

ANNEXE

TARAGE DU FLEUVE SÉNÉGAL A GOUINA-Amont

Le tarage du Sénégal à GOUINA-Amont est de type univoque, stable et sans anomalie. La station est située à l'amont d'une chute d'une dizaine de mètres de hauteur, donc soumise à un contrôle aval "idéal".

De nombreux jaugeages de moyennes eaux ont été réalisés, au cours desquels la pente superficielle a été mesurée. La courbe de moyennes eaux est donc bien définie mais l'extrapolation de 2 500 à 7 000 m³/s est difficile.

Cet exemple est extrait du Manuel d'hydrométrie - Tome V (annexe A2).

1- SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La station de GOUINA est située dans le haut bassin du fleuve SÉNÉGAL à environ 50 km à l'amont de la ville de KAYES, importante capitale régionale de l'ouest de la République du MALI.

Cordonnées géographiques : 14°00 N et 11° 06 W

2- CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION

Voir les figures A2.1 A2.2 et A2.3

- 2.1** La première échelle a été installée en 1925 par la compagnie UHEA chargée du projet de construction d'un barrage hydro-électrique aux chutes de GOUINA (amplitude d'une dizaine de mètres). Le bassin versant contrôle une superficie de 128 600 km² (à peu près égal à celui du Niger à KOULIKORO).
- 2.2** Pas moins de six sections différentes ont été utilisées entre 1925 et 1979 pour contrôler les variations du niveau du Sénégal.
La section transversale de la station-amont, dont le tarage est étudié dans cet exemple, est de forme assez complexe (figure A2-3), avec un double canal central, une profondeur maximale supérieure à 20 m en hautes eaux et une largeur inférieure à 300 m. Le lit est rocheux et parfaitement stable.
- 2.3** Le profil en travers, levé par l'UHEA le 4 juin 1951, permet de définir avec précision les relations S(h) et R(h), h étant la hauteur au limnigraphe amont. Le tableau A2.1 donne la liste des 27 points du levé topographique et tous les éléments géométriques de la section.
La figure A2-6 montre l'allure des courbes S(h) et R(h). Pour faciliter les calculs d'extrapolation, ces deux courbes seront représentées par les formules suivantes :

- section mouillée :
$$S = 0,000259 h^2 + 2,2993 h + 1261$$

pour $0 \leq h \leq 692$ cote maximale observée.

Les coefficients de cette parabole ont été calculés par le programme de la page 218 du Manuel, avec les trois points de hauteurs 0, 250 et 675 : l'erreur commise est inférieure à 0,1 % dans tout l'intervalle.

- rayon hydraulique :
$$R = 0,007982 h + 5,42 \text{ pour } 0 \leq h \leq 550$$

$$R = -0,0000207 h^2 + 0,008577 h + 9,81 \text{ pour } 550 < h \leq 700$$

L'erreur est inférieure à 0,3 % pour les deux équations.

Remarque : nous avons tracé sur les figures A2-4 et A2-5, les courbes de variation de la section mouillée et du rayon hydraulique pour l'ensemble de la section. Si la courbe S est parfaitement régulière, il est loin d'en être de même de la courbe R.

- 2.4** La section utilisée pour les jaugeages des moyennes et hautes eaux est située à 1 040 m à l'amont et à environ 3 km des chutes. Le profil en travers y est plus régulier et la section un peu plus large (cf. figure A2-3 : tracé interrompu).

3- ÉQUIPEMENT LIMNIMÉTRIQUE

- 3.1** Quatre échelles ont été installées à GOUINA, sur la rive gauche du fleuve entre 1925 et 1929. Ces échelles prises dans l'ordre amont, aval sont les suivantes :

- l'échelle I est posée en 1925 à l'amont immédiat des chutes et constituée par un rail incliné gradué de 0 à 5 m ;

- l'échelle II équipe le premier bief au pied des chutes. C'est un rail vertical de 8 mètres fixé sur un pilier en maçonnerie le long de la paroi rocheuse de la rive ;
- l'échelle III, est située en tête du deuxième bief à l'aval des chutes c'est également un rail vertical de 8 mètres ;
- l'échelle IV, équipe le troisième bief. Elle est placée 900 mètres à l'aval de la précédente dans la zone projetée par l'UHEA pour la restitution de l'usine de GOUINA. Il s'agit d'un rail vertical de 9 mètres de haut.

3.2- L'UHEA a complété ce dispositif par deux limnigraphes, en 1950 :

- l'un, dit Gouina-amont (Bâr mensuel) est situé à 2 km à l'amont des chutes. Son « zéro » est la cote 63.35 MEFS (Mission d'Etudes du Fleuve Sénégal) ;
- l'autre, dit Gouina-aval (même marque) est situé en rive droite à environ 400 m, à l'aval de l'échelle IV. Son « zéro » est à la cote 48,09 MEFS.

3.3- A partir de 1953, la MAS (Mission d'Aménagement du Sénégal), délaisse les 4 échelles UHEA mais exploite les limnigraphes et les complètent par des échelles auxiliaires.

3.4- Ce résumé de l'historique de la station de GOUINA est suffisant pour donner une idée du travail, qu'a représenté la mise au point d'une chronique limnimétrique homogène : avec six sections différentes, le problème est nécessairement compliqué. C'est C. ROCHETTE qui s'est chargé de le résoudre et le paragraphe suivant, extrait de ses travaux, donne une idée des difficultés qu'il a rencontrées.

4 - RELEVÉS LIMNIMÉTRIQUES (résumé du texte de C. ROCHETTE)

4.1- Les quatre échelles anciennes ont été observées très irrégulièrement de 1925 à 1950 : l'échelle I de 1929 à 1942 les trois autres de 1936 à 1942.

Les graphiques de correspondance établis en portant les hauteurs aux échelles I, II et IV, en regard des hauteurs à l'échelle III, montrent une forte dispersion des résultats qui témoigne de la fantaisie des lectures. Comme en outre, les relevés comportent de nombreuses lacunes, nous avons dû renoncer à les exploiter. Leur valeur pour cette période étant inférieure à leur prise en compte n'offre pas d'intérêt. Ainsi, en dépit d'installations remarquables au point de vue fondations puisque deux échelles sont parfaitement conservées de nos jours, le bilan des relevés de 1925 à 1950 est pratiquement nul.

Cette situation est due au manque d'entretien des échelles, lesquelles, la plupart du temps, étaient mal graduées ou illisibles, et à l'incompétence des lecteurs.

Nous avons toutefois retenu les hauteurs maximales observées au cours de cette période. A Gouina-amont, le maximum observé entre 1929 et 1942 a atteint la cote 600, en 1935.

4.2- De juin 1950 à octobre 1952, l'ensemble du dispositif formé par les échelles des 1er, 2e et 3e biefs et par les limnigraphes amont et aval, a été exploité presque intégralement par l'UHEA. Seuls manquent les limnigrammes relatifs à la pointe de crue 1950.

4.3- De 1953 à 1956, les échelles de GOUINA ne sont pratiquement plus observées et l'exploitation des limnigraphes laisse à désirer. Nous sommes parvenus à recalibrer les limnigrammes et avons reconstitué les relevés correspondants aux périodes d'interruption ou de mauvais fonctionnement.

4.4- Les données sont finalement complètes en 1953 et 1955. En 1954, il manque deux mois d'enregistrement (septembre et octobre). Depuis 1956, on possède des relevés sûrs et complets à l'échelle du deuxième

bief, mise en service par la M.A.S. Les limnigraphes après deux années d'enregistrements valables (1956 et 1957) ont cessé d'être exploités.

4.5- Dans la période de relevés disponibles dans les fichiers de l'ORSTOM, c'est-à-dire du 1er juin 1955 au 31 décembre 1979, les cotes extrêmes observées à Gouina-amont sont :

*692 le 24/08/1958 pour le maximum (978 à l'échelle du deuxième bief) et aussi

*626 le 4/9/1964 et

*613 le 23/8/1964 ;

* 25 en 1976 (date imprécise) pour le minimum.

5- JAUGEAGE ET TARAGE

5.1- L'UHEA a effectué 61 jaugeages pour des hauteurs au limnigraphe amont comprises en entre 0.68 et 4.21 m (débit variant de 6.5 à 2 300 m³/s).

Le tableau A2.2 donne la liste chronologique et le tableau A2.3 la liste classée de ces jaugeages.

Pour les jaugeages de moyennes et hautes eaux, le plan d'eau au droit de la section était nivelé à chaque jaugeage par rapport à un repère fixe (borne UHEA. n° 11 portant la cote 70,84 MEFS). On connaît donc la dénivelée entre les sections de jaugeages et du limnigraphe (distante de 1040 m). En basses eaux, les jaugeages étaient effectués à DIPARI (6 km en amont de GALOUGO). Une mesure de contrôle a été faite dans cette section par l'ORSTOM en 1965.

On notera que les 61 jaugeages de l'UHEA ont été réalisés entre octobre 1950 et juin 1952. Le jaugeage de l'ORSTOM de février 1965 est donc particulièrement important puisqu'il est le seul dans la période de la chronique limnimétrique. Il est heureux que le tarage soit stable et que C. ROCHETTE ait réussi à rattacher les échelles amont et aval.

Par contre, les deux jaugeages réalisés les 3 et 4 octobre 1951 sont "inutilisables par suite de la rupture du câble tendu en travers de la section, celle-ci n'a pu être explorée que sur les 50 premiers mètres ; on ne peut rien déduire de valable de mesures aussi partielles" (d'après C. ROCHETTE). Nous verrons qu'en fait ces deux jaugeages sont très importants par la valeur de la pente superficielle mesurée à cette occasion.

5.2 Les résultats des mesures sont satisfaisants et donnent une excellente définition du tarage entre les cotes 65 et 420 (6 à 2300m³/s). La courbe est très régulière (fig. A2-7) et les points sont suffisamment nombreux et bien répartis pour éliminer toute ambiguïté dans le tracé, sauf pour les débits inférieurs à 100 m³/s. On peut d'ailleurs observer que la station de Gouina-amont est très peu sensible en basses eaux, vu l'importance de la section mouillée. Nous n'étudierons pas dans cet exemple, le problème de l'extrapolation de la courbe de basses-eaux.

Aucun indice de non-univocité n'apparaît sur le graphique, comme on pouvait le penser, vu la situation de la station à l'amont des chutes. Cinq tronçons de parabole sont suffisants pour représenter la courbe dans l'intervalle des hauteurs 65-425. Le tableau A2.4 donne les points limites (en progression géométrique de raison 3) et intermédiaires retenus, les valeurs des coefficients et des angles des tangentes. Le barème décimétrique est présenté dans le tableau A2-5.

La moyenne des écarts relatifs absolus entre les débits jaugés et le barème est de 3,3 % pour les 60 jaugeages (UHEA et ORSTOM) et de 2,6 % pour les jaugeages au-dessus de la cote 150. Cette dernière valeur témoigne de l'excellente qualité des jaugeages de l'UHEA.

Si l'intervalle des hauteurs observées était peu supérieur à l'intervalle de définition de la courbe, le tarage du Sénégal à Gouina, serait un exemple de simplicité.

Mais la courbe doit être extrapolée, vers les faibles débits, jusqu'à la cote 25 et surtout "vers le haut", jusqu'à la cote 692, soit sur plus de 2,70 m.

6- EXTRAPOLATION DE LA COURBE

Note préalable : sur les figures A2.8 à A2.14, apparaît un jaugeage non répertorié dans la liste. Il s'agit d'une mesure effectuée en 1965 à TAKOUTALA (18 km à l'aval de GOUINA) par une équipe d'hydrologues russes et dont le résultat n'a été communiqué à C. ROCHETTE qu'après la conclusion de son étude. Nous ne tiendrons donc pas compte de ce jaugeage pour extrapoler la courbe, mais il nous servira à contrôler les résultats.

6.1- Considérant les trois méthodes usuelles d'extrapolation des courbes de tarage, nous proposons au lecteur de revoir les contraintes d'utilisation de chaque méthode et de juger par lui-même, avant de continuer sa lecture, si ces contraintes sont, ou non, respectées.

6.2- Méthode logarithmique

Les contraintes 1 (relation univoque de type exponentiel), 3 (profil transversal sans discontinuité) et 4 (contrôle aval permanent) sont parfaitement respectées. Par contre la deuxième contrainte (jaugeages jusqu'à une cote suffisamment élevée) ne l'est pas tout à fait... bien que l'alignement des points soit bien défini (figure A2.8) et permette une extrapolation séduisante mais "osée", le débit correspondant à la cote maximale 692 peut être lu directement sur le graphique : 9 400 m³/s.

6.3 Méthode de STEVENS

Les contraintes d'utilisation sont les mêmes que pour la méthode logarithmique et, comme pour celle-ci, le nombre de jaugeages de moyennes eaux est insuffisant pour définir la droite des débits. La figure A2- 9 met en relief cette insuffisance beaucoup mieux que la figure A2-8 : avantage des coordonnées logarithmiques ou illusion ? L'extrapolation de la courbe des débits est aléatoire :

- en toute rigueur, elle doit se faire suivant la droite (1), ajustée sur les points de jaugeage entre les débits 1 000 et 2 300 m³/s : on obtient un débit maximal de 6 150 m³/s à la cote 692 ;
- la méthode de STEVENS ne permet pas d'extrapoler suivant la courbe (2) qui conduit au débit maximal "log-log" :
- nous justifions au paragraphe suivant, l'extrapolation suivant la droite (3), tracé qui ne peut être "deviné" à priori.

6.4 Méthode section mouillée - vitesse moyenne

Si la section mouillée est parfaitement définie jusqu'au maximum, l'extrapolation directe de la courbe U(n) est impossible, comme on peut le constater sur la figure A2-10.

Il est donc nécessaire de faire appel à la formule de STRICKLER, d'autant plus que nous disposons des valeurs de la pente superficielle pour tous les jaugeages complets et pour les deux jaugeages incomplets réalisés aux cotes 489 et 557.

Les deux paramètres à calculer sont le coefficient de rugosité K et la pente superficielle. La figure A2-11 montre la répartition de K pour tous les jaugeages complets. Nous avons retenu K=19, qui correspond aux deux cotes maximales jaugées. On pourrait admettre K=18, valeur proche de la médiane mais il semble que K n'est pas encore stabilisé à la cote 420 et augmente encore.

Sur la figure A2-12 est représentée la courbe J(h) : les deux valeurs de la pente superficielle mesurée aux cotes 489 et 557 sont essentielles pour guider l'extrapolation de la courbe jusqu'à la cote 692. L'extrapolation est faite à l'estime, quasi-linéairement, faute d'éléments complémentaires.

6.5- L'extrapolation se résume donc en fait à l'estimation de la valeur de K et au tracé de la courbe J(h) jusqu'à la cote 692.

Avec $K= 19$ et la valeur de la pente lie sur la figure A2-12, on calcule le débit correspondant aux cotes maximales, par la formule de STRICKLER :

H cm	S m ²	R m	J cm/km	KJ 1/2	U m/s	Q calculé m ³ /s	Q barème m ³ /s	Ecart %
489	2447	9.32	30.19	0.330	1.662	3580	3510	+ 2.0
557	2622	9.87	43.27	0.395	1.819	4770	4770	
613	2591	10.27	56.00	0.450	2.124	5880	5850	+ 0.6
626	2802	10.34	58.00	0.458	2.172	6085	6100	- 0.2
692	2976	10.61	73.50	0.515	2.487	7400	7400	

La courbe de tarage, jusqu'à la hauteur 692, est tracée sur la figure A2-14. Un tronçon de parabole a été ajouté aux 5 tronçons déjà définis (tableaux A2-4 et A2-5).

Remarque : l'allure des courbes $U(h)$ et $KJ^{1/2}$ (figure A2-10 et A2-13) peut paraître un peu surprenante : en fait, l'inflexion apparaît tout à fait normale puisque la valeur de K tend à se stabiliser et celle de J croît moins rapidement.

L'étude de la courbe de tarage du Sénégal à Gouina-amont montre comme il est important de ne pas se contenter d'une seule méthode d'extrapolation : la différence des deux débits maximaux obtenus par les méthodes logarithmiques et de STEVENS doit alerter l'opérateur. L'étude de l'évolution de la pente hydraulique avec la montée du niveau est la seule façon de résoudre correctement le problème.

7- CONCLUSION

Du point de vue hydrologique, la station du Sénégal à GOUINA est une très bonne station : excellente stabilité du lit totalement rocheux, parfait contrôle aval, bonne section de jaugeage de profil régulier et de pente favorable puisque les vitesses moyennes sont inférieures à 2 m/s jusqu'au débit de 5000 m³/s. De plus, les mesures sont précises et facilitées par la mise en place d'un câble permanent.

Le seul reproche que l'on puisse faire à cette station est son manque de sensibilité en très basses eaux, inconvénient secondaire étant donné l'objectif de son installation (étude d'un barrage hydro-électrique).

Mais la gestion de ce poste a été particulièrement déficiente : multiplication des sections de mesure, modification des calages des échelles, très mauvaise répartition dans le temps des jaugeages, absence de mesures de très hautes eaux (essentiellement de la pente superficielle).

Cet exemple a été choisi parce qu'en raison de ces lacunes, la définition du tarage de cette station "idéale" constitue un excellent exercice. La solution proposée ici (un peu différente de celle de C. ROCHETTE qui a retenu un coefficient K égal à 17), nous paraît être la meilleure mais ne peut être considérée comme définitive : un ou deux jaugeages de hautes eaux sont nécessaires pour préciser le tracé au-dessus de la cote 425.

Le jaugeage effectué par la mission soviétique en 1965 est à une cote encore trop basse - et il est isolé - pour justifier un nouveau tracé : nous pouvons simplement constater que le débit mesuré de 4300 est 5.8 % inférieur au barème.

Tableau A2.1 : Profil transversal de la station de Gouina au limnigraphe amont**LEVÉ TOPOGRAPHIQUE**

Point m	Distance cm	Cote m	Point m	Distance cm	Cote
1	0.0	693	14	105.9	-1276
2	5.2	659	15	113.9	-1516
3	12.9	373	16	127.4	-1186
4	19.2	174	17	138.9	-656
5	26.5	3	18	157.4	-646
6	29.4	-30	19	170.4	-886
7	32.4	-53	20	197.3	-186
8	38.4	-196	21	217.9	-166
9	50.4	-296	22	230.9	-186
10	70.4	-336	23	245.9	-206
11	80.6	-676	24	258.1	114
12	89.4	-786	25	264.1	510
13	90.4	-966	26	268.3	619
			27	273.8	690

CARACTÉRISTIQUES DU PROFIL TRANSVERSAL

Cote cm	Superficie mouillée m2	Périmètre mouillé m	Largeur m	Rayon hydraulique m	Profondeur moyenne m
0	1261.09	232.51	226.99	5.42	5.56
25	1318.12	234.73	229.15	5.62	5.75
50	1375.66	236.81	231.17	5.81	5.95
75	1433.7	238.99	233.19	6.00	6.15
100	1492.25	240.97	235.21	6.19	6.34
125	1551.29	242.82	236.98	6.39	6.55
150	1610.72	244.37	238.42	6.59	6.76
175	1670.50	245.91	239.86	6.79	6.97
200	1730.62	247.19	241.03	7.00	7.18
225	1791.02	248.48	242.20	7.21	7.40
250	1851.71	249.76	243.37	7.41	7.61
275	1912.70	251.05	244.54	7.62	7.82
300	1973.98	252.33	245.71	7.82	8.03
325	2035.55	253.61	246.88	8.03	8.25
350	2097.42	254.90	248.05	8.23	8.46
375	2159.58	256.17	249.21	8.43	8.67
400	2222.01	257.34	250.26	8.63	8.88
425	2284.71	258.52	251.31	8.84	9.09
450	2347.67	259.69	252.36	9.04	9.30
475	2410.89	260.86	253.42	9.24	9.51
500	2474.38	262.03	254.47	9.44	9.72
525	2538.15	263.53	255.87	9.63	9.92
550	2602.32	265.24	257.21	9.81	10.11
575	2666.90	266.96	259.14	9.99	10.29
600	2731.89	268.67	260.78	10.17	10.48
625	2797.30	270.61	262.65	10.34	10.65
650	2863.29	273.28	265.26	10.48	10.79
675	2930.21	277.95	269.89	10.54	10.86

700	2998.21	281.88	273.80	10.64	10.95
-----	---------	--------	--------	-------	-------

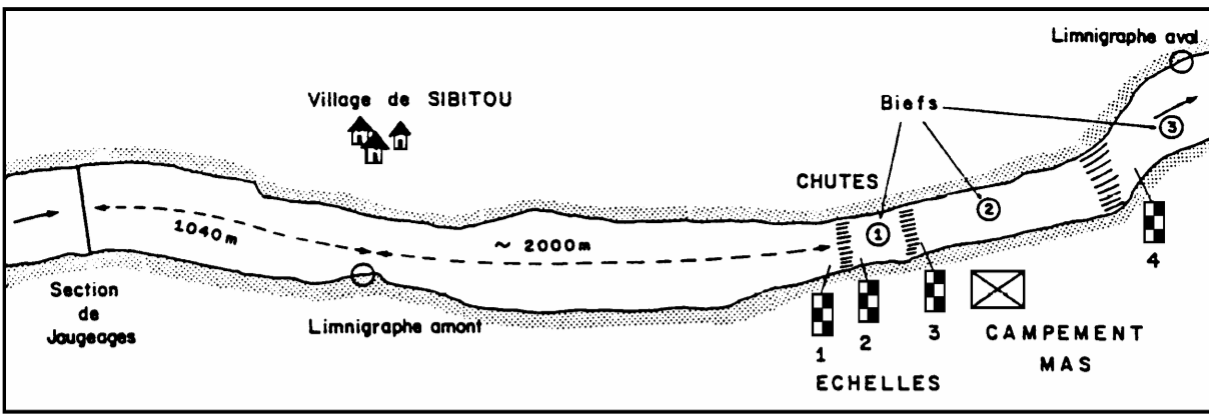


FIGURE A2_2 PROFIL EN LONG (ligne d'eau-maximum 1942)

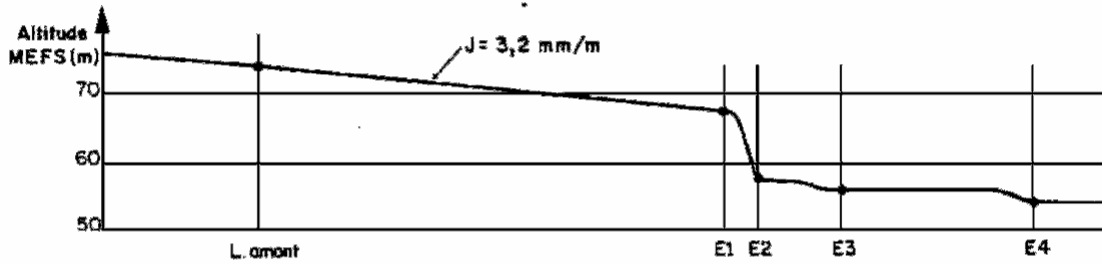


FIGURE A2_3 PROFILS EN TRAVERS

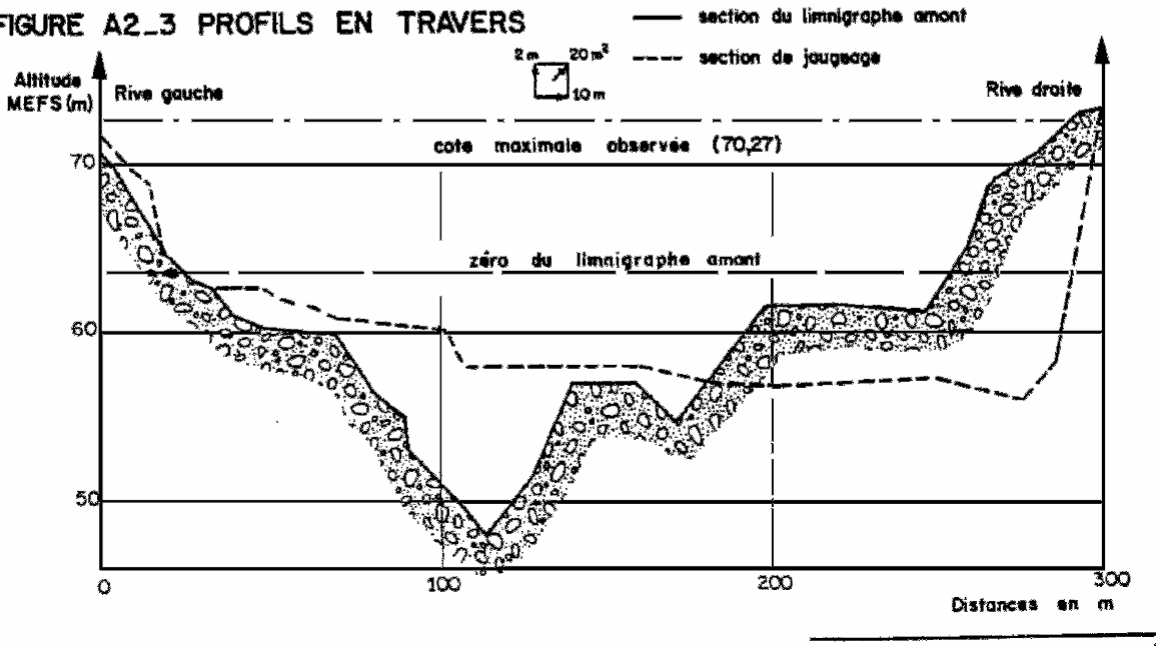


Tableau A2.2a : Liste chronologique des jaugeages

Date	h (cm)	Débit m3/s	S m2	U m/s	R m	Pente cm/km	KJ ^{1/2}	K STRICKLER	Nota
30.10.50	333	1150	2055	0.560	8.08	5.87	0.139	18.16	1
02.11.50	314	996	2009	0.496	7.93	7.40	0.125	14.50	1
04.11.50	303	890	1981	0.449	7.84	4.62	0.114	16.74	1
06.11.50	294	828	1959	0.423	7.77	3.85	0.108	17.38	1
09.11.50	282	735	1930	0.381	7.67	2.40	0.098	20.00	1
13.11.50	264	606	1886	0.321	7.53	3.46	0.084	14.21	1
21.11.50	238	434	1823	0.238	7.32	2.50	0.063	12.68	1
05.12.50	206	308	1746	0.176	7.06	0.48	0.048	21.82	1
13.12.50	194	289	1717	0.168	6.97	0.02	0.046	103.00	3
11.01.51	163	140	1643	0.085	6.72	-	-	-	2
22.01.51	129	57	1562	0.036	5.88	-	-	-	2
23.01.51	152	108	1616	0.067	6.63	-	-	-	2
19.03.51	108	28	1512	0.019	5.64	-	-	-	2
15.07.51	252	510	1857	0.275	7.43	2.69	0.072	13.92	1
19.07.51	292	758	1954	0.388	7.75	4.04	0.099	15.59	1
22.07.51	281	631	1928	0.327	7.66	3.27	0.084	14.71	1
25.07.51	256	505	1867	0.271	7.46	2.31	0.071	14.76	1
02.08.51	254	495	1862	0.266	7.45	1.83	0.070	16.31	1
04.08.51	319	956	2020	0.473	7.97	5.29	0.119	16.30	1
06.08.51	338	1185	2068	0.573	8.12	7.21	0.142	16.71	1
09.08.51	363	1495	2130	0.702	8.32	9.13	0.171	17.90	1
10.08.51	350	1265	2097	0.603	8.21	9.13	0.148	15.5	1
14.08.51	364	1470	2132	0.689	8.33	9.23	0.168	17.46	1
18.08.51	337	1195	2065	0.579	8.11	7.12	0.143	17.00	1
20.08.51	385	1730	2185	0.792	8.49	12.21	0.190	17.22	1
21.08.51	415	2160	2260	0.956	8.73	16.25	0.225	17.68	1
23.08.51	379	1645	2170	0.758	8.45	11.25	0.183	17.23	1
25.08.51	368	1495	2142	0.698	8.36	10.28	0.169	16.72	1
30.08.51	360	1470	2122	0.693	8.29	10.66	0.169	16.38	1
04.09.51	391	1865	2200	0.848	8.54	13.08	0.203	17.75	1
05.09.51	406	2060	2237	0.921	8.66	14.62	0.218	18.06	1
06.09.51	410	2130	2247	0.948	8.69	15.48	0.224	18.02	1
29.09.51	393	1830	2205	0.830	8.56	12.79	0.198	17.54	3
03.10.51	489	3700	2450	1.512	9.32	30.19	0.341	19.64	4
04.10.51	557	5080	2620	1.937	9.87	43.27	0.421	20.24	4
17.10.51	411	2130	2250	0.947	8.70	14.42	0.224	18.64	1
21.10.51	403	2015	2230	0.904	8.64	14.52	0.215	17.82	1
27.10.51	406	2075	2237	0.928	8.66	14.90	0.220	18.03	3
28.10.51	420	2305	2272	1.014	8.77	15.48	0.238	19.16	3
29.10.51	421	2280	2275	1.002	8.78	15.77	0.235	18.75	3
31.10.51	379	1825	2170	0.841	8.45	12.30	0.203	18.29	1
02.11.51	372	1610	2152	0.748	8.39	10.67	0.181	17.56	1
11.11.51	355	1400	2110	0.664	8.25	8.46	0.163	17.68	1
13.11.51	337	1210	2065	0.586	8.11	8.22	0.145	16.01	1
15.11.51	328	1070	2043	0.524	8.04	6.25	0.131	16.52	1
16.11.51	309	900	1996	0.451	7.89	4.52	0.114	16.93	1
23.11.51	281	671	1928	0.348	7.66	2.21	0.090	19.05	1
23.11.51	264	556	1886	0.295	7.53	2.79	0.077	14.54	1
30.11.51	254	495	1862	0.266	7.45	2.89	0.070	13.00	1

Tableau A2.2b: Liste chronologique des jaugeages

Date	h (cm)	Débit m3/s	S m2	U m/s	R m	Pente cm/km	KJ ^{1/2}	K STRICKLER	Nota
03.12.51	245	458	1840	0.249	7.38	1.25	0.066	18.59	1
08.12.51	233	421	1811	0.232	7.28	0.96	0.062	19.93	1
13.12.51	221	360	1782	0.202	7.18	1.92	0.054	12.38	1
20.12.51	211	314	1758	0.179	7.10	-	-	-	3
31.12.51	195	243	1719	0.141	6.98	0.67	0.039	14.92	1
21.01.52	175	185	1671	0.111	-	-	-	-	2
19.02.52	150	105	1612	0.065	-	-	-	-	2
24.03.52	121	52	1543	0.034	-	-	-	-	2
30.04.52	89	11	1468	0.007	-	-	-	-	2
24.05.52	68	6.5	1419	0.005	-	-	-	-	2
04.06.52	85	10	1458	0.007	-	-	-	-	2
24.06.52	120	51	1541	0.033	-	-	-	-	2
17.02.65	137	63.6	1581	0.040	-	-	-	-	2

Nota : 1 = jaugeage complet effectué à la station de jaugeage à 1 040 m à l'amont du limnigraphe ; les altitudes du plan d'eau sont connues avec précision dans les deux sections et la pente est bien déterminée.

2 = jaugeage de basses eaux, effectué à la station de DIPARI ; la pente superficielle n'a pas été mesurée ; la vitesse moyenne, rapportée à la section du limnigraphe, n'est donnée qu'à titre indicatif pour montrer que la section de jaugeages n'est pas utilisable quand la cote est inférieure à 180 (U < 0.125 m/s).

3 = jaugeage complet et précis effectué à la station de jaugeage à l'amont du limnigraphe, mais celui-ci étant en panne, la hauteur a été calculée par corrélation avec l'échelle III, et la valeur de la pente superficielle est imprécise.

4 = jaugeage très incomplet par suite d'ennuis mécaniques (et probablement des risques, vu la proximité des chutes et la vitesse) ; le débit est très imprécis, mais par contre la pente est bien déterminée.

Tableau A2.3a : Liste des jaugeages rangés

Date	Hauteur cm	Débit mesuré m3/s	Débit barème m3/s	Ecart/barème en %	
24.05.52	68	6.5	6.5	0	
04.06.52	85	10	10.4		- 4.0
30.04.52	89	11	12.4		-12.7
19.03.51	108	28	28.3		- 0.9
24.06.52	120	51	44.1	+13.5	
24.03.52	121	52	45.6	+12.3	
22.02.51	129	57	58.7		- 3.0
17.02.65	137	63.6	74.2		-16.7
19.02.52	150	105	405	0	
23.01.51	152	108	110		- 2.2
11.01.51	163	140	143		- 1.9
21.01.52	175	185	183	+0.9	
13.12.50	194	209	252	+12.8	
31.12.51	195	243	256		- 5.2
05.12.50	206	308	299	+3.0	
20.12.51	211	314	319		- 1.6
13.12.51	221	360	361		- 0.4
08.12.51	233	421	415	+1.5	
21.12.50	238	424	438		- 0.8
03.12.51	245	458	471		- 2.8
15.07.51	252	510	506	+0.9	
02.08.51	254	495	516		- 4.3
30.12.51	254	495	516		- 4.3
27.05.51	256	505	527		- 4.5
13.11.50	264	606	574	+5.2	
27.11.51	264	556	574		- 3.3
22.07.51	281	631	687		- .8
23.11.51	281	671	687		- 2.3
09.11.50	282	735	694	+5.6	
19.07.51	292	758	769		- 1.4
06.11.50	294	828	785	+5.2	
04.11.50	303	890	859	+3.5	
18.11.51	309	900	911		- 1.2
02.11.50	314	996	956	+4.1	
04.08.51	319	956	1002		- 4.8
15.11.51	328	1070	1090		- 1.9
30.10.50	333	1150	1141	+0.8	
18.08.51	337	1195	1183	+1.0	
13.11.51	337	1210	1183	+2.3	
06.08.51	338	1185	1193		- 0.7
10.08.51	350	1265	1325		- 4.7
11.11.51	355	1400	1383	+1.2	
30.08.51	360	1470	1442	+1.9	
09.08.51	363	1495	1478	+1.1	
14.08.51	364	1470	1490		-1.4
25.08.51	368	1495	1540		-3.0
02.11.51	372	1610	1590	+1.2	

Tableau A2.3b : Liste des jaugeages rangés

Date	Hauteur cm	Débit mesuré m3/s	Débit barème m3/s	Ecart/barème en %	
23.08.51	379	1645	1680		-2.2
31.10.51	379	1825	1680	+7.9	
20.08.51	385	1730	1760		-1.8
04.09.51	391	1865	1845	+1.2	
29.09.51	393	1830	1870		-2.2
21.10.51	403	2015	2015	0	
05.09.51	406	2060	2060	0	
27.10.51	406	2075	2060	+0.8	
06.09.51	410	2130	2120	+0.6	
17.10.51	411	2130	2130	0	
21.08.51	415	2160	2190		-1.5
28.10.51	420	2305	2270	+1.5	
29.10.51	421	2280	2290		-0.3
03.10.51	489	3700*			
04.10.51	557				

* incomplets, partiellement calculés (cf. tableau A2.2)

Tableau A2.4 : Découpage en segments de paraboles

MALI

SÉNÉGAL

SÉNÉGAL

GOUINA-Amont

ÉTAL. n° 1 : valide du 30 octobre 1950 au 31 décembre 1979

Valeur des hauteurs limites HP(L) et intermédiaires HINT (L) et des débits limites Q(L)
et intermédiaires QINT (L)

L	HP(L) en m	Q(L) en m3/s	HINT (L) en m	QINT (L) en m3/s
1	0.68	6.500		
2	1.00	20.000	0.85	10.000
3	1.30	60.500	1.15	36.800
4	1.74	180.000	1.50	105.000
5	2.50	495.000	2.10	317.000
6	4.20	2320.000	3.20	1010.000
7	6.92	7400.000	5.50	4100.000

VALEURS DES COEFFICIENTS DES PARABOLES

SEGMENTS	C (1.L)	C (2.L)	C (3.L)
1	0.1439950E+03	-.3890940E+01	0.6500000E+01
2	0.1533330E+03	0.8900000E+02	0.2000000E+02
3	0.2045460E+03	0.1815910E+03	0.6050000E+02
4	0.8479510E+02	0.3500290E+03	0.1800000E+03
5	0.3378150E+03	0.4992430E+03	0.4950000E+03
6	0.5095770E+02	0.1729040E+04	0.2320000E+04

ANGLE ENTRE LES TANGENTES AUX LIMITES

SEGMENTS	POINTS LIMITES		ANGLES (en degrés)
	H (en m)	Q (en m ³ /s)	
1 - 2	1.00	20.000	0.24
2 - 3	1.30	60.500	0.09
3 - 4	1.74	180.000	-0.93
4 - 5	2.50	495.000	1.19
5 - 6	4.20	2320.000	1.38

MALI

SÉNÉGAL

SÉNÉGAL

GOUINA-amont

É TAL n°1 : valide du 30 octobre 1950 au 31 décembre 1979

H(m)	Q(m ³ /s)	H(m)	Q(m ³ /s)	H(m)	Q(m ³ /s)
0.60	7.733	2.80	675.000	4.90	3560.000
0.70	6.480	2.90	749.000	5.00	3740.000
0.80	8.110	3.00	829.000	5.10	3920.000
0.90	12.600	3.10	916.000	5.20	4100.000
1.00	20.000	3.20	1010.000	5.30	4280.000
1.10	30.400	3.30	1110.000	5.40	4470.000
1.20	43.900	3.40	1220.000	5.50	4650.000
1.30	60.500	3.50	1330.000	5.60	4840.000
1.40	80.700	3.60	1450.000	5.70	5030.000
1.50	105.000	3.70	1580.000	5.80	5220.000
1.60	133.000	3.80	1710.000	5.90	5410.000
1.70	166.000	3.90	1860.000	6.00	5600.000
1.80	201.000	4.00	2000.000	6.10	5790.000
1.90	238.000	4.10	2160.000	6.20	5980.000
2.00	277.000	4.20	2320.000	6.30	6180.000
2.10	317.000	4.30	2490.000	6.40	6370.000
2.20	359.000	4.40	2670.000	6.50	6570.000
2.30	403.000	4.50	2840.000	6.60	6760.000
2.40	446.000	4.60	3020.000	6.70	6960.000
2.50	495.000	4.70	3200.000	6.80	7160.000
2.60	548.000	4.80	3380.000	6.90	7360.000
2.70	608.000				

Figure A2-4 - Variation de la section mouillée

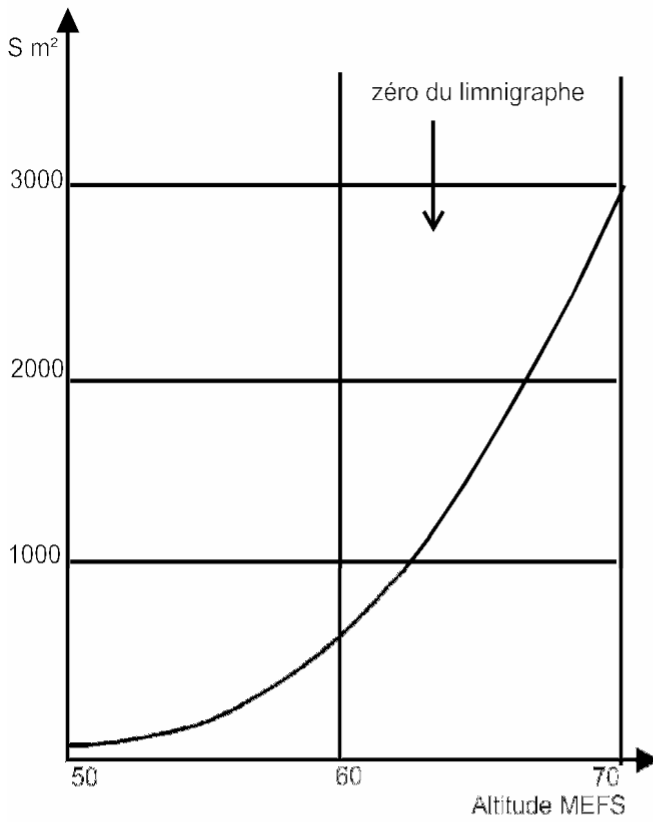


Figure A2-5 - Variation du rayon hydraulique

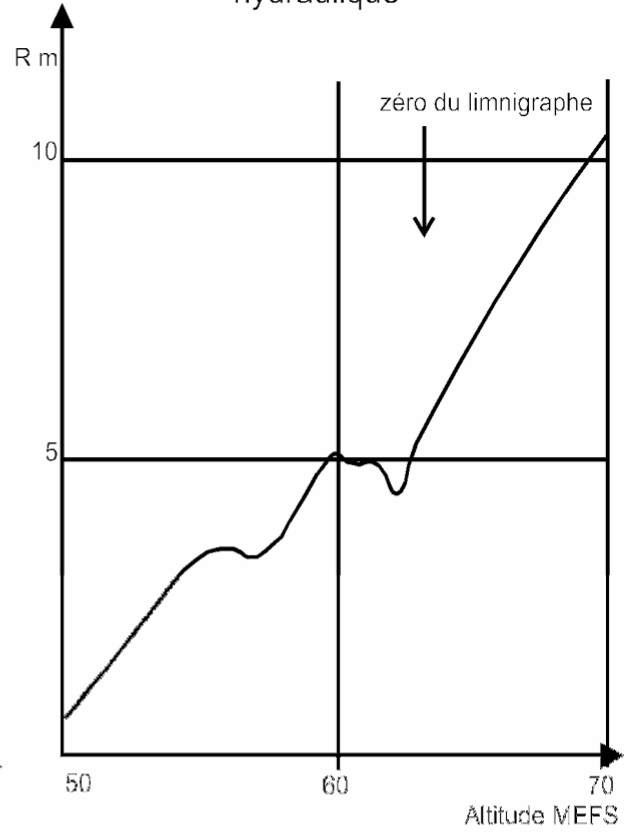


Figure A2-6 - Courbes $S(h)$ et $R(h)$

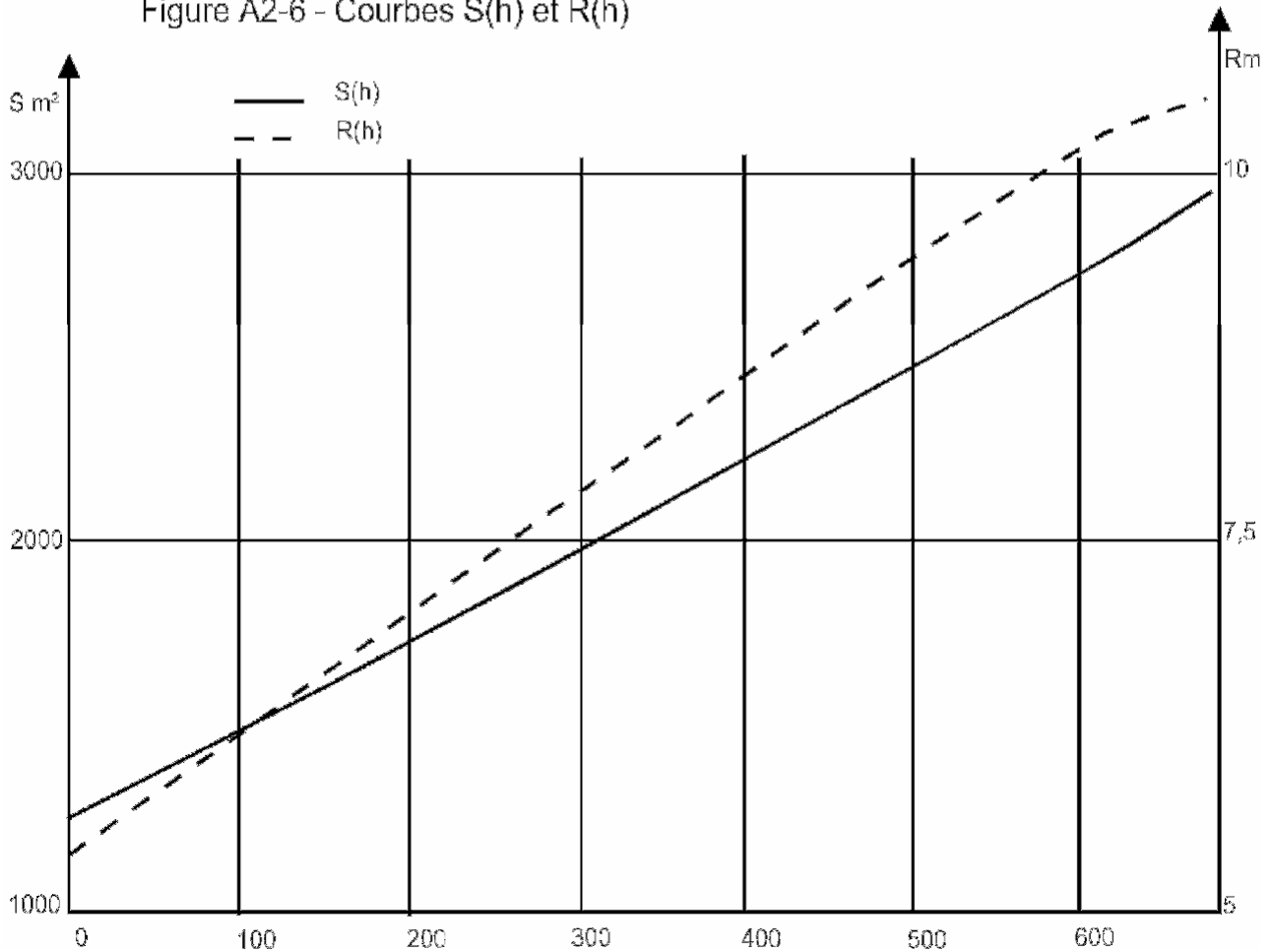


Figure A2-7 Sénégal à Gouina-Amont — Courbe de tarage

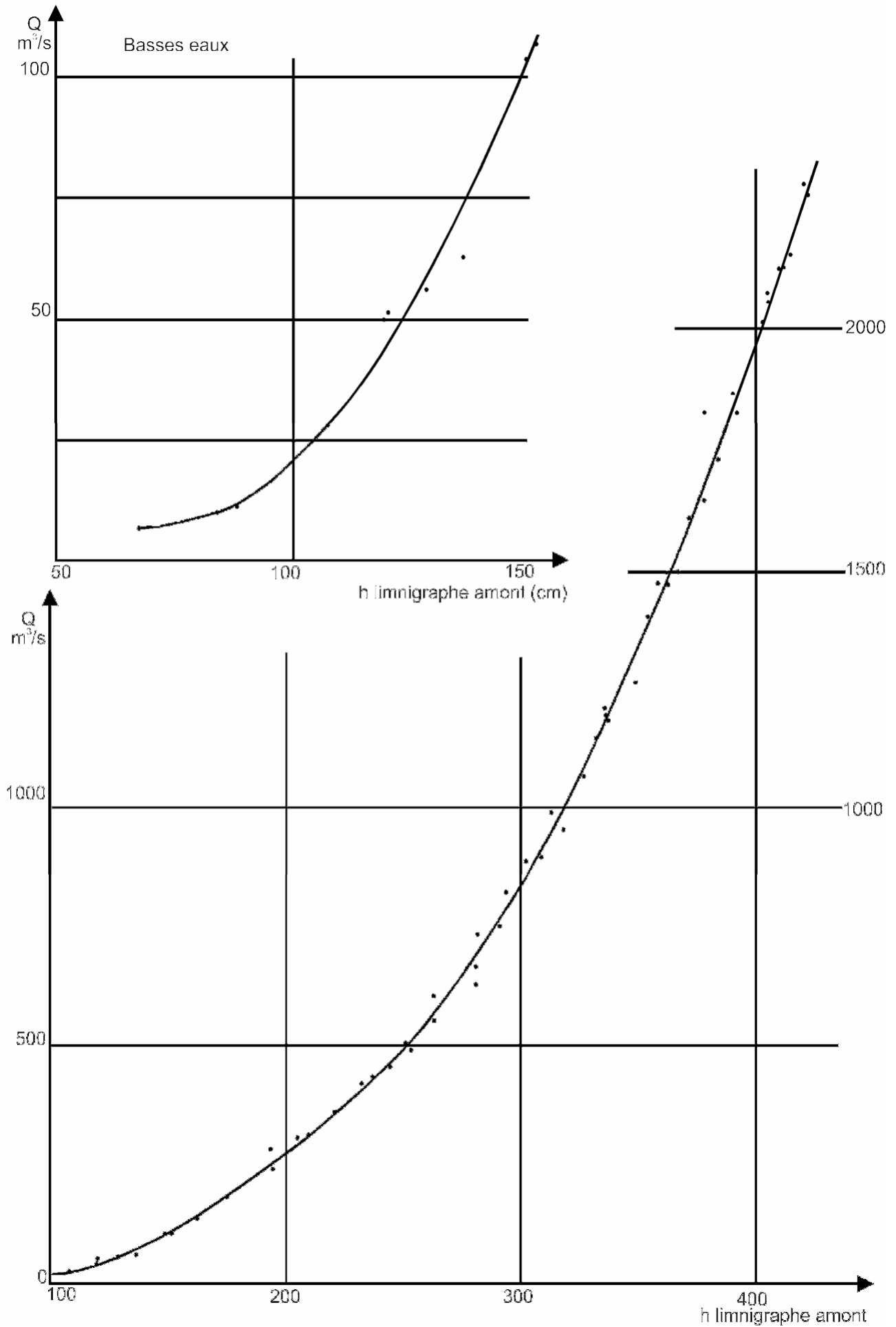


Figure A2-8 Sénégal à Gouina-Amont
Extrapolation de la courbe de tarage

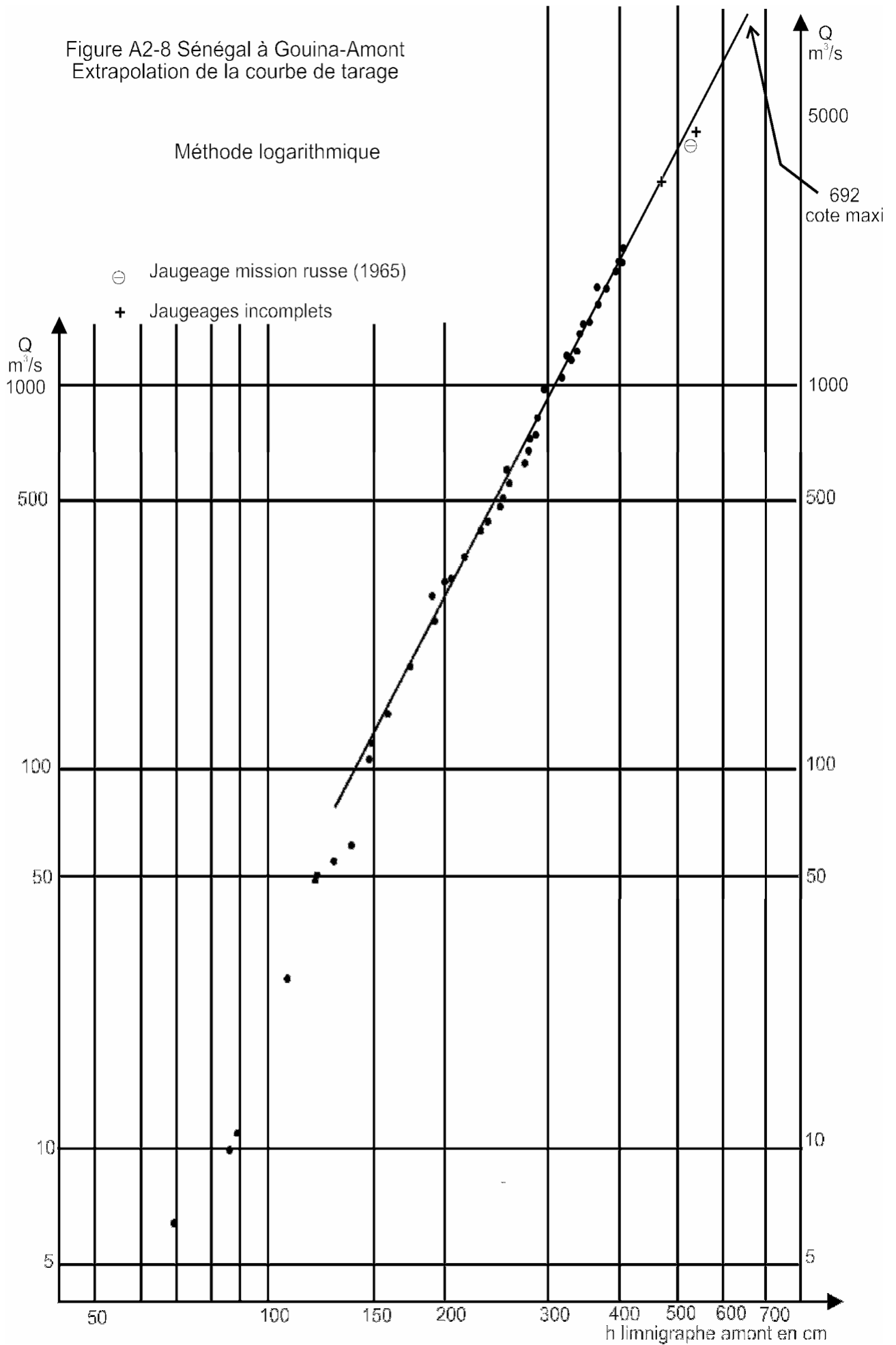


Figure A2-9 Sénégal à Gouina-Amont — Extrapolation de la courbe de tarage par la méthode de Stevens

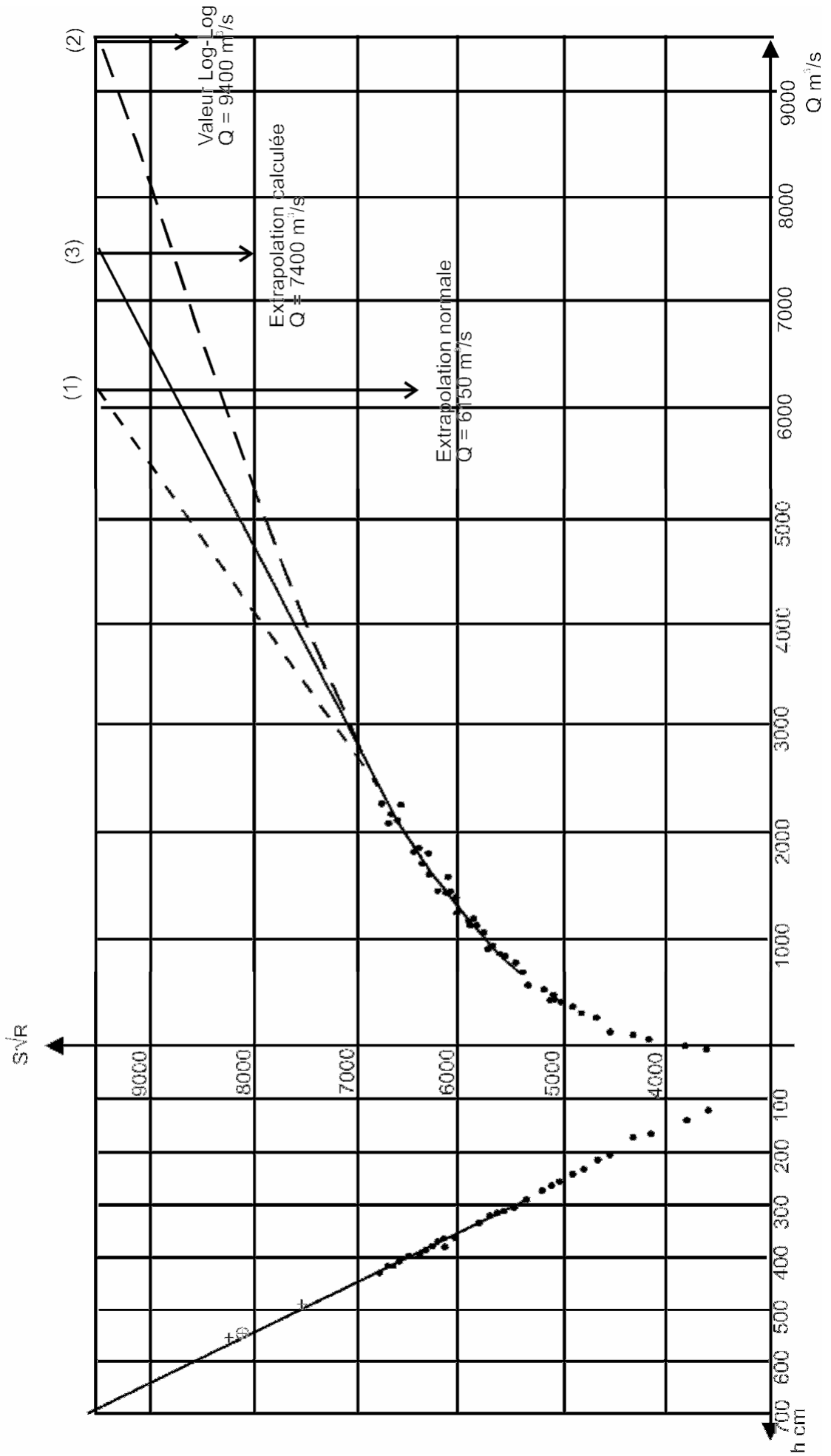


Figure A2-10 Sénégal à Gouina-Amont — courbe U (h)

Extrapolation basée sur la formule de Strickler avec K=19

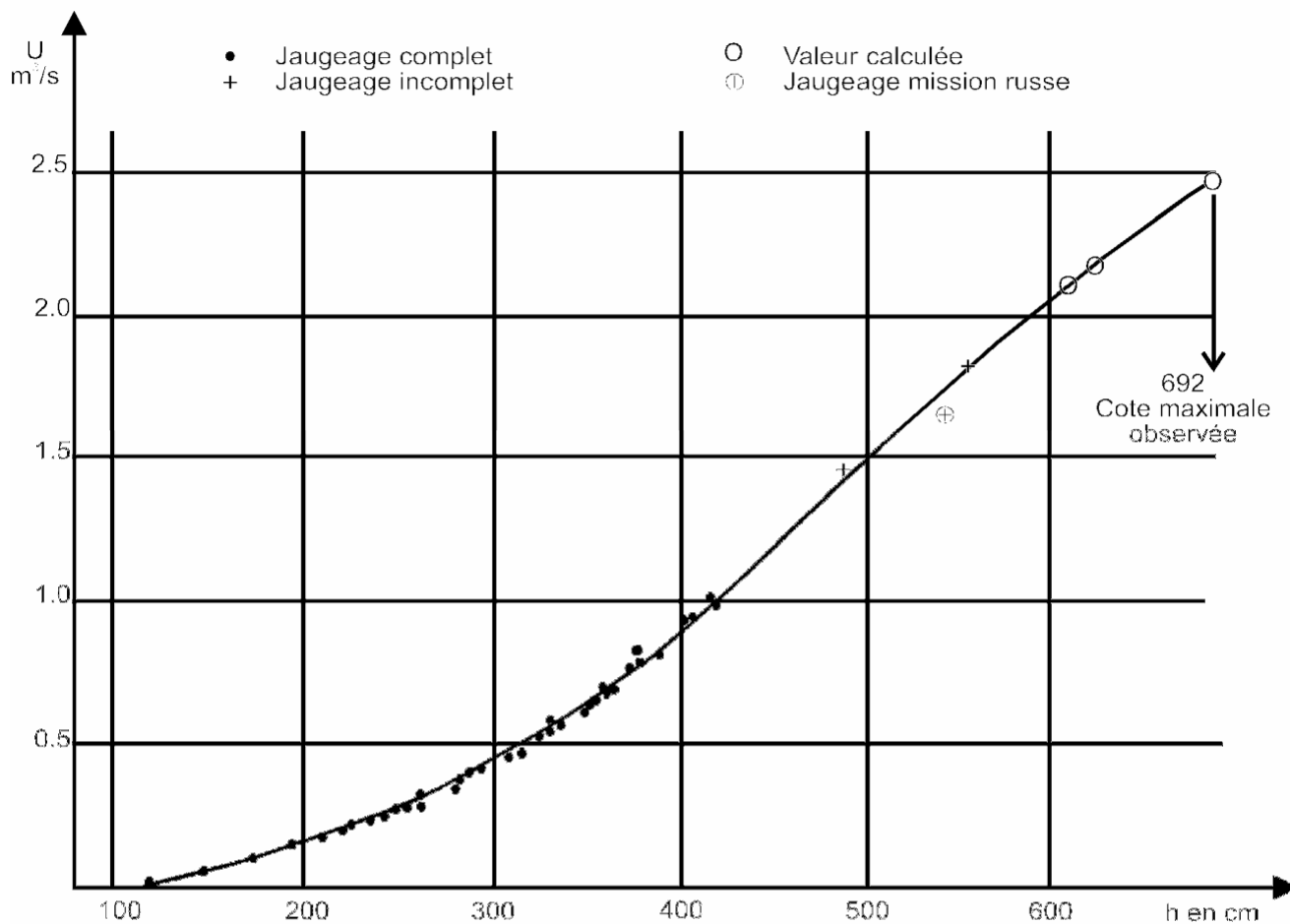


Figure A2-11 Sénégal à Gouina-Amont

Recherche de la valeur du coefficient K de Strickler en hautes eaux

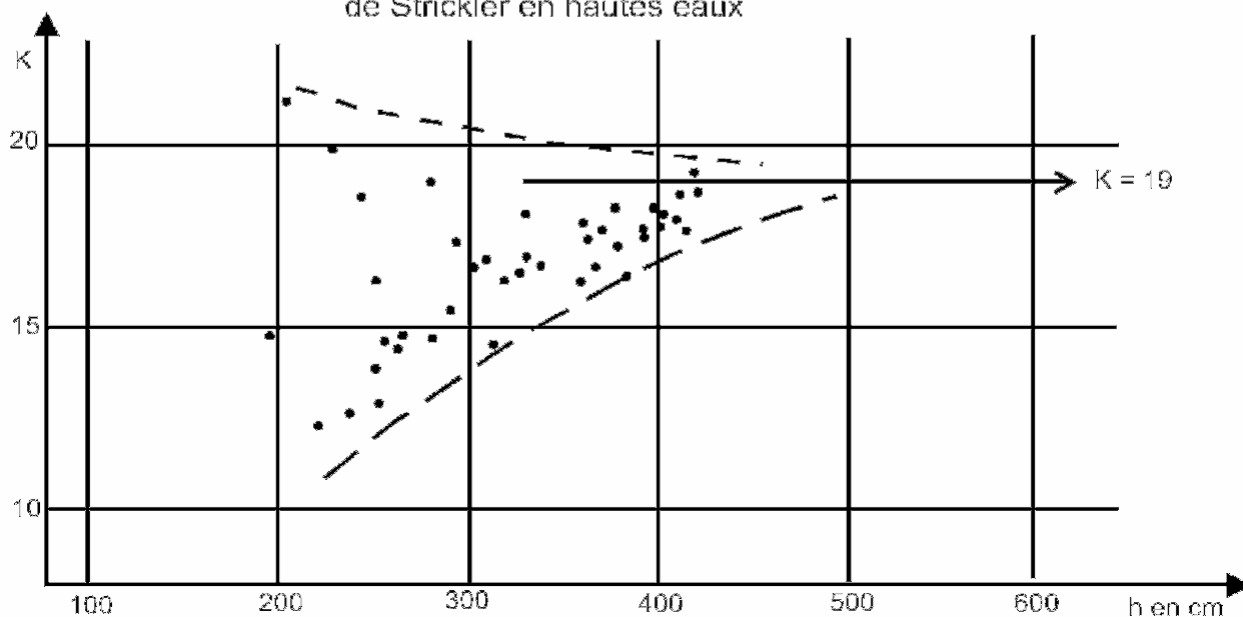


Figure A2-12 Sénégal à Gouina-Amont
Variation de la pente superficielle

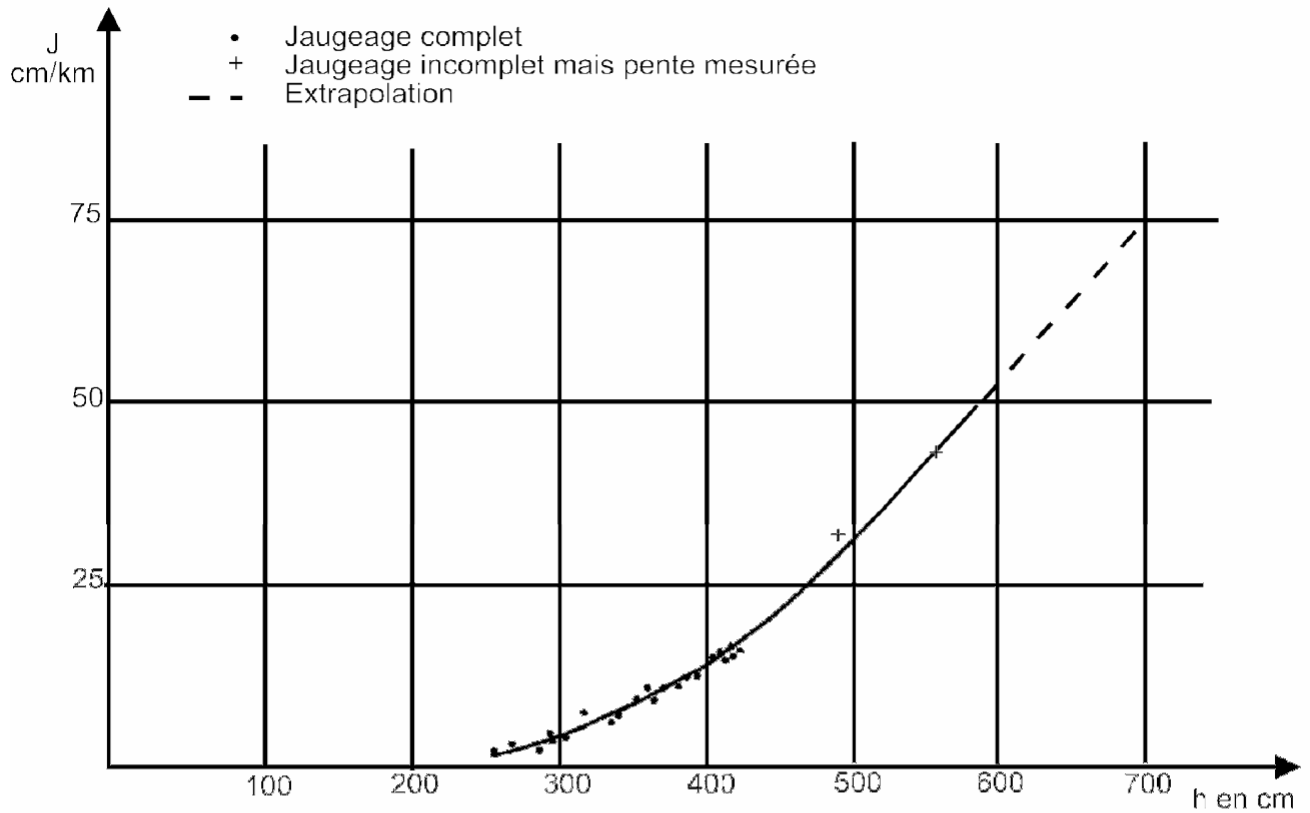


Figure A2-13 Sénégal à Gouina-Amont
Variation du produit $K\sqrt{j}$

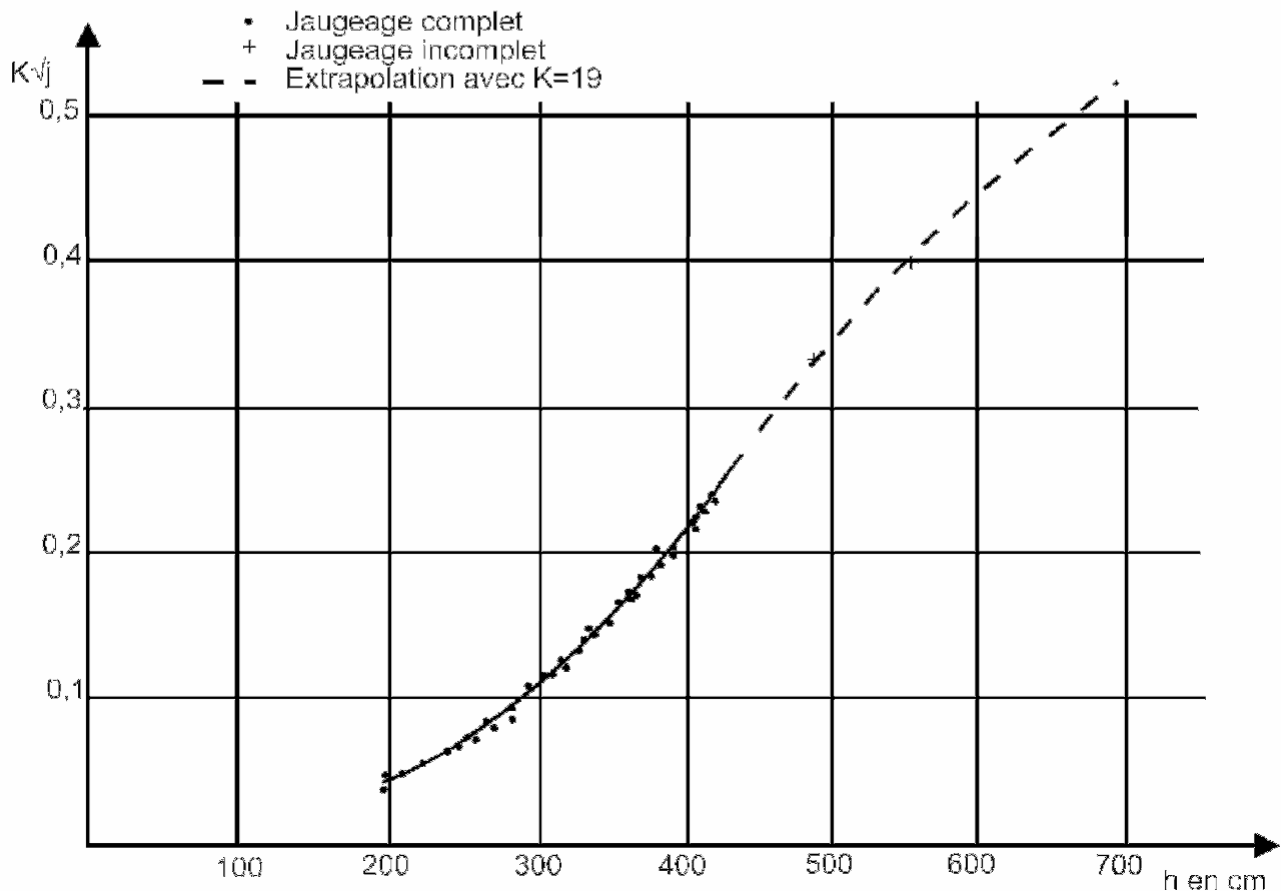


Figure A2-14 Sénégal à Gouina-Amont
 (entre h=68 et h=692 cm valide du 30/10/50 au 31/12/79)

