté est d'Ouéléba.

Du côté ouest d'Ouéléba, la Figure 4-33 montre que les débits de base les plus élevés sont enregistrés à la station WOR2 Woron à Orono et à la station WOR3 Woron à Mandou. Avec 33,4 km² et 51,7 km² respectivement, il s'agit des plus vastes bassins versants. La différence entre ces deux hydrogrammes est principalement due au débit de la rivière WSR Éperon ouest au sentier de Mandou, dont la contribution est relativement constante au fil de l'année. Exprimée en débit de base spécifique, la station WBE1 Worongbe à Lamadou apparaît comme véhiculant le plus grand débit de base du côté ouest d'Ouéléba. Le régime de débit de la Worongbe est également particulièrement constant tout au long de l'année. Le débit de base normalisé est lui aussi particulièrement élevé et constant à la station KIN1 Ouéléba 1 Source.

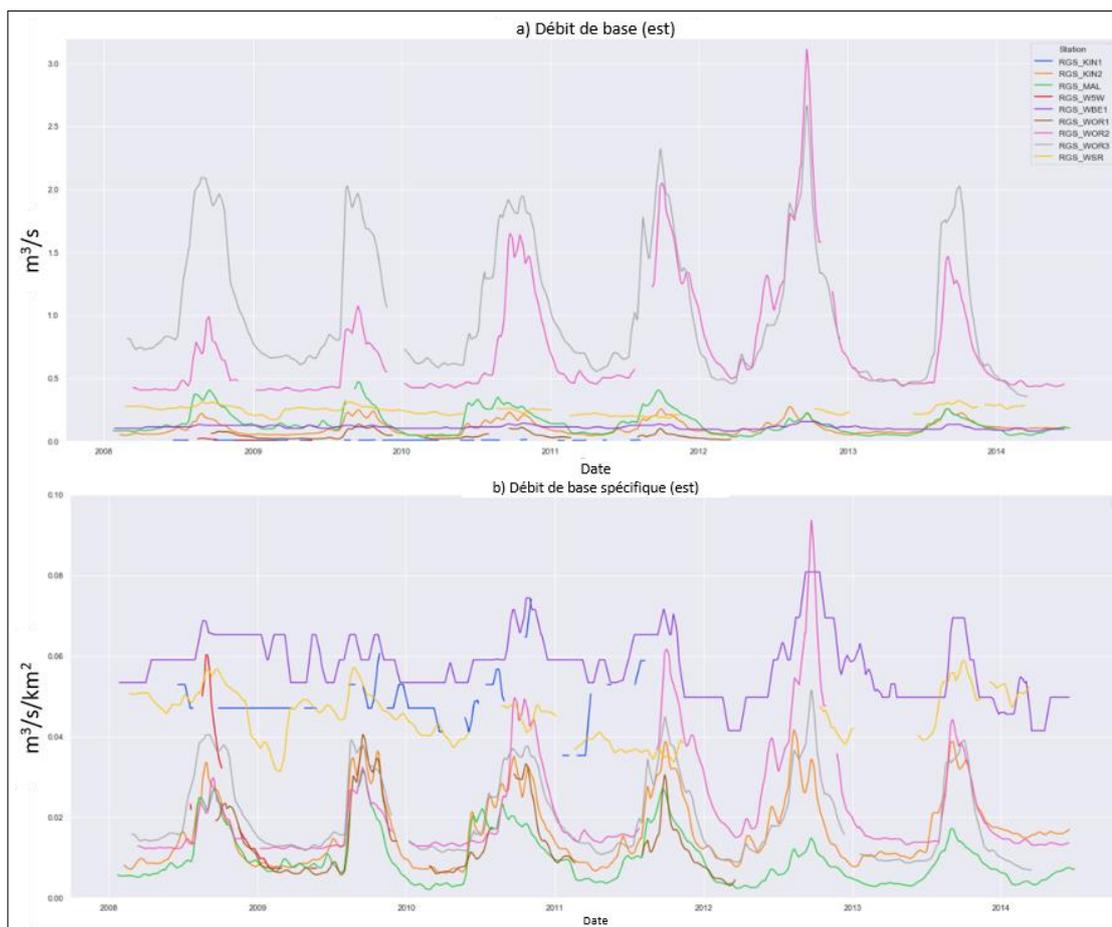


Figure 4-33 : hydrogrammes de débit de base (supérieur) et de débit de base normalisé (inférieur) de cours d'eau du côté ouest d'Ouéléba

4.5.11 Indice de débit de base

La proportion globale du débit total constituée du débit de base est une caractéristique du régime hydrologique d'un cours d'eau, et s'appelle indice de débit de base (IDB). Plus la valeur l'IDB est élevée, plus la proportion du débit de base ou de résurgence d'eaux souterraines dans le débit total est élevée. Le Tableau 4-20 recense les valeurs de l'IDB de certains bassins versants du Simandou.

Tableau 4-20 : valeurs de l'indice de débit de base de bassins versants de référence

Rivière	Indice de débit de base ⁵	Période de relevé
Bassin versant de Mala		
KIN1 Kinyeko à Ouéléba 1 Source	0.78	1 ^{er} juil. 2008 au 6 août 2011
KIN2 rivière Kinyeko à Traorela	0.71	5 fév. 2008 au 25 juin 2014
MAL rivière Mala à Traorela	0.70	5 fév. 2008 au 25 juin 2014
Bassin versant de Miya		
BOY rivière Boboyba à Siatouro	0.76	21 juil. 2011 au 11 jan. 2014
MY2 rivière Miya à Nionsonmoridou	0.68	21 juil. 2011 au 11 jan. 2014
OUL4 à l'échelle limnimétrique	0.68	21 juil. 2011 au 11 jan. 2014
OUL5 à l'échelle limnimétrique	0.68	21 juil. 2011 au 11 jan. 2014
OUL6-OLD à l'échelle limnimétrique	0.72	21 juil. 2011 au 11 jan. 2014
WAT Farako à Wataferedou	0.54	7 mars 2008 au 25 avril 2012
Bassin versant de Loffa		
BOE rivière Boe à Foma	0.56	6 fév. 2008 au 27 déc. 2012
FA1 rivière Farako à route de Canga est	0.73	1 ^{er} août 2008 au 30 mai 2011
FKE rivière Fokou est à l'échelle limnimétrique	0.66	1 ^{er} avril 2008 au 11 février 2010
KOT rivière Whisky 1 à Kotila	0.52	1 ^{er} mars 2008 au 27 octobre 2008
LOF1 affluent de la Loffa à l'échelle limnimétrique	0.65	16 jan. 2009 au 2 mars 2012
LOF2 rivière Loffa à route de Canga est	0.70	16 jan. 2009 au 2 mars 2012
LOF3 rivière Loffa à Foma	0.59	5 fév. 2008 au 26 déc. 2011
TAM rivière Tamanko à route de Canga est	0.47	1 ^{er} mai 2008 au 30 mai 2011
W1W déversoir de Whisky 1		
Bassin versant de Woron		
W5W déversoir de Whisky 5	0.77	18 août 2008 au 26 mai 2009
WBE1 Worongbe à Lamadou	0.96	2 oct. 2008 au 15 mars 2012
WSR rivière Éperon ouest au sentier de Mandou	0.89	2 oct. 2008 au 15 mars 2012
WOR1 Woron à Mamourdou	0.67	2 oct. 2008 au 15 mars 2012
WOR2 Woron à Orono	0.69	2 oct. 2008 au 15 mars 2012
WOR3 Woron à Mandou	0.81	2 oct. 2008 au 15 mars 2012
Bassin versant de Dianiworo		
DIA rivière Dianiworo à Tourela	0.62	27 fév. 2008 au 26 juin 2014
PUL rivière Pulowaye à Banko	0.66	14 fév. 2008 au 30 juin 2014
WOL rivière Wolou à Banko	0.72	12 août 2008 au 14 fév. 2012
W2W déversoir de Whisky 2	0.53	3 déc. 2005 au 18 mai 2014
Bassin versant de la Soumourou		
SOU1 Soumourou à Gbonodou	0.70	18 mars 2009 au 10 août 2011
SOU2 Soumourou à Kakano	0.63	27 fév. 2008 au 25 avril 2012
Bassin versant de Fokou ouest		
FWW déversoir de Fokou ouest	0.92	2 oct. 2010 au 18 juil. 2011
FKO rivière Fokou ouest à l'échelle limni.	0.57	4 mai 2008 au 20 jan. 2010
Bassin versant de Siankoun		
SKB Siankounbe à Banankoro	0.68	17 avril 2008 au 30 mai 2011
SKF Siankounfin à Banankoro	0.66	17 avril 2008 au 30 mai 2011
SKO Siankoun à l'aéroport de Beyla	0.47	8 oct. 2011 au 10 déc. 2012

⁵ Selon la méthode du point de retournement sur 14 jours.

Les rivières et leurs valeurs d'IDB indiquent qu'une grande partie du ruissellement de ces rivières provient du système aquifère. Les sous-bassins versants qui reçoivent des résurgences d'eaux souterraines particulièrement élevées sont KIN1 Ouéléba 1 Source, la rivière Boyboyba, la rivière Worongbe, la rivière Éperon ouest et la rivière Fokou ouest au déversoir. Tous affichent des valeurs d'indice de débit de base élevées. L'IDB de 0,76 pour la rivière Boyboyba et de 0,89 pour la rivière Éperon ouest sont considérées comme représentatifs. Par contre, l'IDB de 0,78 pour KIN1 Ouéléba 1 Source, qui est presque entièrement alimenté par les eaux souterraines, est considéré comme sous-estimé en raison de la nature erratique des données. On considère que l'indice de débit de base de 0,96 de WBE1 Worongbe à Lamadou est surestimé en raison du manque relatif de débit orageux dans le relevé observé manuellement. Il se peut que l'IDB de 0,81 pour la Woron à Mandou soit également surestimée en raison de la sous-estimation des débits de crue.

Les bassins versants dont les valeurs d'IDB sont inférieures à environ 0,60 sont ceux qui drainent principalement les socles rocheux, comme la Farako à Wataferdou (0,54), la Boe à Foma (0,56), la Tamanko à Route de Canga est (0,47) et la Siankoun à l'aéroport de Beyla (0,47).

Les indices de débit de base de la plupart des autres stations drainant Ouéléba et Pic de Fon sont toujours compris entre 0,65 et 0,72, sont considérés comme représentatifs de ces bassins versants.

5 CONCLUSION

Ce rapport présente les données de référence sur les débits d'eaux de surface dans la région et dans la zone du projet autour d'Ouéléba et du Pic de Fon. Entre 2007 et 2014, un réseau de stations hydrométriques des cours d'eau de référence du projet a été établi, équipé, classé et surveillé dans les principaux bassins versants drainant les montagnes d'Ouéléba et de Pic de Fon (Mala, Miya, Loffa, Woron, Dianiworo, Soumourou et Fokou Ouest). La surveillance du niveau d'eau à la plupart des stations était sous-horaire. Les relations niveau-débit sont les plus fiables aux hauteurs/débits faibles, et les moins fiables aux débits plus élevés. La collecte de données a décliné vers 2014, lorsque le projet de Simandou a été mis en maintenance.

Ce rapport présente les données quotidiennes sur les débits totaux et les débits de base aux stations hydrométriques de chacun des principaux bassins versants sous forme de courbes des débits classés pour des périodes de relevé communes. Les débits orageux en pourcentage des précipitations ont été présentés pour six petits bassins versants et un bassin versant plus grand. Les courbes des débits classés constituent la base de l'évaluation des impacts prévus sur les débits en conséquence de l'exploitation minière. Les données sur les débits totaux et les débits de base ont été normalisées en divisant les débits par la superficie du bassin versant et en convertissant les unités en litres par seconde par kilomètre carré. Les statistiques de débit (débit total et débit de base normalisés dans une plage de centiles) ont été extraites des courbes des débits classés et présentées sous forme de tableaux. Les courbes des débits classés permettent de comparer les bassins versants et d'identifier en particulier les cours d'eau recevant d'importantes résurgences d'eaux souterraines. L'indice de débit de base, proportion du débit total comprenant le débit de base de chaque bassin versant jaugé, a été calculé pour la période de relevé dans les courbes des débits classés.

Le rapport a exclu les résultats des relevés d'alluvionnement du débit de la saison sèche effectués en 2009, 2012 et 2022 sur l'ensemble du réseau de drainage, car ils figurent dans le rapport de référence sur les eaux souterraines (SRK, 2022a).

Pour et au nom de SRK Consulting (UK) Limited

Cette signature a été numérisée et l'auteur a autorisé son utilisation pour ce document particulier. La signature originale est conservée dans nos fichiers.



Dylan John
Consultant supérieur
Chef de projet
SRK Consulting (UK) Limited

Cette signature a été numérisée et l'auteur a autorisé son utilisation pour ce document particulier. La signature originale est conservée dans nos fichiers.

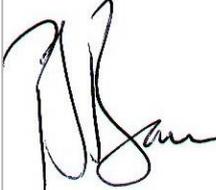


Tony Rex
Consultant d'entreprise (hydrogéologie)
Directeur de projet
SRK Consulting (UK) Limited

Cette signature a été numérisée et l'auteur a autorisé son utilisation pour ce document particulier. La signature originale est conservée dans nos fichiers.



Mark Raynor
Consultant principal (hydrogéologie)
SRK Consulting (UK) Limited



Peter Baur
Conseiller adjoint hydrologue
SRK Consulting (UK) Limited

6 RÉFÉRENCES

Institut hydrologique. 1992. Estimation des débits faibles au Royaume-Uni. Rapport n° 108, Institute hydrologique, Wallingford (Royaume-Uni)

SRK. 2022. Rapport de référence sur la qualité de l'eau, Simandou, Guinée. Rapport à Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd, décembre 2022. SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, R.-U.

SRK. 2022a. Rapport de référence sur les eaux souterraines, Simandou, Guinée. Rapport à Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd, décembre 2022. SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, R.-U.

SRK. 2022b. Plan de surveillance hydrique, Simandou, Guinée. Rapport à Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd, août 2022. SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, R.-U.

SWS. 2012. Études d'ingénierie finale. Gestion hydrique minière. Projet de minerai de fer de Simandou, Guinée. Rapport 50837/R3 à Rio Tinto, Paris. Décembre 2012, Schlumberger Water Services, Shrewsbury, R.-U.

SWS. 2013. Levés hydromorphologiques de Simandou. Évaluation du risque d'inondation. Rapport 51068/R4 à Fluor Projects Ltd, février 2013, Schlumberger Water Services Ltd, Shrewsbury, R.-U.

WMC. 2008. Rapport hydrologique de référence. Annexe 3C du rapport 1849/R3 à Rio Tinto Iron Ore Atlantic Ltd., Water Management Consultants Ltd, Shrewsbury (R.-U.)

ANNEXE

A STATIONS HYDROMÉTRIQUES DE RÉFÉRENCE

ANNEXE

B COURBES DE TAUX NIVEAU-DÉBIT

ANNEXE

C FIABILITÉ DES COURBES DE TAUX

ANNEXE

D HYDROGRAMMES DES COURBES DES DÉBITS TOTAUX CLASSÉS ET DES DÉBITS CLASSÉS AUX STATIONS HYDROMÉTRIQUES DE RÉFÉRENCE

ANNEXE

E TAUX DE PRÉCIPITATIONS ET DE RUISSELLEMENT DANS LES PETITS BASSINS VERSANTS