

Influence des exploitations de coltan de la région de Kabarore sur la charge minérale et la turbidité des eaux de la rivière Mwogere

Marc Kataraza^{1,2}, Ernest Nkeshimana^{2,3}, Théodose Simuzeye^{1,2}, Jean Claude Sinarinzi^{2,3} & Pascal Nkurunziza^{1,2,*}

¹ Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université du Burundi, Bujumbura, BP 2700 Burundi

² Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement (CRSNE)

³ Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université du Burundi, Bujumbura, BP 2700 Burundi.

* Auteur de correspondance: Email / pascal.nkurunziza@ub.edu.bi

Reçu: le 21 juin 2020

Accepté pour publication: le 30 mars 2021

Publié en ligne pour la première fois: le 31 Novembre 2021

Abstract

The artisanal mining of coltan ore in the Kabarore region is causing considerable impacts on the Mwogere River. In fact, the ore washing water from the mining sites pollutes this river more because a significant quantity of soil (mineralized or waste rock) and gravel is transported to the valley of this river. This situation disrupts the water regime of this river: the level of suspended solids increases, the river silts up and is sometimes deviated from its path. With the aim of clarifying these adverse effects, particle size analyses of the sediments, morphometric analyses of pebbles and analysis of the turbidity of the water (by the filtration method) of this river were carried out. The results of the granulometric analyses proved a double origin of the sediment input, the pebbles generally revealed a coastal origin although this zone is located in a fluvial context and the quantity of suspended solids found is far greater than the normal content of a river outside the flood periods.

Keywords: Grain size curve, Fluvatile, Pebbles, Morphometric indices, Coastal, Suspended solids, Sediments

Résumé

L'exploitation artisanale des minerais de coltan de la région de Kabarore engendre des impacts considérables sur la rivière Mwogere. En effet, les eaux de lavage des minerais provenant des sites d'exploitation polluent plus la Mwogere car une quantité non négligeable de terres (minéralisées ou stériles) et de cailloutis est transportée vers la vallée de cette rivière. Cette situation perturbe le régime hydrique de cette rivière : le taux de matières en suspension (MES) augmente, la rivière s'envase et est parfois déviée de sa trajectoire. Dans le but d'élucider ces effets néfastes, les analyses granulométriques des sédiments, les analyses morphométriques des galets et l'analyse de la turbidité de l'eau (par la méthode de filtration) de cette rivière ont été réalisées. Les résultats des analyses granulométriques ont prouvé une double origine de l'apport sédimentaire, les galets ont révélé en général une origine littorale bien que cette zone soit localisée dans un contexte fluvial et la quantité de MES trouvée est de loin supérieure à la teneur normale d'un cours en dehors des périodes des crues.

Mots clés: Courbe granulométrique, Fluvatile, Galets, Indices morphométriques, Littoral, Matières en suspension, Sédiments

1. Introduction

Les exploitations du coltan (colombo- tantalite) dans la région de Kabarore (nord du Burundi) sont artisanales et s'effectuent à ciel ouvert (par l'ouverture des carrières). L'exploitation artisanale des minerais engendre des dégradations désastreuses sur le cadre général de vie et entraîne de véritables catastrophes, notamment lors des phénomènes de ruée (Ndikumana et Mbonicuye, 2019). L'exploitation minière de Kabarore provoque une perturbation du régime hydrique de la rivière Mwogere. En effet, une quantité non négligeable de terres (minéralisées ou stériles) et de cailloutis est transportée des sites d'exploitations vers la vallée de la rivière Mwogere. Ces sédiments sont mobilisés dans les eaux de cette rivière et ces dernières voient leur taux de matières en suspension et leur turbidité augmenter. La Mwogere s'envase mais aussi sa trajectoire est parfois déviée par les artisans miniers qui lavent le minerais de coltan et/ou poursuivent l'exploitation des résidus dans son lit (**Fig.1**). Le Code de l'environnement du Burundi (2000), en son article 45, interdit les déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects de toute nature, et plus généralement tous actes ou faits susceptibles de provoquer ou d'accroître la pollution de l'eau superficielle ou souterraine quelle qu'en soit l'origine [...].

Le code minier du Burundi (2013), en son article 136, aux alinéas c et e, stipule que les activités portant sur l'exploitation des ressources minières et de carrière doivent se faire de façon rationnelle ; c'est-à-dire une exploitation

qui implique l'adoption des méthodes d'exploitation permettant la récupération intégrale des substances minérales continues dans le gisement et une bonne gestion des rejets d'exploitation.

Aucune étude sur les impacts potentiels des exploitations minières du Burundi sur les rivières qui les traversent n'a été jusqu'ici faite. Leurs effets restent donc inconnus dans la plupart des travaux déjà effectués. C'est alors dans l'optique d'élucider les effets néfastes d'une exploitation minière sur un cours d'eau qu'une étude de cas est réalisée sur la rivière Mwogere traversant les exploitations de coltan de la région de Kabarore. La présente étude s'est déroulée au mois de juin 2011 (dans le cadre du travail de mémoire de licence). Elle a été menée dans la zone riveraine de cette rivière, géographiquement comprise entre 29,5425° et 29,6022° de longitude Est et entre 2,8103° et 2,8372° de latitude sud. Elle s'était proposé de vérifier si l'exploitation minière de Kabarore modifie la rivière Mwogere par les eaux et les particules solides issues du lavage des minerais. Elle a comme hypothèses: (1) les rejets des exploitations modifient les caractéristiques du lit de cette rivière; (2) les rejets issus des exploitations augmentent la turbidité de cette rivière. L'objectif global: analyser l'eau ainsi que les sédiments de la rivière Mwogere afin de pouvoir dégager quelques caractéristiques de cette rivière. Plus concrètement, seront déterminés (les objectifs opérationnels): la turbidité de l'eau, les paramètres granulométriques des sédiments ainsi que les paramètres morphométriques des galets.



Figure 1. Perturbation du régime hydrique de la rivière Mwogere suite aux exploitations de coltan.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Echantillonnage

Les endroits d'échantillonnage (de sédiments, de galets ou d'eau) ont été définis à l'avance sur la carte topographique extraite de la Feuille Kayanza (**Fig.2**). Ils sont choisis de façon arbitraire en respectant une certaine marge de distance approximative entre deux points successifs de cette rivière. Cependant, cette règle a été ignorée lorsqu'il s'agissait de prendre un échantillon d'eau à la confluence de la rivière avec ses affluents. En plus, pour les échantillons d'eau, nous avons également pris des échantillons en amont et aval de la zone de confluence.

A l'endroit d'échantillonnage, les coordonnées géographiques ont été prises à l'aide du GPS de type Garmin (**Annexe 1**). Chaque échantillon de sédiment ou de galet a été mis dans un sachet et celui d'eau dans une bouteille en plastique. En tout, 54 échantillons de solides et 12 d'eau ont été acheminés à l'Université du Burundi pour d'analyse. Parmi ces échantillons de solides, on distingue : 10 de sédiments fins, 19 de sédiments grossiers, 17 de galets du lit de la rivière et 8 de galets du talus de la rivière. Les sédiments grossiers ont été prélevés à l'aide d'une tarière dans les 120 premiers centimètres du sol (**Annexe 1**). Ces échantillons ont été récoltés au mois de juin 2011, quand la rivière coulait normalement, puisqu'on était presque en période sèche.

2.2. Analyses

Les sédiments (fins et grossiers) ont permis de faire l'analyse granulométrique. Les galets nous ont fourni des indices morphométriques. La quantité de MES des échantillons d'eau nous a permis d'estimer la turbidité de cette rivière.

1. Pour déterminer les indices granulométriques, nous avons procédé par tamisage dans un jeu de 8 tamis (de maille 2.0 ; 1.0 ; 0.8 ; 0.6 ; 0.4 ; 0.2 ; 0.1, 0.05 mm) superposés, de haut vers le bas, de manière décroissante. Après une agitation manuelle, les refus ont été pesés et les résultats ont permis le traçage des courbes granulométriques. On utilisé les tamis de marque « Analysensieb ISO 565. DIN ISO 3310-1 »

2. Les indices morphométriques des galets permettent de caractériser si le transport de sédiments a été fait en milieu littoral ou en milieu fluvial (Madi & Ndlazi, 2020). Pour les déterminer, nous avons mesuré, à l'aide d'un pied à coulisse (Pied À Coulisse Numérique Vernier Caliper 0-150-200-300mm 0.02mm) les dimensions des galets : la longueur (L), la largeur (l) et la plus grande épaisseur (e), puis appliqué des formules combinant 2 ou 3 dimensions. Sachant que la forme des galets peut dépendre de la lithologie et des contraintes tectoniques, nous avons essayé de récolter des galets de même nature (les pegmatites).

3. Pour déterminer les MES de la Mwogere et de certains de

ses affluents, la méthode de filtration a été utilisée. A l'aide d'un papier filtre (pesé à l'avance: M_0), étendu sur un entonnoir,

nous avons filtré chaque échantillon d'eau; et afin de permettre une bonne et rapide filtration, on a dû utiliser un aspirateur (d'eau) électrique. La MES ainsi recueillie est séchée dans une étuve sous une température comprise entre 50 et 90°C pendant une journée, puis pesée à l'aide d'une balance (M_1).

2.3. Traitement

2.3.1 Indices granulométriques

Les données de masse issues des analyses granulométriques ont permis de tracer des courbes granulométriques (courbes de fréquence et les courbes cumulatives). Pour ces courbes, l'axe des abscisses représente la taille des grains et est exprimé en logarithme de base 10. L'axe des ordonnées quant à lui représente le pourcentage des refus. De ces courbes cumulatives, nous avons calculé les indices granulométriques à avec les formules de Folk & Ward (1957), à savoir:

1. La « standard deviation » ou coefficient de dispersion σ :

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

2. Le « kurtosis » ou l'indice d'acuité K :

$$K = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

3. Le « skewness » ou l'indice d'asymétrie Sk :

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

4. Le « grain moyen » ou la moyenne M :

$$M = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

Nous avons également calculé d'autres indices, comme :

5. La médiane Md : $Md = \phi_{50}$

6. Le coefficient de courbure Cc (Thior et al., 2019):

$$Cc = \frac{(\phi_{30})^2}{\phi_{10} * \phi_{60}}$$

L'échelle logarithmique définie par Krumbein et Pettijohn (1938), à travers la relation : $\phi = -\log_2(d)$ (d : étant le diamètre des grains en mm) est considérée pour cette étude. Les masses des 29 échantillons de sédiments analysés sont condensées dans le **tableau 1**.

2.3.2. Indices morphométriques

L'analyse morphométrique nous conduit à déterminer le contexte de dépôt des sédiments. Nous avons calculé 6 indices à savoir (Dobkins & Folk, 1970 ; Sames, 1966 ; Lüttig, 1962 ; Sneed & Folk, 1956 ; Cailleux, 1945 ; Özer, 1978) :

1. Indice d'allongement (Elongation) σ :

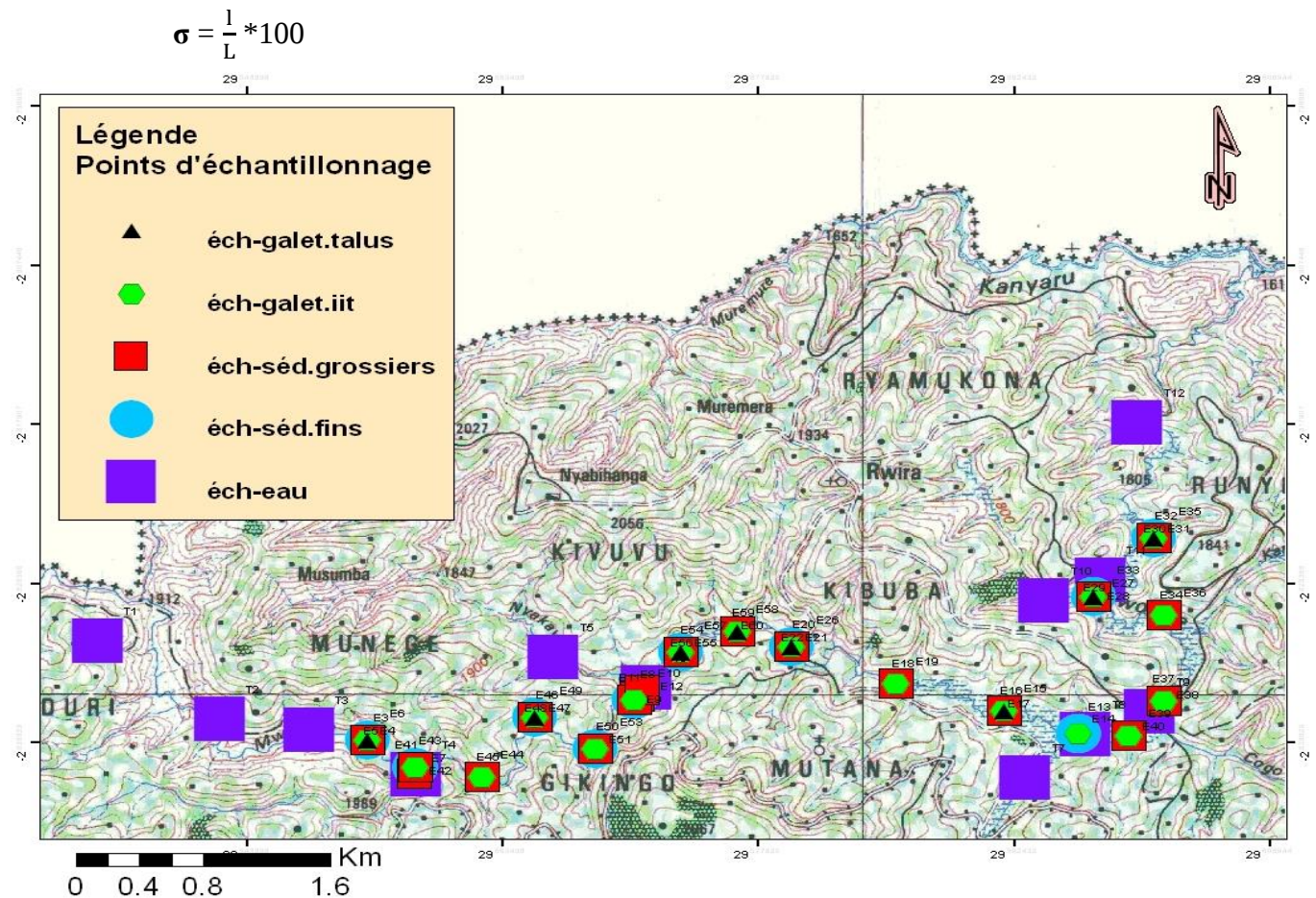


Figure 2 : Points d'échantillonnage de sédiments, de galets et d'eau dans la rivière Mwoyere localisés sur la carte topographique.

2. Indice d'aplatissement (Flatness) π :

$$\pi = \frac{e}{L} * 100$$

3. Indice de sphéricité (Sphericity) Ψ :

$$\Psi = \sqrt[3]{\frac{e^2}{l * L}}$$

4. Indice d'aplatissement-allongement (Oblate prolate) OP:

$$OP = \frac{L-1}{L-e} * 100$$

5. Indice d'éroussé Ir.

$$Ir = \frac{2 * l}{L} * 1000$$

6. Indice d'aplatissement de Cailleux If:

$$If = \frac{1+L}{2 * e} * 100$$

Au total 426 galets du lit vif et du talus de la rivière Mwoyere ont été analysés (Tab.2).

Tableau 1.a. Masses des sédiments fins (en g).

E6	E10	E13	E26	E33	E35	E43	E49	E53	E57
1766	3395	1239	666	1154	936	1130	1423	745	1080

Tableau 1.b. Masses des sédiments grossiers (en g).

E3	E7	E8	E11	E12	E15	E19	E20	E27	E32
3850	1688	1913	1662	1857	1534	1575	1474	1722	1920

E36	E37	E39	E41	E44	E46	E50	E54	E58
1832	2569	1298	1372	1477	1672	1432	1342	1653

Tableau 2.a. Nombre de galets des échantillons du talus de la rivière.

E5	E17	E22	E29	E30	E48	E56	E60
10	21	17	22	20	15	16	19

Tableau 2.b. Nombre de galets des échantillons du lit de la rivière.

E4	E9	E14	E16	E18	E21	E28	E31	E34
10	10	18	21	15	10	19	17	21

E38	E40	E42	E45	E47	E51	E55	E59
24	19	16	16	25	13	19	13

3. Résultats et discussion

3.1 Résultats d'analyse

Les résultats de l'analyse granulométrique sont exprimés par les courbes de fréquence et les courbes cumulatives (**Fig.3 et 4**). De ces courbes de fréquence, nous déterminons l'origine unique ou multiple de l'apport sédimentaire selon que la courbe présente respectivement un ou plusieurs modes (sommets) (Viennet, 2020). De ces courbes cumulatives, nous déterminons les caractéristiques des sédiments à partir des indices déjà précisés. Dans les **tableaux 3 et 4**, on a repris les tailles des différents sédiments en unité phi (Φ) ainsi que les valeurs des différents indices correspondants. Pour l'analyse morphométrique, les dimensions des 426 galets récoltés ont été prises et les indices morphométriques de ceux-ci ont été calculés (**Annexe 2**). Un extrait de ces tableaux, pour un échantillon, est repris dans le **tableau 5**. Les résultats de la quantité de MES contenues dans l'eau de la Mwogere ont été exprimés en g/l (**Tab. 6**).

3.2. Discussion des résultats

3.2.1 Analyse granulométrique

Les courbes de fréquence pour tous les échantillons de notre zone d'étude affichent toujours deux modes ce qui traduit une double origine des sédiments de la Mwogere. Le premier mode est perceptible dans la tranche de 0 à 0,5 mm pour les échantillons de sédiments fins et de 0 à 0,8 mm pour ceux des sédiments grossiers. Le 2nd mode quant à lui n'est pas directement perceptible pour tous les échantillons mais on peut le remarquer dans les tranches supérieures à 1mm.

Des courbes cumulatives et sur base des travaux de Folk & Ward (1957), Thior et al. (2019) et Tossou (2019), nous constatons que:

- ✓ Les sédiments (fins et grossiers) de la Mwogere sont très bien classés ou bien triés ($\sigma < 0,35$) ce qui implique que le niveau énergétique de l'agent de transport est régulier ou constant.

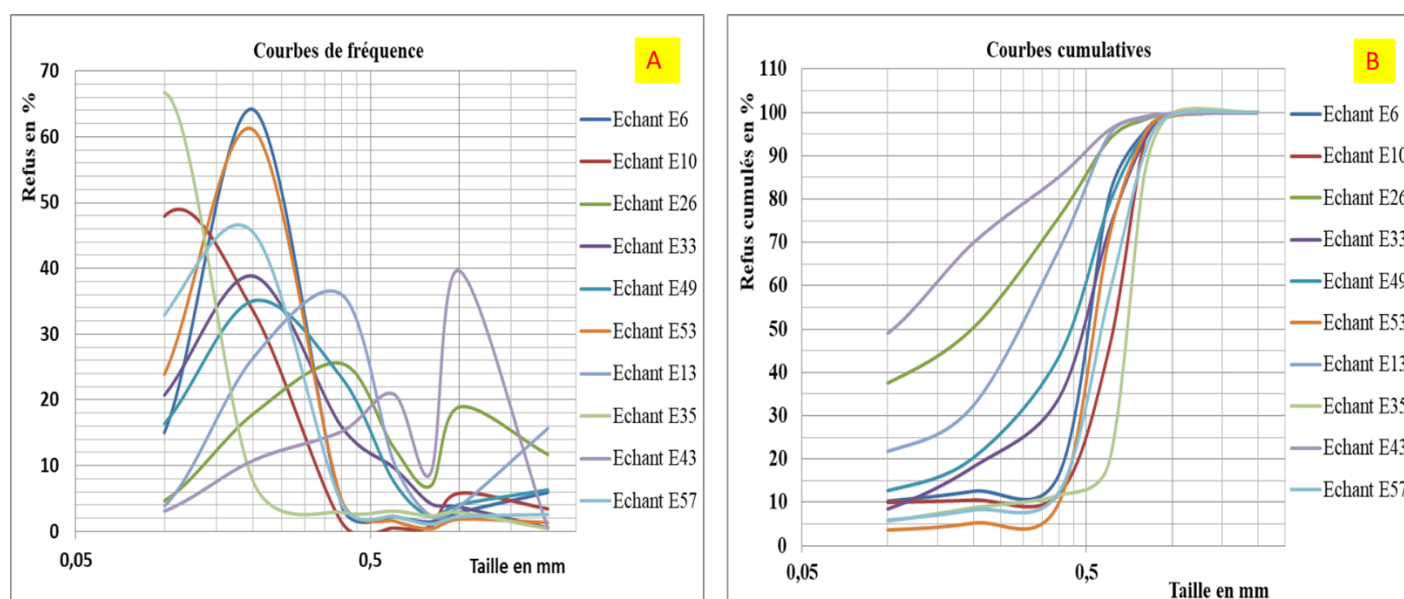


Figure 3 : Les courbes granulométriques des sédiments fins de la Mwogere

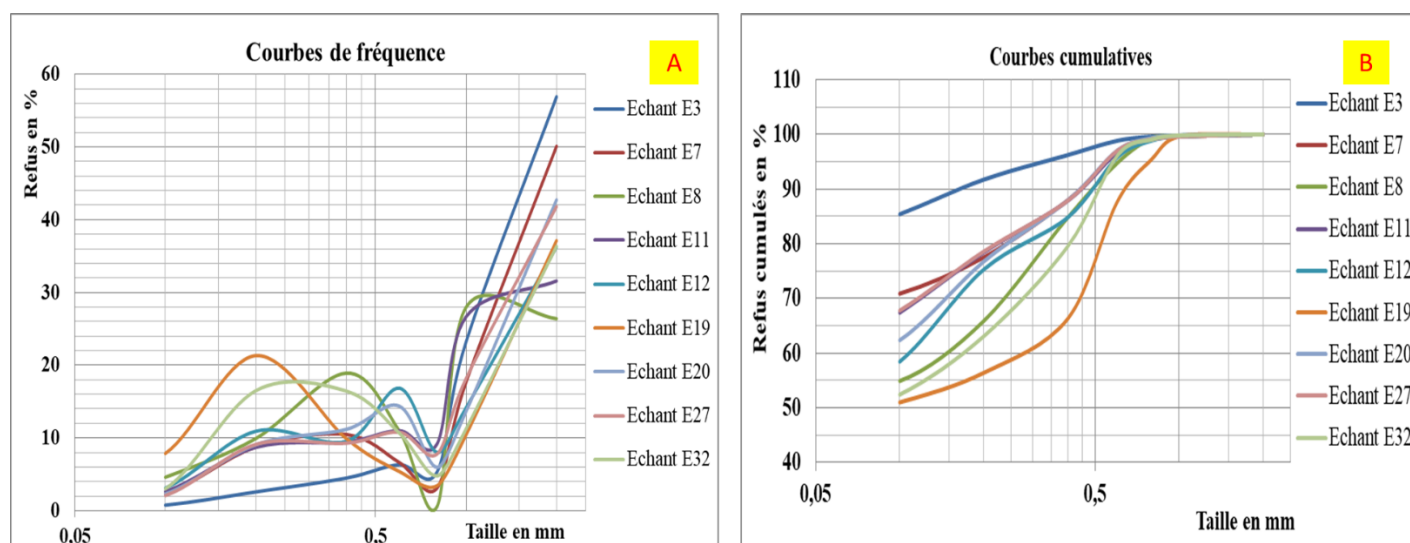


Figure 4a : Les courbes granulométriques des sédiments grossiers de la Mwogere

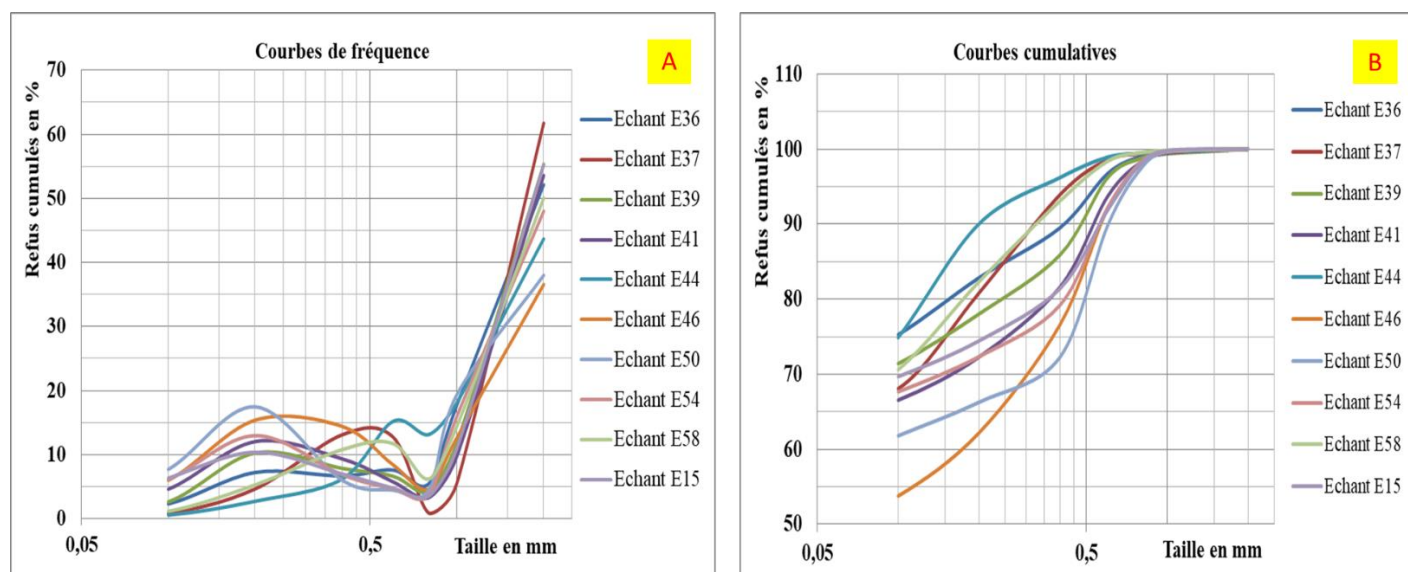


Figure 4b: Les courbes granulométriques des sédiments grossiers de la Mwogere (suite).

Tableau 3: Différentes valeurs de Φ et leurs indices correspondants pour les sédiments fins.

Les valeurs de Φ											Les valeurs des indices						
Echant	Φ_5	Φ_{10}	Φ_{16}	Φ_{25}	Φ_{30}	Φ_{50}	Φ_{60}	Φ_{75}	Φ_{84}	Φ_{95}	Echant	K	Sk	M	σ	Md	Cc
E6	0,009	0,07	0,4	0,44	0,47	0,5	0,53	0,58	0,63	0,78	E6	2,26	-0,07	0,51	0,17	0,50	5,95
E10	0,016	0,07	0,44	0,5	0,53	0,62	0,67	0,71	0,79	0,85	E10	1,63	-0,24	0,62	0,21	0,62	5,99
E43	0,013	0,015	0,018	0,026	0,032	0,12	0,15	0,25	0,38	0,57	E43	1,02	0,53	0,17	0,17	0,12	0,45
E49	0,008	0,04	0,15	0,25	0,28	0,44	0,48	0,57	0,64	0,81	E49	1,03	-0,13	0,41	0,24	0,44	4,08
E53	0,2	0,4	0,44	0,46	0,48	0,52	0,58	0,62	0,69	0,83	E53	1,61	0,17	0,55	0,16	0,52	0,99
E57	0,08	0,36	0,42	0,46	0,49	0,53	0,62	0,7	0,75	0,85	E57	1,31	0,08	0,57	0,20	0,53	1,07
E13	0	0	0,01	0,15	0,19	0,28	0,35	0,45	0,5	0,6	E13	0,82	-0,02	0,26	0,21	0,28	#DIV/0!
E35	0,08	0,3	0,55	0,63	0,65	0,7	0,73	0,77	0,81	0,89	E35	2,37	-0,34	0,69	0,19	0,70	1,93
E26	0	0,008	0,016	0,03	0,048	0,2	0,27	0,36	0,48	0,63	E26	0,78	0,28	0,23	0,21	0,20	1,07
E33	0,06	0,12	0,18	0,3	0,37	0,49	0,53	0,58	0,63	0,83	E33	1,13	-0,25	0,43	0,23	0,49	2,15

Tableau 4: Différentes valeurs de Φ et leurs indices correspondants pour les sédiments fins.

Les valeurs de Φ											Les valeurs des indices						
Echantillon	Φ_5	Φ_{10}	Φ_{16}	Φ_{25}	Φ_{30}	Φ_{50}	Φ_{60}	Φ_{75}	Φ_{84}	Φ_{95}	Echantillon	K	Sk	M	σ	Md	Cc
E3	0	0	0	0	0	0	0,012	0,034	0,09	0,3	E3	3,62	1,00	0,03	0,07	0,09	-
E7	0	0	0	0	0	0,01	0,023	0,17	0,29	0,5	E7	1,30	0,95	0,10	0,15	0,05	-
E8	0	0	0	0,009	0,013	0,037	0,15	0,28	0,39	0,59	E8	0,89	0,84	0,14	0,19	0,08	-
E11	0	0	0	0	0,008	0,03	0,055	0,17	0,29	0,75	E11	1,81	0,86	0,11	0,19	0,08	-
E41	0	0	0	0	0	0	0,03	0,26	0,47	0,66	E41	1,04	1,00	0,16	0,22	0,04	-
E44	0	0	0	0	0	0,018	0,043	0,1	0,15	0,34	E44	1,39	0,83	0,06	0,09	0,06	-
E46	0	0	0	0	0,007	0,055	0,18	0,28	0,51	0,68	E46	0,99	0,81	0,19	0,23	0,12	-
E12	0	0	0	0	0	0,047	0,12	0,22	0,4	0,57	E12	1,06	0,80	0,15	0,19	0,10	-
E50	0	0	0	0	0,008	0,027	0,066	0,44	0,54	0,72	E50	0,67	0,91	0,19	0,24	0,07	-
E54	0	0	0	0	0	0,012	0,034	0,27	0,49	0,72	E54	1,09	0,96	0,17	0,23	0,05	-
E58	0	0	0	0	0	0,01	0,03	0,14	0,24	0,36	E58	1,05	0,93	0,08	0,11	0,05	-
E20	0	0	0	0	0	0,023	0,083	0,18	0,33	0,55	E20	1,25	0,89	0,12	0,16	0,07	-
E19	0	0	0	0	0	0,085	0,27	0,49	0,57	0,8	E19	0,67	0,74	0,22	0,26	0,15	-
E39	0	0	0	0	0	0	0,02	0,16	0,35	0,57	E39	1,46	1,00	0,12	0,17	0,04	-
E37	0	0	0	0	0	0	0,008	0,16	0,25	0,44	E37	1,13	1,00	0,08	0,13	0,03	-
E36	0	0	0	0	0	0,008	0,011	0,1	0,24	0,53	E36	2,17	0,95	0,08	0,14	0,04	-
E27	0	0	0	0	0	0,022	0,05	0,16	0,34	0,55	E27	1,41	0,89	0,12	0,17	0,07	-
E32	0	0	0	0	0	0,073	0,17	0,33	0,46	0,57	E32	0,71	0,71	0,18	0,20	0,15	-
E15	0	0	0	0	0	0	0,018	0,35	0,49	0,68	E15	0,80	1,00	0,17	0,22	0,04	-

Tableau 5: Indices morphométriques de l'échantillon E47.

N° d'éch.	N° du galet	Dimensions des galets (en mm)			Indices				
		Long.	Larg.	Epais	Allong.	Aplatis.	Sphér.	Allong-Aplat.	Aplat. Cailleux
Lit de rivière		(L)	(l)	(e)	(σ)	(π)	(Ψ)	(OP)	(If)
47	1	139	62,5	25	44,96	17,98	0,41	95,10	403,00
	2	64	33	23	51,97	36,22	0,63	69,87	209,78
	3	95	35	16	36,84	16,84	0,42	154,07	406,25
	4	63	53,5	37,5	85,60	60,00	0,75	-23,33	154,67
	5	60	49	13,5	82,35	22,69	0,40	-119,77	401,85
	6	46	35,5	25	77,17	54,35	0,73	0,00	163,00
	7	49	33	18,5	67,35	37,75	0,59	6,51	221,62
	8	41	31,5	31	76,83	75,61	0,91	59,52	116,93
	9	69	64,5	24,5	93,48	35,51	0,51	-112,34	272,45
	10	80	67	44	83,75	55,00	0,71	-25,25	167,04
	11	77	39	32	50,65	41,56	0,70	82,88	181,25
	12	53	43	29	81,13	54,72	0,72	-15,23	165,52
	13	47	34	25	73,12	53,76	0,73	15,14	161,00
	14	46	37,5	31	81,52	67,39	0,82	9,89	134,68
	15	57	39	30	69,03	53,10	0,74	30,20	159,17
	16	58	41,5	26,5	72,17	46,09	0,66	3,50	186,79
	17	53	38	28	71,69	52,83	0,73	18,93	162,50
	18	65	46	30	70,77	46,15	0,67	9,28	185,00
	19	67	50	47	74,63	70,15	0,87	49,90	124,47
	20	43	30	26	70,59	61,18	0,81	42,10	139,42
	21	79	67	20	85,35	25,48	0,42	-119,09	363,75
	22	80	70	42	88,05	52,83	0,68	-46,69	177,98
	23	124	65	21	52,63	17,00	0,38	41,60	448,81
	24	68	46,5	31	68,89	45,92	0,67	16,40	183,87
	25	125	100	17	80,32	13,65	0,28	-199,26	660,29

Tableau 6: Quantité des matières en suspension des eaux de la Mwogere.

N° d'échantillon	Quantité MES (en g/l)
T1	3,3
T2	7,3
T3	1,3
T4	127,3
T5	1,3
T6	50,0
T7	0,6
T8	1,3
T9	1,3
T10	17,3
T11	10,7
T12	2,0

- ✓ Les sédiments grossiers affichent une forte asymétrie positive ($S_k > 0,3$) c'est-à-dire un fort enrichissement en particules fines, signe d'un courant de transport

faible. Pour les sédiments fins, l'asymétrie n'est pas bien définie car les valeurs s'étendent de $S_k < -0,30$ à $S_k > +0,30$ et la valeur moyenne oscille autour de 0,002 ce qui impliquerait une symétrie granulométrique de l'échantillon.

- ✓ Les valeurs de la moyenne M sont toutes inférieures à 1, ce qui implique que la force du courant de transport était faible.
- ✓ Les valeurs de la Kurtosis K sont en général inférieures à 3, ce qui signifie que la distribution des particules détermine une courbe à sommet plat avec des valeurs extrêmes largement écartées de la moyenne.
- ✓ Les valeurs de la médiane sont très faibles pour les sédiments grossiers (en moyenne 0,074) par rapport à celles des sédiments fins (en moyenne 0,44).
- ✓ Pour le coefficient de courbure, on constate que la majeure partie de ces valeurs sont en dehors de l'intervalle de graduation du sédiment [1, 3]. La valeur de ce coefficient n'est pas définie car le dénominateur est nul, donc sa valeur tend à ∞ . Cette situation confirme de plus que les sédiments de la Mwogere sont bien classés.

3.2.2. Analyse morphométrique

Avant de commenter les résultats de cette analyse, voici le principe : Pour trouver l'indice d'allongement σ et l'indice d'aplatissement π pour un échantillon donné de galets, nous avons calculé la moyenne des différentes valeurs de σ et de π des galets de cet échantillon. Si alors pour cet échantillon le nombre de galets dont σ ou dont π supérieure à la moyenne sont supérieurs à la moitié, le milieu est qualifié de fluvatile et de littoral dans le cas contraire (Madi & Ndlazi, 2020). Pour l'indice de sphéricité Ψ et l'indice d'allongement-aplatissement OP, nous avons comparé les valeurs de Ψ et de OP de chaque galet respectivement à la valeur 0,65 et à la valeur -2. Si alors le nombre de galets dont Ψ ou dont OP respectivement supérieur à 0,65 et à -2 est supérieur à la moitié, le milieu est qualifié de fluvatile et de littoral dans le cas contraire (Dobkins & Folk, 1970 ; Madi & Ndlazi, 2020). Pour l'indice d'émoussé Ir (ou l'indice d'aplatissement de Cailleux If), nous avons comparé les valeurs de Ir (ou de If) de chaque galet à la valeur 300 (ou de 150). Si alors le nombre de galets à Ir (ou à If) est inférieur à la moitié, le milieu est qualifié de fluvatile ou littoral dans le cas contraire (Özer, 1978 ; Tricart & Vonnelt, 1955; Soares de Carvalho, 1953 ; Tremblay, G. (1968).

En combinant les 6 paramètres, le constat est que :

Les galets du lit et du talus de la rivière Mwogere affichent en général une origine littorale. En effet, sur les 17 galets du lit vif, 11 indiquent clairement une origine littorale, 2 (E34, E47) une origine fluvatile et 4 (E40, E16, E55, E28) ne nous permettent pas de déterminer l'origine. Et sur les 8 galets du talus de la rivière, 6 indiquent une origine littorale et 2 (E17, E48) une origine fluvatile.

3.2.3. Analyse de la turbidité

Vu la quantité de MES de la rivière Mwogere, la turbidité de cette rivière est en moyenne estimée à 1,3g/l, cela est affirmé par le fait que la quantité de MES est 1,3g/l tout le long de la rivière (voir échantillons T3, T5, T8 et T9) sauf pour les endroits de sa confluence avec les divers ruisseaux en relation avec les sites d'exploitation où cette valeur augmente considérablement (en l'occurrence les échantillons T2, T6 et T11). On remarque que la teneur en MES de cette rivière est de loin supérieure à la teneur normale d'un cours en dehors des périodes des crues qui est voisine de 25mg/l (Rodier, 2005).

4. Conclusion

A partir de l'analyse granulométrique, nous avons conclu que la rivière Mwogere est un cours d'eau régulier, bimodal et à faible énergie mais pouvant quand même transporter de gros blocs. De l'analyse morphométrique, bien que cette zone soit localisée dans un contexte fluvatile, les résultats donnent une origine littorale des galets sans toutefois nier la présence des galets d'origine fluvatile. Cette combinaison résulterait des eaux déversées depuis les sites d'exploitation

et cette pratique réduit le temps de façonnement et d'usure de ces galets par d'autres car ces matériaux subissent un transport en masse. Une autre cause serait le remaniement des galets des berges suite à leur érosion.

Avec l'analyse de la turbidité de cette rivière, nous aboutissons à un constat de la quantité de MES est de loin supérieure à la teneur normale d'un cours d'eau en dehors des périodes des crues. Les ruisseaux provenant des sites d'exploitation polluent plus la Mwogere car ils présentent une énorme quantité de MES. Ainsi donc, la rivière Mwogere est fortement modifiée par les exploitations minières de coltan, directement par les eaux qu'elles déversent dans cette rivière et indirectement par les artisans miniers qui lavent le minerai de coltan et/ou poursuivent l'exploitation des résidus dans le lit de cette même rivière.

Bibliographie

- [1] Cailleux, A. (1945): Distinction des galets marins et fluviaux. Bulletin de la Société Géologique de France S5-XV (7-8): 375-404.
- [2] Code de l'environnement du Burundi (2000): Loi n° 1/010 portant code de l'environnement de la République du Burundi, le 30 Juin 2000.
- [3] Code minier du Burundi (2013): Loi n°1/ 21 du 15 octobre 2013 portant code minier de la République du Burundi.
- [4] Dobkins, J. E. & Folk, R. L. (1970) : Shape development on Tahiti-Nui. Journal of sedimentary petrology, vol. 40, no.4, p. 1167-1203
- [5] Folk, R. L. & Ward, W. C. (1957) : Brazos river bar : a study in the significance of grain size parameters. University of Texas, Austin, Texas. Journal of sedimentary petrology, vol. 27, No. 1, PP. 3-26
- [6] Krumbein, W.C. and Pettijohn, F.J. (1938). Manual of Sedimentary Petrography. Appleton-Century-Crofts, New-York.
- [7] Lüttig, G. (1962) : The shape of pebbles in the continental, fluvial and marine facies. Intern. Assoc. scientific hydrology, pub. no. 59, p. 253-258.
- [8] Madi, K. & Ndlazi, Z. N. (2020): Pebble morphometric analysis as signatures of the fluvial depositional environment of the Katberg Formation near Kwerela River around East London, Eastern Cape Province, South Africa. Arabian Journal of Geosciences
- [9] Ndikumana, J. B. & Mbonicuye, D. (2019): Etude sur la mobilisation des ressources internes et la gouvernance des ressources naturelles au Burundi. Rapport; Action-Aid International Burundi.
- [10] Özer, A. (1978) : Etude des variations de forme et de taille des galets sur la plage de Sorso (Sardaigne septentrionale). Bulletin de la Société géographique de Liège, N° 14, 14e année, avril 1978, pp. 117-126.
- [11] Rodier, J. et Coll. (2005) : Analyse de l'eau. Eaux

- naturelles, Eaux résiduaires, Eaux de mer ; 8è Edition Dunod, Paris.
- [12] Sames, C.W. (1966) : Morphometric data of some recent pebble associations and their application to ancient deposits. *Journal of sedimentary petrology*, vol. 36, 126-142
- [13] Sneed, E. D. & Folk, R. L. (1956) : Pebbles in the lower Colorado river, Texas. A study in particle morphogenesis.
- [14] Soares de Carvalho, G. (1953): Les sédiments pliocènes et la morphologie de la région d'entre Vouga et Mondego (Portugal). Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico; Centro de Estudos Geológicos. Universidade de Coimbra, Portugal
- [15] Tossou, E. M. (2019) : Analyse Granulométrique et Cartographie des Sédiments Superficiels de la Lagune Cotière au Benin (Afrique de L'Ouest). *European Scientific Journal* August 2019 edition Vol.15, No.24 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- [16] Tricart, J. & Vonfelt, J. (1955) : La signification paléogéographique des conglomérats oligocènes de la bordure vosgienne. In: *Bulletin du Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, tome 8, n°1, 1955. pp. 105-118;
- [17] Thior, M., Sane, T., Sy, O., Descroix, L., Ndiaye, L. G., Sambou, A. K., Cissokho, D. et Solly, B. (2019): Caractéristiques granulométriques et dynamique sédimentaire entre les différentes unités géomorphologiques du littoral de la Casamance (Sénégal)
- [18] Tremblay, G. (1968) : Notes sur les crêtes morainiques de Saint-François-de-Sales. *Cahiers de géographie du Québec*, Canada.
- [19] Viennet, D. (2020): Utilisation de la morpho-granulométrie dans le suivi source to sink du transfert particulaire dans les bassins versants. Laboratoire UMR CNRS 6143 Morphodynamique Continentale et Côtière, Université de Rouen Normandie, France.

ANNEXES

Annexe 1 : Les coordonnées géographiques des points d'échantillonnage

PO	Coordonnées GPS		Numéros des échantillons.					Epaisseur du Séd. grossier
	Longitude Est	Latitude Sud	Echant. d'eau	Echant de sédiment fin	Echant.de séd. grossier	Echant.de galet du lit	Echant de galet du talus	
1	29° 32'25"	2°49'56"	T1					
2	29°32'50"	2°50'14"	T2					
3	29°33'25"	2°49'57"	T3					
4	29°33'30"	2°50'27"	T4					
5	29°33'59"	2°49'59"	T5					
6	29°34'18"	2°50'07"	T6					
7	29°35'35"	2°50'28"	T7					
8	29°35'47"	2°50'18"	T8					
9	29°36'01"	2°50'12"	T9					
10	29°35'39"	2°49'46"	T10					
11	29°35'50"	2°49'41"	T11					
12	29°35'58"	2°49'04"	T12					
13	29°33'21"	2°50'19"		E6	E3	E4	E5	
14	29°33'30"	2°50'27"			E7			75cm
15	29°34'16"	2°50'09"			E8			
16	29°34'15"	2°50'10"		E10		E9		
17	29°34'14"	2°50'10"			E11			
18	29°34'17"	2°50'07"			E12			112cm
19	29°35'46"	2°50'17"		E13		E14		
20	29°35'31"	2°50'12"			E15	E16	E17	70cm
21	29°35'09"	2°50'06"			E19	E18		78cm
22	29°34'47"	2°49'57"		E26	E20	E21	E22	95cm
23	29°35'49"	2°39'45"		E33	E27	E28	E29	122cm
24	29°36'01"	2°49'31"		E35	E32	E31	E30	80cm
25	29°36'03"	2°49'49"			E36	E34		
26	29°36'02"	2°50'10"			E37	E38		75cm
27	29°35'56"	2°50'18"			E39	E40		
28	29°33'31"	2°50'26"		E43	E41	E42		15cm
29	29°33'44"	2°50'28"			E44	E45		65cm
30	29°33'55"	2°50'14"		E49	E46	E47	E48	70cm
31	29°34'07"	2°50'21"		E53	E50	E51		30cm
32	29°34'25"	2°49'58"		E57	E54	E55	E56	120cm
33	29°34'36"	2°49'54"			E58	E59	E60	90cm

Annexe 2: Les indices morphométriques des galets de la rivière Mwogere**Annexe1a :** Galets du lit de la rivière

No d'éch.	No du galet	Dimensions du galet en mm			Indices					
		Long (L)	Larg (l)	Epais (e)	Allong. (σ)	Aplatis. (π)	Sphéricité (Ψ)	Allong-Aplat. (OP)	Emoussé (Ir)	Aplat. Cailleux (If)
21	1	62	29	21	46,77	33,87	0,62	90,01	935,48	216,67
	2	75	46	15	61,33	20,00	0,40	-8,33	1226,67	403,33
	3	64	61	42	95,31	65,62	0,77	-55,41	1906,25	148,81
	4	78	49	37	62,82	47,43	0,71	43,70	1256,41	171,62
	5	69	45	20	65,22	28,98	0,50	-3,52	1304,35	285,00
	6	71	41	21	57,75	29,58	0,53		1154,93	266,67
	7	45	39	24,5	86,67	54,44	0,70	-38,08	1733,33	171,43
	8	63	40	26	63,49	41,27	0,64	29,47	1269,84	198,08
	9	101	48	20	47,52	19,80	0,43	77,93	950,49	372,50
	10	86,5	75	24,5	86,70	28,32	0,45	-111,04	1734,10	329,59

40	1	100	70	32	70,00	32,00	0,53	-18,38	1400,00	265,62
	2	87	61	37	70,11	42,53	0,64	4,70	1402,30	200,00
	3	75	64,5	34,5	86,00	46,00	0,63	-52,33	1720,00	202,17
	4	75	44,5	39,5	59,33	52,67	0,78	68,19	1186,67	151,26
	5	65,5	53	40,5	80,92	61,83	0,78	0,00	1618,32	146,29
	6	58	48,5	33	83,62	56,89	0,73	-21,09	1672,41	161,36
	7	60,5	29	27,5	47,93	45,45	0,75	100,00	958,68	162,73
	8	59,5	43,5	30	73,11	50,42	0,70	8,40	1462,18	171,67
	9	59	46,5	34	78,81	57,63	0,75	0,00	1576,27	155,15
	10	59	46	27	77,97	45,76	0,64	-20,49	1559,32	194,44
	11	52	50	20,5	96,15	39,42	0,54	-110,72	1923,08	248,78
	12	45	43	17	95,55	37,78	0,53	-113,44	1911,11	258,82
	13	42,5	40,5	22	95,29	51,76	0,65	-77,74	1905,88	188,64
	14	46	40	21,5	86,96	46,74	0,63	-54,58	1739,13	200,00
	15	58	31	23	53,45	39,65	0,66	68,45	1068,96	193,48
	16	52	29	27	55,77	51,92	0,78	80,89	1115,38	150,00
	17	39	31	25	79,49	64,10	0,80	11,14	1589,74	14,00
	18	36	31	17	86,11	47,22	0,64	-50,15	1722,22	197,06
	19	51,5	30	17	58,25	33,01	0,57	37,32	1165,05	239,70

9	1	71	56	42	78,87	59,15	0,76	2,91	1577,46	151,19
	2	73	57	38	78,08	52,05	0,70	-8,23	1561,64	171,05
	3	49	37,5	24	76,53	48,98	0,68	-8,17	1530,61	180,21
	4	62	44	34,5	70,97	55,64	0,76	27,77	1419,35	153,62
	5	61	46	30,5	75,41	50,00	0,69	-1,64	1508,20	175,41
	6	44	40	21,5	90,91	48,86	0,64	-65,94	1818,18	195,35
	7	54	45	40	83,33	74,07	0,87	19,28	1666,67	123,75

	8	62	41	30,5	66,13	49,19	0,71	33,88	1322,58	168,85
	9	59	51	39	86,44	66,10	0,80	-15,13	1728,81	141,02
	10	55,5	43	26	77,48	46,85	0,66	-16,28	1549,55	189,42

31	1	55	45	33	81,82	60,00	0,76	-7,57	1636,36	151,52
	2	48	41	35	85,42	72,92	0,85	5,27	1708,33	127,14
	3	66	43,5	24,5	65,91	37,12	0,59	11,36	1318,18	223,47
	4	44	39	34	88,64	77,27	0,88	0,00	1772,73	122,06
	5	49,5	43	23,5	86,87	47,47	0,64	-52,66	1737,37	196,81
	6	63	33	18,5	52,38	29,36	0,55	59,31	1047,62	259,46
	7	64,5	36,5	27	56,59	41,86	0,68	58,92	1131,78	187,04
	8	48,5	43	20	88,66	41,24	0,58	-74,45	1773,19	228,75
	9	71,5	32,5	17,5	45,45	24,47	0,51	90,79	909,09	297,14
	10	43	31,5	27,5	73,25	63,95	0,82	37,83	1465,116	135,45
	11	58,5	37	16	63,25	27,35	0,49	2,15	1264,96	298,44
	12	41,5	35,5	32,5	85,54	78,31	0,89	21,28	1710,84	118,46
	13	39,5	35	27	88,61	68,35	0,81	-20,48	1772,15	137,96
	14	52	42,5	19,5	81,73	37,50	0,56	-55,38	1634,61	242,31
	15	52	30,5	22	58,65	42,31	0,67	51,21	1173,08	187,50
	16	41	38,5	18	93,90	43,90	0,59	-89,13	1878,05	220,83
	17	47	25,5	15,5	54,25	32,98	0,58	55,35	1085,11	233,87
51	1	106,5	64	27	60,09	25,35	0,47	13,64	1201,88	315,74
	2	72	69	30	95,83	41,67	0,56	-102,86	1916,67	235,00
	3	101,5	58	28	57,14	27,59	0,51	33,29	1142,86	284,82
	4	66,5	44	29,5	66,16	44,36	0,67	24,37	1323,31	187,29
	5	60	53,5	33,5	89,17	55,83	0,70	-45,62	1783,33	169,40
	6	131	87	22,5	66,41	17,175	0,35	-55,00	1328,24	484,44
	7	63,5	54,5	35	85,83	55,12	0,71	-33,42	1716,53	168,57
	8	74	46	22,5	62,16	30,40	0,53	14,37	1243,24	266,67
	9	68	50	36	73,53	52,94	0,72	11,80	1470,59	163,89
	10	58,5	45	25,5	76,92	43,59	0,63	-20,85	1538,46	202,94
	11	76	32	23	42,10	30,26	0,60	109,10	842,10	234,78
	12	87	46	16,5	52,87	18,96	0,41	43,00	1057,47	403,03
	13	50	33	23	66,00	46,00	0,68	28,18	1320,00	180,43
4	1	58,5	57	22	97,43	37,61	0,52	-122,03	1948,72	262,50
	2	81	51	19	62,96	23,46	0,44	-6,88	1259,26	347,37
	3	61	55	26	90,16	42,62	0,59	-77,09	1803,28	223,08
	4	58	56	24	96,55	41,38	0,56	-106,62	1931,03	237,50
	5	81	44	22,5	54,32	27,78	0,52	47,69	1086,42	277,78
	6	55,5	41	18	73,87	32,43	0,52	-34,94	1477,47	268,05
	7	73	48	17	65,75	23,29	0,43	-23,00	1315,07	355,88
	8	49	30	22	61,22	44,90	0,69	45,37	1224,49	179,54
	9	62	34	22	54,84	35,48	0,61	56,36	1096,77	218,18
	10	73,5	47	43	63,94	58,50	0,81	63,05	1278,91	140,11

14	1	74	46	41,5	62,16	56,08	0,80	64,47	1243,24	144,58
	2	83	50	45,5	60,24	54,82	0,79	69,32	1204,82	146,15
	3	75,5	46	35,5	60,93	47,02	0,71	50,51	1218,54	171,13
	4	80	50	39	62,50	48,75	0,72	47,53	1250,00	166,67
	5	71	39,5	35	55,63	49,29	0,76	76,07	1112,68	157,86
	6	54,5	48	42	88,07	77,06	0,88	2,59	1761,47	122,02
	7	55	45	25	81,82	45,45	0,63	-36,67	1636,36	200,00
	8	61	57,5	50	94,26	81,97	0,89	-22,18	1885,24	118,50
	9	52,5	36	28	68,57	53,33	0,74	32,52	1371,43	158,03
	10	51	48	27	94,12	52,94	0,67	-70,83	1882,35	183,33
	11	53,5	38,5	28	71,97	52,34	0,72	16,86	1439,25	164,28
	12	49	38	29	77,55	59,18	0,77	8,45	1551,02	150,00
	13	67,5	46	17,5	68,15	25,92	0,46	-27,00	1362,96	324,28
	14	48,5	39,5	25	81,44	51,55	0,69	-22,70	1628,86	176,00
	15	37	30	25,5	81,08	68,92	0,84	15,77	1621,62	131,37
	16	44,5	35	29	78,65	65,17	0,81	17,32	1573,03	137,07
	17	44,5	31	28	69,66	62,92	0,82	50,57	1393,26	134,82
	18	46,5	29,5	19	63,44	40,86	0,64	28,92	1268,82	200,00
	1	103	79	35	76,70	33,98	0,53	-43,28	1533,98	260
	2	49	47,5	34,5	96,94	70,41	0,80	-56,32	1938,77	139,85
	3	49	38,5	33,5	78,57	68,37	0,84	25,90	1571,43	130,60
	4	99	54,5	24,5	55,05	24,75	0,48	39,32	1101,01	313,26
	5	62,5	55,5	42,5	88,80	68,00	0,80	-22,06	1776,00	138,82
	6	108	52	23,5	48,15	21,76	0,46	74,78	962,96	340,42
	7	54,5	23	20	42,20	36,70	0,68	112,55	844,04	193,75
	8	59	48,5	28	82,20	47,46	0,65	-33,99	1644,07	191,96
	9	51	43	28	84,31	54,90	0,71	-27,72	1686,27	167,86
	10	68,5	43	28	62,77	40,87	0,64	31,71	1255,47	199,11
45	11	79,5	51	33	64,15	41,51	0,64	27,20	1283,02	197,73
	12	63	40	17	63,49	26,98	0,48	0,00	1269,84	302,94
	13	52,5	47	25	89,52	47,62	0,63	-63,00	1790,48	199,00
	14	39,5	35	28,5	88,61	72,15	0,84	-12,60	1772,15	130,70
	15	55	42	16	76,36	29,09	0,48	-57,29	1527,27	303,12
	16	33	30	20,5	90,91	62,12	0,75	-41,85	1818,18	153,66

59	1	90	68	21,5	75,55	23,89	0,42	-74,86	1511,11	367,44
	2	64,5	45,5	38,5	70,54	59,69	0,80	38,66	1410,85	142,86
	3	88,5	69	20	77,97	22,60	0,40	-95,28	1559,32	393,75
	4	90,5	47,5	21	52,49	23,20	0,47	51,16	1049,72	328,57
	5	61,5	44,5	32	72,36	52,03	0,72	14,65	1447,15	165,62
	6	95,5	67,5	26	70,68	27,22	0,47	-35,67	1413,61	313,46
	7	76	51	16,5	67,10	21,71	0,41	-36,77	1342,10	384,85
	8	88,5	75	27	84,74	30,51	0,48	-91,94	1694,91	302,78
	9	119	73	23	61,34	19,32	0,39	-10,78	1226,89	417,39

	10	61,5	43	25	69,92	40,65	0,62	1,68	1398,37	209,00
	11	76	27	16,5	35,53	21,71	0,51	149,02	710,53	312,12
	12	67,5	52,5	28	77,78	41,48	0,60	-28,99	1555,55	214,28
	13	63,5	37	28	58,27	44,09	0,69	55,90	1165,35	179,46

42	1	81	68	43	83,95	53,09	0,69	-29,74	1679,01	173,25
	2	53	51	32	96,23	60,38	0,72	-67,04	1924,53	162,50
	3	72	56	25	77,78	34,72	0,54	-45,96	1555,55	256,00
	4	100	60	32	60,00	32,00	0,55	27,57	1200,00	250,00
	5	73	42	25,5	57,53	34,93	0,60	43,69	1150,68	225,49
	6	57	42,5	30,5	74,56	53,51	0,73	8,81	1491,23	163,11
	7	72,5	50	27	68,96	37,24	0,58	-1,47	1379,31	226,85
	8	52	41	24	78,85	46,15	0,65	-23,21	1576,92	193,75
	9	57	42,5	29	74,56	50,88	0,70	3,51	1491,23	171,55
	10	52,5	43,5	26,5	82,86	50,48	0,67	-30,48	1657,14	181,13
	11	50,5	47	23	93,07	45,54	0,61	-81,84	1861,39	211,96
	12	55,5	30,5	29	54,95	52,25	0,79	84,86	1099,10	148,27
	13	53	46,5	14,5	87,73	27,36	0,44	-121,05	1754,72	343,10
	14	58	38	18	65,52	31,03	0,53	0,00	1310,34	266,67
	15	48	39	17	81,25	35,42	0,54	-59,20	1625,00	255,88
	16	38	32,5	21,5	85,53	56,58	0,72	-29,46	1710,53	163,95

16	1	68	44	29,5	64,7	43,38	0,66	28,44	1294,12	
	2	70	43	40,5	61,43	57,86	0,82	71,77	1228,57	
	3	57	41	38,5	71,93	67,54	0,86	54,02	1438,6	127,27
	4	51	48,5	26,5	95,1	51,96	0,66	-76,59	1901,96	187,73
	5	53,5	42	32,5	78,5	60,75	0,78	7,84	1570,09	146,92
	6	53,5	39	32	72,9	59,81	0,79	29,16	1457,94	144,53
	7	60	39,5	22	65,83	36,67	0,59	10,76	1316,67	226,14
	8	52,5	37,5	27	71,43	51,43	0,72	17,16	1428,57	166,67
	9	45	43,5	22	96,67	48,89	0,63	-88,93	1933,33	201,14
	10	54,5	29,5	23,5	54,13	43,119	0,7	71,07	1082,57	178,72
	11	43	35	26,5	81,39	61,63	0,78	-2,46	1627,91	147,17
	12	46	30,5	24	66,3	52,17	0,74	39,2	1326,09	159,37
	13	43,5	27,5	23	63,22	52,87	0,76	53,05	1264,37	154,35
	14	35	25	23,5	71,43	67,143	0,86	55,04	1428,57	127,66
	15	53	32	21	60,38	39,62	0,64	39,43	1207,55	202,38
	16	43,5	34,5	17,5	79,31	40,23	0,59	-38,24	1586,21	222,86
	17	55,5	30,5	19,5	54,95	35,13	0,61	55,34	1099,1	220,51
	18	39,5	31	24,5	78,48	62,02	0,79	10,75	1569,62	143,88
	19	43	34	16,5	79,07	38,37	0,57	-41,79	1581,39	233,33
	20	39	33,5	17	85,9	43,59	0,6	-57,35	1717,95	213,23
	21	40,5	22,5	18	55,55	44,44	0,71	67,5	1111,11	175

38	1	73,5	58	32,5	78,91	44,22	0,63	-27,58	1578,23	202,31
	2	52	49	36,5	94,23	70,19	0,8	-43,66	1884,61	138,36
	3	55	34,5	23	62,73	41,82	0,65	33,63	1254,54	194,56
	4	70	45	30,5	64,28	43,57	0,66	30,5	1285,71	188,52
	5	59	45	41,5	76,27	70,34	0,86	42,65	1525,42	125,3
	6	68	59	32	86,76	47,06	0,63	-53,12	1735,29	198,43
	7	62	57,5	46,5	92,74	75	0,85	-27,96	1854,84	128,49
	8	54	43	34	79,63	62,96	0,79	7,94	1592,59	142,65
	9	78	53	48	67,95	61,54	0,82	54,17	1358,97	136,46
	10	63	44	32	69,84	50,79	0,72	22,23	1396,82	167,19
	11	54	38,5	22	71,3	40,74	0,61	-3,83	1425,92	210,23
	12	60	44,5	28	74,17	46,67	0,66	-3,35	1483,33	186,61
	13	53	46	20,5	86,79	38,68	0,56	-73,58	1735,85	241,46
	14	49,5	35	29	70,71	58,58	0,78	35,39	1414,14	145,69
	15	64,5	37,5	29,5	58,14	45,74	0,71	59,35	1162,79	172,88
	16	42	39	30	92,86	71,43	0,82	-35	1857,14	135
	17	52,5	52,5	24	100	45,71	0,59	-109,4	2000	218,75
	18	52	35	25	67,31	48,08	0,7	26,96	1346,15	174
	19	49,5	34,5	26	69,7	52,52	0,73	26,33	1393,94	161,54
	20	40,5	39	20	96,3	49,38	0,63	-86,43	1925,92	198,75
	21	47	30	18,5	63,83	39,36	0,62	24,51	1276,6	208,11
	22	39,5	33,5	19,5	84,81	49,37	0,66	-40,51	1696,2	187,18
	23	40	27,5	15,5	68,75	38,75	0,6	2,63	1375	217,74
	24	42	21	16	50	38,09	0,66	80,77	1000	196,87

	1	139	62,5	25	44,96	17,98	0,41	95,1	899,28	403
	2	63,5	33	23	51,97	36,22	0,63	69,87	1039,37	209,78
	3	95	35	16	36,84	16,84	0,42	154,07	736,84	406,25
	4	62,5	53,5	37,5	85,6	60	0,75	-23,33	1712	154,67
	5	59,5	49	13,5	82,35	22,69	0,4	-119,8	1647,06	401,85
	6	46	35,5	25	77,17	54,35	0,73	0	1543,48	163
	7	49	33	18,5	67,35	37,75	0,59	6,51	1346,94	221,62
	8	41	31,5	31	76,83	75,61	0,91	59,52	1536,58	116,93
	9	69	64,5	24,5	93,48	35,51	0,51	-112,3	1869,56	272,45
	10	80	67	44	83,75	55	0,71	-25,25	1675	167,04
	11	77	39	32	50,65	41,56	0,7	82,88	1012,99	181,25
	12	53	43	29	81,13	54,72	0,72	-15,23	1622,64	165,52
	13	46,5	34	25	73,12	53,76	0,73	15,14	1462,36	161
	14	46	37,5	31	81,52	67,39	0,82	9,89	1630,43	134,68
	15	56,5	39	30	69,03	53,1	0,74	30,2	1380,53	159,17
	16	57,5	41,5	26,5	72,17	46,09	0,66	3,5	1443,48	186,79

	17	53	38	28	71,7	52,83	0,73	18,93	1433,96	162,5
47	18	65	46	30	70,77	46,15	0,67	9,28	1415,38	185
	19	67	50	47	74,63	70,15	0,87	49,89	1492,54	124,47
	20	42,5	30	26	70,59	61,18	0,81	42,1	1411,76	139,42
	21	78,5	67	20	85,35	25,48	0,42	-119,1	1707	363,75
	22	79,5	70	42	88,05	52,83	0,68	-46,69	1761	177,98
	23	123,5	65	21	52,63	17	0,38	41,6	1052,63	448,81
	24	67,5	46,5	31	68,89	45,92	0,67	16,4	1377,78	183,87
	25	124,5	100	17	80,32	13,65	0,28	-199,3	1606,42	660,29

55	1	29	28	18	96,55	62,07	0,74	-65,91	1931,03	158,33
	2	66	62,5	28	94,7	42,42	0,57	-96,15	1893,94	229,46
	3	39	34,5	26	88,46	66,67	0,79	-23,08	1769,23	141,35
	4	43,5	40	36,5	91,95	83,91	0,91	0	1839,08	114,38
	5	45	37	37	82,22	82,22	0,94	60,81	1644,44	110,81
	6	55	52,5	42	95,45	76,36	0,85	-40,29	1909,09	127,98
	7	53	35	22	66,04	41,51	0,64	19,43	1320,75	200
	8	55	52	37	94,54	67,27	0,78	-49,55	1890,91	144,59
	9	51,5	36	29	69,9	56,31	0,77	33,54	1398,06	150,86
	10	43	32	23	74,42	53,49	0,73	9,35	1488,37	163,04
	11	62	42	40	67,74	64,52	0,85	63,41	1354,84	130
	12	88	65	43	73,86	48,86	0,69	2,27	1477,27	177,91
	13	55	52,5	17,5	95,45	31,82	0,47	-136,2	1909,09	307,14
	14	65,5	49,5	30,5	75,57	46,56	0,66	-9,2	1511,45	188,52
	15	104,5	46	15,5	44,02	14,83	0,37	106,05	880,38	485,48
	16	52,5	38	38	72,38	72,38	0,9	69,08	1447,62	119,08
	17	100	56	13	56	13	0,31	4,42	1120	600
	18	39	25	22	64,1	56,41	0,79	57,35	1282,05	145,45
	19	147	100	38	68,03	25,85	0,46	-26,62	1360,54	325

	1	64,5	52	28	80,62	43,41	0,62	-36,29	1612,4	
	2	66,5	43,5	20	65,41	30,07	0,52	-1,79	1308,27	275
	3	74	60	28	81,08	37,84	0,56	-51,71	1621,62	239,28
	4	62,5	49	23	78,4	36,6	0,56	-43	1568	242,39
	5	78,5	52,5	50	66,88	63,69	0,85	64,73	1337,58	131
	6	70,5	49	37,5	69,5	53,19	0,74	28,48	1390,07	159,33
	7	53,5	34,5	32,5	64,48	60,75	0,83	66,63	1289,72	135,38
	8	67	54	24	80,6	35,82	0,54	-55,18	1611,94	252,08
	9	62	50,5	28	81,45	45,16	0,63	-35,82	1629,03	200,89
	10	61,5	45	40	73,17	65,04	0,83	41,12	1463,41	133,12
	11	73	38	21	52,05	28,77	0,54	60,16	1041,09	264,28

18	12	49	46,5	22,5	94,9	45,92	0,6	-88,34	1897,96	212,22
	13	49	37,5	29,5	76,53	60,2	0,78	14,91	1530,61	146,61
	14	42	38	24	90,48	57,14	0,71	-48,61	1809,52	166,67
	15	43	29,5	24	68,6	55,81	0,77	37,719	1372,09	151,04

34	1	67	29	19,5	43,28	29,1	0,58	103,08	865,67	246,15
	2	94	72	47,5	76,59	50,53	0,69	-5,32	1531,91	174,74
	3	83	67	45	80,72	54,22	0,71	-14,56	1614,46	166,67
	4	96,5	63,5	58	65,8	60,1	0,82	59,42	1316,06	137,93
	5	80,5	54	52	67,08	64,6	0,85	66,54	1341,61	129,33
	6	61	46,5	35	76,23	57,38	0,75	10,05	1524,59	153,57
	7	60,5	55,5	39	91,73	64,46	0,77	-41,49	1834,71	148,72
	8	76,5	47	17	61,44	22,22	0,43	-1,89	1228,76	363,23
	9	47	36	21	76,6	44,68	0,64	-17,22	1531,91	197,62
	10	57	33	16	57,89	28,07	0,51	30,41	1157,89	281,25
	11	52	50	16	96,15	30,77	0,46	-144,4	1923,08	318,75
	12	41	37	24	90,24	58,54	0,72	-45,22	1804,88	162,5
	13	53	22	19,5	41,51	36,79	0,69	115,61	830,19	192,31
	14	35,5	31,5	29	88,73	81,69	0,91	14,12	1774,65	115,52
	15	42,5	31	28	72,94	65,88	0,84	44,49	1458,82	131,25
	16	43	38	26	88,37	60,46	0,74	-34,05	1767,44	155,77
	17	40,5	29	25	71,6	61,73	0,81	39,19	1432,1	139
	18	46	37,5	20	81,52	43,48	0,61	-39,81	1630,43	208,75
	19	37	35	19	94,6	51,35	0,65	-75,73	1891,89	189,47
	20	50,5	22,5	19,5	44,55	38,61	0,69	104,42	891,09	187,18
	21	31	29	24	93,55	77,42	0,86	-27,68	1870,97	125

	1	84	45,5	37	54,17	44,05	0,71	72,45	1083,33	175
	2	66	60,5	51,5	91,67	78,03	0,87	-15,47	1833,33	122,81
	3	60	39,5	19	65,83	31,67	0,53	0	1316,67	261,84
	4	60,5	32	30,5	52,9	50,41	0,78	89,26	1057,85	151,64
	5	65,5	44	38,5	67,17	58,78	0,8	50,41	1343,51	142,21
	6	63,5	47	27	74,01	42,52	0,62	-11,28	1480,31	204,63
	7	58,5	39	30	66,67	51,28	0,73	35,92	1333,33	162,5
	8	49,5	40	25	80,81	50,5	0,68	-22,22	1616,16	179
	9	62	39,5	22	63,71	35,48	0,58	17,61	1274,19	230,68
	10	47	30	27	63,83	57,45	0,8	60,92	1276,59	142,59
	11	50	41	30	82	60	0,76	-8,33	1640	151,67
	12	48	36	20	75	41,67	0,61	-17,14	1500	210
	13	50,5	43	30	85,15	59,4	0,74	-22,58	1702,97	155,83
	14	53,5	45	24	84,11	44,86	0,62	-47,23	1682,24	205,21
	15	48	30	25	62,5	52,08	0,76	54,26	1250	156

28	16	48	38,5	23	80,21	47,92	0,66	-25,04	1604,17	188,04
	17	40	22,5	15	56,25	37,5	0,63	53,33	1125	208,33
	18	38	24	16	63,16	42,1	0,65	32,39	1263,16	193,75
	19	63	28,5	10	45,24	15,87	0,38	95,09	904,76	457,5

Annexe 2b : Galets du talus de la rivière

No d'éch. Talus de rivière	No du galet	Dimensions du galet en mm			Indices					
		Long (L)	Larg (l)	Epais (e)	Allong. (σ)	Aplatis. (π)	Sphéricité (Ψ)	Allong-Aplat. (OP)	Emoussé (Ir)	Aplat. Cailleux (If)
22	1	56	3	32	76,78	57,14	0,75	7,29	1535,71	154,69
	2	55,5	54,5	47	98,20	84,68	0,90	-45,15	1963,96	117,02
	3	71,5	52	24	72,73	33,57	0,54	-26,65	1454,54	257,29
	4	62	53	31	85,48	50,00	0,66	-41,93	1709,68	185,48
	5	87	57	27,5	65,52	31,61	0,53	1,33	1310,34	261,82
	6	75	60	44	80,00	58,67	0,75	-2,75	1600,00	153,41
	7	77	71	32	92,21	41,56	0,57	-88,23	1844,15	231,25
	8	54	42,5	40	78,70	74,07	0,89	43,39	1574,07	120,62
	9	53,5	46	37	85,98	69,16	0,82	-6,57	1719,63	134,46
	10	65	45	33	69,23	50,77	0,72	24,62	1384,61	166,67
	11	68	48	23	70,59	33,82	0,54	-16,42	1411,76	252,17
	12	72,5	61	24,5	84,13	33,79	0,51	-77,06	1682,76	272,45
	13	72	65	16	90,28	22,22	0,38	-168,75	1805,55	428,12
	14	46	32	16,5	69,56	35,87	0,57	-7,09	1391,30	236,36
	15	57	37	29	64,91	50,88	0,74	42,12	1298,24	162,07
	16	56	42	26	75,00	46,43	0,66	-7,18	1500,00	188,46
	17	60	49,5	16	82,50	26,67	0,44	-98,01	1650,00	342,19

56	1	75	51,5	19	68,67	25,33	-31,72	0,45	1373,33	332,89
	2	83	79,5	39	95,78	46,99	0,61	-89,48	1915,66	208,33
	3	52,5	52,5	21	100,00	40,00	0,54	-125,00	2000,00	250,00
	4	49	48	11	97,96	22,45	0,37	-211,00	1959,18	440,91
	5	62	49,5	31	79,84	50,00	0,68	-19,35	1596,77	179,84
	6	130,5	61	33	46,74	25,29	0,51	84,16	934,86	290,15
	7	61	56	29,5	91,80	48,36	0,63	-70,57	1836,06	198,30
	8	79,5	63	53	79,24	66,67	0,82	18,40	1584,90	134,43
	9	95,5	39,5	34,5	41,36	36,12	0,68	115,72	827,22	195,65
	10	63,5	58	50	91,34	78,74	0,88	-11,76	1826,77	121,50
	11	47	43	31	91,49	65,96	0,78	-37,90	1829,79	145,16
	12	85,5	54	36	63,16	42,10	0,65	32,39	1263,16	193,75
	13	52,5	51	48,5	97,14	92,38	0,96	-13,53	1942,86	106,70
	14	52,5	46	36	87,62	68,57	0,81	-15,47	1752,38	136,80
	15	63,5	42	30	66,14	47,24	0,70	30,01	1322,83	175,83
	16	79	57,5	22,5	72,78	28,48	0,48	-41,95	1455,70	303,33

17	1	73,5	66,5	40	90,48	54,42	0,69	-53,48	1809,52	175,00
	2	56	39	36	69,64	64,28	0,84	54,44	1392,86	131,94
	3	61,5	48	40	78,05	65,04	0,81	19,66	1560,97	136,87
	4	56,5	48,5	35	85,84	61,94	0,76	-20,65	1716,81	150,00
	5	56	48	37	85,71	66,07	0,80	-11,95	1714,28	140,54
	6	53,5	39	24,5	72,90	45,79	0,66	0,00	1457,94	188,77
	7	48	39	26,5	81,25	55,21	0,72	-14,74	1625,00	164,15
	8	43	34,5	30	80,23	69,77	0,85	22,05	1604,65	129,17
	9	52	35	26,5	67,31	50,96	0,73	32,70	1346,15	164,15
	10	41	34	21	82,93	51,22	0,68	-29,28	1658,54	178,57
	11	39	29	25,5	74,35	65,38	0,83	36,82	1487,18	133,33
	12	50	35	31	70,00	62,00	0,82	46,69	1400,00	137,10
	13	41,5	33,5	28	80,72	67,47	0,83	13,72	1614,46	133,93
	14	45	36	23,5	80,00	52,22	0,70	-15,59	1600,00	172,34
	15	37	32,5	24	87,84	64,86	0,78	-23,72	1756,76	144,79
	16	38	34	27	89,47	71,05	0,83	-19,19	1789,47	133,33
	17	42	32	24,5	76,19	58,33	0,76	12,24	1523,81	151,02
	18	37,5	25,5	23,5	68,00	62,67	0,83	56,99	1360,00	134,04
	19	34	30	19,5	88,23	57,35	0,72	-39,08	1764,70	164,10
	20	36	30,5	18	84,72	50,00	0,67	-38,89	1694,44	184,72
	21	41,5	30	20,5	72,29	49,40	0,70	9,64	1445,78	174,39

48	1	86	50,5	42	58,72	48,84	0,74	62,82	1174,41	162,50
	2	54,5	42,5	35	77,98	64,22	0,81	17,97	1559,63	138,57
	3	70	48	40	68,57	57,14	0,78	40,83	1371,43	147,50
	4	73,5	40	22,5	54,42	30,61	0,56	51,24	1088,43	252,22
	5	66	38	29	57,57	43,94	0,69	58,43	1151,51	179,31
	6	91	64	42	70,33	46,15	0,67	11,05	1406,59	184,52
	7	105	49,5	23	47,14	21,90	0,47	80,73	942,86	335,87
	8	55,5	39	26	70,27	46,85	0,68	12,66	1405,40	181,73
	9	44,5	33	32	74,16	71,91	0,89	58,41	1483,15	121,09
	10	72	43,5	22	60,41	30,55	0,54	22,91	1208,33	262,50
	11	81	42	22	51,85	27,16	0,52	59,28	1037,04	279,54
	12	57	43,5	39	76,31	68,42	0,85	36,54	1526,31	128,85
	13	46,5	37	26	79,57	55,91	0,73	-6,54	1591,40	160,58
	14	41	25	23	60,97	56,10	0,80	69,32	1219,51	143,48
	15	40,5	37	23,5	91,36	58,02	0,72	-50,69	1827,16	164,89

5	1	93,5	62,5	48,5	66,84	51,87	0,74	36,41	1336,90	160,82
	2	72	56	41	77,78	56,94	0,75	2,83	1555,56	156,10
	3	66	54	30	81,82	45,45	0,63	-36,67	1636,36	200,00
	4	47,5	37,5	20,5	78,95	43,16	0,62	-30,04	1578,95	207,32
	5	60	43,5	24,5	72,50	40,83	0,61	-8,62	1450,00	211,22

	6	62	58,5	40	94,35	64,52	0,76	-52,84	1887,10	150,62
	7	99	58	28	58,58	28,28	0,51	27,39	1171,72	280,36
	8	79	62	38,5	78,48	48,73	0,67	-16,47	1569,62	183,12
	9	89	61	40	68,54	44,94	0,66	15,89	1370,79	187,50
	10	33	32	30	96,97	90,91	0,94	-18,33	1939,39	108,33

30	1	52	44,5	33	85,58	63,46	0,78	-16,59	1711,54	146,21
	2	53	31	24,5	58,49	46,23	0,71	58,82	1169,81	171,43
	3	44,5	29	21	65,17	47,19	0,70	33,81	1303,37	175,00
	4	40	36,5	21	91,25	52,50	0,67	-60,15	1825,00	182,14
	5	64	52,5	30	82,03	46,87	0,64	-34,51	1640,62	194,17
	6	60	36,5	27,5	60,83	45,83	0,70	48,67	1216,67	175,45
	7	48	40	27	83,33	56,25	0,72	-21,16	1666,67	162,96
	8	60	50	24,5	83,33	40,83	0,58	-53,46	1666,67	224,49
	9	41	35	22,5	85,36	54,88	0,71	-32,01	1707,32	168,89
	10	45	32,5	18,5	72,22	41,11	0,62	-6,88	1444,44	209,46
	11	41	37,5	35,5	91,46	86,58	0,93	15,75	1829,27	110,56
	12	38	36	31	94,74	81,58	0,89	-26,27	1894,74	119,35
	13	50	34	21	68,00	42,00	0,64	12,31	1360,00	200,00
	14	36,5	36,5	29,5	100,00	80,82	0,87	-61,86	2000,00	123,73
	15	43	31,5	21	73,25	48,83	0,69	4,65	1465,12	177,38
	16	38,5	27	24	70,13	62,34	0,82	47,02	1402,60	136,46
	17	34	29	19,5	85,29	57,35	0,73	-27,05	1705,88	161,54
	18	30	29	20	96,67	66,67	0,77	-60,00	1933,33	147,50
	19	32	25,5	20	79,69	62,50	0,79	6,67	1593,75	143,75
	20	31,5	25	24	79,36	76,19	0,90	48,12	1587,30	117,71

60	1	96,5	43	20,5	44,56	21,24	0,47	96,00	891,19	340,24
	2	88	23	21,5	26,14	24,43	0,61	195,42	522,73	258,14
	3	56,5	37,5	10	66,37	17,70	0,36	-51,64	1327,43	470,00
	4	93	51	17	54,84	18,28	0,39	28,79	1096,77	423,53
	5	55	47	31	85,45	56,36	0,72	-29,56	1709,09	164,52
	6	48,5	34,5	24	71,134	49,48	0,70	14,43	1422,68	172,92
	7	62,5	38,5	32,5	61,60	52,00	0,76	57,69	1232,00	155,38
	8	66	53	52	80,30	78,79	0,92	54,39	1606,06	114,42
	9	73,5	42,5	29	57,82	39,45	0,64	49,83	1156,46	200,00
	10	133	60	26,5	45,11	19,92	0,44	93,07	902,25	364,15
	11	70,5	38	19	53,90	26,95	0,51	48,63	1078,01	285,53
	12	80	36	13	45,00	16,25	0,39	96,44	900,00	446,15
	13	62	37	22	59,68	35,48	0,59	35,23	1193,55	225,00
	14	49	42	37,5	85,71	76,53	0,88	14,20	1714,28	121,33
	15	47,5	47,5	32	100,00	67,37	0,77	-74,22	2000,00	148,44
	16	42	41	27	97,62	64,28	0,75	-67,41	1952,38	153,70
	17	67	26	11	38,80	16,42	0,41	141,40	776,12	422,73
	18	47	46	9	97,87	19,15	0,33	-247,37	1957,45	516,67
	19	41	28	16,5	68,29	40,24	0,62	7,61	1365,85	209,09

29	1	68	58,5	47	86,03	69,12	0,82	-6,89	1720,59	134,57
	2	51	48	34,5	94,12	67,65	0,79	-47,03	1882,35	143,48
	3	66,5	64,5	55	96,99	82,71	0,89	-39,43	1939,85	119,09
	4	57,5	42,5	28,5	73,91	49,56	0,69	3,48	1478,26	175,44
	5	57	42	36,5	73,68	64,03	0,82	36,18	1473,68	135,62
	6	45	39	31	86,67	68,89	0,82	-10,37	1733,33	135,48
	7	50	46,5	37	93,00	74,00	0,83	-31,18	1860,00	130,40
	8	65	43,5	30	66,92	46,15	0,68	24,76	1338,46	180,83
	9	80	51	28	63,75	35,00	0,58	16,48	1275,00	233,93
	10	83	77	27	92,77	32,53	0,48	-120,77	1855,42	296,30
	11	55	40	33	72,73	60,00	0,79	30,30	1454,54	143,94
	12	67,5	65	27	96,30	40,00	0,55	-109,57	1925,92	245,37
	13	50	42	31,5	84,00	63,00	0,78	-10,72	1680,00	146,03
	14	54,5	43,5	29,5	79,82	54,13	0,72	-11,08	1596,33	166,10
	15	47	38,5	24	81,91	51,06	0,68	-25,54	1638,30	178,12
	16	43	32,5	27	75,58	62,79	0,80	24,88	1511,63	139,81
	17	47	38	21,5	80,85	45,74	0,64	-32,15	1617,02	197,67
	18	39	34,5	22	88,46	56,41	0,71	-41,71	1769,23	167,04
	19	60,5	39	13,5	64,46	22,31	0,42	-19,07	1289,26	368,52
	20	40	31,5	26,5	78,75	66,25	0,82	19,57	1575,00	134,90
	21	43,5	36	25	82,76	57,47	0,7	-6,46	1655,17	159,00
	22	42,5	40	21	94,12	49,42	0,64	-77,66	1882,35	196,43