



ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL  
( O . M . V . S . )

# **PROGRAMME D'OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESERVOIRS**

PHASE III

RAPPORT INTERIMAIRE  
JUN 2000

AUTEURS : JP LAMAGAT, JC BADER, P VAUCHEL, N GUIGUEN



Institut de recherche  
pour le développement

# TABLE DES MATIERES

Synthèse des études de PHASE III au 15 juin 2000

<b>ANNEXE A</b>	<b>Page</b>
Etalonnage des stations de la vallée	4 à 24
<b>ANNEXE B</b>	
Travaux de terrain et formation	25 à 31
<b>ANNEXE C</b>	
Manuel de Gestion – Addenda	32 à 45
<b>ANNEXE D</b>	
Etude de l'inondation du lit majeur	46 à 54
<b>ANNEXE E</b>	
Crues maximales naturelles à PODOR	55 à 58
<b>ANNEXE F</b>	
Modélisation du remplissage et de la vidange des plaines	59 à 81
<b>ANNEXE G</b>	
Modélisation du lit mineur – Bief BAKEL – PODOR	82 à 100
<b>ANNEXE H</b>	
Synthèse des études satellitaire 97-98	101 à 108
<b>ANNEXE I</b>	
Base de données HYDRACCESS	109 à 124
<b>ANNEXE J</b>	
Etude de la prévision à 4 mois	125 à 134
<b>ANNEXE K</b>	
Réponses aux question de la Banque Mondiale – 11/99	135 à 137
<b>ANNEXE L</b>	
TDR de la mise en eau des cuvettes amont	138 à 140
<b>Annexe M</b>	
Liste des notes techniques IRD – Résumés	141 à 154

## SYNTHESE AU 20 JUIN 2000

Conformément aux termes de références de la Phase III des études du POGR notifiés en novembre 1999, l'IRD présente dans ce qui suit, l'état des études en cours.

Le rapport de synthèse d'octobre 1999 n'ayant pas fait l'objet de remarques, une seule réponse aux questions de la Banque Mondiale est annexée au rapport.

Lors de la réunion de fin mai 2000, une demande générale a concerné la simulation du soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s. Cette simulation a été réalisée est annexée au rapport.

La gestion du barrage de DIAMA est légèrement retardée, les contacts avec les responsables du projet DIAMA ont été établis, mais la première réunion ne pourra se dérouler avant début juillet 2000, pour une question de disponibilité. Un addendum concernant cet ouvrage sera publié en septembre, ainsi que des TDR éventuels concernant une étude de modification physique de l'aménagement. La seule règle importante à suivre concerne la dissipation d'énergie afin de protéger le parement aval de l'ouvrage.

De manière générale les recommandations du Comité de Suivi de Dakar ont été prises en compte. Des termes de références ont été publiés en novembre 99, suite à une intervention de la Banque Mondiale. Ces TDR concernent la mise en eau du lit majeur dans le département de MATAM. Ils sont publiés en annexe.

Les étalonnages des stations aval sont terminés, ils reste à compléter ceux de Kayes et Gourbassy qui font apparaître des écarts probablement dus aux méthodes de mesures (point par point statistique au moulinet hydrométrique et profileur de courant). Ces mesures seront effectuées au cours du prochain hivernage,. Une équipe s'installera à Kayes et ira à Gourbassy en fonction des cotes transmises par radio.

D'autres stations doivent être vérifiées, en particulier Oualia, Bafing Makana et Dakka Saïdou. Des termes de références seront établis pour les saisons 2001 et 2002 afin qu'une brigade formée à l'utilisation de l'ADCP effectue des mesures à ces stations.

L'étude de la mise en eau du lit majeur a pris du retard, ceci est dû au fait que les images SPOT prévues disponibles à l'OMVS lors de l'audit CEMAGREF, n'ont pas été disponibles, ou contenues sur bandes magnétiques dégradées et inexploitable. Nous avons dû acheter, sur budget POGR, 23 images couvrant les crues 1986, 87, 88 et 1992 ainsi qu'une image de 1991.

De même, les images LANDSAT n'ont pas été commandées par l'OMVS, nous ne l'avons appris qu'en avril 2000, l'achat et le traitement ont été effectués en urgence par le canal de l'IRD, à sa charge.

Les traitements ont été effectués à Montpellier par l'IRD en ce qui concerne LANDSAT et par UTIS ISRA pour les 24 scènes SPOT.

La vectorisation a été réalisée, pour les dix plaines observées, par le Chef de Projet (97-98-99 – maxima des crues et dates des prises de vue).

Les résultats finaux de l'analyse de l'imagerie satellitaire seront publiés en octobre 2000, l'estimation de la crue maximale respective pour les sept années à notre disposition demande une analyse complexe en fonction des dates de prises de ces images.

Une double modélisation a été élaborée :

- Remplissage et vidange des plaines à partir des stations principales du fleuve (Podor – Saldé – Matam)
- Rétro propagation de Podor – Saldé et Matam à Bakel.

Les courbes hauteurs surfaces des plaines étant maintenant connues, il est possible, à l'aides modèles de connaître la relation qui existe entre le limnigramme à Bakel et la zone maximale inondée des dix plaines.

Par suite, une relation entre cette surface et la surface totale inondée de la vallée doit être établie à l'aide des images SPOT et LANDSAT. Connaissant la liaison entre les plaines et le maximum, un hydrogramme type optimisé sera établi à PODOR puis transféré à Bakel par rétro propagation.

Déjà il est possible de tracer différents hydrogrammes en fonction du maximum de PODOR, or ce maximum correspond à une fréquence de retour de la crue. Etant donné qu'il est lié directement à la surface inondée maximale du lit majeur, il est donc envisageable de choisir un hydrogramme à Podor en fonction de la période de retour de la crue.

Les années 97, 98 et 99 correspondent à des périodes de retour (en régime naturel) :

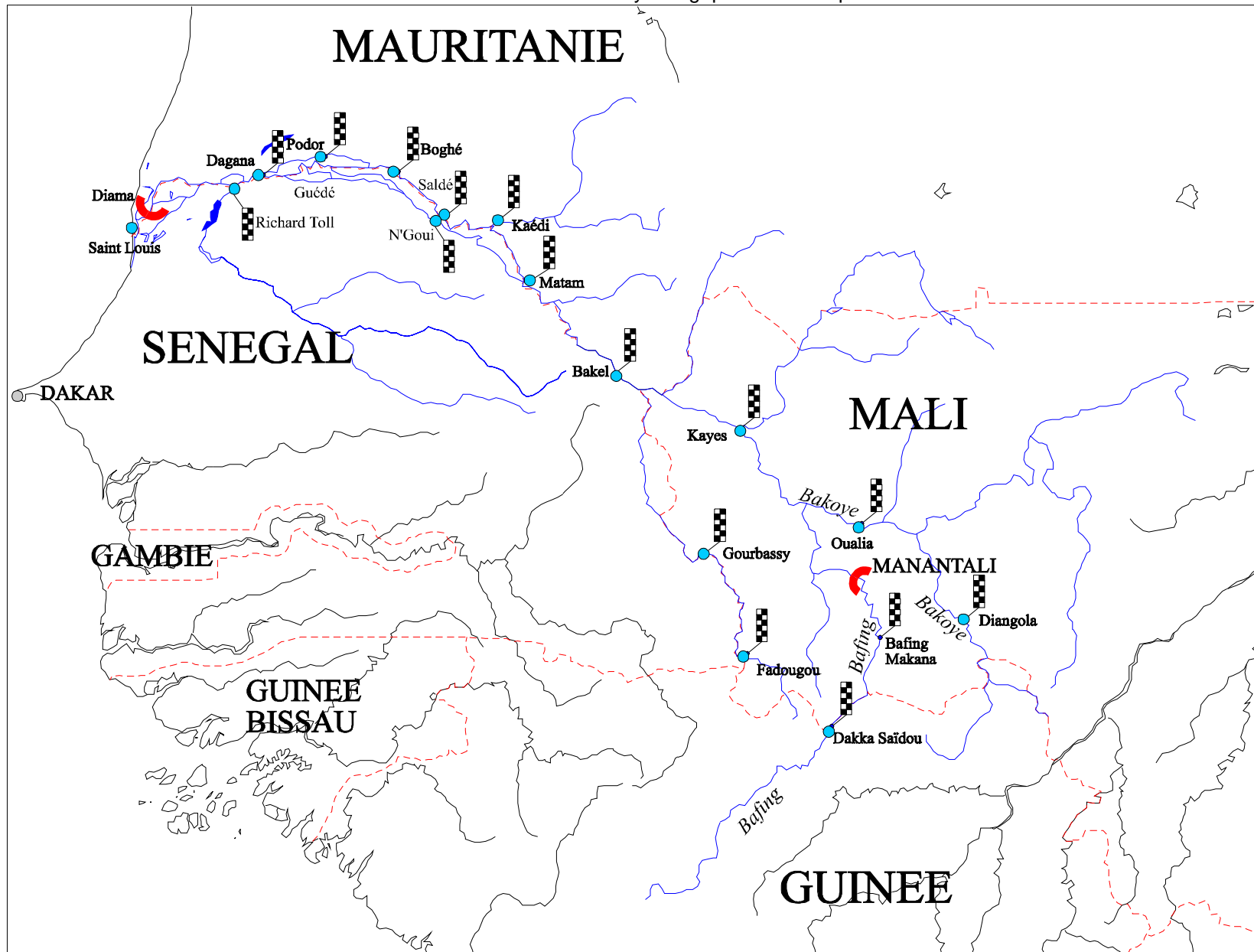
- 4 années sur 5 en 97 (0,8)
- 2 années sur 3 en 98 (0,67)
- 1 année sur 3 en 99 (0,33).

Pour les cultures de décrues il apparaît que la crue 97 a été insuffisante, particulièrement à l'amont et en rive droite. L'année 98 est très satisfaisante, 99 est très surdimensionnée et a provoqué des dégâts importants dans la vallée. Une crue de fréquence 0,7 semble à priori correspondre à l'optimisation que l'ont veut obtenir. Il faudra attendre, pour se prononcer, les résultats des analyses de l'imagerie SPOT complémentaire (86 à 92 et 99 pour LANDSAT). Une réponse définitive sera fournie au mois d'octobre 2000.

Avec le changement de millénaire, il apparut à l'équipe du projet que la gestion d'une banque de données devait être conviviale et adaptée au système le plus répandu de l'informatique actuelle, WINDOWS 9X.

Un logiciel – HYDRACCESS - a été développé en parallèle au projet, bien que non contractuel, et commence à être utilisé dans sa version préliminaire. Une note de présentation est contenue en annexe G.

Carte n°1 – Réseau des stations hydrologiques utilisées par l'OMVS



# ANNEXE A

## MISE A JOUR DES ETALONNAGES

### 1. KAYES

Deux mesures de débits ont été effectuées à Kayes en 1999 à l'aide du profileur de courant :

N°	Date	H(cm)	Q(m <sup>3</sup> /s)
46	27/08/99	712	2170
47	28/08/99	776	2495

Ces mesures sont situées très en dessous de l'ancienne courbe comme le montre la figure A1 de la page suivante.

Une courbe très provisoire, basée sur l'expérience acquise avec les autres stations, est présentée sur la même figure. Elle est issue de la courbe ancienne en effectuant une correction à partir des deux mesures ADCP de 1999, c'est-à-dire en corrigeant avec un coefficient de 0,888. Ce coefficient est obtenu en divisant la valeur des mesures par celle du bar<sup>^</sup>me de 98, ce coefficient est sensiblement le même pour les deux mesures. Cette courbe n'est pas encore utilisée, elle est tracée à titre expérimental afin de comparer les valeurs prévues aux mesures qui vont être effectuées pendant l'hivernage 2000.

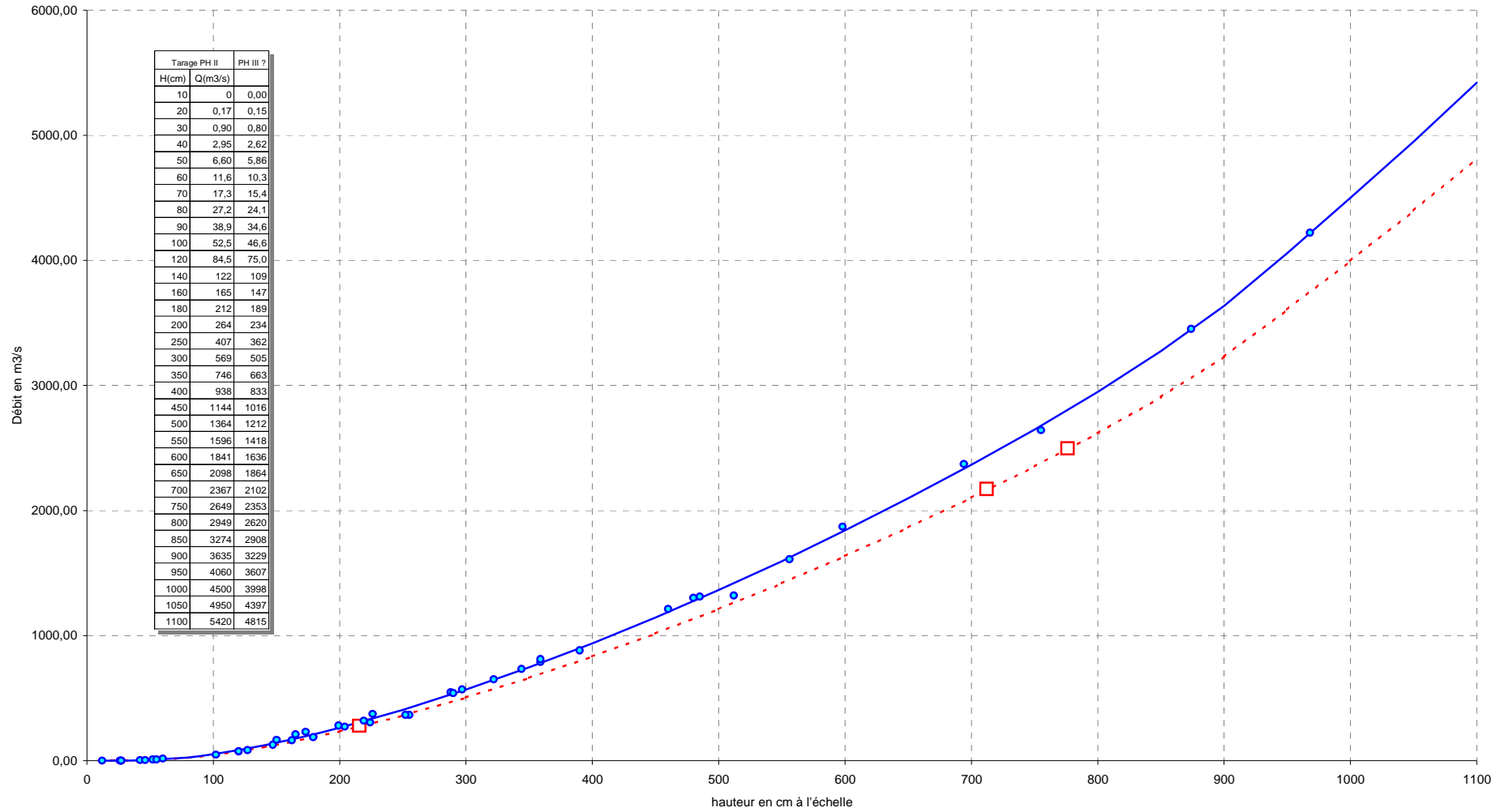
Le tableau 1 ci-dessous contient les deux étalonnages.

Tableau n°1

Tarage 98		2000
H(cm)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Qcor
10	0	0.00
20	0.17	0.15
30	0.90	0.80
40	2.95	2.62
50	6.60	5.86
60	11.6	10.3
70	17.3	15.4
80	27.2	24.1
90	38.9	34.6
100	52.5	46.6
120	84.5	75.0
140	122	109
160	165	147
180	212	189
200	264	234
250	407	362
300	569	505
350	746	663
400	938	833
450	1144	1016
500	1364	1212
550	1596	1418
600	1841	1636
650	2098	1864
700	2367	2102
750	2649	2353
800	2949	2620
850	3274	2908
900	3635	3229
950	4060	3607
1000	4500	3998
1050	4950	4397
1100	5420	4815

### STATION de KAYES - Etalonnage 1998

--- Extrapolation juin 2000    □ mesures 99/2000    ● mesures <1999    — Courbe PH II



## 2. GOURBASSY

La station de Gourbassy présente les mêmes symptômes que Kayes. Il ne s'agit pas d'un détarage mais d'erreurs systématiques sur les mesures de débits provenant de la méthode de mesure (moulinet).

Les écarts sont beaucoup moins important qu'à Kayes, et la courbe expérimentales pour 2000 est probablement plus sûre que celle établie pour Kayes.

Les mesures 99 ont été traitées comme pour Kayes. La figure A2 contient le résultat de cette opération.

Comme pour Kayes, une campagne de mesures ADCP va être réalisée afin de préciser une éventuelle nouvelle courbe d'étalonnage.

N°	Date	H (cm)	Q(m3/s)
132	27/08/99	556	918
133	28/08/99	612	1050
134	19/10/99	359	399

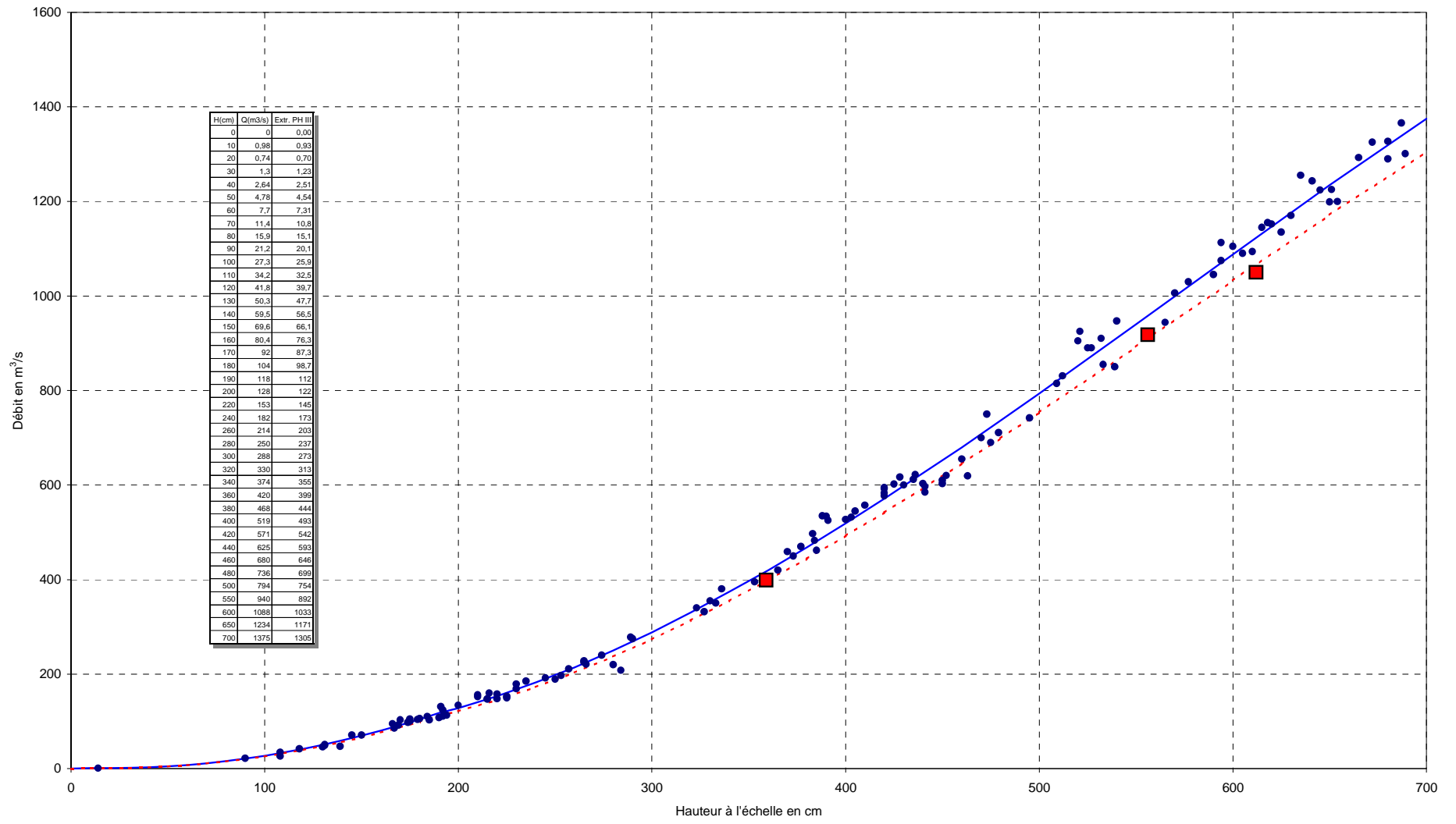
Les trois coefficients de correction obtenus à partir du barème 98 et des mesures sont très proches de 0.95 .

H(cm)	Q(m3/s)	Qc 2000
0	0	0.00
10	0.98	0.93
20	0.74	0.70
30	1.3	1.23
40	2.64	2.51
50	4.78	4.54
60	7.7	7.31
70	11.4	10.8
80	15.9	15.1
90	21.2	20.1
100	27.3	25.9
110	34.2	32.5
120	41.8	39.7
130	50.3	47.7
140	59.5	56.5
150	69.6	66.1
160	80.4	76.3
170	92	87.3
180	104	98.7
190	118	112
200	128	122
220	153	145
240	182	173
260	214	203
280	250	237
300	288	273
320	330	313
340	374	355
360	420	399
380	468	444
400	519	493
420	571	542
440	625	593
460	680	646
480	736	699
500	794	754
550	940	892
600	1088	1033
650	1234	1171
700	1375	1305



### Etalonnage GOURBASSY

■ mesures 1999   
 ● mesures 1958 à 1963   
 — Courbe utilisée actuelle   
 - - - courbe 2000 extrapolée - cor 0.94927



### 3. BAKEL

Le nouvel étalonnage de BAKEL a été présenté dans le document de synthèse de la Phase II. Le tableau ci-dessous contient les résultats de l'analyse réalisées sur les mesures effectuées de septembre 1998 à juin 2000.

Date	H(cm)	Qm(m3/s)	Qc	G(cm/j)
24/09/98	737	1920	1972	-35
13/10/98	341	450	488	-15
27/10/98	261	282	285	-2
09/11/98	166	130	131	-1
15/12/99	160	126	126	0
12/01/99	145	107	107	0
13/08/99	605	1567	1460	84,38
13/08/99	612	1588	1482	84,38
26/08/99	1031	3870	3732	78,88
26/08/99	1039	4080	3858	78,88
27/08/99	1068	4280	4156	40,38
29/08/99	1091	4300	4291	2,88
29/08/99	1093	4380	4371	2,88
04/09/99	986	3370	3455	-32,5
07/09/99	883	2670	2709	-19,25
21/09/99	817	2330	2335	-3
06/10/99	684	1700	1699	1
20/10/99	713	1872	1886	-9,75
09/11/99	483	900	920	-12,5
12/11/99	454	801	822	-12,25
04/12/99	362	525	553	-11
08/06/00	242	270	268	1

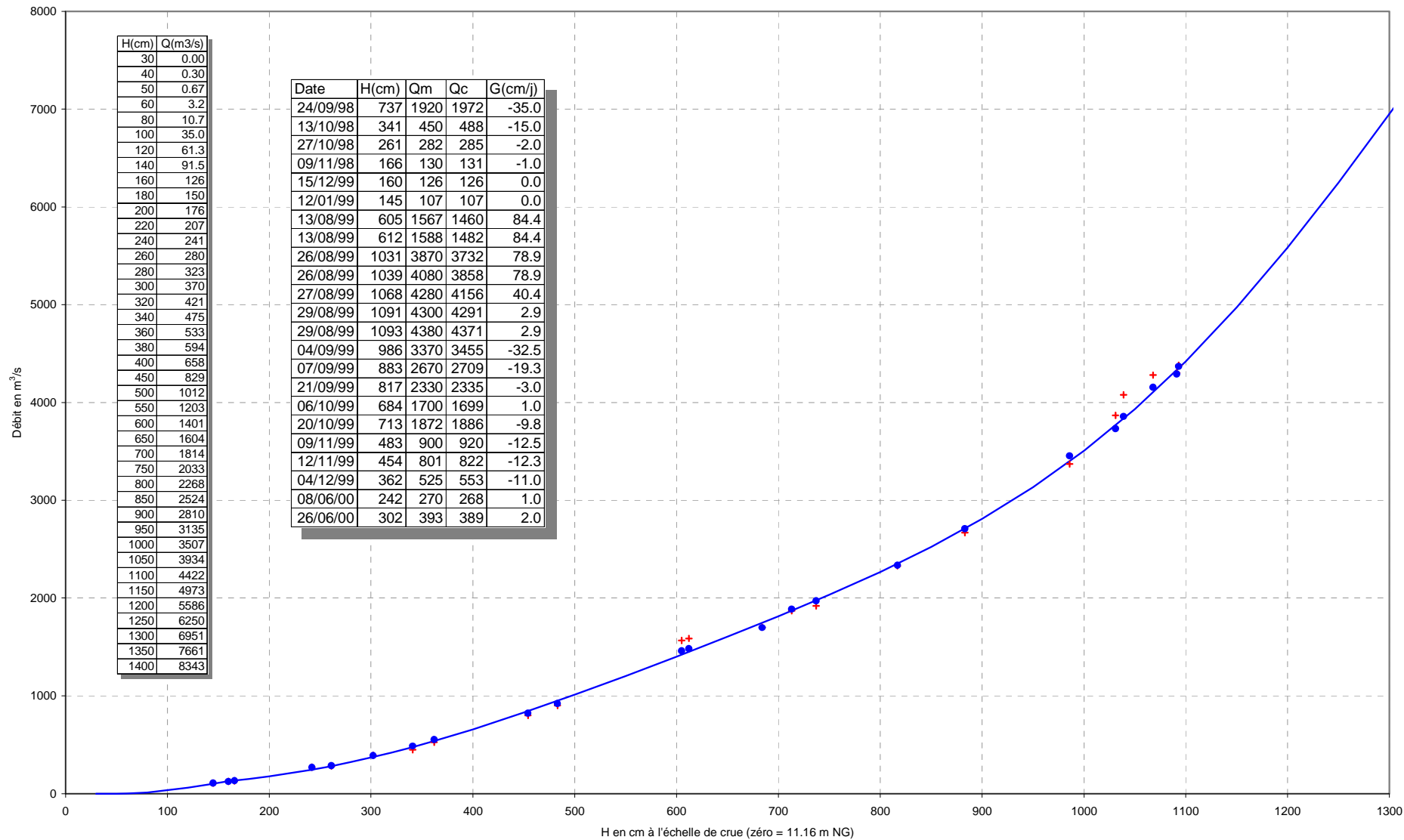
La figure A3 présente la courbe d'étalonnage retenue pour Bakel. Les tableaux A3.2 et A3.3 contiennent les fichiers étalonnage en régime permanent et correction de gradient.

Tableaux A3.2 & A3.3

H(cm)	Q(m3/s)	H(cm)	Kg
30	0,00	0	0.01000
40	0,30	50	0.01000
50	0,67	100	0.01000
60	3,2	150	0.01000
80	10,7	200	0.01000
100	35,0	250	0.01000
120	61,3	300	0.01000
140	91,5	350	0.01000
160	126	400	0.00644
180	150	450	0.00418
200	176	500	0.00297
220	207	550	0.00231
240	241	564	0.00206
260	280	650	0.00150
280	323	1300	0.00150
300	370		
320	421		
340	475		
360	533		
380	594		
400	658		
450	829		
500	1012		
550	1203		
600	1401		
650	1604		
700	1814		
750	2033		
800	2268		
850	2524		
900	2810		
950	3135		
1000	3507		
1050	3934		
1100	4422		
1150	4973		
1200	5586		
1250	6250		
1300	6951		
1350	7661		
1400	8343		

### BAKEL - Etalonnage décembre 1999

— Courbe tarage 12-99 + Série2 ● Série3



H(cm)	Q(m3/s)
30	0.00
40	0.30
50	0.67
60	3.2
80	10.7
100	35.0
120	61.3
140	91.5
160	126
180	150
200	176
220	207
240	241
260	280
280	323
300	370
320	421
340	475
360	533
380	594
400	658
450	829
500	1012
550	1203
600	1401
650	1604
700	1814
750	2033
800	2268
850	2524
900	2810
950	3135
1000	3507
1050	3934
1100	4422
1150	4973
1200	5586
1250	6250
1300	6951
1350	7661
1400	8343

Date	H(cm)	Qm	Qc	G(cm/j)
24/09/98	737	1920	1972	-35.0
13/10/98	341	450	488	-15.0
27/10/98	261	282	285	-2.0
09/11/98	166	130	131	-1.0
15/12/99	160	126	126	0.0
12/01/99	145	107	107	0.0
13/08/99	605	1567	1460	84.4
13/08/99	612	1588	1482	84.4
26/08/99	1031	3870	3732	78.9
26/08/99	1039	4080	3858	78.9
27/08/99	1068	4280	4156	40.4
29/08/99	1091	4300	4291	2.9
29/08/99	1093	4380	4371	2.9
04/09/99	986	3370	3455	-32.5
07/09/99	883	2670	2709	-19.3
21/09/99	817	2330	2335	-3.0
06/10/99	684	1700	1699	1.0
20/10/99	713	1872	1886	-9.8
09/11/99	483	900	920	-12.5
12/11/99	454	801	822	-12.3
04/12/99	362	525	553	-11.0
08/06/00	242	270	268	1.0
26/06/00	302	393	389	2.0

#### 4. MATAM

L'étalonnage de la station de MATAM a été analysé en fonction des mesures de débit réalisées en 1998 et 1999. Le tableau A4.1 contient les résultats des analyses :

Tableau A4.1

N°	Date	H	Qm	Qc	G
1	25/09/98	738	2197	2370	-12
2	13/10/98	416	733	772	-11,5
3	27/10/98	231	310	310	0
4	09/11/98	134	161	169	-4,5
5	24/11/98	92	133	125	6,5
7	14/08/99	476	1213	1031	79
6	15/12/98	80	119	117	2
8	30/08/99	829	3110	3005	4,75
9	04/09/99	850	3160	3160	0
10	08/09/99	830	2800	2888	-4
11	21/09/99	796	2510	2687	-8,5
12	06/10/99	697	1960	2054	-6
13	21/10/99	693	1975	2094	-7,5
14	12/11/99	473	947	965	-8
15	05/12/99	339	554	577	-5

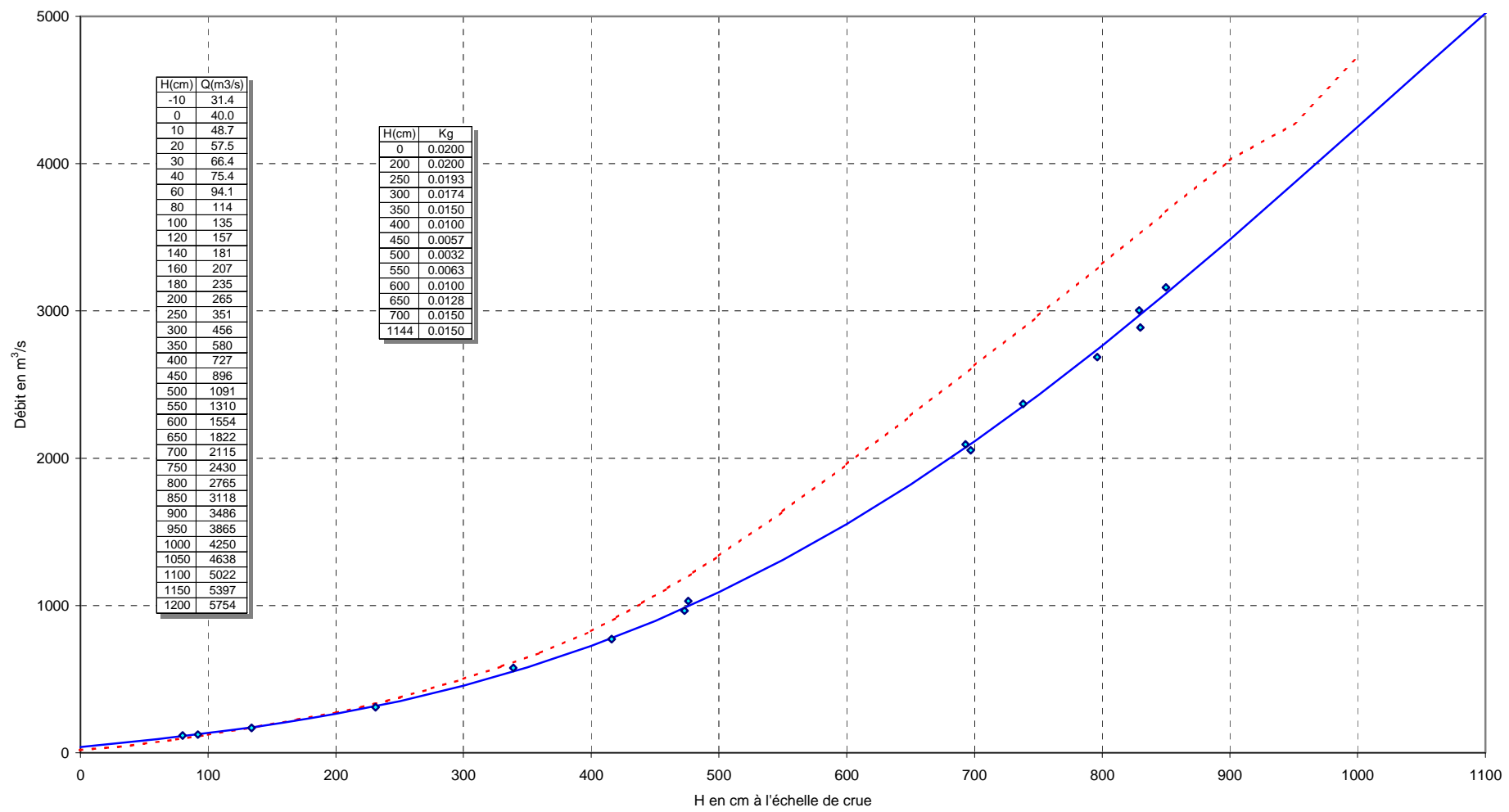
L'étalonnage déduit de l'analyse ainsi que le fichier correction de gradient sont contenus dans le tableau A4.2 :

H(cm)	Q(m3/s)	H(cm)	Kg
-10	31,4	0	0,0200
0	40,0	200	0,0200
10	48,7	250	0,0193
20	57,5	300	0,0174
30	66,4	350	0,0150
40	75,4	400	0,0100
60	94,1	450	0,0057
80	114	500	0,0032
100	135	550	0,0063
120	157	600	0,0100
140	181	650	0,0128
160	207	700	0,0150
180	235	1144	0,0150
200	265		
250	351		
300	456		
350	580		
400	727		
450	896		
500	1091		
550	1310		
600	1554		
650	1822		
700	2115		
750	2430		
800	2765		
850	3118		
900	3486		
950	3865		
1000	4250		
1050	4638		
1100	5022		
1150	5397		
1200	5754		

La figure A4.1 présente la courbe et les mesures réalisées .

MATAM - Etalonnage lit principal - 12/1999

◆ Mesures 98/99 corrigées    - - - Etalonnage Phase II    — Etalonnage 12/99



H(cm)	Q(m3/s)
-10	31.4
0	40.0
10	48.7
20	57.5
30	66.4
40	75.4
60	94.1
80	114
100	135
120	157
140	181
160	207
180	235
200	265
250	351
300	456
350	580
400	727
450	896
500	1091
550	1310
600	1554
650	1822
700	2115
750	2430
800	2765
850	3118
900	3486
950	3865
1000	4250
1050	4638
1100	5022
1150	5397
1200	5754

H(cm)	Kg
0	0.0200
200	0.0200
250	0.0193
300	0.0174
350	0.0150
400	0.0100
450	0.0057
500	0.0032
550	0.0063
600	0.0100
650	0.0128
700	0.0150
1144	0.0150

## 5. SALDE

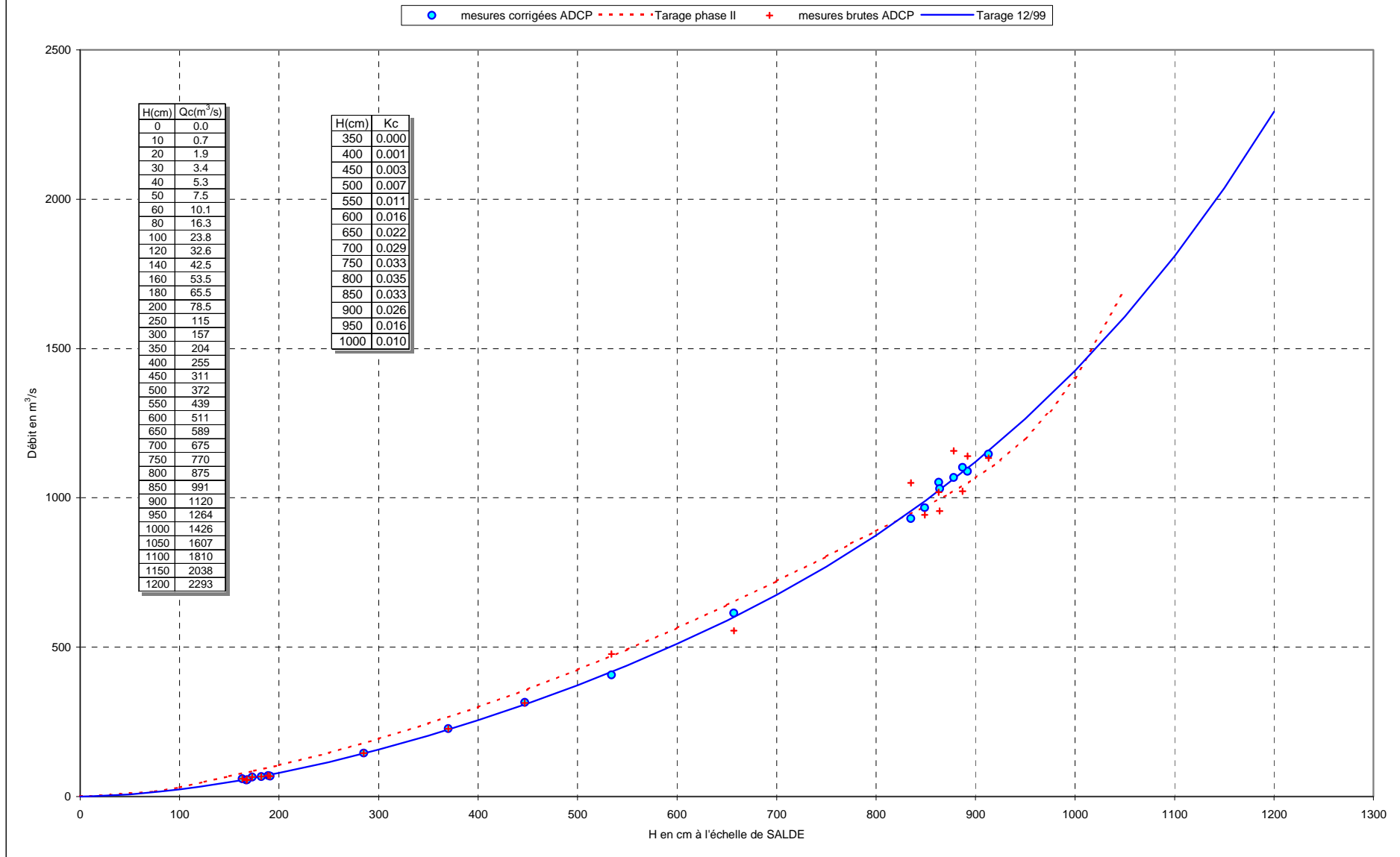
L'étalonnage de la station de SALDE était relativement imprécis, les campagnes 98 et 99 ont permis de redresser cette situation. Le tableau A5.1 contient les résultats et les analyses des mesures réalisés à cette station :

Tableau A5.1

N°	Date	H	Qm	Qc	G
1	26/09/98	863	1019	1052	-2
2	28/10/98	370	227	227	-9,5
3	10/11/98	285	145	145	-6,5
4	25/11/98	173	65,4	65,4	1
5	16/12/98	163	59,5	59,5	1,5
6	13/01/99	167	54,8	54,8	0
7	10/03/99	182	66,8	66,8	0
8	13/04/99	168	56,5	56,5	0
9	13/05/99	189	70,4	70,4	0
10	16/06/99	191	68	68	0
11	15/08/99	534	477	407	38,5
12	31/08/99	835	1050	931	8
13	05/09/99	878	1157	1068	6
14	09/09/99	892	1140	1089	3,5
15	22/09/99	913	1133	1146	-1
16	01/10/99	887	1022	1102	-5
17	07/10/99	864	956	1031	-4,5
18	21/10/99	849	943	967	-1,5
19	13/11/99	657	555	614	-8
20	06/12/99	447	313	315	-4

La figure A5.1 de la page suivante montre la qualité de la courbe d'étalonnage après correction de l'effet de gradient. Elle contient les fichiers d'étalonnage et de correction de gradient.

### SALDE - Etalonnage décembre 1999



## 6. N'GOUI

Le tableau A6.1 contient les résultats des analyses des mesures effectuées à N'GOUI en 1998 et 99. La courbe d'étalonnage contenue dans la figure A6.1 est de bonne qualité.

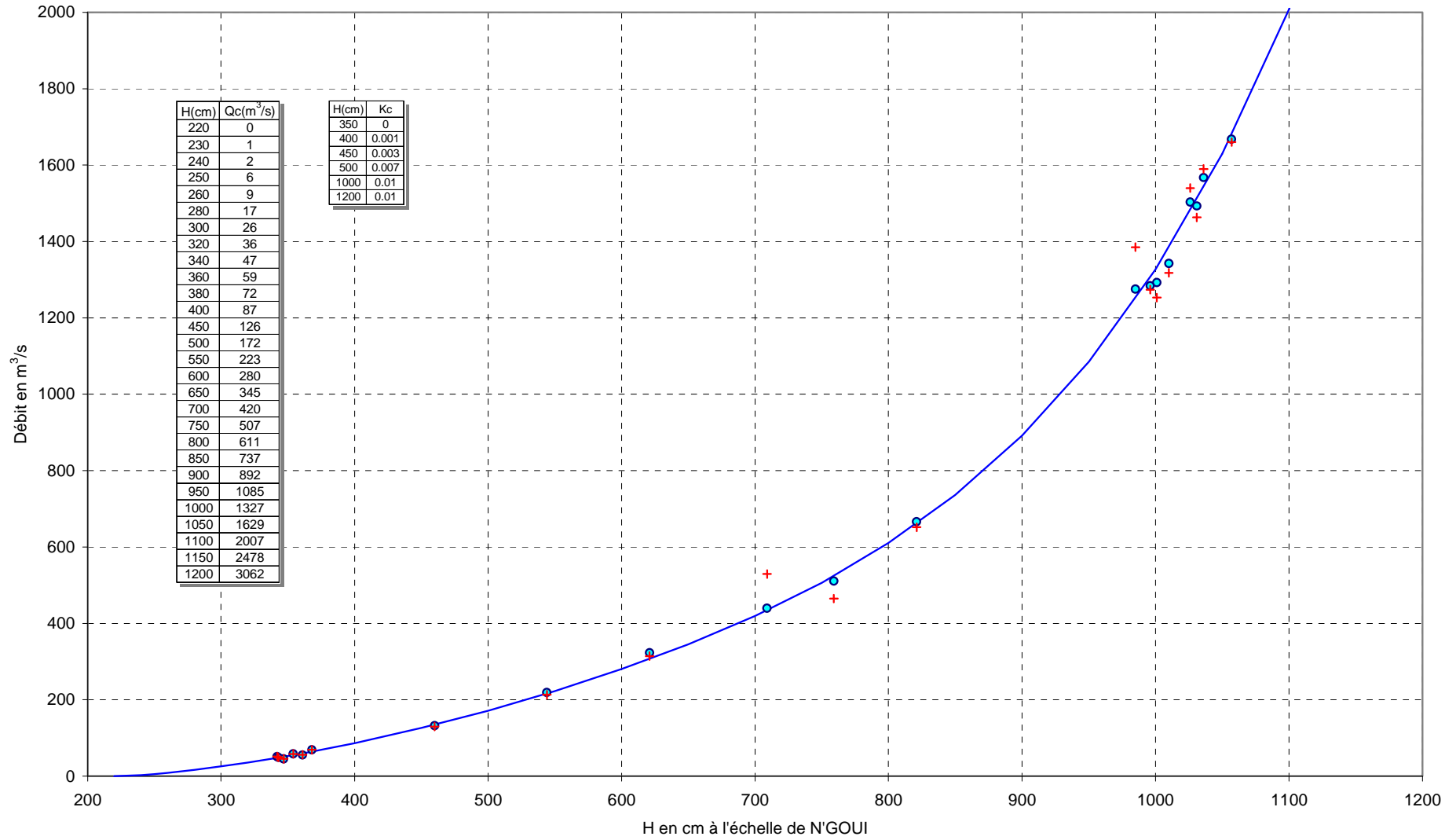
N°	date	H	Qm	Qc	G
100	29/09/98	1001	1253	1292	-6
101	14/10/98	759	465	511	-20
102	28/10/98	544	213	219	-7,5
103	10/11/98	460	130	132	-7
104	25/11/98	354	58,6	58,6	1,5
105	16/12/98	342	50,9	50,9	1,5
106	13/01/99	343	48,8	48,8	0
107	10/03/99	361	55,9	55,9	0
108	13/04/99	347	45,3	45,3	0
110	16/06/99	368	69,1	69,1	0
111	15/08/99	709	529	440	39,5
112	31/08/99	985	1385	1275	18
113	05/09/99	1026	1540	1503	5
114	08/09/99	1036	1590	1567	3
115	22/09/99	1057	1660	1668	-1
116	01/10/99	1031	1463	1493	-4
117	07/10/99	1010	1318	1342	-3,5
118	21/10/99	996	1274	1284	-1,5
119	13/11/99	821	652	666	-4,5
120	06/12/99	621	314	323	-6

La figure A6.1 contient les fichiers étalonnages et correction de gradient.



N'GOUI - Doué - Tarage décembre 1999

● mesures corrigées + mesures brutes adcp — Courbe de tarage 2000

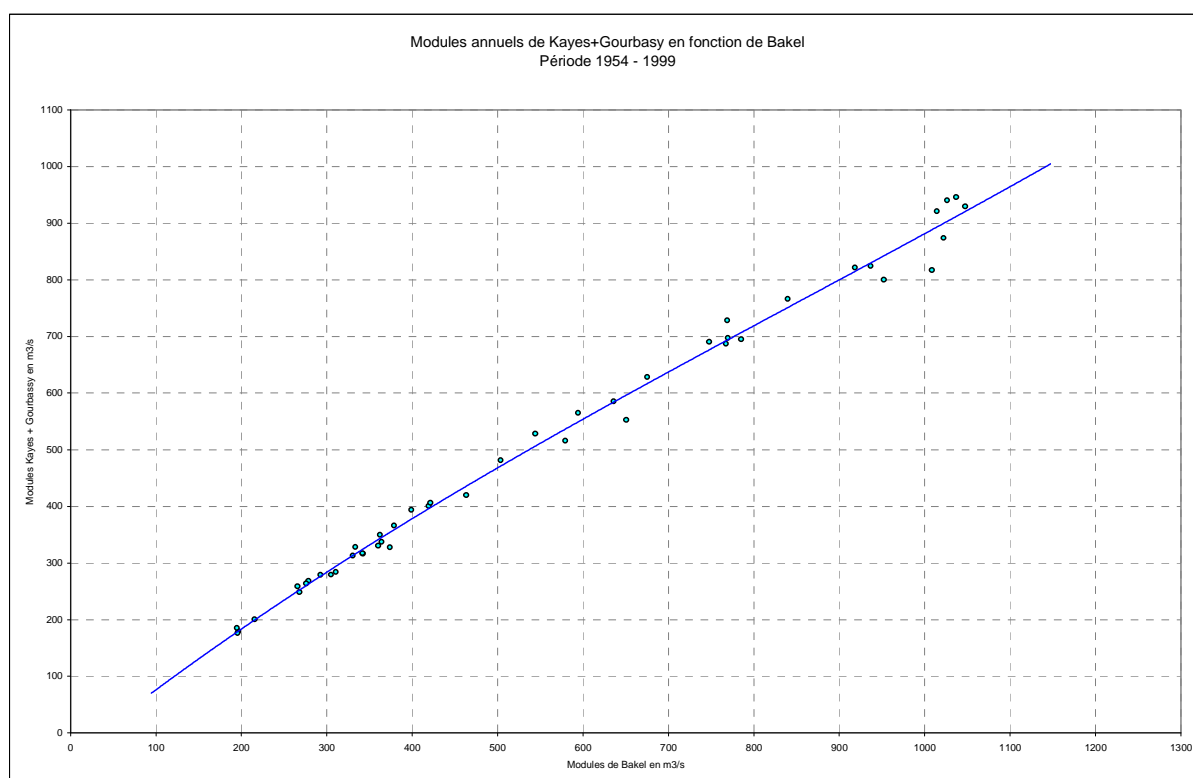


## 7. VALIDITE DES NOUVELLES COURBES

Afin de connaître la validité des courbes présentées dans la présente annexe, une analyse a été menée sur les modules annuel (année hydrologique – 1/05 au 30/4).

L'étude effectuée à partir des débits moyens journaliers de KAYES, GOURBASSY et BAKEL, obtenus en utilisant une seule courbe d'étalonnage, respectivement pour chaque station montre qu'il est peu probable qu'il y ait eu des détarages dans le passé. La figure A7.1 montre la variation des débits moyens annuels à BAKEL en fonction de la somme des débits moyens de KAYES et GOURBASSY :

Figure A7.1



La figure A7.2 montre la variation de l'écart entre les modules à Bakel et Matam.

L'interprétation de ces deux figures conduit à penser qu'il n'existe pas de détarage à la station de Bakel, les écarts constatés sur les courbes provenant des apports intermédiaires sur les biefs Kayes – Bakel et Gourbassy – Bakel. De fait nous n'observons pas d'écart systématique sur toute la période, écart qui indiquerait un détarage permanent ou transitoire.

Il faudra vérifier les courbes, très provisoires, de Kayes et Gourbassy, et il est conseillé de travailler en niveaux pour Bakel ou bien d'utiliser la nouvelle courbe qui est de très bonne qualité.

En octobre, après la campagne 2000 à Kayes et Gourbassy, un rapport de mise à jour sera édité afin de confirmer ou d'infirmer les hypothèses émises dans ce qui précède.

Tous les écarts constatés proviennent des méthodes utilisées, il ne s'agit en aucun cas de détarages mais d'erreurs systématiques dues à la méthode de mesure point par point, effectuée au moyen de moulinets hydrométriques montés sur treuil et saumon de 25 kgs.

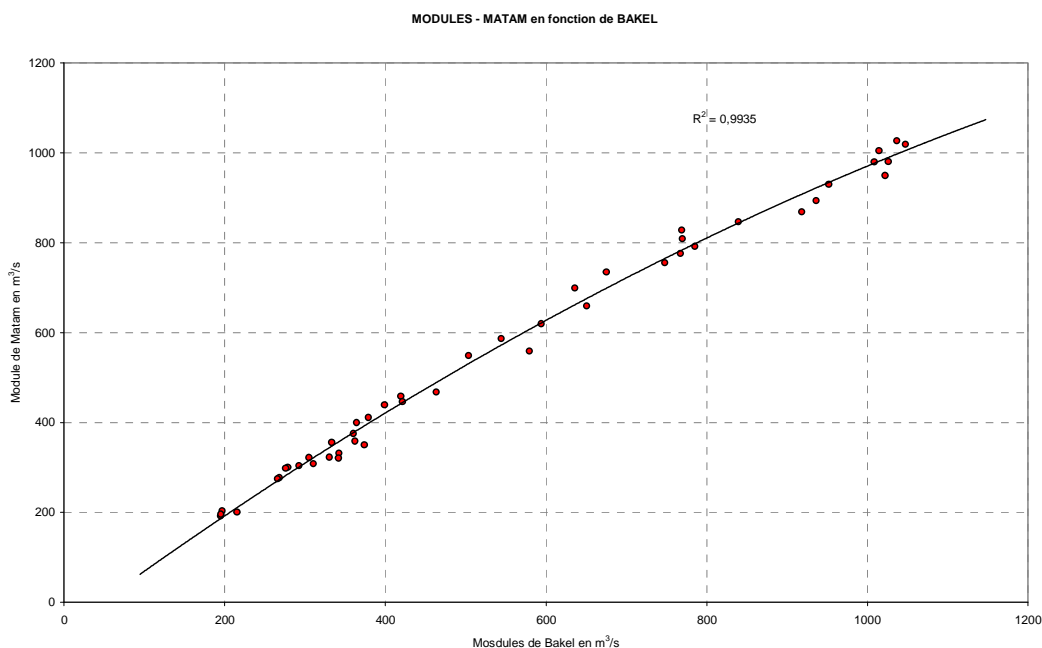
La turbidité de l'eau n'autorise pas la connaissance des angles dus au gouvernail du saumon, et les vitesses ponctuelles sont prises en compte en totalité alors que seules les composante perpendiculaires à la section devraient être retenues.

Dans quelques cas il a même été donné d'observer des vitesses négatives dont le signe était inversé, d'où un doublement de l'erreur dû à la méthode.

L'ADCP permet une vision du champ de vitesse, équivalent à un « scanner » de la section, seules les composantes parallèles à l'axe du cours d'eau sont utilisées pour le calcul du débit. D'où des valeurs systématiquement inférieures (ou égales) à celles mesurées au moulinet.

La qualité des courbes de tarage ne laisse aucun doute possible. Le matériel utilisé a été testé par la méthode des confluences, le débit aval étant toujours égal à la somme des débits des deux affluents, le domaine d'erreur toujours inférieur à 0.5%.

Figure A7.2



### Barème BAKEL 1903-2000

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
30	0	31	0,03	32	0,06	33	0,09	34	0,12	35	0,15	36	0,18	37	0,21	38	0,24	39	0,27
40	0,3	41	0,34	42	0,37	43	0,41	44	0,45	45	0,49	46	0,52	47	0,56	48	0,6	49	0,63
50	0,67	51	0,92	52	1,18	53	1,43	54	1,68	55	1,94	56	2,19	57	2,44	58	2,69	59	2,95
60	3,2	61	3,58	62	3,95	63	4,32	64	4,7	65	5,07	66	5,45	67	5,82	68	6,2	69	6,57
70	6,95	71	7,32	72	7,7	73	8,07	74	8,45	75	8,82	76	9,2	77	9,6	78	9,9	79	10,3
80	10,7	81	11,9	82	13,1	83	14,3	84	15,6	85	16,8	86	18	87	19,2	88	20,4	89	21,6
90	22,9	91	24,1	92	25,3	93	26,5	94	27,7	95	28,9	96	30,1	97	31,4	98	32,6	99	33,8
100	35	101	36,3	102	37,6	103	38,9	104	40,3	105	41,6	106	42,9	107	44,2	108	45,5	109	46,8
110	48,2	111	49,5	112	50,8	113	52,1	114	53,4	115	54,7	116	56	117	57,4	118	58,7	119	60
120	61,3	121	62,8	122	64,3	123	65,8	124	67,3	125	68,8	126	70,4	127	71,9	128	73,4	129	74,9
130	76,4	131	77,9	132	79,4	133	80,9	134	82,4	135	83,9	136	85,5	137	87	138	88,5	139	90
140	91,5	141	93,2	142	94,9	143	96,7	144	98,4	145	100	146	102	147	104	148	105	149	107
150	109	151	110	152	112	153	114	154	116	155	117	156	119	157	121	158	123	159	124
160	126	161	127	162	128	163	130	164	131	165	132	166	133	167	134	168	136	169	137
170	138	171	139	172	140	173	142	174	143	175	144	176	145	177	146	178	148	179	149
180	150	181	151	182	153	183	154	184	155	185	157	186	158	187	159	188	160	189	162
190	163	191	164	192	166	193	167	194	168	195	170	196	171	197	172	198	173	199	175
200	176	201	178	202	179	203	181	204	182	205	184	206	185	207	187	208	188	209	190
210	192	211	193	212	195	213	196	214	198	215	199	216	201	217	202	218	204	219	205
220	207	221	209	222	210	223	212	224	214	225	216	226	217	227	219	228	221	229	222
230	224	231	226	232	227	233	229	234	231	235	233	236	234	237	236	238	238	239	239
240	241	241	243	242	245	243	247	244	249	245	251	246	253	247	255	248	257	249	259
250	261	251	262	252	264	253	266	254	268	255	270	256	272	257	274	258	276	259	278
260	280	261	282	262	284	263	286	264	289	265	291	266	293	267	295	268	297	269	299
270	302	271	304	272	306	273	308	274	310	275	312	276	314	277	317	278	319	279	321
280	323	281	325	282	328	283	330	284	332	285	335	286	337	287	339	288	342	289	344
290	347	291	349	292	351	293	354	294	356	295	358	296	361	297	363	298	365	299	368
300	370	301	373	302	375	303	378	304	380	305	383	306	385	307	388	308	390	309	393
310	396	311	398	312	401	313	403	314	406	315	408	316	411	317	413	318	416	319	418
320	421	321	424	322	426	323	429	324	432	325	435	326	437	327	440	328	443	329	445
330	448	331	451	332	453	333	456	334	459	335	462	336	464	337	467	338	470	339	472
340	475	341	478	342	481	343	484	344	487	345	490	346	492	347	495	348	498	349	501
350	504	351	507	352	510	353	513	354	516	355	519	356	521	357	524	358	527	359	530
360	533	361	536	362	539	363	542	364	545	365	548	366	551	367	554	368	557	369	560
370	564	371	567	372	570	373	573	374	576	375	579	376	582	377	585	378	588	379	591
380	594	381	597	382	600	383	604	384	607	385	610	386	613	387	616	388	620	389	623
390	626	391	629	392	632	393	636	394	639	395	642	396	645	397	648	398	652	399	655
400	658	401	661	402	665	403	668	404	672	405	675	406	679	407	682	408	685	409	689
410	692	411	696	412	699	413	702	414	706	415	709	416	713	417	716	418	720	419	723
420	726	421	730	422	733	423	737	424	740	425	744	426	747	427	750	428	754	429	757
430	761	431	764	432	767	433	771	434	774	435	778	436	781	437	785	438	788	439	791
440	795	441	798	442	802	443	805	444	808	445	812	446	815	447	819	448	822	449	826
450	829	451	833	452	836	453	840	454	844	455	847	456	851	457	855	458	858	459	862
460	866	461	869	462	873	463	877	464	880	465	884	466	888	467	891	468	895	469	899
470	902	471	906	472	910	473	913	474	917	475	921	476	924	477	928	478	931	479	935
480	939	481	942	482	946	483	950	484	953	485	957	486	961	487	964	488	968	489	972
490	975	491	979	492	983	493	986	494	990	495	994	496	997	497	1001	498	1005	499	1008
500	1012	501	1016	502	1020	503	1023	504	1027	505	1031	506	1035	507	1039	508	1043	509	1046
510	1050	511	1054	512	1058	513	1062	514	1065	515	1069	516	1073	517	1077	518	1081	519	1085
520	1088	521	1092	522	1096	523	1100	524	1104	525	1108	526	1111	527	1115	528	1119	529	1123
530	1127	531	1130	532	1134	533	1138	534	1142	535	1146	536	1150	537	1153	538	1157	539	1161
540	1165	541	1169	542	1172	543	1176	544	1180	545	1184	546	1188	547	1192	548	1195	549	1199
550	1203	551	1207	552	1211	553	1215	554	1219	555	1223	556	1227	557	1231	558	1235	559	1239
560	1243	561	1247	562	1251	563	1254	564	1258	565	1262	566	1266	567	1270	568	1274	569	1278
570	1282	571	1286	572	1290	573	1294	574	1298	575	1302	576	1306	577	1310	578	1314	579	1318
580	1322	581	1326	582	1330	583	1334	584	1338	585	1342	586	1346	587	1350	588	1353	589	1357
590	1361	591	1365	592	1369	593	1373	594	1377	595	1381	596	1385	597	1389	598	1393	599	1397
600	1401	601	1405	602	1409	603	1413	604	1417	605	1421	606	1425	607	1429	608	1433	609	1438
610	1442	611	1446	612	1450	613	1454	614	1458	615	1462	616	1466	617	1470	618	1474	619	1478
620	1482	621	1486	622	1490	623	1494	624	1498	625	1503	626	1507	627	1511	628	1515	629	1519
630	1523	631	1527	632	1531	633	1535	634	1539	635	1543	636	1547	637	1551	638	1555	639	1559
640	1563	641	1567	642	1572	643	1576	644	1580	645	1584	646	1588	647	1592	648	1596	649	1600
650	1604	651	1608	652	1612	653	1617	654	1621	655	1625	656	1629	657	1633	658	1638	659	1642
660	1646	661	1650	662	1654	663	1659	664	1663	665	1667	666	1671	667	1675	668	1680	669	1684
670	1688	671	1692	672	1696	673	1701	674	1705	675	1709	676	1713	677	1717	678	1722	679	1726
680	1730	681	1734	682	1738	683	1743	684	1747	685	1751	686	1755	687	1759	688	1764	689	1768
690	1772	691	1776	692	1780	693	1785	694	1789	695	1793	696	1797	697	1801	698	1806	699	1810

Barème BAKEL 1903-2000 (suite)

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
700	1814	701	1818	702	1823	703	1827	704	1832	705	1836	706	1840	707	1845	708	1849	709	1853
710	1858	711	1862	712	1867	713	1871	714	1875	715	1880	716	1884	717	1888	718	1893	719	1897
720	1902	721	1906	722	1910	723	1915	724	1919	725	1924	726	1928	727	1932	728	1937	729	1941
730	1945	731	1950	732	1954	733	1959	734	1963	735	1967	736	1972	737	1976	738	1980	739	1985
740	1989	741	1994	742	1998	743	2002	744	2007	745	2011	746	2015	747	2020	748	2024	749	2029
750	2033	751	2038	752	2042	753	2047	754	2052	755	2057	756	2061	757	2066	758	2071	759	2075
760	2080	761	2085	762	2089	763	2094	764	2099	765	2104	766	2108	767	2113	768	2118	769	2122
770	2127	771	2132	772	2136	773	2141	774	2146	775	2151	776	2155	777	2160	778	2165	779	2169
780	2174	781	2179	782	2183	783	2188	784	2193	785	2198	786	2202	787	2207	788	2212	789	2216
790	2221	791	2226	792	2230	793	2235	794	2240	795	2245	796	2249	797	2254	798	2259	799	2263
800	2268	801	2273	802	2278	803	2283	804	2288	805	2294	806	2299	807	2304	808	2309	809	2314
810	2319	811	2324	812	2329	813	2335	814	2340	815	2345	816	2350	817	2355	818	2360	819	2365
820	2370	821	2376	822	2381	823	2386	824	2391	825	2396	826	2401	827	2406	828	2411	829	2416
830	2422	831	2427	832	2432	833	2437	834	2442	835	2447	836	2452	837	2457	838	2463	839	2468
840	2473	841	2478	842	2483	843	2488	844	2493	845	2498	846	2504	847	2509	848	2514	849	2519
850	2524	851	2530	852	2535	853	2541	854	2547	855	2553	856	2558	857	2564	858	2570	859	2575
860	2581	861	2587	862	2593	863	2598	864	2604	865	2610	866	2616	867	2621	868	2627	869	2633
870	2638	871	2644	872	2650	873	2656	874	2661	875	2667	876	2673	877	2678	878	2684	879	2690
880	2696	881	2701	882	2707	883	2713	884	2718	885	2724	886	2730	887	2736	888	2741	889	2747
890	2753	891	2759	892	2764	893	2770	894	2776	895	2781	896	2787	897	2793	898	2799	899	2804
900	2810	901	2817	902	2823	903	2830	904	2836	905	2843	906	2849	907	2856	908	2862	909	2869
910	2875	911	2882	912	2888	913	2895	914	2901	915	2908	916	2914	917	2921	918	2927	919	2934
920	2940	921	2947	922	2953	923	2960	924	2966	925	2973	926	2979	927	2986	928	2992	929	2999
930	3005	931	3012	932	3018	933	3025	934	3031	935	3038	936	3044	937	3051	938	3057	939	3064
940	3070	941	3077	942	3083	943	3090	944	3096	945	3103	946	3109	947	3116	948	3122	949	3129
950	3135	951	3142	952	3150	953	3157	954	3165	955	3172	956	3180	957	3187	958	3195	959	3202
960	3209	961	3217	962	3224	963	3232	964	3239	965	3247	966	3254	967	3261	968	3269	969	3276
970	3284	971	3291	972	3299	973	3306	974	3314	975	3321	976	3328	977	3336	978	3343	979	3351
980	3358	981	3366	982	3373	983	3381	984	3388	985	3395	986	3403	987	3410	988	3418	989	3425
990	3433	991	3440	992	3447	993	3455	994	3462	995	3470	996	3477	997	3485	998	3492	999	3500
1000	3507	1001	3516	1002	3524	1003	3533	1004	3541	1005	3550	1006	3558	1007	3567	1008	3575	1009	3584
1010	3592	1011	3601	1012	3609	1013	3618	1014	3627	1015	3635	1016	3644	1017	3652	1018	3661	1019	3669
1020	3678	1021	3686	1022	3695	1023	3703	1024	3712	1025	3721	1026	3729	1027	3738	1028	3746	1029	3755
1030	3763	1031	3772	1032	3780	1033	3789	1034	3797	1035	3806	1036	3814	1037	3823	1038	3832	1039	3840
1040	3849	1041	3857	1042	3866	1043	3874	1044	3883	1045	3891	1046	3900	1047	3908	1048	3917	1049	3925
1050	3934	1051	3944	1052	3954	1053	3963	1054	3973	1055	3983	1056	3993	1057	4002	1058	4012	1059	4022
1060	4032	1061	4041	1062	4051	1063	4061	1064	4071	1065	4080	1066	4090	1067	4100	1068	4110	1069	4119
1070	4129	1071	4139	1072	4149	1073	4158	1074	4168	1075	4178	1076	4188	1077	4198	1078	4207	1079	4217
1080	4227	1081	4237	1082	4246	1083	4256	1084	4266	1085	4276	1086	4285	1087	4295	1088	4305	1089	4315
1090	4324	1091	4334	1092	4344	1093	4354	1094	4363	1095	4373	1096	4383	1097	4393	1098	4402	1099	4412
1100	4422	1101	4433	1102	4444	1103	4455	1104	4466	1105	4477	1106	4488	1107	4499	1108	4510	1109	4521
1110	4532	1111	4543	1112	4554	1113	4565	1114	4576	1115	4587	1116	4598	1117	4609	1118	4620	1119	4631
1120	4642	1121	4653	1122	4664	1123	4675	1124	4686	1125	4698	1126	4709	1127	4720	1128	4731	1129	4742
1130	4753	1131	4764	1132	4775	1133	4786	1134	4797	1135	4808	1136	4819	1137	4830	1138	4841	1139	4852
1140	4863	1141	4874	1142	4885	1143	4896	1144	4907	1145	4918	1146	4929	1147	4940	1148	4951	1149	4962
1150	4973	1151	4985	1152	4998	1153	5010	1154	5022	1155	5034	1156	5047	1157	5059	1158	5071	1159	5083
1160	5096	1161	5108	1162	5120	1163	5132	1164	5145	1165	5157	1166	5169	1167	5181	1168	5194	1169	5206
1170	5218	1171	5230	1172	5243	1173	5255	1174	5267	1175	5280	1176	5292	1177	5304	1178	5316	1179	5329
1180	5341	1181	5353	1182	5365	1183	5378	1184	5390	1185	5402	1186	5414	1187	5427	1188	5439	1189	5451
1190	5463	1191	5476	1192	5488	1193	5500	1194	5512	1195	5525	1196	5537	1197	5549	1198	5561	1199	5574





**Barème KAYES 2000 - PROVISoire**

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
10	0	11	0.02	12	0.04	13	0.06	14	0.08	15	0.1	16	0.12	17	0.14	18	0.16	19	0.18
20	0.2	21	0.26	22	0.32	23	0.38	24	0.44	25	0.5	26	0.56	27	0.62	28	0.68	29	0.74
30	0.8	31	0.98	32	1.16	33	1.34	34	1.52	35	1.7	36	1.88	37	2.06	38	2.24	39	2.42
40	2.6	41	2.93	42	3.26	43	3.59	44	3.92	45	4.25	46	4.58	47	4.91	48	5.24	49	5.57
50	5.9	51	6.34	52	6.78	53	7.22	54	7.66	55	8.1	56	8.54	57	8.98	58	9.42	59	9.9
60	10.3	61	10.8	62	11.3	63	11.8	64	12.3	65	12.9	66	13.4	67	13.9	68	14.4	69	14.9
70	15.4	71	16.3	72	17.1	73	18	74	18.9	75	19.8	76	20.6	77	21.5	78	22.4	79	23.2
80	24.1	81	25.1	82	26.2	83	27.3	84	28.3	85	29.3	86	30.4	87	31.4	88	32.5	89	33.5
90	34.6	91	35.8	92	37	93	38.2	94	39.4	95	40.6	96	41.8	97	43	98	44.2	99	45.4
100	46.6	101	48	102	49.4	103	50.9	104	52.3	105	53.7	106	55.1	107	56.5	108	58	109	59.4
110	60.8	111	62.2	112	63.6	113	65.1	114	66.5	115	67.9	116	69.3	117	70.7	118	72.2	119	73.6
120	75	121	76.7	122	78.4	123	80.1	124	81.8	125	83.5	126	85.2	127	86.9	128	88.6	129	90.3
130	92	131	93.7	132	95.4	133	97.1	134	98.8	135	101	136	102	137	104	138	106	139	107
140	109	141	111	142	113	143	115	144	117	145	119	146	120	147	122	148	124	149	126
150	128	151	130	152	132	153	134	154	136	155	138	156	139	157	141	158	143	159	145
160	147	161	149	162	151	163	153	164	155	165	158	166	160	167	162	168	164	169	166
170	168	171	170	172	172	173	174	174	176	175	179	176	181	177	183	178	185	179	187
180	189	181	191	182	194	183	196	184	198	185	200	186	203	187	205	188	207	189	209
190	212	191	214	192	216	193	218	194	221	195	223	196	225	197	227	198	230	199	232
200	234	201	237	202	239	203	242	204	244	205	247	206	249	207	252	208	254	209	257
210	260	211	262	212	265	213	267	214	270	215	272	216	275	217	278	218	280	219	283
220	285	221	288	222	290	223	293	224	295	225	298	226	301	227	303	228	306	229	308
230	311	231	313	232	316	233	318	234	321	235	324	236	326	237	329	238	331	239	334
240	336	241	339	242	342	243	344	244	347	245	349	246	352	247	354	248	357	249	359
250	362	251	365	252	368	253	371	254	373	255	376	256	379	257	382	258	385	259	388
260	391	261	393	262	396	263	399	264	402	265	405	266	408	267	411	268	413	269	416
270	419	271	422	272	425	273	428	274	431	275	434	276	436	277	439	278	442	279	445
280	448	281	451	282	454	283	456	284	459	285	462	286	465	287	468	288	471	289	474
290	476	291	479	292	482	293	485	294	488	295	491	296	494	297	496	298	499	299	502
300	505	301	508	302	511	303	514	304	518	305	521	306	524	307	527	308	530	309	533
310	537	311	540	312	543	313	546	314	549	315	552	316	556	317	559	318	562	319	565
320	568	321	571	322	575	323	578	324	581	325	584	326	587	327	590	328	593	329	597
330	600	331	603	332	606	333	609	334	612	335	616	336	619	337	622	338	625	339	628
340	631	341	635	342	638	343	641	344	644	345	647	346	650	347	654	348	657	349	660
350	663	351	666	352	670	353	673	354	677	355	680	356	683	357	687	358	690	359	694
360	697	361	700	362	704	363	707	364	711	365	714	366	717	367	721	368	724	369	728
370	731	371	734	372	738	373	741	374	745	375	748	376	751	377	755	378	758	379	762
380	765	381	768	382	772	383	775	384	779	385	782	386	785	387	789	388	792	389	796
390	799	391	802	392	806	393	809	394	813	395	816	396	819	397	823	398	826	399	830
400	833	401	837	402	840	403	844	404	848	405	851	406	855	407	859	408	862	409	866
410	870	411	873	412	877	413	881	414	884	415	888	416	892	417	895	418	899	419	903
420	906	421	910	422	914	423	917	424	921	425	925	426	928	427	932	428	935	429	939
430	943	431	946	432	950	433	954	434	957	435	961	436	965	437	968	438	972	439	976
440	979	441	983	442	987	443	990	444	994	445	998	446	1001	447	1005	448	1009	449	1012
450	1016	451	1020	452	1024	453	1028	454	1032	455	1036	456	1040	457	1043	458	1047	459	1051
460	1055	461	1059	462	1063	463	1067	464	1071	465	1075	466	1079	467	1083	468	1087	469	1090
470	1094	471	1098	472	1102	473	1106	474	1110	475	1114	476	1118	477	1122	478	1126	479	1130
480	1134	481	1138	482	1141	483	1145	484	1149	485	1153	486	1157	487	1161	488	1165	489	1169
490	1173	491	1177	492	1181	493	1185	494	1188	495	1192	496	1196	497	1200	498	1204	499	1208
500	1212	501	1216	502	1220	503	1224	504	1228	505	1233	506	1237	507	1241	508	1245	509	1249
510	1253	511	1257	512	1261	513	1266	514	1270	515	1274	516	1278	517	1282	518	1286	519	1290
520	1294	521	1299	522	1303	523	1307	524	1311	525	1315	526	1319	527	1323	528	1327	529	1331
530	1336	531	1340	532	1344	533	1348	534	1352	535	1356	536	1360	537	1364	538	1369	539	1373
540	1377	541	1381	542	1385	543	1389	544	1393	545	1397	546	1402	547	1406	548	1410	549	1414
550	1418	551	1422	552	1427	553	1431	554	1435	555	1440	556	1444	557	1449	558	1453	559	1457
560	1462	561	1466	562	1470	563	1475	564	1479	565	1483	566	1488	567	1492	568	1496	569	1501
570	1505	571	1510	572	1514	573	1518	574	1523	575	1527	576	1531	577	1536	578	1540	579	1544
580	1549	581	1553	582	1558	583	1562	584	1566	585	1571	586	1575	587	1579	588	1584	589	1588
590	1592	591	1597	592	1601	593	1605	594	1610	595	1614	596	1619	597	1623	598	1627	599	1632
600	1636	601	1641	602	1645	603	1650	604	1654	605	1659	606	1663	607	1668	608	1672	609	1677
610	1682	611	1686	612	1691	613	1695	614	1700	615	1704	616	1709	617	1714	618	1718	619	1723
620	1727	621	1732	622	1736	623	1741	624	1745	625	1750	626	1755	627	1759	628	1764	629	1768
630	1773	631	1777	632	1782	633	1786	634	1791	635	1796	636	1800	637	1805	638	1809	639	1814
640	1818	641	1823	642	1828	643	1832	644	1837	645	1841	646	1846	647	1850	648	1855	649	1859
650	1864	651	1869	652	1874	653	1878	654	1883	655	1888	656	1893	657	1897	658	1902	659	1907
660	1912	661	1916	662	1921	663	1926	664	1931	665	1935	666	1940	667	1945	668	1950	669	1954
670	1959	671	1964	672	1969	673	1973	674	1978	675	1983	676	1988	677	1993	678	1997	679	2002



H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
690	2054	691	2059	692	2064	693	2069	694	2073	695	2078	696	2083	697	2088	698	2092	699	2097
700	2102	701	2107	702	2112	703	2117	704	2122	705	2127	706	2132	707	2137	708	2142	709	2147
710	2152	711	2157	712	2162	713	2167	714	2172	715	2177	716	2182	717	2187	718	2192	719	2197
720	2202	721	2207	722	2212	723	2217	724	2222	725	2228	726	2233	727	2238	728	2243	729	2248
730	2253	731	2258	732	2263	733	2268	734	2273	735	2278	736	2283	737	2288	738	2293	739	2298
740	2303	741	2308	742	2313	743	2318	744	2323	745	2328	746	2333	747	2338	748	2343	749	2348
750	2353	751	2358	752	2364	753	2369	754	2374	755	2380	756	2385	757	2390	758	2396	759	2401
760	2406	761	2412	762	2417	763	2422	764	2428	765	2433	766	2438	767	2444	768	2449	769	2454
770	2460	771	2465	772	2470	773	2476	774	2481	775	2487	776	2492	777	2497	778	2503	779	2508
780	2513	781	2519	782	2524	783	2529	784	2535	785	2540	786	2545	787	2551	788	2556	789	2561
790	2567	791	2572	792	2577	793	2583	794	2588	795	2593	796	2599	797	2604	798	2609	799	2615
800	2620	801	2626	802	2632	803	2637	804	2643	805	2649	806	2655	807	2660	808	2666	809	2672
810	2678	811	2683	812	2689	813	2695	814	2701	815	2706	816	2712	817	2718	818	2724	819	2729
820	2735	821	2741	822	2747	823	2752	824	2758	825	2764	826	2770	827	2776	828	2781	829	2787
830	2793	831	2799	832	2804	833	2810	834	2816	835	2822	836	2827	837	2833	838	2839	839	2845
840	2850	841	2856	842	2862	843	2868	844	2873	845	2879	846	2885	847	2891	848	2896	849	2902
850	2908	851	2914	852	2921	853	2927	854	2934	855	2940	856	2947	857	2953	858	2959	859	2966
860	2972	861	2979	862	2985	863	2991	864	2998	865	3004	866	3011	867	3017	868	3024	869	3030
870	3036	871	3043	872	3049	873	3056	874	3062	875	3069	876	3075	877	3081	878	3088	879	3094
880	3101	881	3107	882	3113	883	3120	884	3126	885	3133	886	3139	887	3146	888	3152	889	3158
890	3165	891	3171	892	3178	893	3184	894	3190	895	3197	896	3203	897	3210	898	3216	899	3223
900	3229	901	3237	902	3244	903	3252	904	3259	905	3267	906	3274	907	3282	908	3289	909	3297
910	3305	911	3312	912	3320	913	3327	914	3335	915	3342	916	3350	917	3358	918	3365	919	3373
920	3380	921	3388	922	3395	923	3403	924	3410	925	3418	926	3426	927	3433	928	3441	929	3448
930	3456	931	3463	932	3471	933	3478	934	3486	935	3494	936	3501	937	3509	938	3516	939	3524
940	3531	941	3539	942	3547	943	3554	944	3562	945	3569	946	3577	947	3584	948	3592	949	3599
950	3607	951	3615	952	3623	953	3630	954	3638	955	3646	956	3654	957	3662	958	3670	959	3677
960	3685	961	3693	962	3701	963	3709	964	3716	965	3724	966	3732	967	3740	968	3748	969	3756
970	3763	971	3771	972	3779	973	3787	974	3795	975	3803	976	3810	977	3818	978	3826	979	3834
980	3842	981	3849	982	3857	983	3865	984	3873	985	3881	986	3889	987	3896	988	3904	989	3912
990	3920	991	3928	992	3935	993	3943	994	3951	995	3959	996	3967	997	3975	998	3982	999	3990
1000	3998	1001	4006	1002	4014	1003	4022	1004	4030	1005	4038	1006	4046	1007	4054	1008	4062	1009	4070
1010	4078	1011	4086	1012	4094	1013	4102	1014	4110	1015	4118	1016	4126	1017	4134	1018	4142	1019	4150
1020	4158	1021	4166	1022	4174	1023	4182	1024	4190	1025	4198	1026	4205	1027	4213	1028	4221	1029	4229
1030	4237	1031	4245	1032	4253	1033	4261	1034	4269	1035	4277	1036	4285	1037	4293	1038	4301	1039	4309
1040	4317	1041	4325	1042	4333	1043	4341	1044	4349	1045	4357	1046	4365	1047	4373	1048	4381	1049	4389
1050	4397	1051	4405	1052	4414	1053	4422	1054	4430	1055	4439	1056	4447	1057	4456	1058	4464	1059	4472
1060	4481	1061	4489	1062	4497	1063	4506	1064	4514	1065	4522	1066	4531	1067	4539	1068	4547	1069	4556
1070	4564	1071	4573	1072	4581	1073	4589	1074	4598	1075	4606	1076	4614	1077	4623	1078	4631	1079	4639
1080	4648	1081	4656	1082	4665	1083	4673	1084	4681	1085	4690	1086	4698	1087	4706	1088	4715	1089	4723
1090	4731	1091	4740	1092	4748	1093	4756	1094	4765	1095	4773	1096	4782	1097	4790	1098	4798	1099	4807

### Barème GOURBASSY 2000 - PROVISOIRE

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
0	0	1	0.09	2	0.19	3	0.28	4	0.37	5	0.47	6	0.56	7	0.65	8	0.74	9	0.84
10	0.93	11	0.91	12	0.88	13	0.86	14	0.84	15	0.81	16	0.79	17	0.77	18	0.75	19	0.72
20	0.7	21	0.75	22	0.81	23	0.86	24	0.91	25	0.97	26	1.02	27	1.07	28	1.12	29	1.18
30	1.23	31	1.36	32	1.49	33	1.61	34	1.74	35	1.87	36	2	37	2.13	38	2.25	39	2.38
40	2.51	41	2.71	42	2.92	43	3.12	44	3.32	45	3.53	46	3.73	47	3.93	48	4.13	49	4.34
50	4.54	51	4.82	52	5.09	53	5.37	54	5.65	55	5.93	56	6.2	57	6.48	58	6.76	59	7.03
60	7.31	61	7.66	62	8.01	63	8.36	64	8.71	65	9.06	66	9.4	67	9.8	68	10.1	69	10.5
70	10.8	71	11.2	72	11.7	73	12.1	74	12.5	75	13	76	13.4	77	13.8	78	14.2	79	14.7
80	15.1	81	15.6	82	16.1	83	16.6	84	17.1	85	17.6	86	18.1	87	18.6	88	19.1	89	19.6
90	20.1	91	20.7	92	21.3	93	21.8	94	22.4	95	23	96	23.6	97	24.2	98	24.7	99	25.3
100	25.9	101	26.6	102	27.2	103	27.9	104	28.5	105	29.2	106	29.9	107	30.5	108	31.2	109	31.8
110	32.5	111	33.2	112	33.9	113	34.7	114	35.4	115	36.1	116	36.8	117	37.5	118	38.3	119	39
120	39.7	121	40.5	122	41.3	123	42.1	124	42.9	125	43.7	126	44.5	127	45.3	128	46.1	129	46.9
130	47.7	131	48.6	132	49.5	133	50.3	134	51.2	135	52.1	136	53	137	53.9	138	54.7	139	55.6
140	56.5	141	57.5	142	58.4	143	59.4	144	60.3	145	61.3	146	62.3	147	63.2	148	64.2	149	65.1
150	66.1	151	67.1	152	68.1	153	69.2	154	70.2	155	71.2	156	72.2	157	73.2	158	74.3	159	75.3
160	76.3	161	77.4	162	78.5	163	79.6	164	80.7	165	81.8	166	82.9	167	84	168	85.1	169	86.2
170	87.3	171	88.4	172	89.6	173	90.7	174	91.9	175	93	176	94.1	177	95.3	178	96.4	179	97.6
180	98.7	181	100	182	101	183	103	184	104	185	105	186	107	187	108	188	109	189	111
190	112	191	113	192	114	193	115	194	116	195	117	196	118	197	119	198	120	199	121
200	122	201	123	202	124	203	125	204	127	205	128	206	129	207	130	208	131	209	132
210	134	211	135	212	136	213	137	214	138	215	139	216	140	217	142	218	143	219	144
220	145	221	146	222	148	223	149	224	151	225	152	226	153	227	155	228	156	229	158
230	159	231	160	232	162	233	163	234	165	235	166	236	167	237	169	238	170	239	172
240	173	241	175	242	176	243	178	244	179	245	181	246	182	247	184	248	185	249	187
250	188	251	190	252	191	253	193	254	194	255	196	256	197	257	199	258	200	259	202
260	203	261	205	262	206	263	208	264	210	265	212	266	213	267	215	268	217	269	218
270	220	271	222	272	223	273	225	274	227	275	229	276	230	277	232	278	234	279	235
280	237	281	239	282	241	283	242	284	244	285	246	286	248	287	250	288	251	289	253
290	255	291	257	292	259	293	260	294	262	295	264	296	266	297	268	298	269	299	271
300	273	301	275	302	277	303	279	304	281	305	283	306	285	307	287	308	289	309	291
310	293	311	295	312	297	313	299	314	301	315	303	316	305	317	307	318	309	319	311
320	313	321	315	322	317	323	319	324	321	325	324	326	326	327	328	328	330	329	332
330	334	331	336	332	338	333	340	334	342	335	345	336	347	337	349	338	351	339	353
340	355	341	357	342	359	343	362	344	364	345	366	346	368	347	370	348	373	349	375
350	377	351	379	352	381	353	384	354	386	355	388	356	390	357	392	358	395	359	397
360	399	361	401	362	404	363	406	364	408	365	410	366	413	367	415	368	417	369	419
370	422	371	424	372	426	373	428	374	431	375	433	376	435	377	437	378	440	379	442
380	444	381	446	382	449	383	451	384	454	385	456	386	459	387	461	388	464	389	466
390	469	391	471	392	473	393	476	394	478	395	481	396	483	397	486	398	488	399	491
400	493	401	495	402	498	403	500	404	503	405	505	406	508	407	510	408	513	409	515
410	518	411	520	412	522	413	525	414	527	415	530	416	532	417	535	418	537	419	540
420	542	421	545	422	547	423	550	424	552	425	555	426	557	427	560	428	562	429	565
430	568	431	570	432	573	433	575	434	578	435	580	436	583	437	585	438	588	439	590
440	593	441	596	442	598	443	601	444	604	445	606	446	609	447	612	448	614	449	617
450	620	451	622	452	625	453	627	454	630	455	633	456	635	457	638	458	641	459	643
460	646	461	649	462	651	463	654	464	657	465	659	466	662	467	665	468	667	469	670
470	673	471	675	472	678	473	680	474	683	475	686	476	688	477	691	478	694	479	696
480	699	481	702	482	705	483	707	484	710	485	713	486	716	487	718	488	721	489	724
490	727	491	729	492	732	493	735	494	738	495	740	496	743	497	746	498	749	499	751
500	754	501	757	502	760	503	762	504	765	505	768	506	771	507	773	508	776	509	779
510	782	511	784	512	787	513	790	514	793	515	795	516	798	517	801	518	804	519	806
520	809	521	812	522	815	523	817	524	820	525	823	526	826	527	829	528	831	529	834
530	837	531	840	532	842	533	845	534	848	535	851	536	853	537	856	538	859	539	862
540	864	541	867	542	870	543	873	544	875	545	878	546	881	547	884	548	886	549	889
550	892	551	895	552	898	553	900	554	903	555	906	556	909	557	912	558	915	559	917
560	920	561	923	562	926	563	929	564	931	565	934	566	937	567	940	568	943	569	946
570	948	571	951	572	954	573	957	574	960	575	963	576	965	577	968	578	971	579	974
580	977	581	979	582	982	583	985	584	988	585	991	586	994	587	996	588	999	589	1002
590	1005	591	1008	592	1010	593	1013	594	1016	595	1019	596	1022	597	1025	598	1027	599	1030
600	1033	601	1036	602	1039	603	1041	604	1044	605	1047	606	1050	607	1052	608	1055	609	1058
610	1061	611	1063	612	1066	613	1069	614	1072	615	1074	616	1077	617	1080	618	1083	619	1085
620	1088	621	1091	622	1094	623	1096	624	1099	625	1102	626	1105	627	1108	628	1110	629	1113
630	1116	631	1119	632	1121	633	1124	634	1127	635	1130	636	1132	637	1135	638	1138	639	1141
640	1143	641	1146	642	1149	643	1152	644	1154	645	1157	646	1160	647	1163	648	1165	649	1168
650	1171	651	1174	652	1176	653	1179	654	1182	655	1184	656	1187	657	1190	658	1192	659	1195
660	1198	661	1200	662	1203	663	1206	664	1209	665	1211	666	1214	667	1217	668	1219	669	1222
670	1225	671	1227	672	1230	673	1233	674	1235	675	1238	676	1241	677	1243	678	1246	679	1249
680	1251	681	1254	682	1257	683	1259	684	1262	685	1265	686	1267	687	1270	688	1273	689	1276
690	1278	691	1281	692	1284	693	1286	694	1289	695	1292	696	1294	697	1297	698	1300	699	1302

## ANNEXE B

### Campagne de terrain des équipes IRD TOURNEES ET MISSIONS

d' Août 1999 à juillet 2000

- Du **13/08 au 19/08/1999** : Tournée de mesures de débit à l'ADCP, organisée dans le cadre de la formation d'un ingénieur de l'hydraulique et d'un expert de l'OMVS aux techniques de jaugeages à l'ADCP (**A**coustic **D**oppler **C**urrent **P**rofiler) sur le fleuve Sénégal et ses affluents de Bakel à Diama.  
**Participants** : **Konaté L.** IRD, **Tennesson M.** OMVS, **Diop I.** Hydraulique de St Louis.
- Du **24/08 au 05/09/1999**, mission au Mali et au Sénégal, de **Guiguen N.** et **Konaté L.**, pour effectuer des mesures de débit sur le fleuve , ses affluents et défluent avec la technique de l'ADCP pendant toute la période de la crue 1999 en vue de contrôler (et modifier si nécessaire) les étalonnages utilisés dans le logiciel de gestion « Progeman ».
- Du **06/09 au 12/09/1999**, suite des mesures de débit de la crue par **Guiguen N.** et **Konaté L.**
- Du **20/09 au 26/09/1999**, suite des mesures de débit de la crue par **Guiguen N.** et **Konaté L.**
- Du **05/10 au 10/10/1999**, suite des mesures de débit de la crue par **Guiguen N.** et **Konaté L.**
- Du **18/10 au 24/10/1999**, suite des mesures de débit de la crue par **Guiguen N.** et **Konaté L.**
- Du **08/11 au 16/11/1999**, suite des mesures de débit de la crue par **Guiguen N.** et **Konaté L.**  
Au total, sur la crue du fleuve Sénégal 1999, la plus forte observée depuis 1974, plus de **250** mesures de débit sur **36 sections** différentes ont été réalisées (ce qui représente environ un **millier de jaugeages** ADCP, en comptant une moyenne de **4** mesures par section). C'est la moyenne des mesures effectuées sur la même section qui est prise en compte. Suite à cette campagne, des modifications importantes d'étalonnage seront effectuées sur certaines stations de base (Bakel, Kayes ...). Une campagne complémentaire est prévue pendant la crue de l'an 2000.
- Du **04/12 au 08/12/1999** : Poursuite de la formation pour initier un ingénieur de la brigade hydrologique de Saint – louis aux techniques de mesures de débits avec l'ADCP (**A**coustic **D**oppler **C**urrent **P**rofiler). Une série de jaugeages a été effectuée sur le fleuve Sénégal de Bakel au barrage de Diama aux sections habituellement mesurées.  
**Participants** : **Konaté L.**, **Diop I.** de l' hydraulique de St Louis.
- Du **18/12 au 25/12/1999**, une mission de **Guiguen N.** à Bamako (Mali) a permis l'installation complète (avec antenne extérieure sur le côté du bâtiment) d'un poste radio BLU dans les bureaux de la **SOGEM** (**S**Ociété de **G**Estion du barrage de **M**anantali). Ce poste servira à connaître l'état de la crue et du remplissage des barrages quotidiennement et à communiquer des informations entre les bureaux de Bamako et les gestionnaires du barrage à Manantali.
- Du **28/12 au 29/12/1999**, **Guiguen N.** et **Konaté L.** effectuent une reconnaissance sur sites pour la prochaine installation d'équipement de mesure hydrologique sur les prises d'eau du delta afin de mieux connaître les besoins réels (et les ponctions) en eau dans cette partie du fleuve (irrigation, élevage, réserves naturelles, SDE...). Les plans des installations et des contraintes de sites sont réalisés. Les enregistreurs prévus sont des Thalimèdes à commande infra-rouge de la dernière génération.
- Du **04/01 au 11/01/2000**, mission en France de **Lamagat J-P.** et **Guiguen N.** (Montpellier) pour un stage d'initiation à l'utilisation du GPS différentiel (modèle GPS system 500 de LEICA), nouvel outil de topographie, qui vient d'être acheté par le projet (POGR) du fleuve Sénégal (participants **IRD** : **Lamagat, Bader, Guiguen, Lebatt, Cadier E.**, Formateur **Leica** : **F. Reffreger**).

- Du **18/01 au 28/01/2000**, mission d'installation en Mauritanie et au Sénégal, dans sa partie deltaïque, de 10 thalimèdes à infra-rouge ainsi qu'échelles et bornes qui vont servir à mesurer tous les prélèvements d'eau sur 8 prises importantes déjà équipées de vannes (équipe d'installation : **Guiguen N., Konaté L., Diop I., Diatta M., Senhoury I.**)
- Du **31/01 au 03/02/2000**, réception définitive des installations des prises d'eau du delta, en présence du directeur technique de l'OMVS (M. **Abdrabou**), des représentants des états membres et du soumissionnaire du marché (M.**Bâ**, Sofico) et responsable IRD des installations **Guiguen N.**
- Du **17/02 au 19/02/2000**, dans le cadre de la formation à la gestion des thalimèdes, une visite et contrôle de tous les appareils en place ont été effectués par **Guiguen N.** et les experts OMVS en formation : Mlle **Tenneson M.** et M. **Diatta M.**, ingénieurs à l'OMVS/DT, qui vont prendre en charge le suivi du dispositif.
- Du **08/03 au 10/03/2000**, **Guiguen N.** et **Konaté L.** effectuent une tournée de jaugeages ADCP sur la Tahouey et les prises d'eau du delta ainsi qu'une vérification de la bonne marche des thalimèdes en place et réalisent une vidange des données enregistrées.
- Du **24/03/ au 30/03/2000**, tournée sur les cuvettes, côté Sénégal, suivies depuis trois années par IRD, en superficies inondées par la crue et surfaces cultivées de décrue, pour mesurer au **GPS différentiel** les zones cultivées en 1999 sur les cuvettes de Podor, Donaye, Wawa et niveler avec précision les échelles de la zone de Podor et Richard-Toll (deux équipes sur le terrain comprenant: **Vauchel P., Guiguen N., Konaté L., Diop I., Ndao, Lebatt L.** thésard).
- Du **05/04 au 07/04/2000**, Mission OMVS – IRD : Objectifs, formation aux contrôles et vidanges des Thalimèdes et aux techniques de mesures de débit à l' ADCP aux prises d'eau du delta (en Rive Droite et Rive Gauche).  
Participants : **Konaté L., Tenneson M.** expert OMVS, **Lebatt L.**, thésard IRD de Montpellier.
- Du 06/04 au 07/04/2000, Lamagat J-P. et Guiguen N., tournée de contrôle des thalimèdes du delta (dépannage de celui de Richard-Toll amont) et d'une équipe OMVS-IRD qui effectue des mesures ADCP sur les prises.
- Du 17/05 au 20/05/2000, dans le cadre de la poursuite de la formation, tournée sur les prises d'eau du delta équipées d'échelles et de thalimèdes, en Mauritanie et au Sénégal, pour effectuer quelques réparations et améliorations sur le dispositif de mesures, transférer les données dans le Vota par système infrarouge, effectuer des mesures de débit avec ADCP (Rio Grande de l'OMVS) aux stations de Ronq, Tahouey amont et aval du pont barrage (6 vannes ouvertes) et à la digue de Keur Momar Sarr en amont de l'ancien ouvrage dont les 3 vannes sont ouvertes. Equipe : Guiguen N. et Konaté L. (IRD), Tenneson M., Diatta M, Sow (OMVS).
- Du 1/06 au 9/06/2000, mission au Mali et au Sénégal (parcours de 3300 km et deux véhicules utilisés) de Guiguen N. et Konaté L. pour réaliser les objectifs suivants :
  - contrôler les stations du haut bassin équipées de poste radio BLU pour l'annonce des crues
  - vérifier, transférer les données et effectuer la maintenance des 5 appareils enregistreurs qui équipent 5 stations du haut bassin (soit trois limnigraphes Ph18 et deux limni 92) et trois émetteurs Argos en service (adresses : 8791 Bakel, 8788 Gourbassi, 8786 Oualia) [cf tab.2]
  - effectuer des mesures de débit à l'ADCP aux sorties de vannes de Manantali, et aux stations de Kayes et Bakel [voir résultats tab.1]
  - effectuer une reconnaissance des sites de cuvettes suivies dans la zone de Bakel (projet Emercase), responsable local (M.Boscher du CRGR) qui va s'occuper des installations et de leur suivi (recrutement de lecteurs).
  - Commentaires : - les postes BLU anciens du réseau ont été remplacés par une mission Sogem (M. Cissoko) effectuée en mai 2000 (cf. tableau 2). Le réseau est donc prêt pour réaliser une bonne campagne d'annonce de crue 2000.
    - les 5 enregistreurs en service ont bien fonctionnés pour la crue 1999. Les graphiques ci-joints des superpositions des cotes lues et des cotes enregistrées montrent la qualité des lectures d'échelle et le sérieux des lecteurs qui ont en charge la radio sur le réseau.
    - seuls 3 émetteurs Argos sont maintenus en service (Bakel, Gourbassi, Oualia) vu le coût prohibitif de la retransmission satellitaire)

- de bonnes sections de mesures à l'ADCP ont été reconnues à Kayes et Bakel pour la campagne de hautes eaux de la crue 2000. Les résultats des mesures ADCP réalisées figurent sur le tableau 1

Les figures C1 et C2 contiennent les limnigrammes de BAKEL et DIANGOLA correspondant aux observateurs et aux appareils d'enregistrements.

RESULTATS des jaugeages ADCP du 9 novembre 1999 au 8 juin 2000

Tab. 1

STATIONS	Jaugeages			Débits (m3/s)	Transect appareil	Observations
	Date	Heure	Cote (cm)			
<b>Manantali</b>	6-juin-00	9 h 30	210	281	T4 Mon	Q théorique des vannes : 283 m3/s (Diémé)
<b>Kayes</b>	7-juin-00	09 h 30	215	279	T4 Mon	section 300 m en aval de la centrale
<b>Bakel</b>	09-nov-99	08 h 40	483	900	T4 Mon	section 300 m en aval des échelles section 300 m en aval des échelles
	12-nov-99	08 h 50	454	801	T4 Mon	
	4-déc-99	09 h 55	362	525	T4 Mon	
	8-juin-00	08 h 30	242	270	T4 Mon	
<b>Matam</b>	12-nov-99	15 h 45	473	947	T4 Mon	section 500 m en amont confluence Diamel
	5-déc-99	10 h 05	339	556	T4 Mon	
<b>N'Goui</b>	13-nov-99	17 h 30	821	652	T4 Mon	section 400 en amont des échelles
	6-déc-99	12 h 20	621	315	T4 Mon	
<b>Saldé</b>	13-nov-99	16 h 05	657	555	T4 Mon	aval confluence Sénégal - Doué/Diamel
	6-déc-99	08 h 55	447	318	T4 Mon	section 70 m en amont des échelles
<b>Guédé</b>	14-nov-99	12 h 00	592	490	T4 Mon	
	6-déc-99	17 h 05	398	287	T4 Mon	
<b>Donaye</b>	14-nov-99	16 h 45	306	331	T4 Rio	1 km en aval des échelles
	7-déc-99	10 h 55	81	58,2	T4 Mon	section 100 m en aval des échelles
<b>Podor</b>	14-nov-99	18 h 00	474	1054	T4 Mon	section 80 m amont des échelles Préfecture
	7-déc-99	09 h 20	279	372	T4 Mon	
<b>Dagana</b>	15-nov-99	08 h 30	340	1745	T4 Mon	
	8-déc-99	08 h 55	244	623	T4 Mon	
<b>Richard-Toll/Quai</b>	15-nov-99	09 h 55	306	1762	T4 Mon	section 400 m en aval du port
	8-déc-99	11 h 25	231	671	T4 Mon	section 450 m en aval du port
<b>Rosso</b>	15-nov-99	12 h 00	278	1796	T4 Mon	section au niveau du passage du bac
	8-déc-99	12 h 50	215	698	T4 Mon	section 100 m en aval du bac
<b>Diama</b>	16-nov-99	09 h 00	148 Amont 141 Aval	1814	T4 Mon	
	8-déc-99	15 h 50	178 Amont 53 Aval	670	T4 Mon	
<b>Tahouey amont/Pt</b>	8-déc-99	10 h 40	227 Am 272 Css	4,43	T4 Mon	8 vannes fermées depuis le 07/10/1999
	9-mars-00	09 h 08	232 Am 233 Av	33,4	T4 Mon	6 vannes ouvertes depuis le 01/02/2000
	5-avr-00	16 h 25	234 Am 236 Av	39,9	T4 Mon	6 vannes ouvertes depuis le 01/02/2000
	18-mai-00	17 h 10	232 Am 234 Av	51,8	T4 Rio2	6 vannes ouvertes depuis le 01/02/2000
<b>Tahouey/Ndombo</b>	9-mars-00	09 h 45	743 (N'Dombo)	28,2	T4 Mon	6 vannes ouvertes depuis le 01/02/2000
	5-avr-00	16 h 45	746 (N'Dombo)	30,9	T4 Mon	6 vannes ouvertes depuis le 01/02/2000
	18-mai-00	17 h 58	745 (N'Dombo)	41,5	T4 Rio2	6 vannes ouvertes depuis le 01/02/2000
<b>Ronq</b>	9-mars-00	12 h 00	206 Am 205 Av	7,4	T4 Mon	3 vannes ouvertes
	6-avr-00	11 h 55	208 Am 207 Av	6,6	T4 Mon	4 vannes ouvertes
	18-mai-00	16 h 36	208 Am 207 Av	5	T4 Rio2	4 vannes ouvertes
<b>Keur Momar Sarr</b>	5-avr-00	10 h 52	196 Am 194 Av	3,6	T4 Mon	en aval de l'ancien ouvrage
	19-mai-00	12 h 10	202 Am 192 Av	10	T4 Rio2	en amont de l'ancien ouvrage

LE RESEAU D'ANNONCE DE CRUE du fleuve Sénégal en 2000 (OMVS)

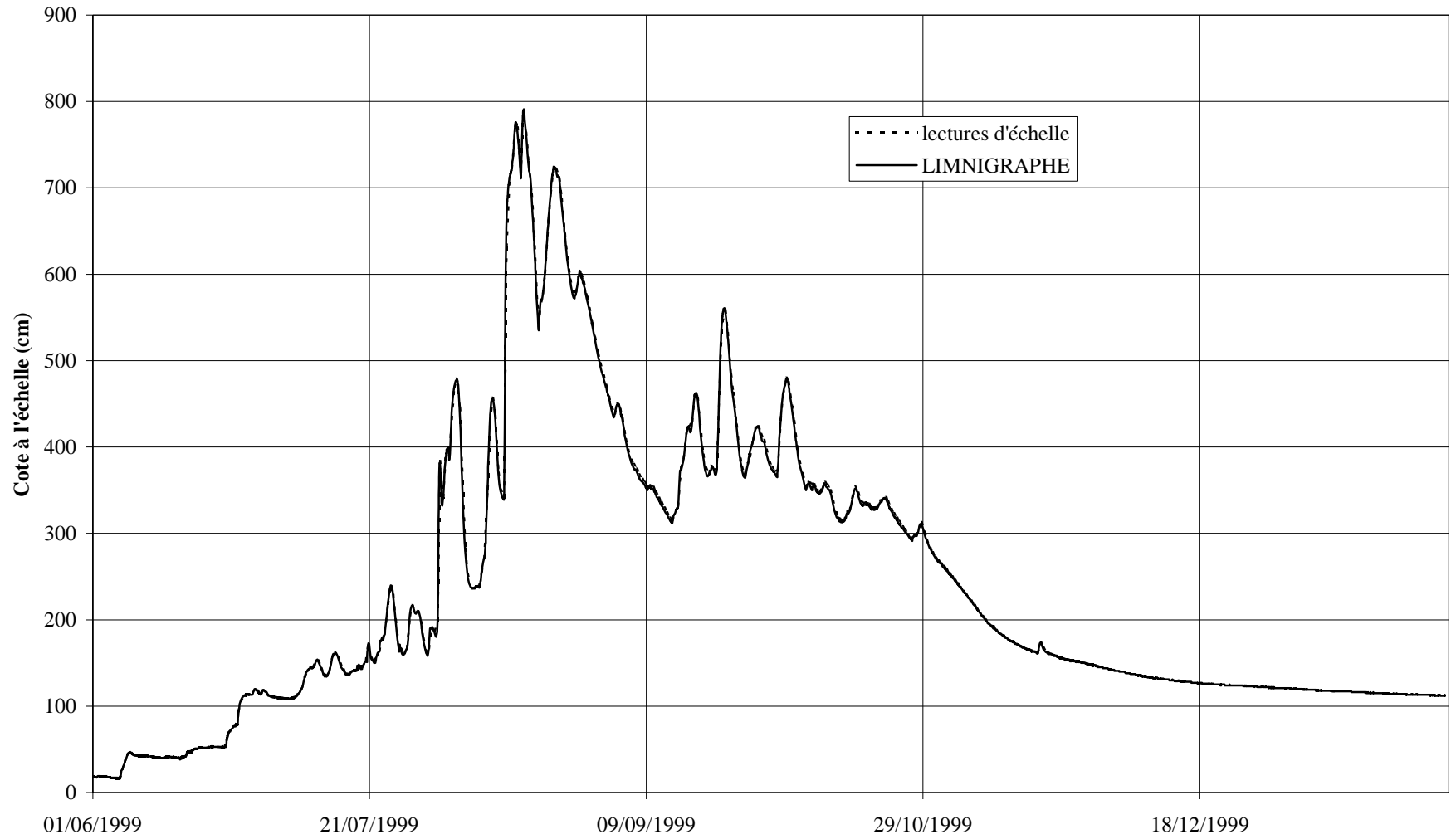
Tab. 2

STATIONS	Fleuve	Superficie	Radios	Opérateur	Distance (m)	Enregistreur	Emetteur	Observations
<i>hydrométriques</i>		<i>Bassin (km2)</i>	<i>poste</i>	<i>radio</i>	<i>aux échelles</i>	<i>automatique</i>	<i>Argos</i>	<i>en date du 4 mai 2000</i>
<b>Dakka-Saidou</b>	Bafing	15700	KEENWOOD	Salif Keita	1000			nouveau poste et antenne en mai 2000 * changé aussi panneau, régulateur ,batterie
<b>Bafing-Makana</b>	Bafing	22000	KEENWOOD	Seigou Dansoko	500			nouveau poste et antenne en mai 2000 * changé aussi panneau, régulateur ,batterie
<b>Manantali</b>	Bafing	27800	FT600-YAESU	Gestionnaire	2000			<b>poste centralisateur du haut bassin **</b> posée 4/99, nouvelle radio implantée à la direction
<b>Diangola</b>	Bakoye	12100	FT600-YAESU	Moussa Sidibé	5000	<b>Limni 92</b>		4/99 nouvelle radio implantée chez le lecteur ** vérifications en juin 2000, tout OK
<b>Oualia</b>	Bakoye	84700	KEENWOOD	Baly Diop	1500	<b>Ph18</b>	<b>8786</b>	nouveau poste et antenne en mai 2000 * changé aussi panneau, régulateur ,batterie
<b>Fadougou</b>	Falémé	9300	FT600-YAESU	Aouna Keita Lamine Keita	10000			4/99 nouvelle radio implantée chez le lecteur ** 5/99 nouvelle batterie d'échelles au niveau/village
<b>Gourbassi</b>	Falémé	17100	KEENWOOD	Macalou Soungoutoun	1200	<b>Ph18</b>	<b>8788</b>	nouveau poste et antenne en mai 2000 * changé aussi panneau, régulateur
<b>Kidira</b>	Falémé	28900	BESCOM	Daouda Diallo	1500			poste radio intallé en 1998 par équipe de Manantali
<b>Kayes</b>	Sénégal	157400	KEENWOOD	Bakary Coulibaly	2500	<b>Ph18</b>		<b>collecte les données pour hydrologie/Mali</b> changé poste et antenne en mai 2000
<b>Bakel</b>	Sénégal	218000	KEENWOOD FT600-YAESU	Nouha Ndiaye	800	<b>Limni 92</b>	<b>8791</b>	<b>poste collecteur/distributeur de données</b> équipé de deux postes (et 2 réseaux 220V et solaire)
<b>Diana (Soged)</b>	Sénégal		FT180A-YAESU	Gestionnaire	100			<b>poste centralisateur du bassin sénégal</b>
<b>St Louis</b>	Sénégal		FT180A-YAESU	Ousmane Diagne	1200			<b>collecte les données pour hydrologie/Sénégal</b> banque de données
<b>Dakar (Ird)</b>	Bassin		FT600-YAESU	IRD (ex-Orstom)			<b>SRDA</b>	<b>3/99 centre collecteur des données (banque)**</b> antenne SRDA remplacée le 3/06/99
<b>Bamako (Sogem)</b>	Bassin		FT600-YAESU	<b>Sogem</b>				<b>posé 12/99, collecte des données du haut bassin</b> et relais d'informations avec barrage Manantali

\* travaux de remise à niveau des stations radio effectués par l'équipe spécialisée de Manantali dirigée par Mr CISSOKO

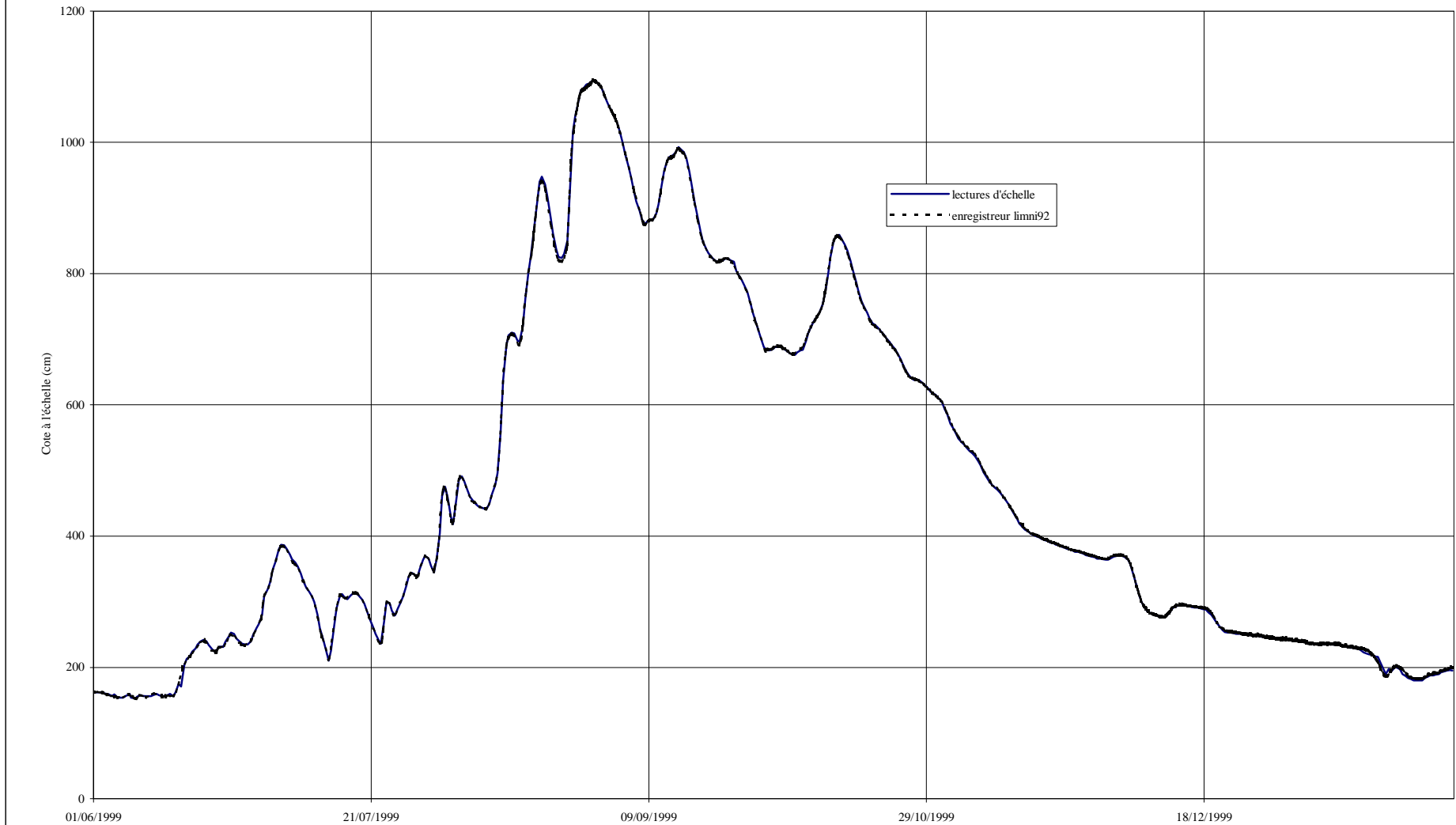
\*\* travaux effectués en avril et mai 1999 par l'équipe IRD de Dakar et vérifiés en juin 2000

Crue 1999 à Diangola (comparaison cotes lues et enregistrées)





Crue 1999 à Bakel (comparaison cotes lues et enregistrées)



# ANNEXE C

## PROGRAMME D'OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESERVOIRS

### PHASE 3

#### MANUEL DES CONSIGNES DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI

#### ADDENDUM CONCERNANT LE SOUTIEN D'ETIAGE A 300 M<sup>3</sup>/S

##### **RESUME ET CONCLUSION**

Par simulation numérique basée sur les données hydrologiques de la période 1950-1998, on évalue dans quelle mesure la ressource en eau disponible permettrait de soutenir le débit d'étiage du fleuve Sénégal à hauteur de 300 m<sup>3</sup>/s à partir du barrage de Manantali.

Il apparaît qu'une capacité de stockage supplémentaire de 16,7 km<sup>3</sup> (en plus des 7,7 km<sup>3</sup> existants à Manantali) serait nécessaire, pour pouvoir garantir la possibilité d'effectuer en permanence un tel soutien d'étiage

Même si le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s était envisagé comme unique objectif pour le barrage, il est constaté que les débits obtenus à Bakel seraient très largement inférieurs à cette valeur pendant une durée supérieure à 1 mois, pour 24% des étiages.

Combiné aux autres objectifs déjà envisagés dans le manuel de gestion, le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s a été intégré dans 54 scénarios de gestion qui envisagent tous une garantie de soutien à 200 m<sup>3</sup>/s pour une fréquence de 24 années sur 25. La simulation de ces scénarios montre que des crues trop faibles, non soutenues ou mal soutenues, sont à attendre dans ce cas avec une fréquence supérieure à 43%. Pour autant, les défaillances concernant le soutien à 300 m<sup>3</sup>/s ne sont pas rares, puisqu'il est constaté au moins 27 années sur 100, quel que soit le scénario, des débits inférieurs à 225 m<sup>3</sup>/s (25% de pénurie) à Bakel pendant plus de 100 jours.

Quel que soit le mode de gestion adopté pour le barrage de Manantali, le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s ne pourra jamais être garanti à 100 % si l'hydraulicité reste conforme à celle de la période 1950-1998 sur le haut bassin du Sénégal. Environ une année sur trois, il sera impossible d'atteindre cet objectif pendant au moins trois mois.

##### **CONTEXTE ET OBJECTIF**

Au cours de la phase 2 du POGR, le manuel de gestion du barrage de Manantali a été traité dans les trois publications suivantes :

- Mai 1999 : POGR phase 2, tome 2. (Annexe 2 : Ebauche d'un manuel de gestion du barrage de Manantali)
- Mai 1999 : POGR phase 2. Manuel des consignes de gestion
- Octobre 1999 : POGR phase 2. Synthèse. (Synthèse du manuel provisoire des consignes de gestion de Manantali)

La présente note répond à une demande de la Banque Mondiale reçue par l'IRD en février 2000, ainsi qu'à une demande formulée par le Mali lors de la réunion du comité de suivi du POGR tenue le 29/05/2000 à Dakar. Il s'agit d'évaluer la possibilité de soutenir le débit d'étiage du Sénégal à Bakel, à hauteur de 300 m<sup>3</sup>/s.

##### **METHODE**

On effectue diverses simulations numériques basées sur les apports en eau de la période 1950-1998.

Dans un premier temps, on calcule la capacité utile de retenue qui aurait été nécessaire pour pouvoir soutenir en permanence le débit du Sénégal à 300 m<sup>3</sup>/s.

La gestion du barrage est ensuite simulée au pas de temps journalier, tout d'abord en envisageant le soutien à 300 m<sup>3</sup>/s comme unique objectif, puis en ajoutant cet objectif aux consignes déjà analysées dans le manuel provisoire de gestion. L'analyse des résultats porte sur le soutien d'étiage, la production d'énergie et le soutien de crue.

##### **CAPACITE DE RETENUE NECESSAIRE PERMETTANT UN SOUTIEN PERMANENT A 300 M<sup>3</sup>/S**

Le maintien d'un débit supérieur ou égal à 300 m<sup>3</sup>/s en permanence au niveau de Bakel, nécessite un volume théorique de réserve utile de 24,4 km<sup>3</sup> au niveau de Manantali (Voir Annexe 1). Or, la réserve utile

existante correspond à la tranche d'eau comprise entre les cotes 187 m (limite inférieure de surface libre ne risquant pas d'endommager le parement amont), et la cote 208,05 m ( les tranches d'eau supérieures ne peuvent être conservées de façon durable du fait de l'ouverture inévitable des vannes de déversoir de crue). Cette réserve représente donc un volume de  $7,7 \text{ km}^3$ , puisque le stock aux cotes 187 et 208,05 s'élève respectivement à  $3,6$  et  $11,3 \text{ km}^3$ . Sur la base des données de la période 1950-1998, il manque donc un volume de  $16,7 \text{ km}^3$  à la réserve utile de Manantali pour pouvoir garantir en permanence à Bakel, un débit supérieur ou égal à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **GESTION ENVISAGEANT LE SOUTIEN A $300 \text{ m}^3/\text{s}$ COMME UNIQUE OBJECTIF**

La gestion de la retenue a été simulée au pas de temps journalier en tenant compte de ses caractéristiques réelles, et en supposant le soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  comme unique objectif. Les consignes envisagées sont donc les suivantes, en reprenant les notations du manuel : A1 (maintien de la surface libre en dessous de la cote 210,50 m) ; B1 (maintien de la surface libre au dessus de la cote 187 m) ; A3 (débit sanitaire réservé de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  à la sortie du barrage) ; A5 (soutien immédiat de basses eaux :  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  à Bakel). Les résultats confirment l'impossibilité de garantir le soutien à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , puisqu'un échec est constaté (débit nul ou très largement inférieur à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  à Bakel, durant 1 à 5 mois consécutifs) 12 années sur 49 (fréquence 24%), avec un épuisement de la réserve utile ces années là.

### **GESTION ENVISAGEANT LE SOUTIEN A $300 \text{ m}^3/\text{s}$ ASSOCIE AUX AUTRES OBJECTIFS**

Le soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  a été simulé sur 54 scénarios de gestion. Ceux-ci sont très comparables aux 162 scénarios déjà présentés dans le manuel provisoire, puisqu'ils reprennent la même liste de consignes, en y insérant simplement une consigne de type A5 supplémentaire juste avant la consigne A4 relative au soutien de crue (voir Annexe 2).

Les 54 scénarios étudiés diffèrent tous par les valeurs retenues pour les paramètres S1 (187, 192 ou 197 m), S2 (202 ou 206 m), P0 (70, 90 ou 110 Mw) et Hs (192, 195 ou 198 m). La signification de ces paramètres est expliquée dans l'annexe A du manuel des consignes de gestion.

Les consignes retenues provoquent l'effet suivant pour le soutien d'étiage : tant que la réserve disponible dans le lac se situe au dessus du seuil nécessaire pour garantir le soutien à  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  (24 années sur 25), on soutient  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  à Bakel. Dès que la réserve devient insuffisante, on ne soutient plus que  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ainsi, tous les scénarios aboutissent à un débit de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  soutenu à Bakel avec un très faible taux de défaillance, comparable à celui des scénarios étudiés dans le manuel.

Les résultats diffèrent donc d'un scénario à l'autre, essentiellement pour l'énergie produite (W1, période 1950-1998), la fréquence des crues trop faibles (R, période 1950-1998, défini dans le manuel), et l'importance des défaillances concernant le soutien à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ces défaillances peuvent être caractérisées par les deux paramètres suivants :

**Nj** : nombre total de jours de la période 1950-1998, pendant lesquels le débit obtenu à Bakel est inférieur à  $225 \text{ m}^3/\text{s}$ , et présente donc un déficit de plus de 25% par rapport à l'objectif de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**R1** : pourcentage des années de la période 1950-1998 présentant de graves défaillances pour le soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , avec un débit inférieur à  $225 \text{ m}^3/\text{s}$  pendant plus de 100 jours à Bakel.

Le tableau 1 donne les résultats obtenus pour les scénarios optimaux suivant la relation R(W1), au sens défini dans le manuel de gestion : ce sont les scénarios qui offrent la plus forte énergie W1 produite pour la plus petite fréquence R possible de crues trop faibles (inférieures à l'hydrogramme 'ORSTOM1'). On constate qu'avec un soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , l'augmentation de l'énergie produite s'accompagne d'une fréquence accrue des crues trop faibles. Ce résultat est conforme à ceux qui ont déjà été présentés dans le manuel pour des soutiens d'étiage à 100, 150 ou  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La figure 1 permet de comparer les résultats de production d'énergie et de soutien de crue pour les scénarios optimaux de gestion incluant le soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , avec ceux qui avaient déjà été présentés dans le manuel pour un soutien à  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Fort logiquement, il apparaît que pour une production d'énergie donnée, les crues trop faibles sont plus fréquentes avec un soutien d'étiage à  $300$  plutôt qu'à  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Avec un soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , la fréquence R des crues trop faibles est nettement supérieure à celle observée en régime naturel (31%), pour chacun des 54 scénarios testés.

Pour les scénarios optimaux du point de vue de l'énergie (W1) et du soutien de crue (R), la fréquence R1 des années présentant de graves défaillances pour le soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  se situe entre 35 et 41% (fig. 2). Ces scénarios ne sont pas optimaux pour le soutien d'étiage.

Les résultats concernant les scénarios optimaux du point de vue du soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , sont donnés dans les tableaux 2 à 3 et représentés sur les figures 3 à 4. Pour une fréquence donnée R1 de graves défaillances concernant le soutien d'étiage à  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , le tableau 2 et la figure 3 concernent les scénarios qui donnent le moins possible de crues trop faibles (R), alors que le tableau 3 et la figure 4 concernent ceux qui donnent le plus d'énergie produite (W1). Bien qu'optimaux pour le soutien d'étiage, tous ces scénarios présentent de graves défaillances pour cet objectif sur au moins 27% des années de la période 1950-1998. Ils entraînent par ailleurs une fréquence très forte (>43%) des crues insuffisantes.

paramètres définissant les consignes de gestion				énergie moyenne produite par année (Gw h)		fréquence des crues trop faibles	fréquence des années présentant un débit inférieur à 225 m <sup>3</sup> /s à Bakel pendant plus de 100 jours	nombre de jours présentant un débit inférieur à 225 m <sup>3</sup> /s à Bakel.
Hs	P0	S1	S2	W1	W2	R	R1	Nj
(m)	(Mw)	(m)	(m)	(50-98)	(70-98)	(%)	(%)	
192	90	197	206	899	707	43	39	3735
192	70	197	202	923	709	45	37	3600
192	90	192	202	934	709	47	41	4259
192	70	187	202	948	736	49	39	4070
195	90	192	202	961	750	51	35	3840
195	110	192	202	963	747	53	41	4203
198	110	192	202	975	750	57	39	4100

tableau 1 : Résultats obtenus pour les scénarios optimaux du point de vue de la relation R(W1) , offrant la plus forte production d'énergie W1 pour une fréquence R de faibles crues donnée.

- $Q_e$  (m<sup>3</sup>/s) : débit objectif d'étiage, défini pour le Sénégal à Bakel
- Hs (m) : cote minimale de la surface libre du lac au 20 août, permettant d'engager le soutien de crue annuel.
- Po (w) : puissance électrique demandée
- S1 (m) : cote limite de la surface libre du lac, en dessous de laquelle la consigne relative à la demande de production d'énergie n'est pas prise en considération.
- S2 (m) : cote limite de la surface libre du lac, au dessus de laquelle on vise à produire la puissance maximale productible en fonction de la cote
- W1 (Gwh) : énergie moyenne produite par année sur la période 1950-1998.
- W2 (Gwh) : comme W1, mais sur la période 1970-1998
- R : fréquence des crues trop faibles obtenues

paramètres définissant les consignes de gestion				énergie moyenne produite par année (Gw h)		fréquence des crues trop faibles	fréquence des années présentant un débit inférieur à 225 m <sup>3</sup> /s à Bakel pendant plus de 100 jours	nombre de jours présentant un débit inférieur à 225 m <sup>3</sup> /s à Bakel.
Hs	P0	S1	S2	W1	W2	R	R1	Nj
(m)	(Mw)	(m)	(m)	(50-98)	(70-98)	(%)	(%)	
195	70	197	206	915	743	47	27	2582
198	110	197	206	946	774	51	29	2901
195	70	192	206	921	744	49	31	3053
195	110	197	202	957	758	51	33	3476
192	90	197	202	927	714	47	35	3772
192	70	197	202	923	709	45	37	3600
192	70	197	206	892	705	43	39	3494
192	70	192	206	899	707	45	41	3899
192	110	192	202	939	708	49	43	4511

tableau 2 : Résultats obtenus pour les scénarios qui, pour une valeur de R1 donnée (défaillance de soutien à 300 m<sup>3</sup>/s ), donnent les plus petites valeurs de R (fréquence de crues trop faibles).

paramètres définissant les consignes de gestion				énergie moyenne produite par année (Gw h)		fréquence des crues trop faibles	fréquence des années présentant un débit inférieur à 225 m <sup>3</sup> /s à Bakel pendant plus de 100 jours	nombre de jours présentant un débit inférieur à 225 m <sup>3</sup> /s à Bakel.
Hs	P0	S1	S2	W1	W2	R	R1	Nj
(m)	(Mw)	(m)	(m)	(50-98)	(70-98)	(%)	(%)	
198	90	197	206	942	778	51	27	2471
198	110	197	206	946	774	51	29	2901
198	90	197	202	961	760	55	31	3093
198	110	197	202	963	758	55	33	3390
198	90	192	202	971	755	57	35	3733
192	70	197	202	923	709	45	37	3600
198	110	192	202	975	750	57	39	4100
195	110	192	202	963	747	53	41	4203
192	110	187	202	943	720	55	43	4803

tableau 3 : Résultats obtenus pour les scénarios qui, pour une valeur de R1 donnée (défaillance de soutien à 300 m<sup>3</sup>/s), donnent les plus fortes valeurs de W1 (énergie produite)

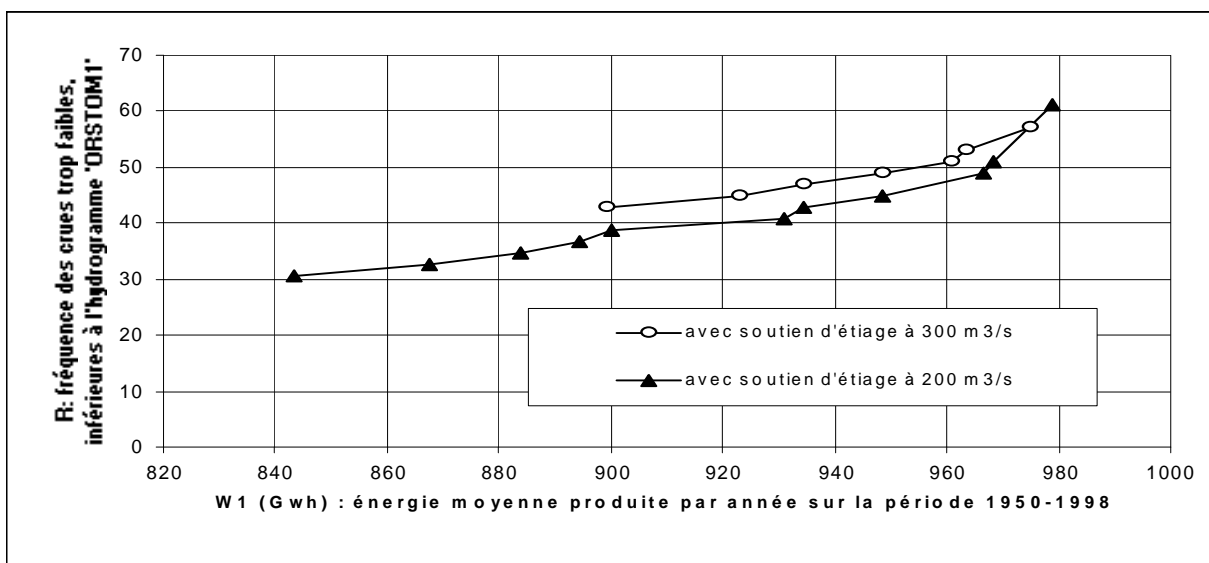


figure 1 : comparaison des résultats obtenus pour les scénarios optimaux (offrant le plus d'énergie produite pour le moins de faibles crues possible), avec un soutien d'étiage à 200 m<sup>3</sup>/s ou 300 m<sup>3</sup>/s

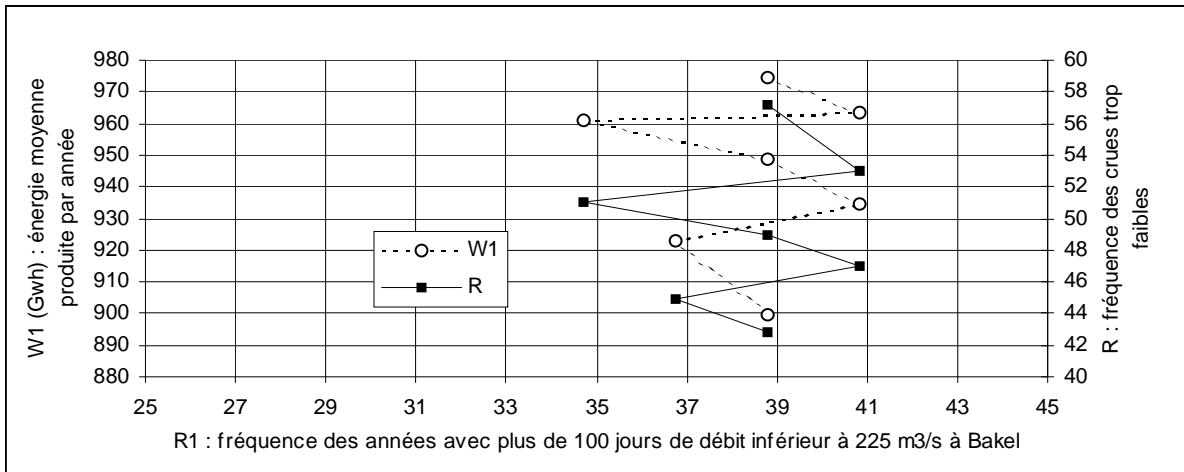


figure 2 : Résultats obtenus pour les scénarios optimaux (donnant les plus fortes valeurs d'énergie W1 pour une fréquence R donnée de crues trop faibles)

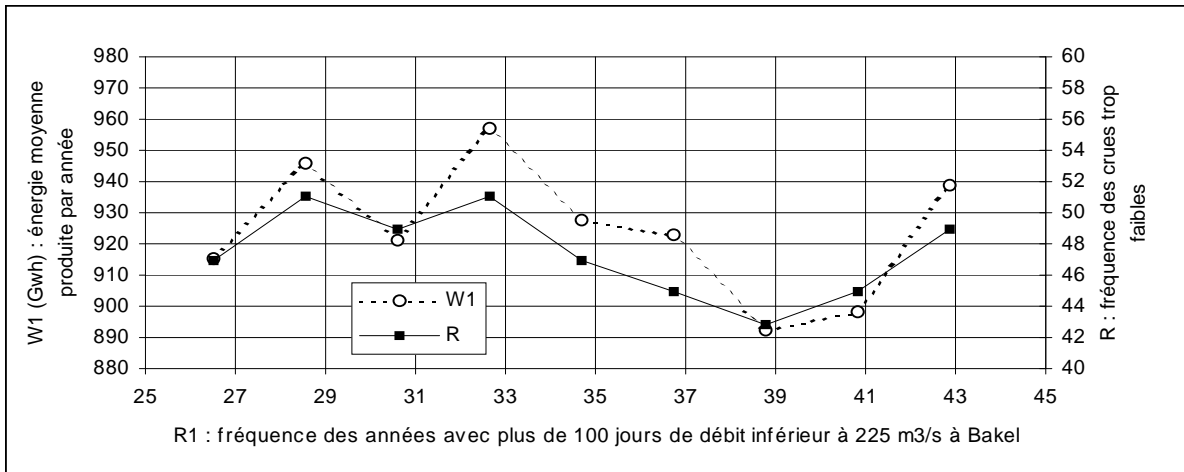


figure 3 : Résultats obtenus pour les scénarios présentant, pour R1 donné (fréquence des défaillances pour le soutien à 300 m<sup>3</sup>/s ), les plus petites valeurs de R (fréquence de crue trop faible)

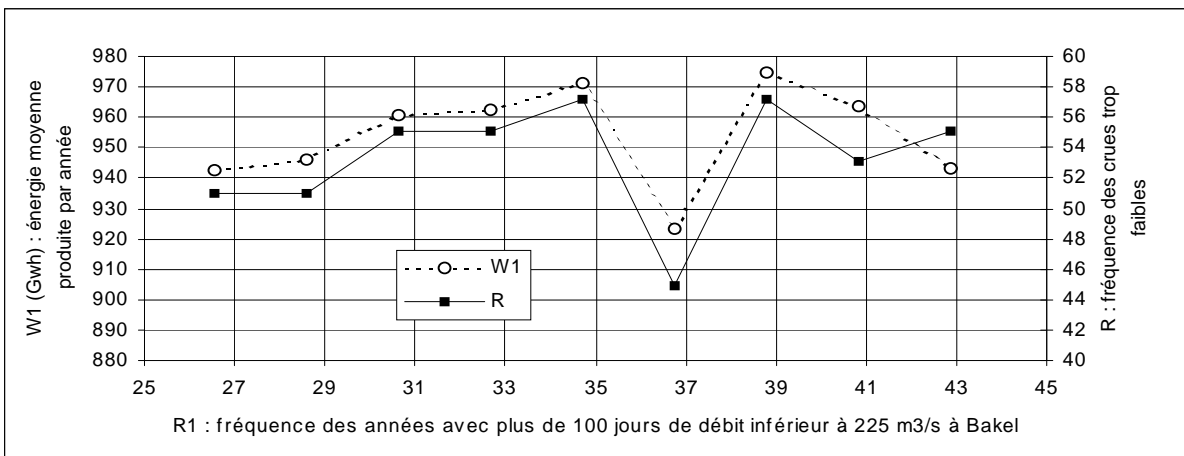


figure 4 : Résultats obtenus pour les scénarios présentant, Pour R1 donné (fréquence des défaillances pour le soutien à 300m<sup>3</sup>/s ), les plus fortes valeurs de W1 (énergie produite)

## ANNEXE 1

### CALCUL DE LA CAPACITE DE RETENUE PERMETTANT DE GARANTIR LE SOUTIEN A 300 M<sup>3</sup>/S

On simule le fonctionnement du barrage au pas de temps journalier sur la période 1971-1998. La seule consigne de gestion prise en compte est la réalisation systématique du soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s à Bakel. Aucune contrainte de gestion (dimensions de retenue, organes d'évacuation) n'est envisagée. Le calcul ainsi mené nous donne la chronique des débits journaliers lâchés d'un barrage de Manantali idéalement dimensionné, qui aurait permis de réaliser en permanence le soutien d'étiage sur la période 1971-1998. Cette chronique permet d'évaluer une série de volumes annuels lâchés Vs, calculés du 1<sup>er</sup> juillet au 30 juin de l'année suivante.

On connaît par ailleurs la chronique des débits journaliers du Bafing au droit du barrage de Manantali : données observées à la station de Soukoutali jusque 1983 ; données reconstituées à partir de celles de Bafing Makana à depuis 1984. Cette chronique nous permet d'évaluer une série de volumes annuels entrés Ve, calculés du 1<sup>er</sup> juillet au 30 juin de l'année suivante.

Enfin nous considérons un volume moyen annuel Vp perdu par évaporation sur la retenue, égal à 832 millions de m<sup>3</sup>. Cette valeur correspond à une évaporation moyenne journalière de 5,7 mm jour<sup>-1</sup> (valeur mesurée par Cogels et Gac sur le lac de Guiers) et une superficie moyenne de 400 km<sup>2</sup>.

Les valeurs de Ve (régime naturel) et Vs sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

A partir de Ve, Vs et Vp, il est possible d'évaluer le stockage net annuel Sn dans la retenue :

$$S_n = V_e - V_s - V_p$$

Les valeurs de Sn sont également données dans le tableau 1. Elles représentent le gain théorique de volume emmagasiné chaque année dans la retenue entre le 1<sup>er</sup> juillet et le 30 juin de l'année suivante. On remarque que la moyenne de Sn est négative, ce qui signifie que le soutien d'étiage envisagé aurait entraîné une baisse du stock d'eau sur l'ensemble de la période (30/06/1971 – 30/06/1998).

Comme il est dit plus haut, les simulations qui ont abouti aux valeurs de stockage net annuel Sn ont été faites en supposant une capacité de réservoir illimitée derrière le barrage. La capacité qui aurait été nécessaire pour pouvoir réaliser systématiquement le soutien de débit envisagé sur la période 1971-1998 peut être évaluée de la façon suivante :

Notons Vi le volume d'eau emmagasiné dans la retenue le 30 juin de l'année i+1. Une valeur arbitraire V<sub>1970</sub> étant attribuée au 30/06/71, on en déduit les valeurs des années suivantes par :

$$V_i = V_{1970} + \sum_{j=1971 \dots i} (S_n)$$

La capacité C de retenue nécessaire est alors donnée par :

$$C = \text{MAX}_{i=1971 \dots 1997} [ \text{Max}_{j=1970 \dots i-1} (V_j) - V_i ]$$

On obtient une valeur de C égale à 24376 millions de m<sup>3</sup>, soit 24,4 km<sup>3</sup>.

année	période	Ve : volume entré	Vs : volume lâché	Vp : volume évaporé	Sn :stockage net
1971	01/07/71--30/06/72	9011	6078	832	2101
1972	01/07/72--30/06/73	7475	7125	832	-482
1973	01/07/73--30/06/74	7110	7127	832	-849
1974	01/07/74--30/06/75	10157	6162	832	3163
1975	01/07/75--30/06/76	8957	6361	832	1765
1976	01/07/76--30/06/77	9393	5933	832	2628
1977	01/07/77--30/06/78	5167	6690	832	-2355
1978	01/07/78--30/06/79	7780	6281	832	667
1979	01/07/79--30/06/80	5345	7077	832	-2564
1980	01/07/80--30/06/81	7005	7001	832	-828
1981	01/07/81--30/06/82	6736	7051	832	-1147
1982	01/07/82--30/06/83	5818	7087	832	-2101
1983	01/07/83--30/06/84	6786	8183	832	-2229
1984	01/07/84--30/06/85	4392	7661	832	-4101
1985	01/07/85--30/06/86	6554	7240	832	-1518
1986	01/07/86--30/06/87	6911	7199	832	-1120
1987	01/07/87--30/06/88	6727	7633	832	-1738
1988	01/07/88--30/06/89	7303	6714	832	-243
1989	01/07/89--30/06/90	6614	7057	832	-1275
1990	01/07/90--30/06/91	6823	7003	832	-1012
1991	01/07/91--30/06/92	8393	6652	832	909
1992	01/07/92--30/06/93	6863	7475	832	-1444
1993	01/07/93--30/06/94	5789	7233	832	-2276
1994	01/07/94--30/06/95	9338	5953	832	2553
1995	01/07/95--30/06/96	8584	6440	832	1312
1996	01/07/96--30/06/97	8042	6707	832	503
1997	01/07/97--30/06/98	8013	6599	832	581
	moyenne	7299	6879	832	-411

tableau 1 : volumes annuels (millions de m3) entrés dans la retenue et lâchés par le barrage, et valeurs du stockage net annuel, dans le cas d'un soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s à Bakel réalisé à partir d'une retenue de capacité illimitée.



ANNEXE 2  
LISTE DES CONSIGNES DE GESTION SIMULEES

Remarque : Seules les parties soulignées diffèrent de la liste des consignes étudiée jusqu'à présent (manuel des consignes de gestion, § 3.1, pp 35 et 36 ; Synthèse de phase 2, p 12)

**A1** : Précaution contre la submersion des digues du barrage, en maintenant le niveau du plan d'eau en dessous de la cote 210,50 m

**A3** : lâcher d'un débit sanitaire réservé de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$

**B1** : précaution contre l'affouillement de la partie basse du parement amont de l'ouvrage, en maintenant le niveau du plan d'eau au dessus de la cote 187 m.

**B2** : laminage immédiat des crues du Sénégal à Bakel, avec un débit journalier limité à  $4500 \text{ m}^3/\text{s}$

**A6** : conservation d'une revanche suffisante dans la retenue, pour pouvoir assurer le laminage futur des crues du Sénégal à Bakel en dessous de  $4500 \text{ m}^3/\text{s}$  avec un taux de réussite de 49 années sur 50, en référence à la période 1950-1998. Le limnigramme correspondant de cote maximale à respecter dans le lac est donné dans le manuel provisoire.

**A5** : soutien des basses eaux, concernant les usages suivants : agriculture irriguée, alimentation humaine, navigabilité. Une valeur constante de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  a été retenue pour le débit  $Q_e$  à assurer en permanence au niveau de Bakel.

**B3** : conservation d'un stock d'eau suffisant dans la retenue pour permettre le soutien futur de basses eaux. Le débit objectif  $Q_e$  envisagé est le même que dans la consigne A5 précédente, et le taux de réussite retenu est de 24 années sur 25 sur la période 1950-1998. Le limnigramme correspondant de cote minimale à respecter dans le lac est donné dans le manuel provisoire.

**A2** : production d'énergie électrique

La consigne de production d'énergie est prise en compte seulement lorsque la cote du lac se situe au dessus du seuil S1, pour lequel trois valeurs ont été testées : 187, 192 et 197 m

La consigne vise à produire la puissance maximale productible  $P_{max}$  lorsque la cote du lac se situe au dessus du seuil S2, pour lequel deux valeurs ont été testées : 202 et 206 m.

Enfin, quand la cote du lac se situe entre S1 et S2, la consigne vise à produire une puissance  $P = \min(P_o ; P_{max})$  où  $P_o$  désigne une puissance constante pour laquelle trois valeurs ont été testées : 70, 90 et 110 mw.

**A5 : soutien des basses eaux, concernant la navigabilité pour les bateaux à fort tirant d'eau. Une valeur constante de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  a été retenue pour le débit  $Q_e$  à assurer en permanence au niveau de Bakel.**

**A4** : soutien de crue

L'hydrogramme objectif de crue retenu pour Bakel, dénommé "ORSTOM1", est le suivant :

$0 \text{ m}^3/\text{s}$  le 22 août ;  $2500 \text{ m}^3/\text{s}$  le 28 août ;  $2500 \text{ m}^3/\text{s}$  le 2 septembre ;  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  le 16 octobre.

Le soutien de crue est déclenché à la date  $T_c$  du 20 août, si et seulement si la cote du lac se situe au dessus du seuil  $H_s$ , pour lequel trois valeurs ont été testées : 192, 195 et 198 m.

## SOUTIEN DE L'ÉTIAGE DU FLEUVE SENEGAL A HAUTEUR DE 300 M<sup>3</sup>/S A PARTIR DU BARRAGE DE MANANTALI. ANALYSE DES CONTRAINTES.

### RESUME

Des simulations numériques sont effectuées suivant trois scénarios de gestion incluant tous la production d'énergie et le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s dans les objectifs du barrage de Manantali. Le premier scénario envisage un ouvrage rehaussé de 5 mètres par rapport à ses dimensions réelles ; le second envisage le barrage existant ; le troisième envisage également le barrage existant, et inclut le soutien de crue dans les objectifs de gestion.

Les résultats obtenus montrent que sur la base des apports en eau observés de 1950 à 1978, le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s pouvait être considéré comme un objectif réaliste. De tels apports permettent en effet de le garantir :

- sans défaillance avec un barrage rehaussé de 5 mètres, sans soutien de crue
- avec seulement 7% de défaillances (fréquence des années pendant lesquelles le débit obtenu présente une pénurie de plus de 20%) dans le cas du barrage existant, sans soutien de crue
- avec seulement 14% de défaillances dans le cas du barrage existant, si l'on soutient les crues.

Par contre, sur la base des apports observés de 1950 à 1999, ces résultats changent du tout au tout. Cette période inclut en effet une série de 12 années successives présentant des volumes annuels écoulés inférieurs aux volumes nécessaires pour permettre de soutenir les étiages à 300 m<sup>3</sup>/s . Avec les apports en eau de la période 1950-1999, la fréquence des défaillances concernant cet objectif s'élève à :

- 26% avec un barrage rehaussé de 5 mètres, sans soutien de crue
- 32% avec le barrage existant, sans soutien de crue
- 44% avec le barrage existant, en cas de soutien de crue.

C'est donc essentiellement à cause des apports en eau observés depuis 20 ans sur le haut bassin du Sénégal, que le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s dans le fleuve Sénégal apparaît aujourd'hui comme un objectif irréaliste.

### CONTEXTE, OBJECTIF

A la fin des années 70, il semblait possible de maintenir en permanence un débit supérieur à 300 m<sup>3</sup>/s dans le fleuve Sénégal, grâce à la régulation opérée par le futur barrage de Manantali. Une analyse récente montre que ce soutien, destiné à rendre le cours d'eau navigable de l'embouchure jusqu'au port de Kayes, ne peut plus être envisagé de façon permanente. La présente note explique les raisons de cette divergence de résultats.

## METHODE

Trois facteurs essentiels conditionnent les résultats que l'on peut obtenir à l'aide d'un barrage. Ce sont : les apports en eau ; les dimensions de l'ouvrage ; les consignes de gestion. Des hypothèses différentes concernant au moins l'un de ces trois points, sont forcément à l'origine des divergences de résultats constatées entre les analyses récentes et anciennes portant sur le soutien à 300 m<sup>3</sup>/s .

- **Apports en eau** : l'analyse récente présentée par l'IRD (POGR phase 3, Manuel de gestion du barrage de Manantali. Addendum concernant le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s ) repose sur les apports en eau observés sur le haut bassin du fleuve entre 1950 et 1999 inclus. Dans cette série figurent donc les décennies 80 et 90 qui ne pouvaient évidemment pas être prises en compte à la fin des années 70.
- **Dimensions de l'ouvrage** : l'analyse récente considère l'ouvrage dans ses dimensions définitives, avec un niveau de débordement fixé à la cote 208,05 m. Des valeurs différentes ont pu être envisagées pour ce niveau lors des études de dimensionnement de l'ouvrage.
- **Consignes de gestion** : durant les vingt dernières années, les objectifs assignés à l'ouvrage ont pu évoluer, en particulier concernant l'éventuelle pérennisation du soutien de crue.

Des simulations numériques ont été effectuées pour estimer l'influence relative de ces trois facteurs pour la réussite du soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s . Avec le logiciel Simulsen, les trois scénarios de gestion suivants ont été testés :

- **Scénario 1** : dans l'hypothèse d'un barrage rehaussé de 5 mètres (y compris vannes de surface et de fond) par rapport à l'ouvrage existant, et donc avec une capacité utile de 10,8 km<sup>3</sup> au lieu de 7,7 km<sup>3</sup>, on vise le soutien d'étiage et la production d'énergie, sans soutien de crue. Les caractéristiques de l'usine électrique étant conservées, les seules consignes envisagées sont :
  - A1 : Respect du niveau maximal de sécurité dans la retenue (215,50 m), pour éviter la submersion de digues
  - B1 : Respect du niveau minimal dans la retenue (187 m), pour ne pas endommager le parement
  - A3 : Respect d'un débit réservé de 10 m<sup>3</sup>/s à la sortie du barrage
  - A5 : Soutien d'étiage visant à satisfaire les besoins en eau de 200000 hectares de cultures dans la vallée. Ces besoins, évalués en additionnant un débit de 50 m<sup>3</sup>/s (compensation de pertes) aux prélèvements prévus dans les études Gibb pour une telle superficie, sont présentés dans le tableau 1.
  - A5 : Soutien d'étiage de 300 m<sup>3</sup>/s destiné à la navigation
  - A2 : Production d'une puissance de 90 Mw lorsque le niveau du lac se situe entre les cotes 204 et 209 m, et de la puissance maximale pour les cotes supérieures.

janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
102	198	237	239	215	191	181	311	374	344	242	132

tableau 1 : débits à fournir Bakel, correspondant aux prélèvements de 200000 ha de cultures irriguées suivant les hypothèses Gibb, augmentés de 50 m<sup>3</sup>/s pour la compensation de pertes.

- Scénario 2 : avec le barrage existant, on vise le soutien d'étiage et la production d'énergie, sans soutien de crue. Les consignes sont les mêmes que pour le scénario 1 : A1 (avec 210,50 m au lieu de 215,50 m) ; B1 ; A3 ; A5 ; A5 et A2.
- Scénario 3 : avec le barrage existant, on vise le soutien d'étiage, la production d'énergie et le soutien de crue. Les consignes sont donc les mêmes que pour le scénario 2, avec en plus, en dernier rang, la consigne suivante concernant le soutien de crue :
  - A4 : si la surface libre du lac se situe au dessus de la cote 192 au 20 août, alors le soutien de crue est déclenché, l'objectif visé à Bakel étant l'hydrogramme dit "ORSTOM1" (0 le 22/8 ; 2500 le 28/8 ; 2500 le 2/9 ; 0 le 16/10).

La comparaison des résultats obtenus avec les scénarios 1 et 2 permet d'analyser l'influence de la hauteur du barrage. L'influence des consignes de gestion (soutien de crue, ou non) peut être évaluée en comparant les résultats des scénarios 2 et 3. Enfin, l'examen des résultats obtenus avec les trois scénarios, sur la période 1950-1978 d'une part, et sur la période 1950-1999 d'autre part, permet de déterminer l'influence des apports en eau.

## RESULTATS

### INFLUENCE DE LA HAUTEUR DU BARRAGE ET DES CONSIGNES DE GESTION

Le nombre d'années présentant un débit inférieur à 240 m<sup>3</sup>/s (soit un déficit de 20% par rapport à l'objectif de 300 m<sup>3</sup>/s ) pendant plus de 20 jours a été envisagé comme critère d'évaluation concernant le soutien d'étiage. Selon ce critère, on constate ( tableau 2) qu'un barrage rehaussé de 5 mètres (scénario 1), comparé au barrage existant (scénario 2), aurait permis de limiter les défaillances de soutien d'étiage avec 6 ou 7% d'années déficitaires en moins. Le fait de soutenir la crue (scénario

3) entraîne une augmentation des défaillances de soutien d'étiage, avec 7 à 12% d'années déficitaires en plus qu'une gestion sans soutien de crue (scénario 2).

Les résultats concernant la production d'énergie sont très comparables à ceux du soutien d'étiage. Le soutien de crue, opéré suivant les règles envisagées dans le scénario 3, entraîne une baisse de production d'énergie moyenne comprise entre 4 et 7 % par rapport au scénario 2. En l'absence de soutien de crue, un barrage rehaussé de 5 mètres aurait donné entre 10 et 13% d'énergie en plus que le barrage actuel.

hypothèse	barrage réhaussé de 5 mètres sans soutien de crue		barrage existant sans soutien de crue		barrage existant avec soutien de crue	
	1950 -1978	1950 - 1999	1950 -1978	1950 - 1999	1950 -1978	1950 - 1999
période						
énergie produite en moyenne par année (Gwh)	1278	1045	1128	949	1083	879
un débit inférieur à 240 m <sup>3</sup> /s à Bakel pendant plus de 20 jours	0	26	7	32	14	44

tableau 2 :résultats obtenus pour la production d'énergie et le soutien d'étiage, avec les trois scénarios envisagés incluant tous le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s

#### INFLUENCE DES APPORTS EN EAU

Le tableau 2 montre que pour les trois scénarios, la fréquence des défaillances concernant le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s passe de N % à N % + (25 ou 30)% lorsqu'on compare les résultats obtenus sur les périodes 1950-1978 et 1950-1999. Cette augmentation des défaillances est environ trois fois plus importante que celle entraînée par le soutien de crue, bien que ce dernier soit assez favorisé par les options retenues (seulement 28% de crues trop faibles obtenues).

L'influence prépondérante des apports en eau (période prise en compte), comparée à celle de la hauteur du barrage ou des consignes de gestion, est illustrée sur les figures 1 à 3 :

- Entre 1950 et 1978, les débits obtenus à Bakel (figures 1 et 2) sont quasiment identiques pour les scénarios 1 et 2 sans soutien de crue, avec seules deux pénuries d'étiage apparaissant en 1974 et 1978 pour le scénario 2. Le soutien de crue (scénario 3) entraîne des pénuries d'étiage supplémentaires en 1973 et 1977, suite aux crues soutenues de 1972 et 1976.
- Pour les années postérieures à 1978 (fig. 2), les pénuries d'étiage sont très fréquentes même sans soutien de crue et avec un barrage rehaussé de 5 mètres (13 années sur 21). Avec le barrage existant, ces pénuries sont un peu plus fréquentes (14 années sur 21) et leur durée s'allonge légèrement. Le soutien de crue entraîne une fréquence accrue des pénuries d'étiage (18 années sur 21), ainsi qu'un allongement assez net de leur durée.
- Sur la période 1950-1978, la figure 3 montre une évolution du stock assez similaire dans la retenue pour les trois scénarios, avec bien sûr un décalage pour le scénario 1 (retenue rehaussée). Seuls les soutiens de crue très coûteux en volume (scénario 3) de 1972 et 1976 entraînent une évolution particulière aboutissant à un épuisement de la réserve utile lors des étiages suivants.
- La capacité utile supplémentaire envisagée dans la retenue par le scénario 1 est consommée de 1978 à 1980 pour satisfaire les besoins et par la suite, de 1980 à 1994, le stock, très faible, évolue de façon quasi identique pour les scénarios 1 et 2. Même sans soutien de crue, le stock disponible dans la retenue est épuisé avant la fin de chaque étiage de la période 1980-1991. Cela signifie que pendant 12 années de suite, les apports annuels en eau sont insuffisants pour assurer le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s .

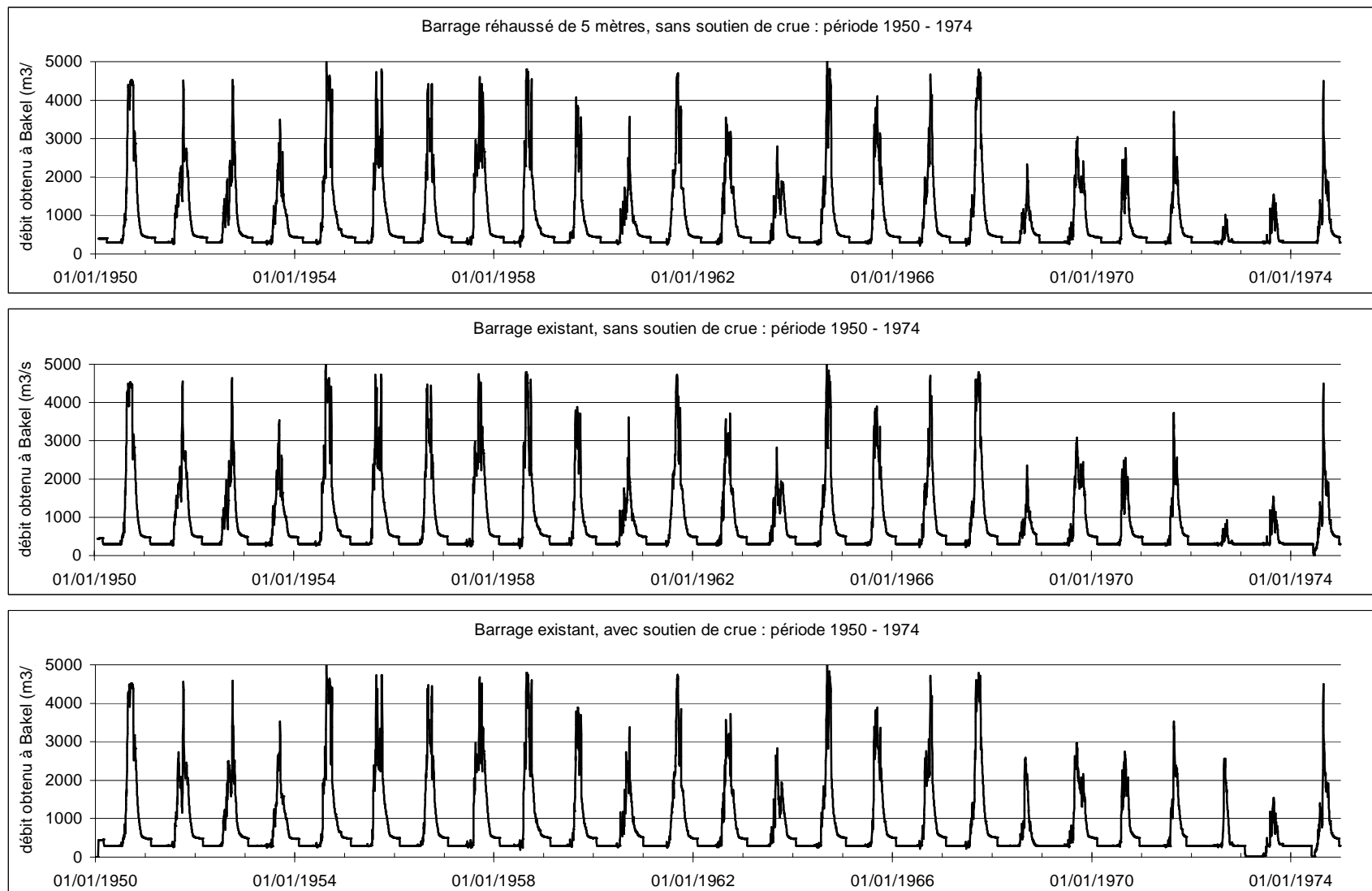


figure 1 : variations du débit obtenu à Bakel dans les trois cas de figure envisagés, entre 1950 et 1974

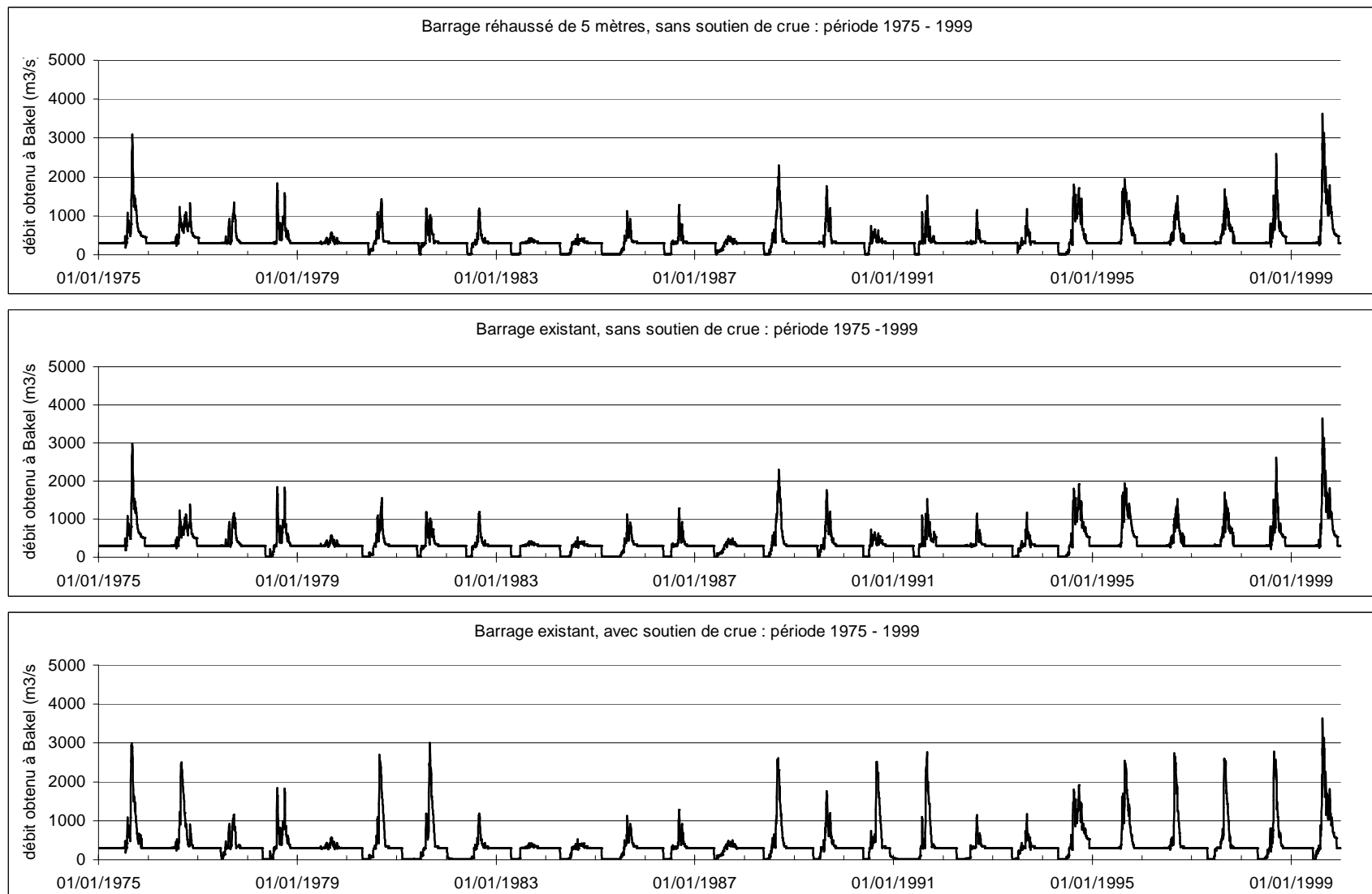


figure 2 : variations du débit obtenu à Bakel dans les trois cas de figure envisagés, entre 1975 et 1999

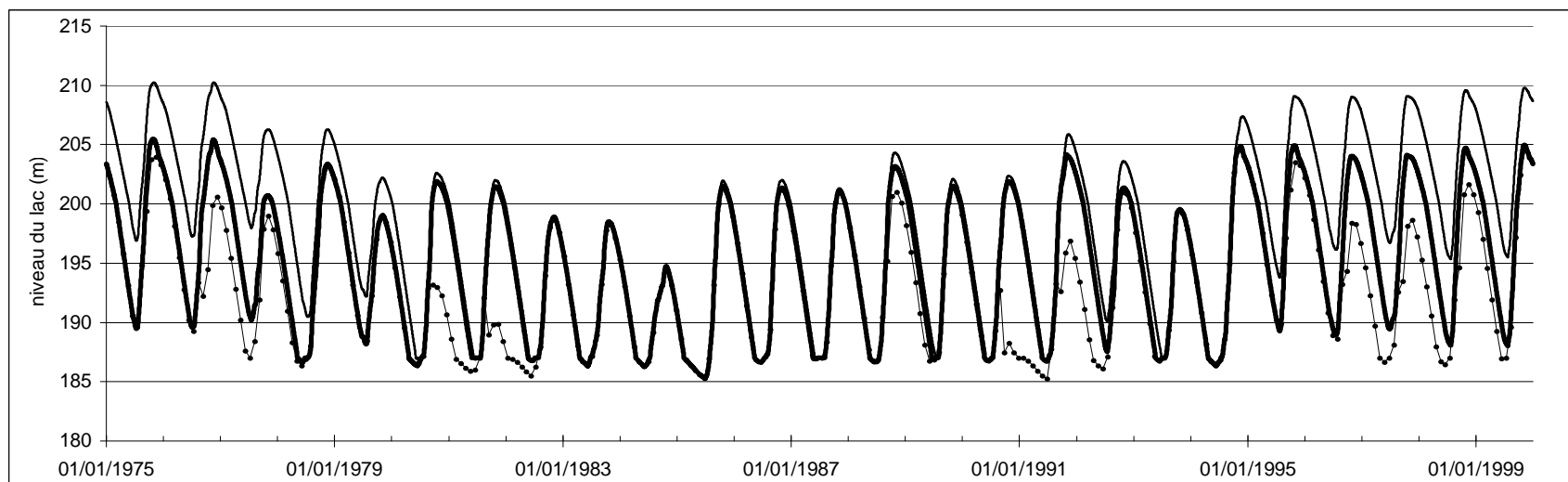
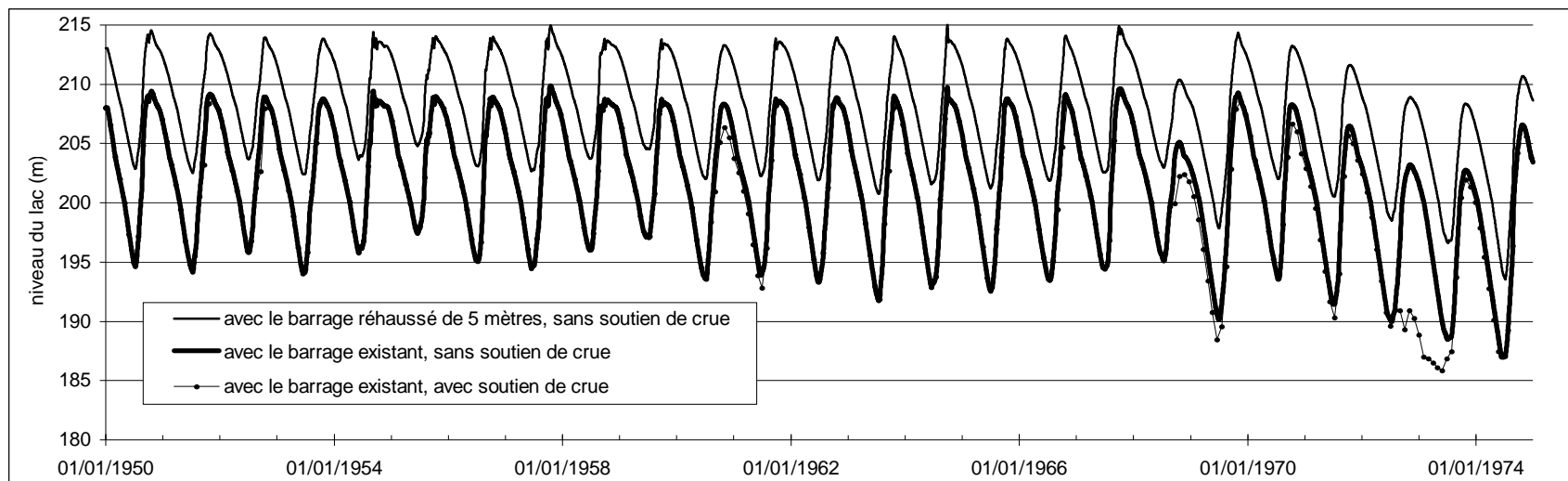


figure 3 : évolution du niveau dans la retenue, pour les trois cas de figure envisagé

# ANNEXE D

## 1. OBSERVATIONS DU LIT MAJEUR

Au cours des campagnes 97 à 99, les variations du plan d'eau ont été observées à dix stations installées dans des plaines d'inondation du lit majeur du fleuve. Ces dix stations sont sensées représenter tous les cas de mise en eau et de vidange existant dans le lit majeur.

Ces observations ont été critiquées, puis saisies dans la base de données.

L'observation de la mise en eau des plaines devait servir à mieux connaître le mode de mise en eau du lit majeur sur la zone comprise entre DAGANA et les défluent de l'amont de MATAM.

La technique de modélisation utilisée correspond à la théorie de la propagation des ondes de crue, seule méthodologie applicable dans le cas des grands fleuves à très faible pente et à lit majeur important. En effet cette méthode ne fait pas appel à la connaissance de la topographie « fine » du lit majeur, ce qui est indispensable lors de l'utilisation des modèles hydrodynamiques.

Les calages ont été réalisés à l'aide des observations de hauteurs dans les plaines et les stations principales du lit du fleuve les plus proches. La carte n°E.1 montre l'implantation des plaines et les stations correspondantes du fleuve.

Un modèle de propagation a été élaboré et calé pour chaque plaine, les résultats des calages se trouvent en annexe F.

La qualité des simulations réalisées nous conforte dans la pensée que les écoulements ont des processus quasiment les mêmes pour le remplissage et la vidange de chaque plaine, quel que soit leur mode de liaison avec le fleuve.

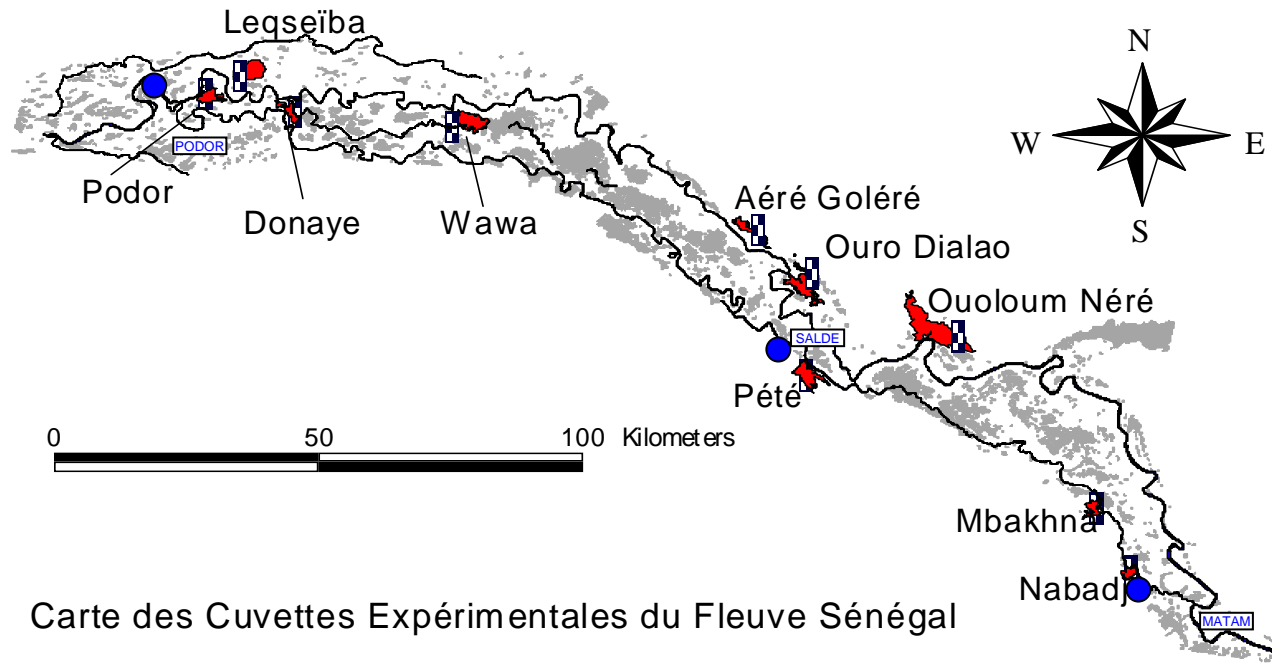
De cela il résulte que l'inondation annuelle du lit majeur est bien réglé par le limnigramme amorti correspondant. D'où l'hypothèse qui nous paraît solide de lier l'inondation du lit majeur à la crue à PODOR, station représentative de l'inondation du lit majeur.

On peut supposer que la répartition des surfaces inondées sur le bief étudié, sensiblement MATAM - DAGANA, est liée à la répartition statistique des max. de crue à PODOR, ceux-ci étant très représentatifs de l'hydrogramme annuel à cette station, phénomène particulier mis à part, comme l'hydrogramme 1999 qui a été tronqué par les retenues effectuées dans le barrage de MANANTALI.

Il s'agit là d'un mode de représentation de la crue qui demande à être vérifié, particulièrement en interprétant l'imagerie satellitaire qui est présentée en annexe H.



Carte n°E.1



Carte des Cuvettes Expérimentales du Fleuve Sénégal

## 2. ETUDE STATISTIQUE DES MAXIMA DE CRUES A PODOR

Il existe un échantillon de crue maximales observées de 1904 à 1986, les crues naturelles suivantes n'ayant pas été observées, elles ont été reconstituées au moyen du logiciel SIMULSEN.

L'analyse statistique est donc réalisée avec l'échantillon de crues naturelles, les valeurs sont exprimées dans le système NG. La loi d'ajustement est une loi tronquée à cinq paramètres, une seule troncature – deux paramètres de forme et deux paramètres d'échelle.

La figure E.1 présente les résultats de cette analyse sous forme graphique avec graduation de GAUSS.

Le tableau E.1 contient les valeurs de l'échantillon, le tableau E.2 les résultats de l'analyse. On constate que les crues observées de 1997 à 1999 correspondent aux fréquences suivantes :

1997 : 0.84      1998 : 0.65      1999 : 0.43

Les crues 1997 et 98 sont les plus intéressantes, on peut en tirer, provisoirement, les enseignements suivants :

- La crue 1997 a correspondu à la crue « GIBB » ou « ORSTOM1 », sensiblement 50 000 ha ont été mis en cultures de décrue, mais cela n'a pas été satisfaisant sur le plan de la répartition des zones inondées. La plus grande partie de l'inondation s'est cantonnée dans l'ILE A MORPHIL. La rive droite a été très peu inondée et si l'extension du maximum de surface est assez important, l'inondation a été de très courte durée.
- La crue 1998 a donné satisfaction aux populations de la vallée, elle correspond à une période de retour de deux années sur trois. Cette crue a été très régulière, elle correspond bien à la forme en « cloche unique » à PODOR. Les cultures de décrue ont dépassé largement les 50 000 ha demandés dans les TDR.

En conclusion, il apparaît que la crue dite « 50 000 ha » ne correspond pas a une solution possible, l'inondation de la rive droite se situe au dessus de celle de la rive gauche, de même pour l'amont de la vallée (en amont de KAEDI).

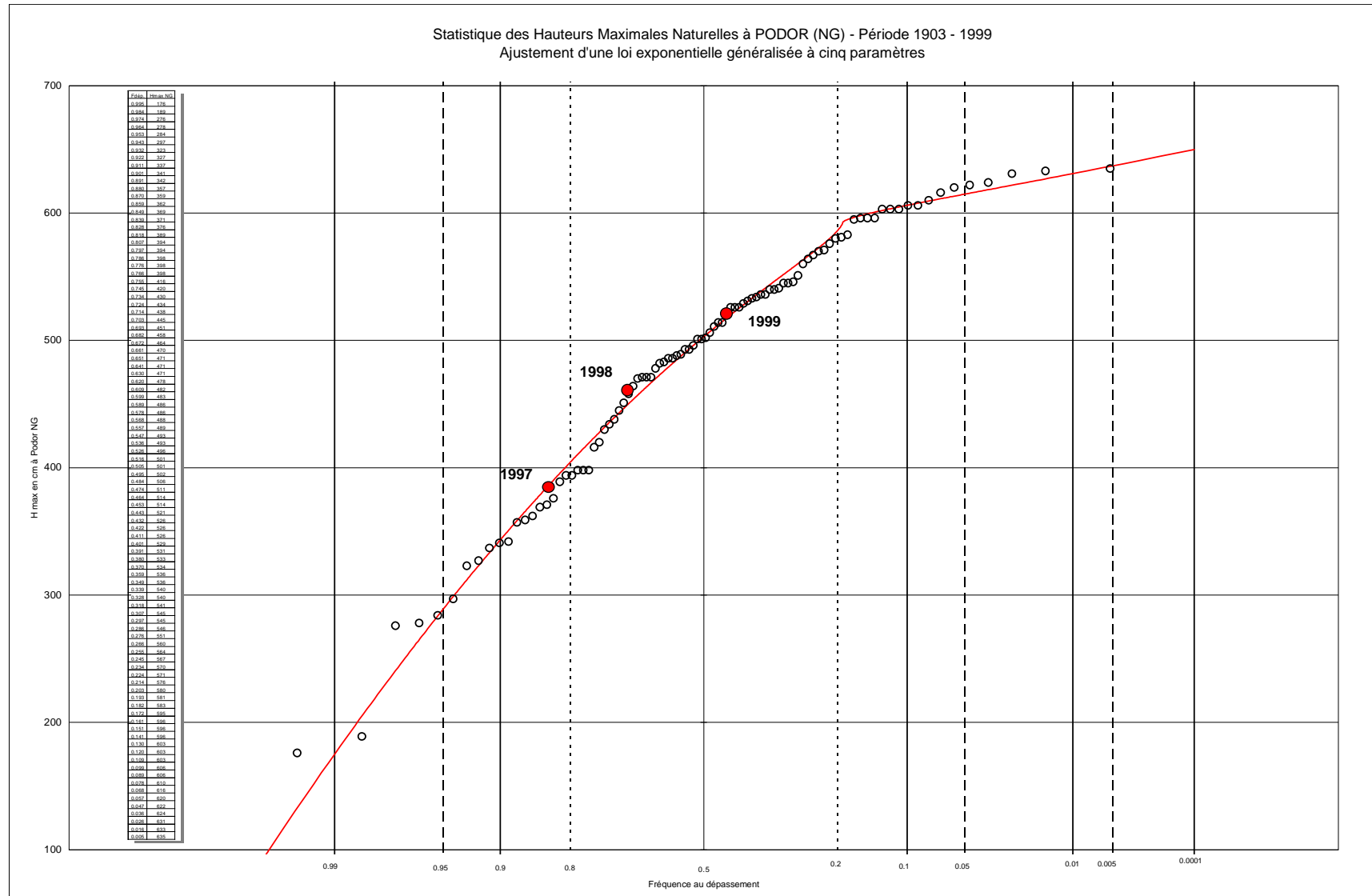
La crue 98 se situe au-delà d'une crue optimisée « 50 000 ha », il faut donc s'orienter vers une crue de même forme, « cloche unique », qui correspond à une période de retour 7 fois sur 10, soit une cote de 450 cm en NG.

Hauteurs maximales classées à PODOR (cm – NG)  
 Résultat de l'ajustement d'un loi exponentielle généralisée à 5 paramètres

Fdép.	Hmax NG	Fdép.	H cm NG
0.995	176	0.9950	130
0.984	189	0.9900	175
0.974	276	0.9500	289
0.964	278	0.9000	343
0.953	284	0.8000	404
0.943	297	0.5000	503
0.932	323	0.2000	586
0.922	327	0.1000	606
0.911	337	0.0500	615
0.901	341	0.0100	631
0.891	342	0.0050	637
0.880	357	0.0010	650
0.870	359	0.0001	666
0.859	362		
0.849	369		
0.839	371		
0.828	376		
0.818	389		
0.807	394		
0.797	394		
0.786	398		
0.776	398		
0.766	398		
0.755	416		
0.745	420		
0.734	430		
0.724	434		
0.714	438		
0.703	445		
0.693	451		
0.682	458		
0.672	464		
0.661	470		
0.651	471		
0.641	471		
0.630	471		
0.620	478		
0.609	482		
0.599	483		
0.589	486		
0.578	486		
0.568	488		
0.557	489		
0.547	493		
0.536	493		
0.526	496		
0.516	501		
0.505	501		
0.495	502		
0.484	506		
0.474	511		
0.464	514		
0.453	514		
0.443	521		
0.432	526		
0.422	526		
0.411	526		
0.401	529		
0.391	531		
0.380	533		
0.370	534		
0.359	536		
0.349	536		
0.339	540		
0.328	540		
0.318	541		
0.307	545		
0.297	545		
0.286	546		
0.276	551		
0.266	560		
0.255	564		
0.245	567		
0.234	570		
0.224	571		
0.214	576		
0.203	580		
0.193	581		
0.182	583		
0.172	595		
0.161	596		
0.151	596		
0.141	596		
0.130	603		
0.120	603		
0.109	603		
0.099	606		
0.089	606		
0.078	610		
0.068	616		
0.057	620		
0.047	622		
0.036	624		
0.026	631		
0.016	633		
0.005	635		

Tableau E.1 et E.2

Figure E.1



### 3. **MODELE DE PROPAGATION DU LIT MINEUR**

Nous disposons des observations limnimétriques aux stations principales de la vallée du fleuve Sénégal de BAKEL à PODOR

Les caractéristiques des six modèles élaborés sont présentés dans les pages suivantes :

- BAKEL - MATAM
- BAKEL - SALDE
- BAKEL – PODOR
- MATAM – SALDE
- MATAM – PODOR
- SALDE – PODOR

Ces modèles fonctionnent en mode directe amont-aval ou en mode inverse aval-amont. Ce dernier mode est utilisé pour transférer la crue de PODOR à BAKEL.

Les caractéristiques des modèles sont consignées en annexe G.

Le limnigramme transféré à BAKEL correspond à un limnigramme « amorti », par analogie, l'amortissement est obtenu en prenant une moyenne mobile dont la période optimisée est de 30 à 33 jours. La valeur du jour « j » est remplacée dans le calage du modèle par la moyenne des valeurs de « j-15 » à « j+15 ». pour les débits, cela n'entraîne pas de conséquence majeure, la continuité des valeurs du gradient en régime amorti correspond bien à la moyenne des gradients pour la même période de 31 jours.

#### 4. CRUE « OPTIMISEE » PROVISOIRE

La crue retenue limitée au maximum à la cote 450 est représentée à la page suivante (figure E.2). Cette crue est obtenue en évaluant la crue affine de la crue 1998 par réduction du maximum de 460 NG à 450 NG.

Le modèle de propagation conduit à une valeur maximale correspondante de 818 à l'échelle de BAKEL. La comparaison des amortissements entre valeurs calculées et valeurs observées donne une correction de + 6 cm sur le maximum.

Le limnigramme optimisé correspond à une crue atteignant la cote 824 à l'échelle de BAKEL durant 6 jours, elle est affine de la crue observée, amortie artificiellement par effet de moyenne mobile de j-15 à j+15.

La date d'apparition du maximum est ramenée du 8/09 au 28/08, date la plus probable d'intervention des débits maxima des affluents non contrôlés.

Cette crue correspond à une surface inondée globale légèrement inférieure à celle de 98, mais très supérieure à celle de 1997.

Les limnigrammes efficaces de 97 et 98 sont reportés sur la figure E.2 .

Le limnigramme optimisé passe par des points caractéristiques dont les cotes sont les suivantes (exprimées en cm à l'échelle de BAKEL – échelle de crue – zéro = 11.16 m NG)

30 le 19 juillet 824 le 29 août 824 le 4 septembre 30 le 25 octobre

Le tableau ci-dessous contient le valeurs des maxima de PODOR en fonction de la fréquence ou de l'année, ainsi que les valeurs atteintes par la crue rétro propagée à BAKEL pour les fréquence ou les années correspondantes. Une correction de maximum a été appliquée jusqu'à la cote 500 à l'échelle de PODOR et + 10 cm au-delà.

Tableau E.3

Fdép	Fn. Dép.	année	19-juil	29-août	02-sept	25-oct	Aire inondation	Aire cultivée
0.838	0.162	1997	30	695	695	30	92000	46000
0.800	0.200		30	731	731	30	101621	50810
0.750	0.250		30	778	778	30	117141	58571
0.700	0.300		30	814	814	30	131297	65648
0.652	0.348	1998	30	847	847	30	146000	73000
0.600	0.400		30	878	878	30	161318	80659
0.500	0.500		30	934	934	30	192685	96342
0.429	0.571	1999	30	977	977	30	220000	110000
0.400	0.600		30	996	996	30	232963	116482

Les limnigrammes correspondants sont portés sur la figure E.2. Les dates des points caractéristiques restent les mêmes, seuls les maxima changent en fonction de la fréquence :

Tableau E.4

Fdép	Fn. Dép.	année	19-juil	29-août	02-sept	25-oct
0.838	0.162	1997	30	695	695	30
0.800	0.200		30	731	731	30
0.750	0.250		30	778	778	30
0.700	0.300		30	814	814	30
0.652	0.348	1998	30	847	847	30
0.600	0.400		30	878	878	30
0.500	0.500		30	934	934	30
0.429	0.571	1999	30	977	977	30
0.400	0.600		30	996	996	30

La figure E3 montre les variations de la surface totale inondée en fonction du maximum du limnigramme amorti à BAKEL. La valeur utilisée pour l'année 2000 a été estimée à partir des images landsat de la vallée. Une valeur définitive sera publiée lorsque les analyses seront terminées.

L'annexe H contient le développement du mode d'interprétation utilisé pour évaluer les surfaces inondées en 1997 et 1998.

Les surfaces des culture de décrues correspondent sensiblement à la moitié du maximum de l'inondation pour la zone où ce mode de culture traditionnelle est pratiqué – Voir tableau E3.

Figure E2

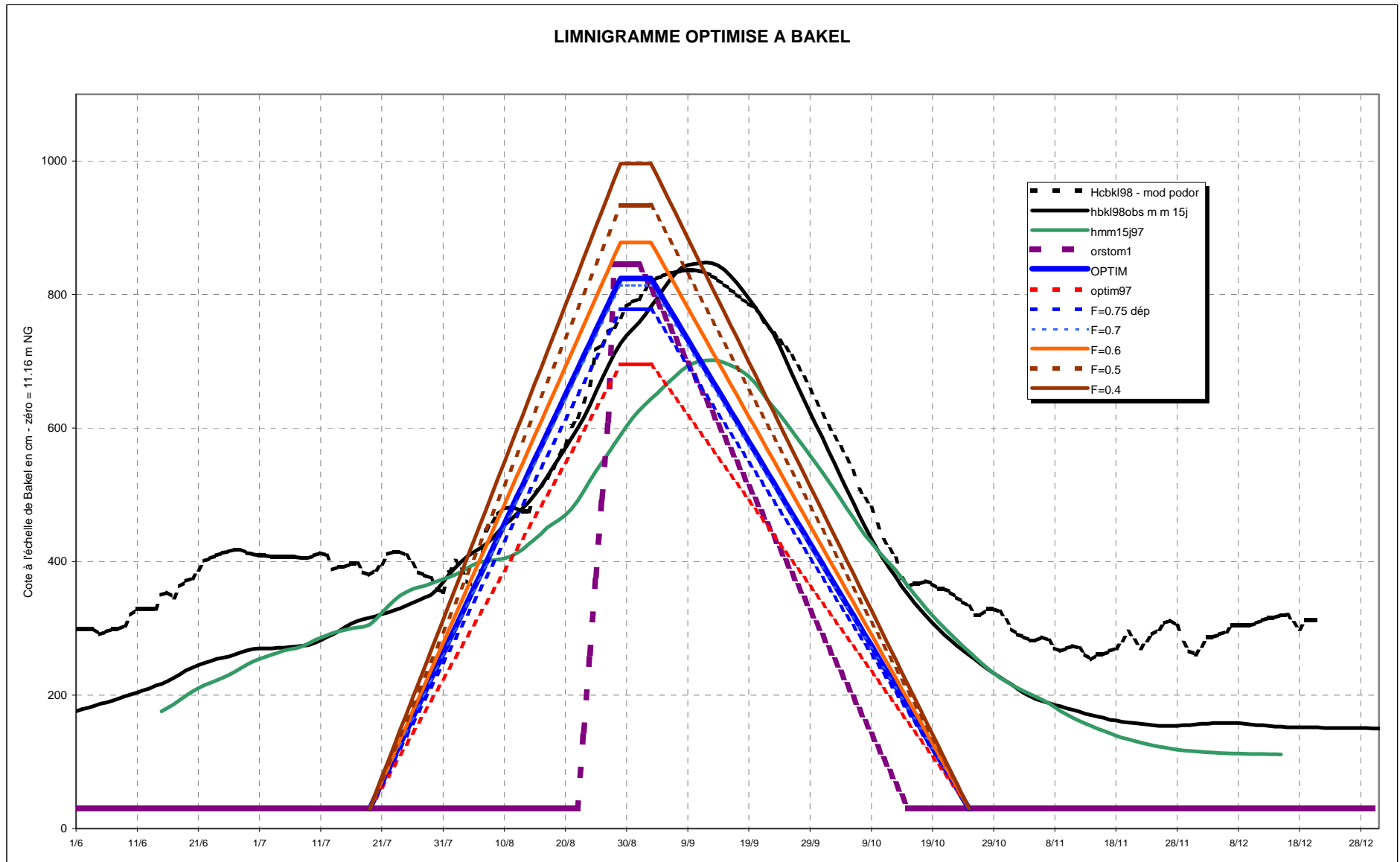
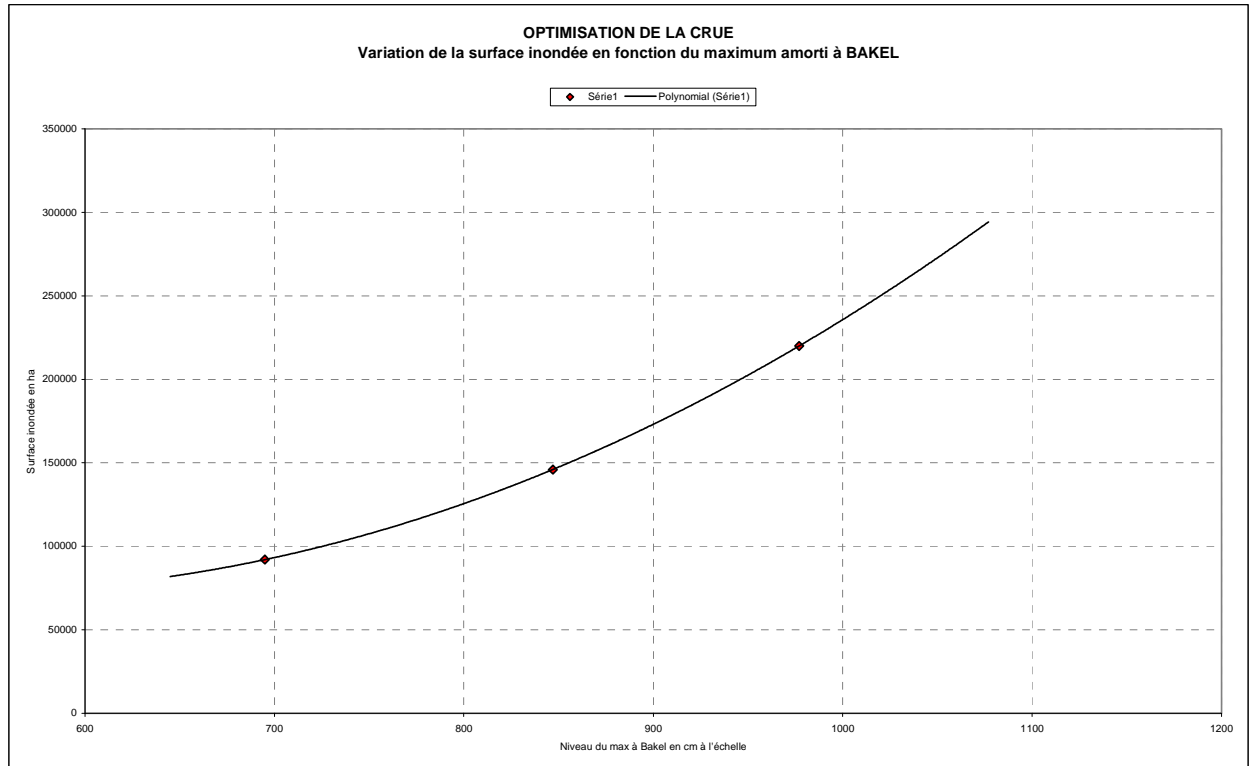


Figure E3





# ANNEXE E

## ETUDE STATISTIQUE DES COTES MAXIMALES DE CRUES A LA STATION DE PODOR, SUR LE FLEUVE SENEGAL

### OBJECTIF ET RESUME

L'objectif de cette note est d'établir la fonction de répartition des cotes maximales annuelles du fleuve Sénégal à l'échelle de Podor, pour le régime naturel de la période 1904-1999. Les cotes maximales annuelles observées en régime artificiel depuis 1987 peuvent alors être évaluées d'un point de vue statistique. On constate ainsi que les valeurs 370, 429, 504 et 565 observées de 1996 à 1999, correspondent respectivement à des fréquences de non dépassement de 0.074, 0.180, 0.321 et 0.568 en régime naturel. Parmi les crues observées depuis 1987 à Podor, seule celle de 1999 présente une cote maximale supérieure à la médiane du régime naturel.

Résultats annexes :

- pour des cotes moyennes sur 15 jours supérieures à 10 m à l'échelle de Bakel, il est constaté une tendance du logiciel COREDIAM à sous-estimer les cotes obtenues dans la vallée. Le calage de ce modèle devra donc être précisé pour les fortes crues.
- La cote maximale annuelle  $H_p$  du Sénégal à l'échelle de Podor est reliée au maximum annuel  $H_b$  de cote moyenne sur 33 jours à l'échelle de Bakel par :

$$H_p = - 0,000242 H_b^2 + 0,904 H_b - 70,5$$

$$\text{Coefficient de corrélation : } R^2 = 0,989$$

$$\text{Ecart type résiduel} = 11 \text{ cm}$$

### DONNEES, METHODE

Hormis la crue de 1913, on dispose de toutes les valeurs de cotes maximales annuelles de crue observées à l'échelle de Podor en régime naturel, de 1904 à 1986.

A partir de 1987, le régime hydrologique du fleuve Sénégal est fortement influencé par le barrage de Manantali, ainsi que par celui de Diama. A Podor, l'influence de Diama se fait essentiellement sentir en basses eaux, et devient assez insignifiante en crue. Les niveaux naturels de crue atteints à Podor entre 1987 et 1999 doivent être reconstitués par une simulation numérique annulant l'effet des barrages. La méthode consiste dans un premier temps à reconstituer le régime naturel du Sénégal à Bakel, en débit puis en cote. Les cotes maximales de crue à Podor sont ensuite calculées à partir des limnigrammes naturels de Bakel.

### RECONSTITUTION DES LIMNIGRAMMES NATURELS A BAKEL

A partir de 1987, les débits naturels du Sénégal à Bakel sont intégralement reconstitués de deux façons différentes.

- Première méthode : par modèle de propagation de crue, à partir des débits naturels de Manantali eux-mêmes reconstitués avant 1967 et après 1983, à partir des stations de Makana et Daka Saidou, par modèle de propagation), Oualia et Goubassy.
- Deuxième méthode : par bilan de volume écoulé, à partir des débits observés à Bakel et à la sortie du barrage, et du débit naturel à Manantali. On adopte un temps de propagation constant de 3 jours entre Manantali et Bakel :

$$Q_{\text{Bakel,Naturel}}(j) = Q_{\text{Bakel,Observé}}(j) + Q_{\text{Manantali,Naturel}}(j-3) - Q_{\text{Manantali,Observé}}(j-3)$$

Les débits reconstitués par la première méthode sont conservés pour des valeurs inférieures à 800 m<sup>3</sup>/s . Le reste du temps, on adopte les valeurs obtenues avec la seconde méthode.

Les débits obtenus sont ensuite traduits en cote à partir de l'étalonnage, à l'aide d'une procédure de calcul itératif rendue nécessaire par le caractère non bi-univoque de la relation hauteur-débit à la station de Bakel.

#### RECONSTITUTION DES COTES MAXIMALES DE CRUE A PODOR

Le modèle Corediam permet de calculer la cote à Podor en fonction des niveaux maintenus à Diama, et des cotes moyennes sur 15 jours observées à Bakel. Il permet (POGR phase 2. Synthèse. Octobre 1999. Annexe 3.2) de reconstituer de façon assez précise les cotes observées à Podor de 1986 à 1998. Cependant, pour des cotes moyennes sur 15 jours supérieures à 10 m à l'échelle de Bakel, il tend à sous-estimer les cotes obtenues à Podor. Ceci a pu être constaté lors de la crue de 1999, avec une cote maximale observée de 565 cm à l'échelle, au lieu des 543 cm prévus par COREDIAM. Cette tendance se confirme lorsqu'on applique le modèle en régime naturel sur la période 1903-1986, qui présente des cotes moyennes de crue sur 15 jours fréquemment supérieures à 10 m à Bakel.

Compte tenu de ce qui précède, une modélisation plus satisfaisante que COREDIAM a été établie pour relier les cotes maximales de crue aux limnigrammes de Bakel. Il s'agit d'établir une régression (polynôme de degré 2) entre les valeurs maximales annuelles de cote à Podor, et de cote moyenne sur N jours à Bakel. La valeur N donnant la meilleure régression est alors conservée. Du fait de la faible influence de Diama sur la pointe de crue à Podor, la régression a été établie sur l'ensemble des cotes observées à Bakel et Podor de 1904 à 1999. Elle a ensuite été utilisée pour reconstituer les niveaux maximaux de crue naturelle à Podor de 1987 à 1999.

#### RESULTATS

La meilleure relation obtenue entre le limnigramme à Bakel et la pointe de crue à Podor s'établit ainsi (figures 1 et 2), sur la période 1904-1999 :

$$H_p = - 0,000242 H_b^2 + 0,904 H_b - 70,5$$

$$\text{Coefficient de corrélation : } R^2 = 0,989$$

$$\text{Ecart type résiduel} = 11 \text{ cm}$$

$H_p$  : cote maximale annuelle à l'échelle de Podor (zéro de l'échelle = - 44 cm)

$H_b$  : maximum annuel de cote moyenne sur 33 jours à l'échelle de Bakel.

Cette relation a été utilisée pour reconstituer les cotes maximales de crue à Podor entre 1987 et 1999, à partir des limnigrammes naturels préalablement reconstitués à Bakel. Du fait de la gestion opérée à Manantali depuis 1987 (remplissage de retenue, soutien d'étiage, laminage de forte crue), les pointes de crue observées depuis 1987 sont chaque année inférieures aux pointes qui auraient pu être observés en régime naturel (figure 3).

Les pointes de crue naturelles reconstituées de 1987 à 1999, ajoutées aux pointes observés de 1904 à 1986, permettent de constituer un échantillon de 95 valeurs (année 1913 non observée). La fonction de répartition de cet échantillon est obtenue après classement de ce dernier, en affectant une fréquence de  $(i - 0,5) / 95$  à la valeur de rang  $i$ . Elle est représentée sur la figure 4, ainsi que sur la figure 5 où on a en outre reportées les valeurs observées en régime artificiel depuis 1987.

Enfin, le tableau 1 indique pour chaque crue de la période 1987-1999, la fréquence des cotes maximales reconstituées en régime naturel et observées en régime artificiel.

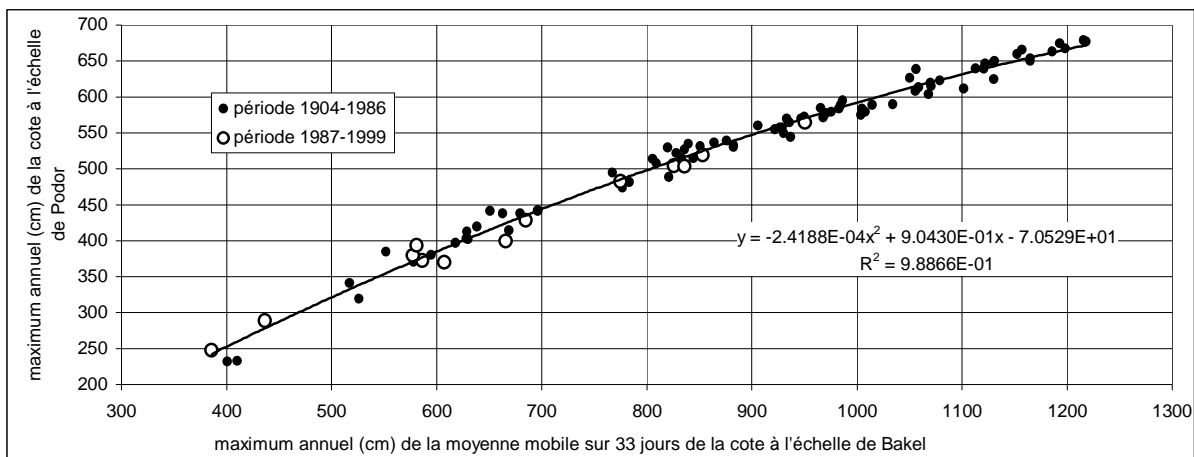


figure 1 : relation entre le maximum annuel de cote sur 33 jours observé à l'échelle de Bakel, et la cote maximale annuelle observée à l'échelle de Podor, sur la période 1904-1999.

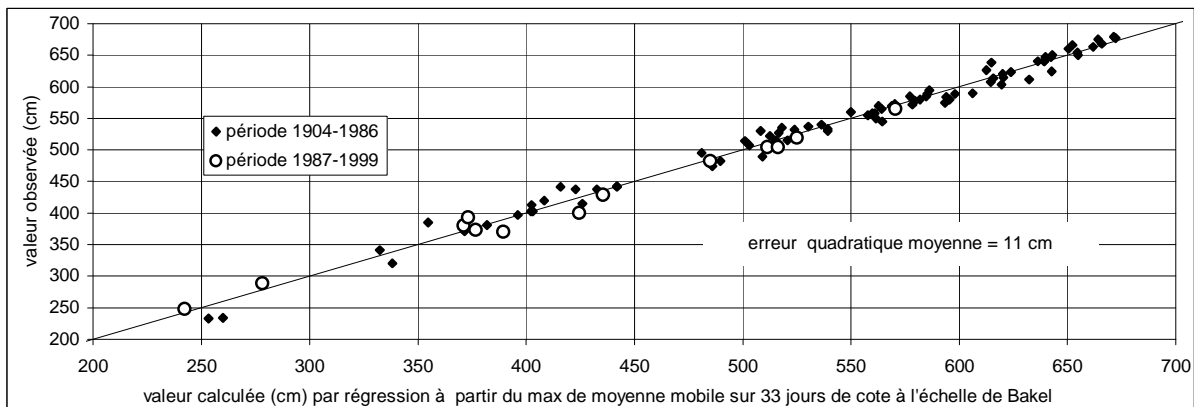


figure 2 : Cote maximale annuelle du Sénégal à Podor sur la période 1904-1999. Relation entre valeurs observées et valeurs reconstituées par régression à partir des maximums annuels de cote moyenne sur 33 jours à Bakel

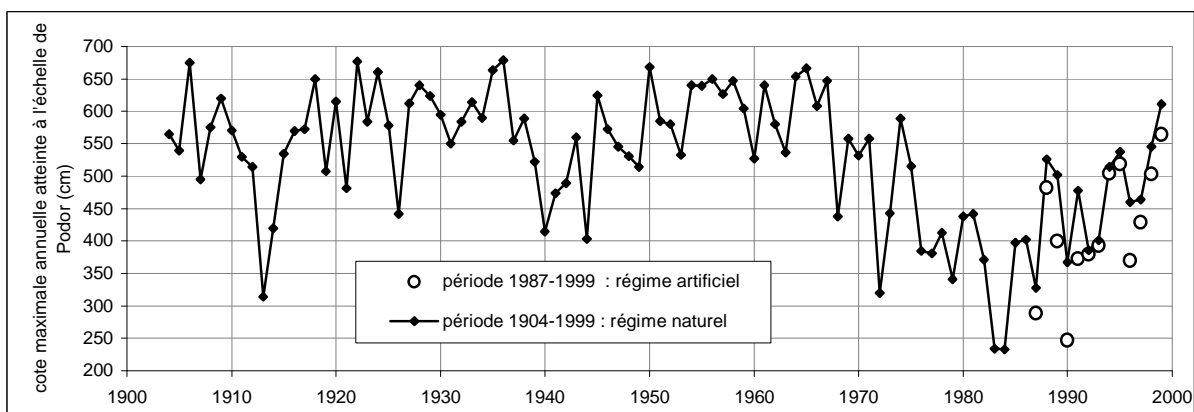


figure 3 : évolution de la cote maximale annuelle de crue à l'échelle de Podor entre 1904 et 1999, en régime naturel et artificiel observé.

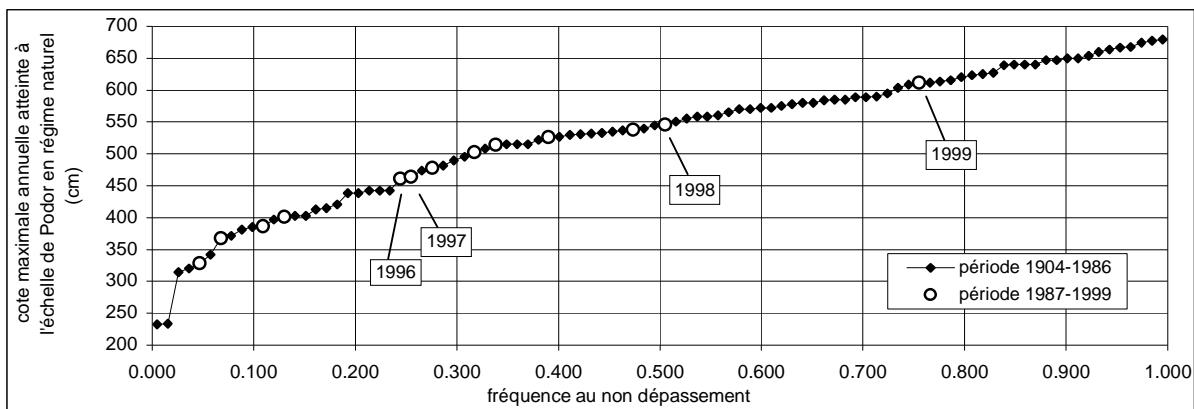


figure 4 : fonction de répartition du niveau maximal de crue atteint en régime naturel à l'échelle de Podor, entre 1904 et 1999

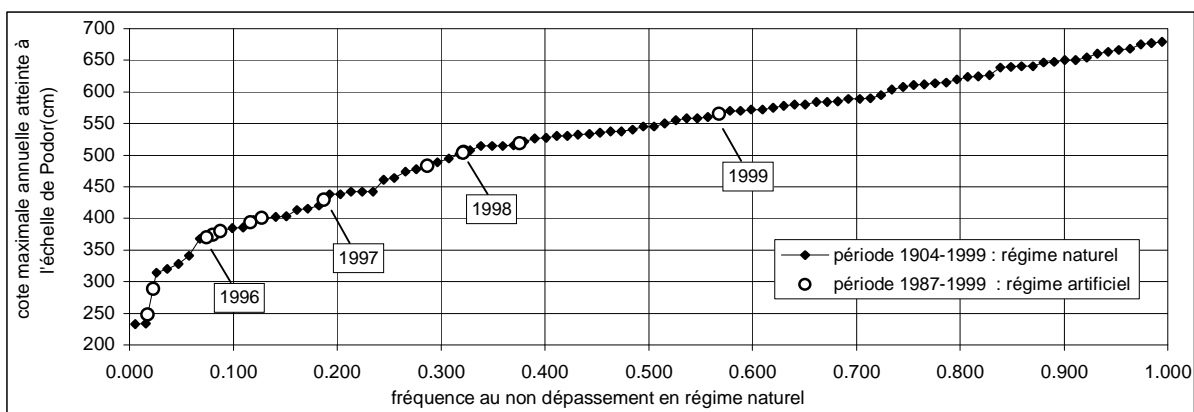


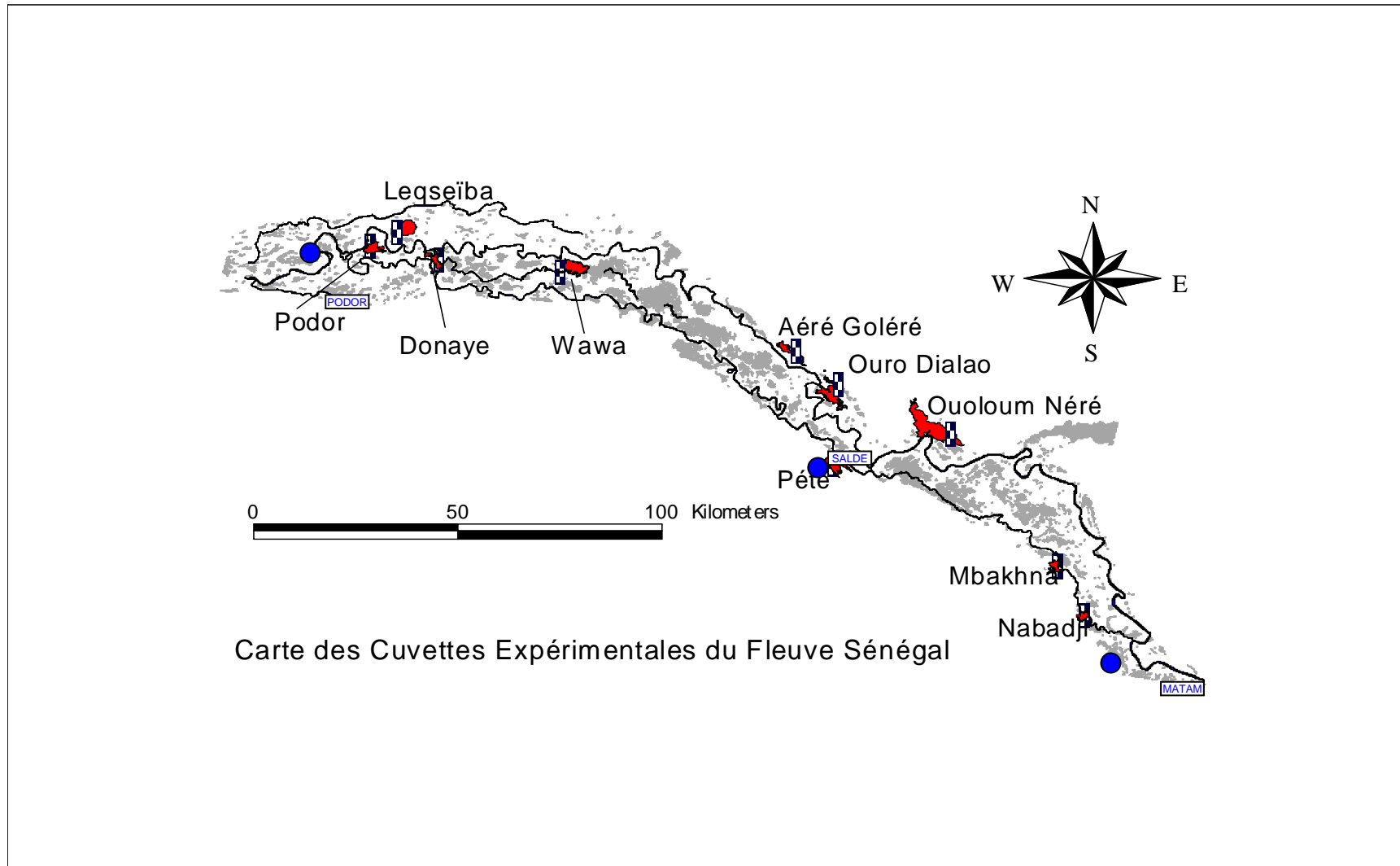
figure 5 : position des cotes maximales annuelles de crue observées en régime artificiel entre 1987 et 1999 à l'échelle de Podor, sur la fonction de répartition relative au régime naturel

année	régime naturel		régime artificiel observé	
	cote max imale annuelle à l'échelle (cm)	fréquence au non dépassement	cote maximale annuelle à l'échelle (cm)	fréquence au non dépassement , par rapport au régime naturel
1987	328	0.047	289	0.023
1988	526	0.391	482	0.287
1989	502	0.318	400	0.128
1990	367	0.068	248	0.017
1991	478	0.276	373	0.080
1992	386	0.109	380	0.087
1993	401	0.130	393	0.116
1994	514	0.339	504	0.322
1995	537	0.474	519	0.376
1996	460	0.245	370	0.074
1997	464	0.255	429	0.188
1998	545	0.505	504	0.321
1999	611	0.755	565	0.568

tableau 1 : Cotes maximales annuelles du Sénégal à l'échelle de Podor sur la période 1987-1999, en régime artificiel (observé) et naturel (reconstitué). Fréquence des valeurs par rapport au régime naturel.

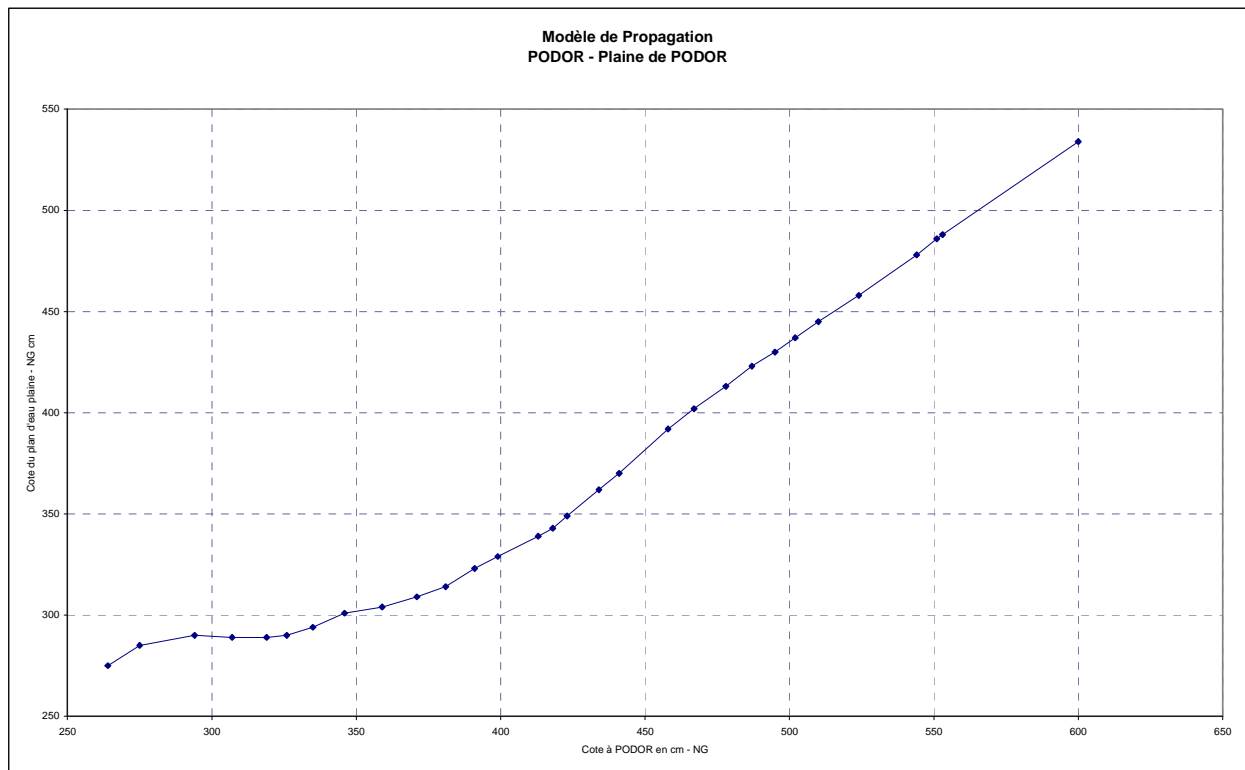
# ANNEXE F

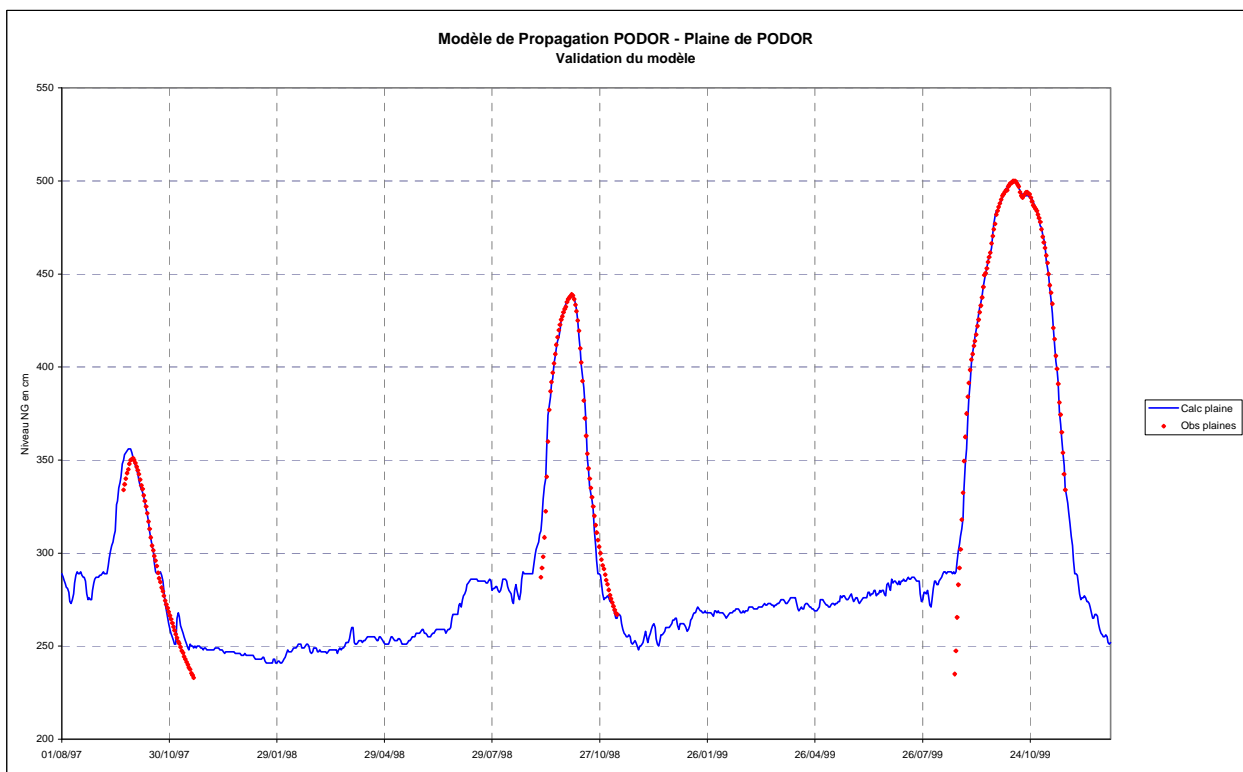
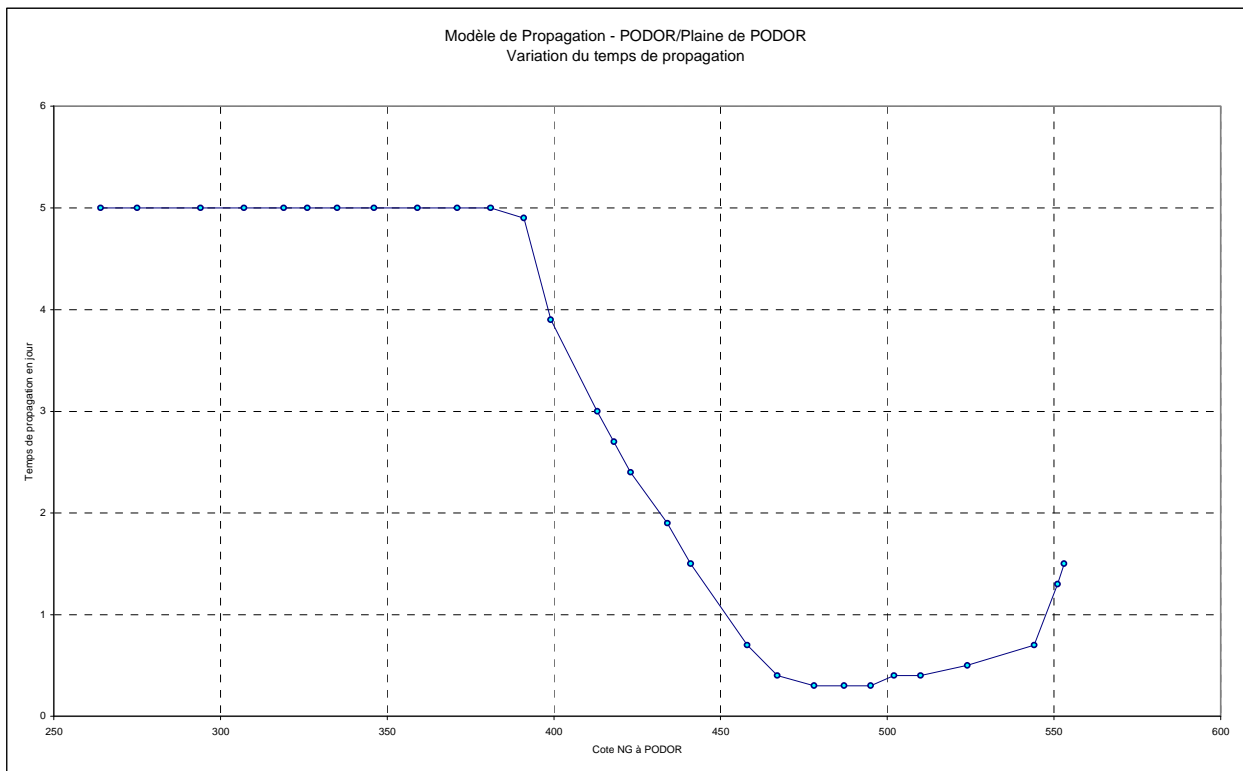
Carte n°E.1



**MODELE PODOR – PLAINE DE PODOR**  
(Hauteurs exprimées dans le système NG)

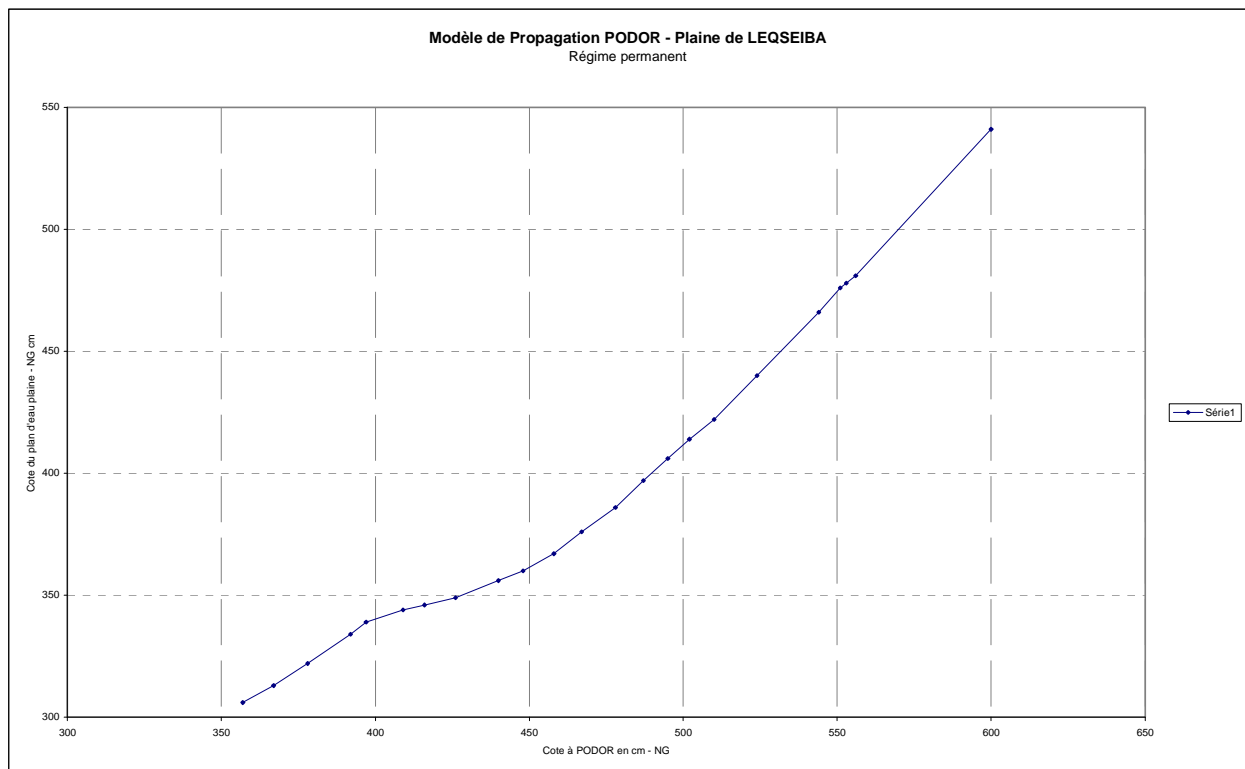
T(jour)	Hpodor (cm)	Hplaine (cm)
5.0	0	0
5.0	264	275
5.0	275	285
5.0	294	290
5.0	307	289
5.0	319	289
5.0	326	290
5.0	335	294
5.0	346	301
5.0	359	304
5.0	371	309
5.0	381	314
4.9	391	323
3.9	399	329
3.0	413	339
2.7	418	343
2.4	423	349
1.9	434	362
1.5	441	370
0.7	458	392
0.4	467	402
0.3	478	413
0.3	487	423
0.3	495	430
0.4	502	437
0.4	510	445
0.5	524	458
0.7	544	478
1.3	551	486
1.5	553	488
2.0	600	534



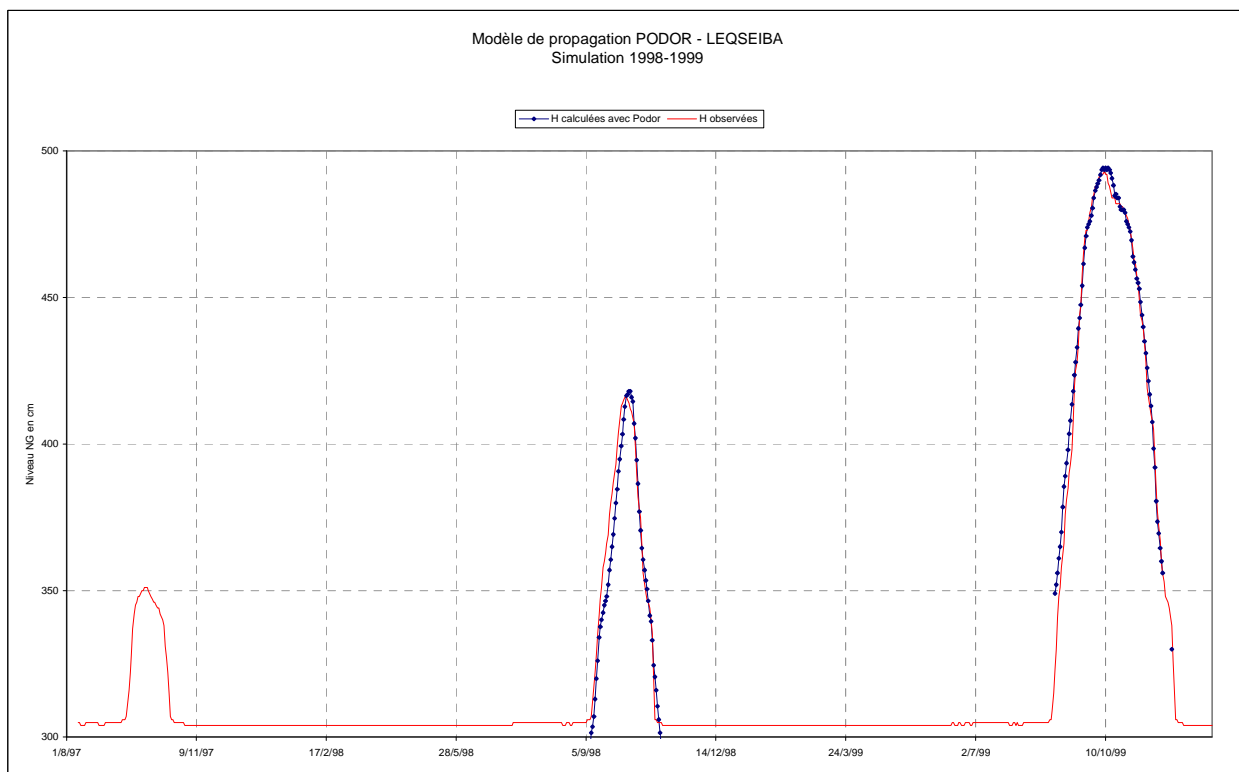
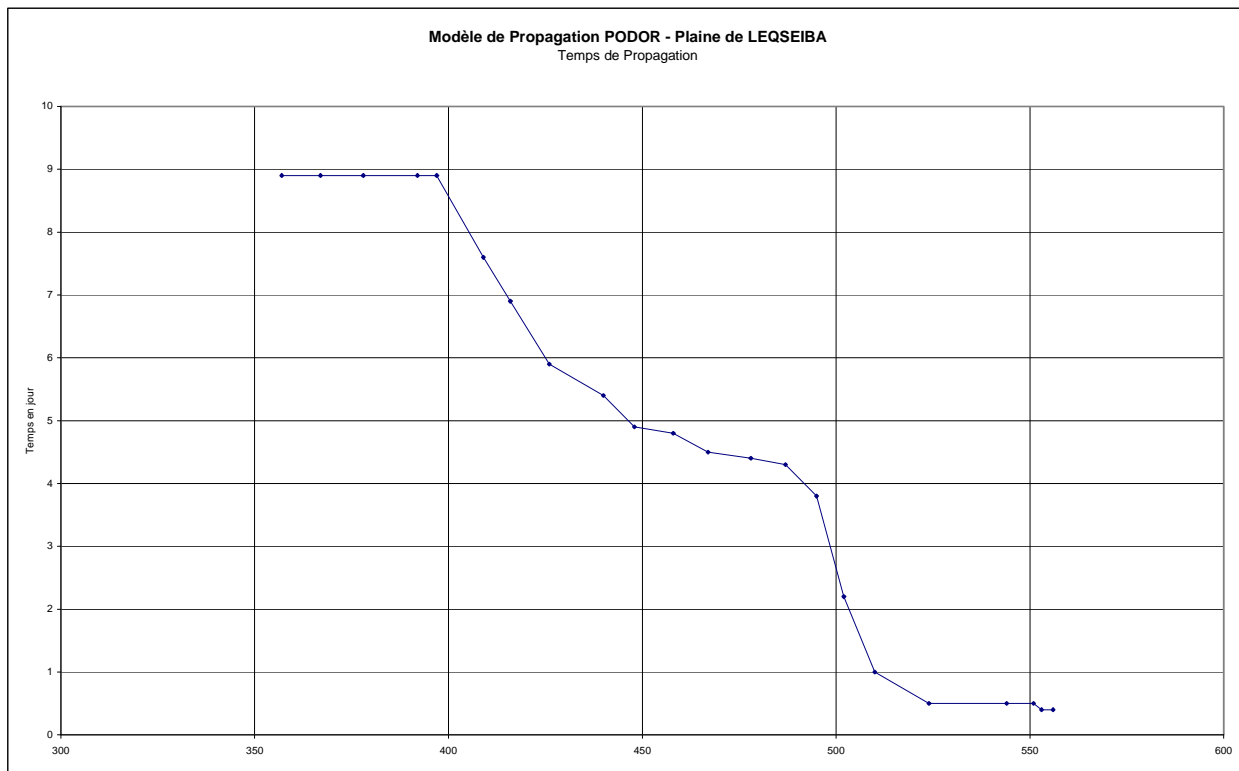


**MODELE PODOR – PLAINE DE LEQSEIBA**  
(Hauteurs exprimées dans le système NG)

Temps (j)	Hpod	Hleqseiba
9.0	0	300
8.9	357	306
8.9	367	313
8.9	378	322
8.9	392	334
8.9	397	339
7.6	409	344
6.9	416	346
5.9	426	349
5.4	440	356
4.9	448	360
4.8	458	367
4.5	467	376
4.4	478	386
4.3	487	397
3.8	495	406
2.2	502	414
1.0	510	422
0.5	524	440
0.5	544	466
0.5	551	476
0.4	553	478
0.4	556	481
0.3	600	541



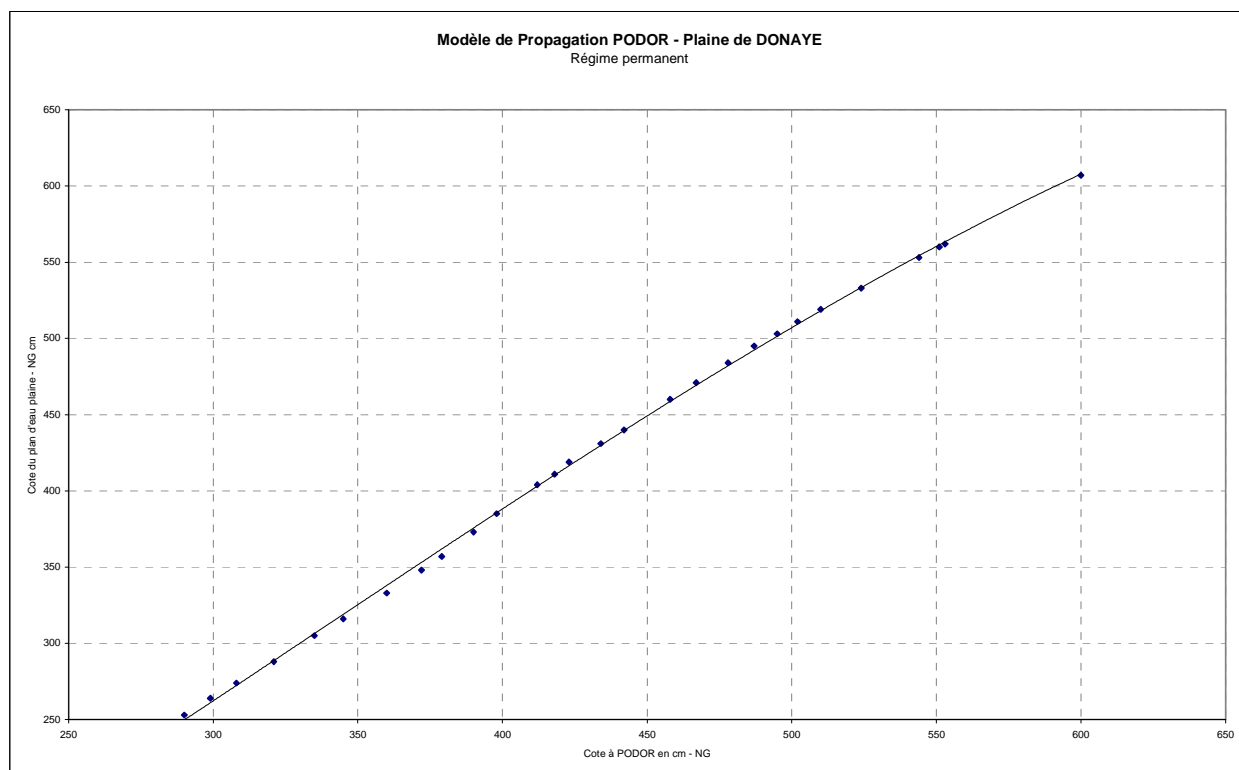


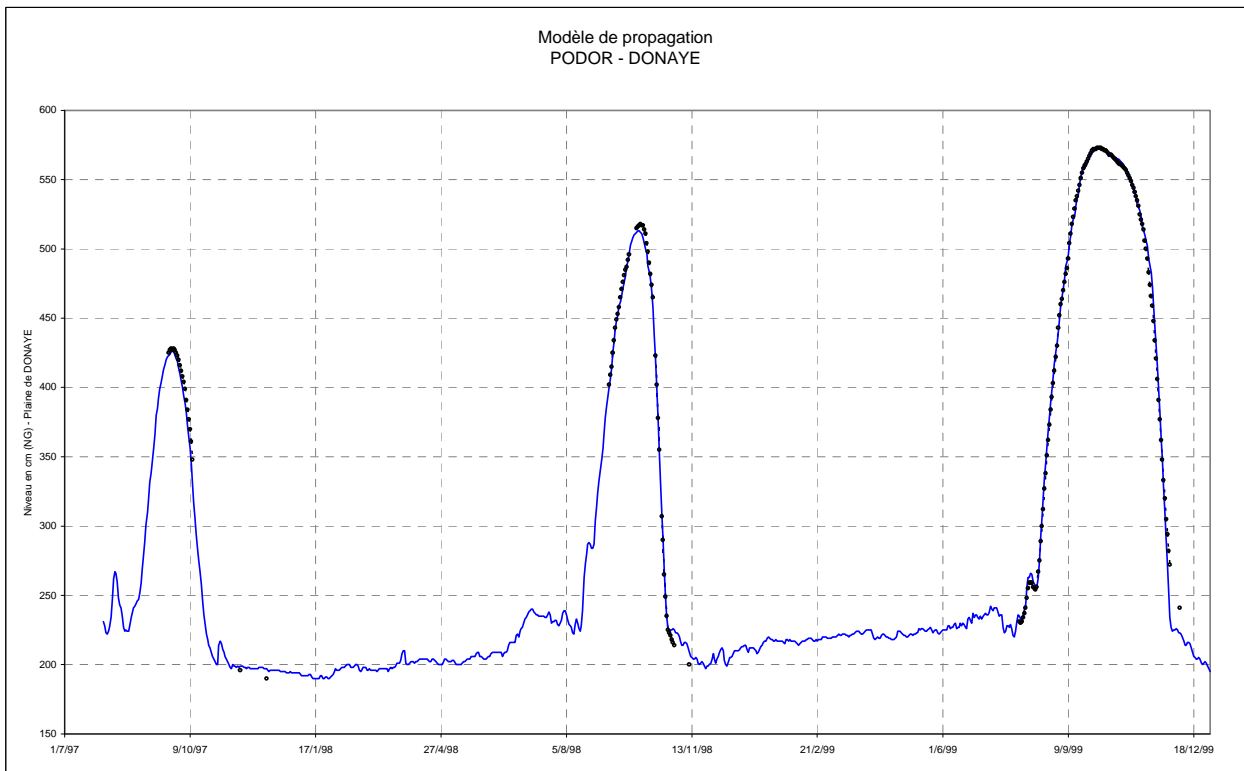
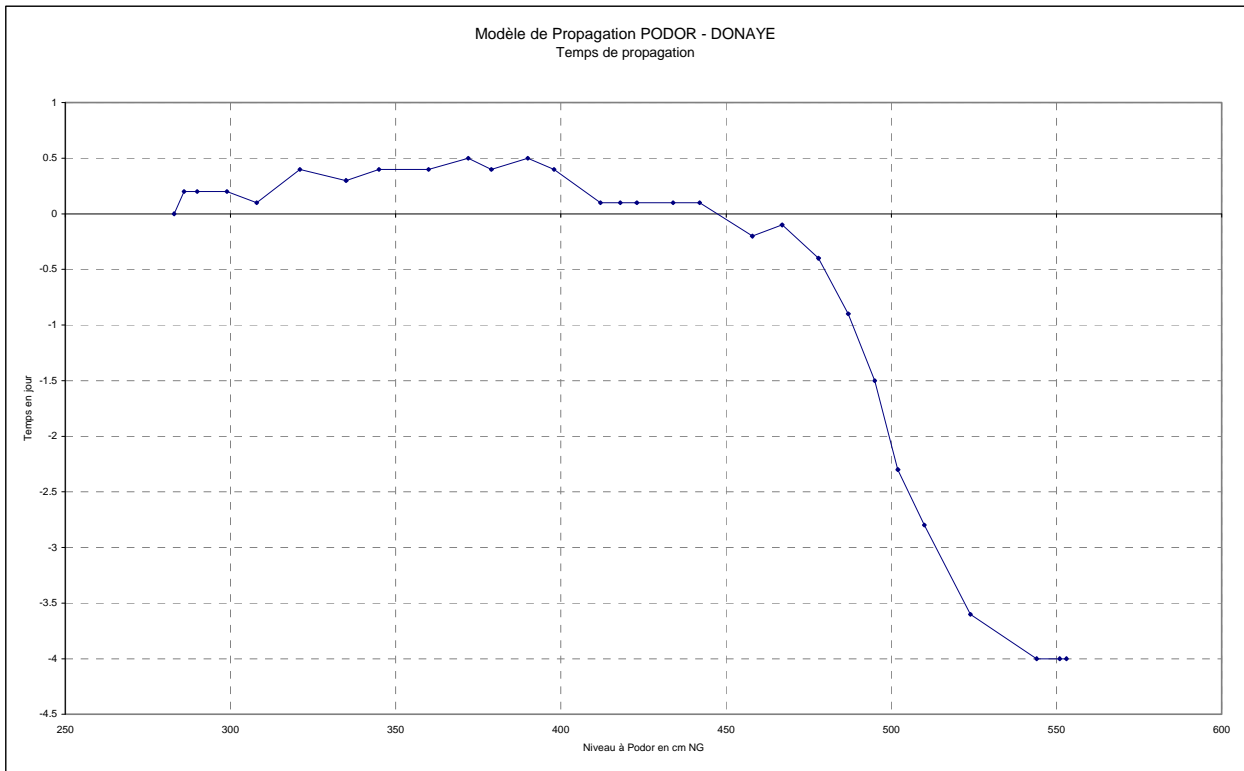


## MODELE PODOR – PLAINE DE DONAYE

(Hauteurs exprimées dans le système NG)

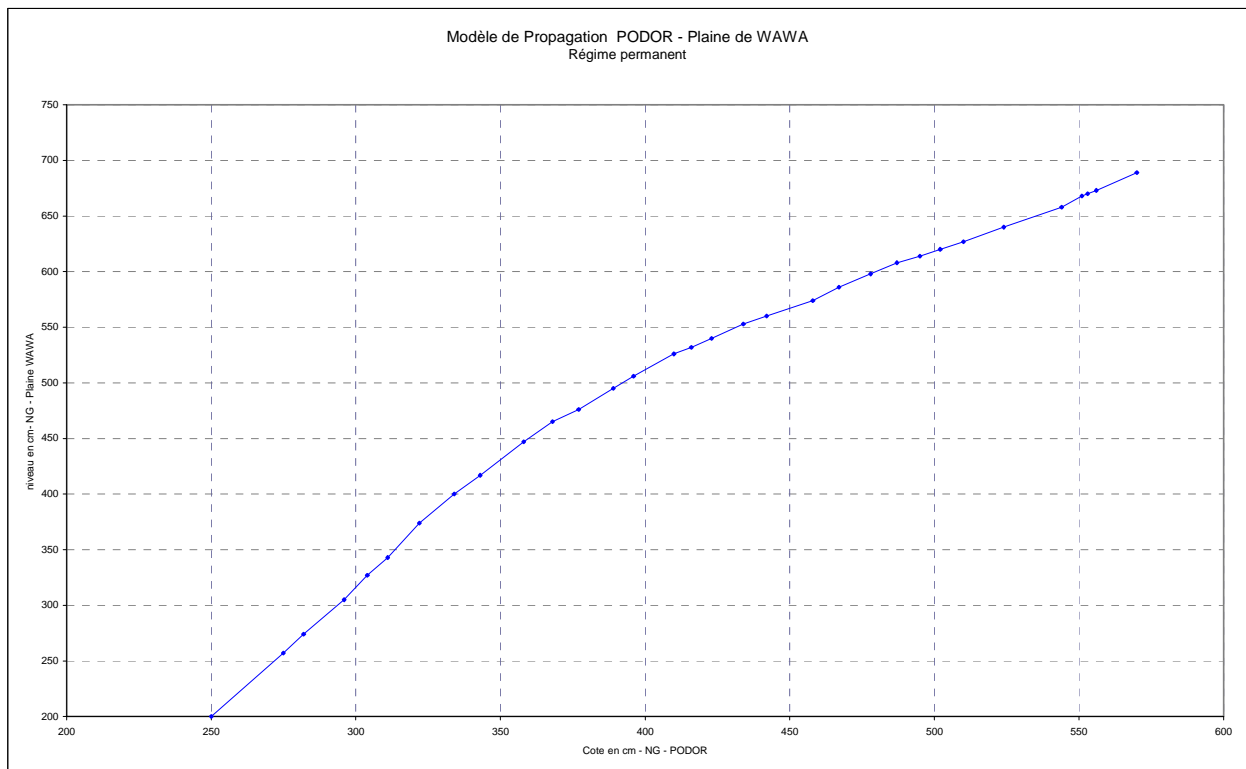
Temps (j)	Hpodor	Hdonaye
0.0	0	-44
0.0	283	243
0.2	286	247
0.2	290	253
0.2	299	264
0.1	308	274
0.4	321	288
0.3	335	305
0.4	345	316
0.4	360	333
0.5	372	348
0.4	379	357
0.5	390	373
0.4	398	385
0.1	412	404
0.1	418	411
0.1	423	419
0.1	434	431
0.1	442	440
-0.2	458	460
-0.1	467	471
-0.4	478	484
-0.9	487	495
-1.5	495	503
-2.3	502	511
-2.8	510	519
-3.6	524	533
-4.0	544	553
-4.0	551	560
-4.0	553	562
-4.0	600	607

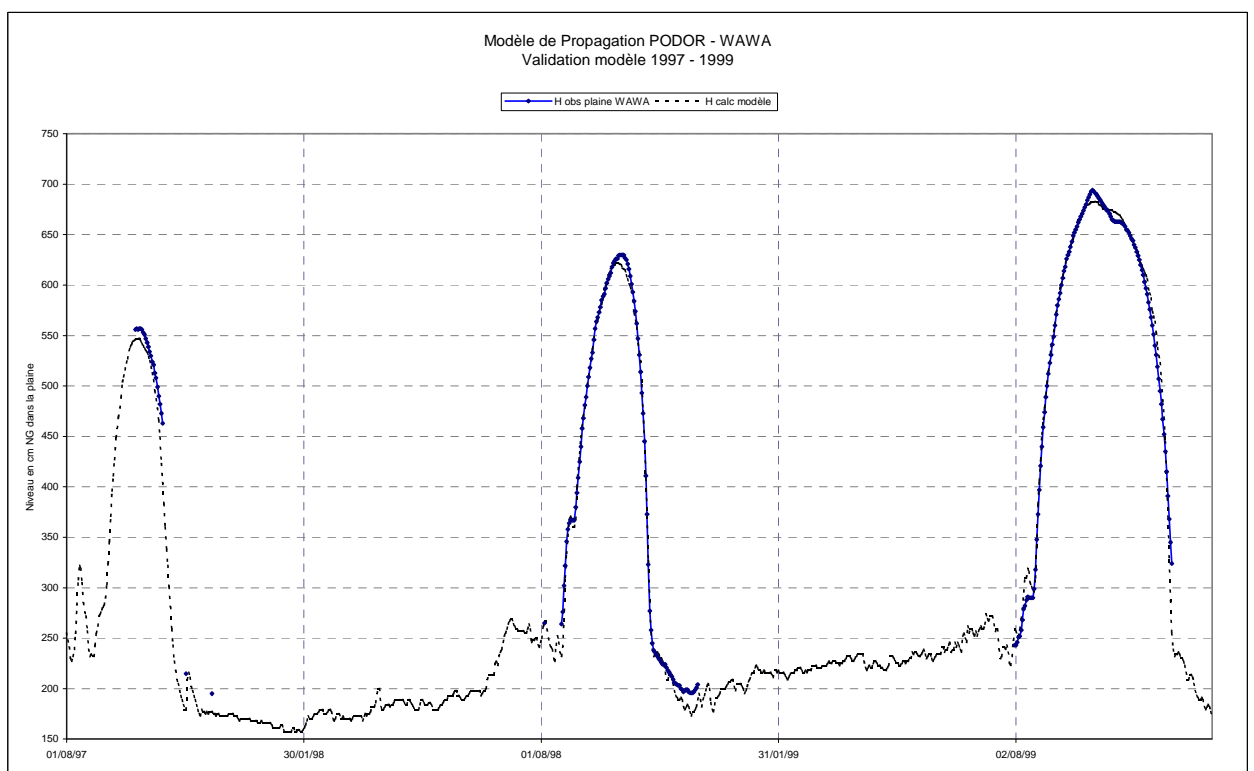
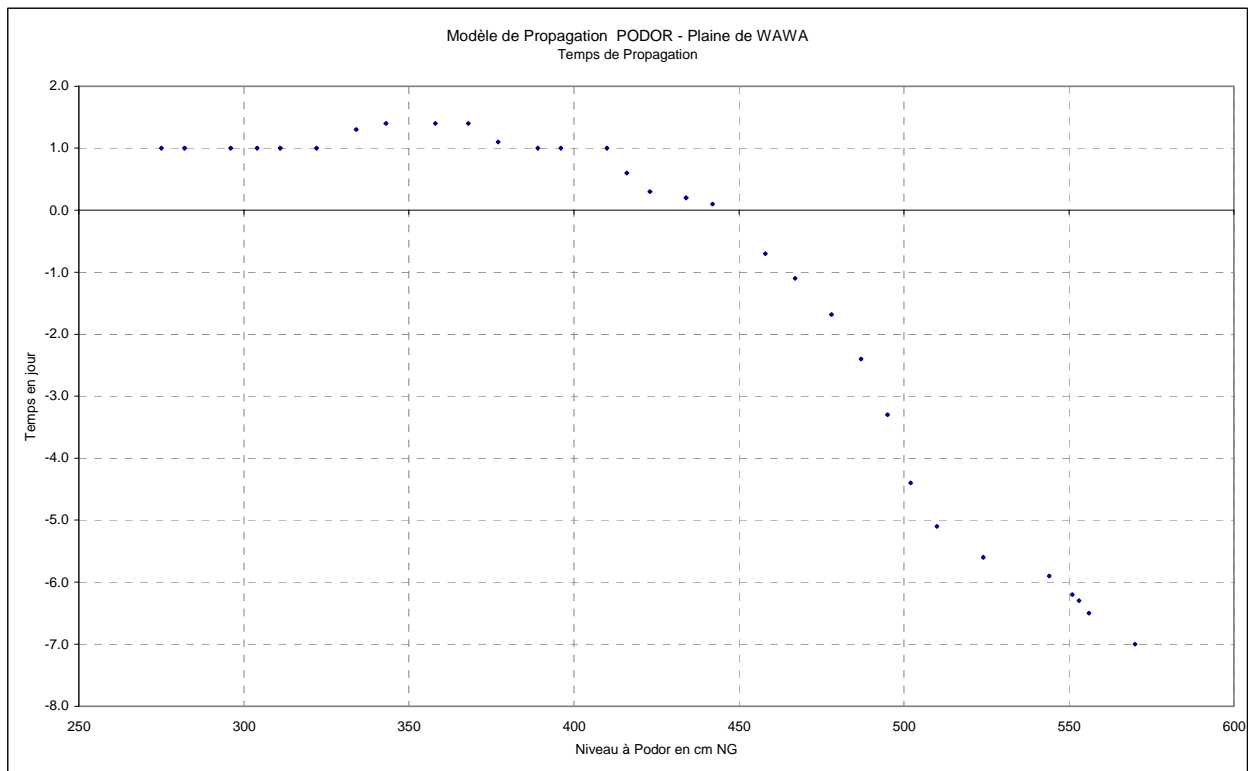




**MODELE PODOR – PLAINE DE WAWA**  
(Hauteurs exprimées dans le système NG)

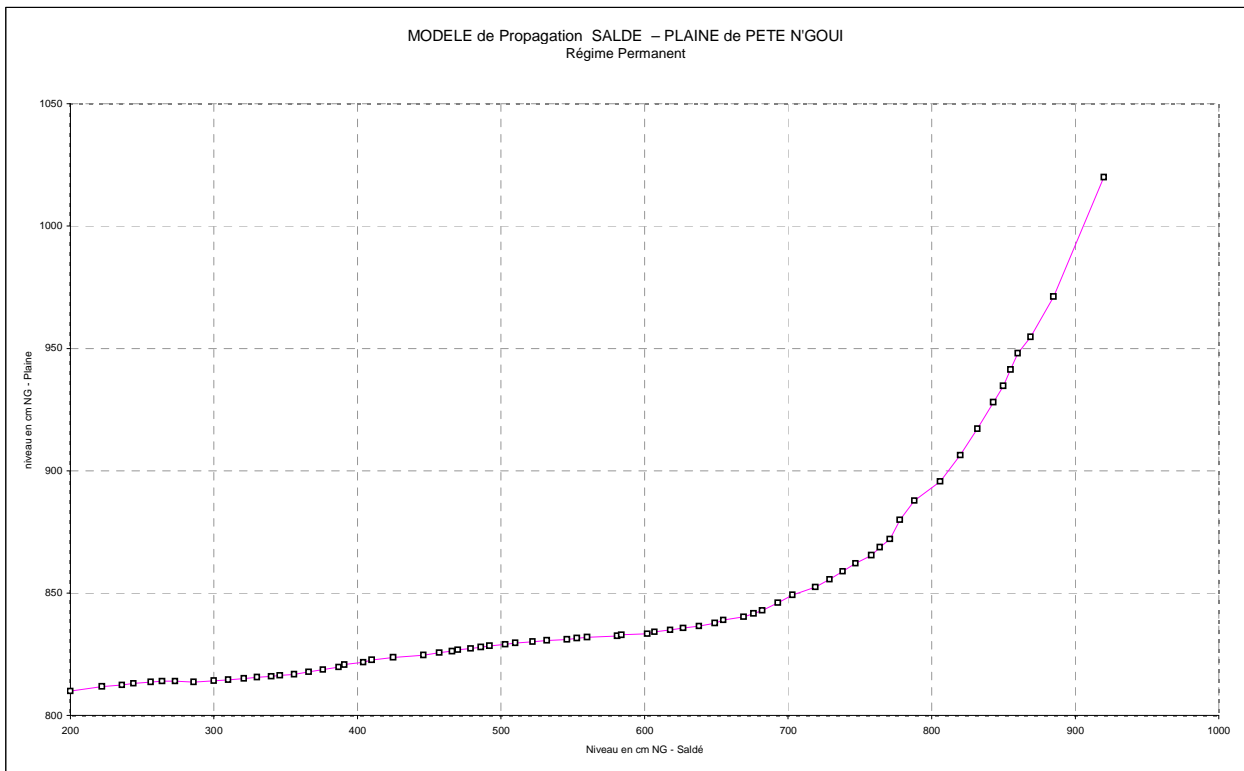
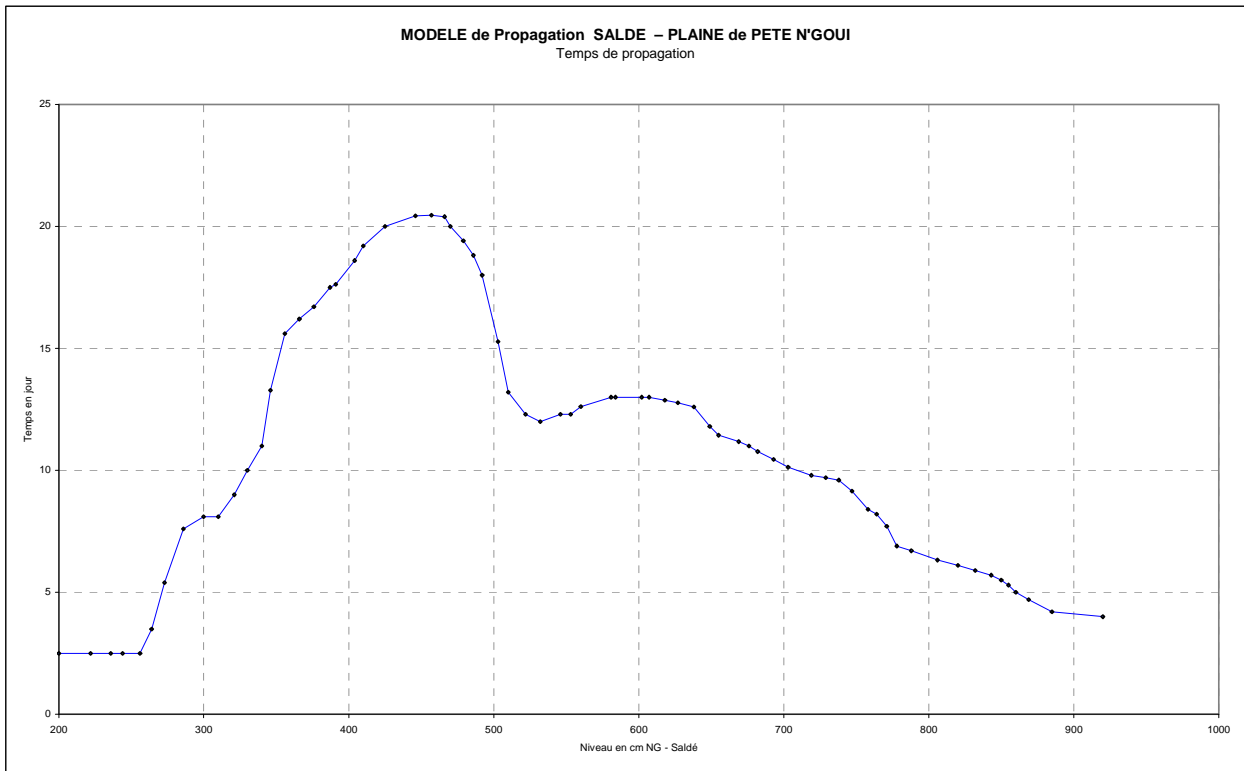
Temps (j)	Hpodor	Hwawa
1.0	250	200
1.0	275	257
1.0	282	274
1.0	296	305
1.0	304	327
1.0	311	343
1.0	322	374
1.3	334	400
1.4	343	417
1.4	358	447
1.4	368	465
1.1	377	476
1.0	389	495
1.0	396	506
1.0	410	526
0.6	416	532
0.3	423	540
0.2	434	553
0.1	442	560
-0.7	458	574
-1.1	467	586
-1.7	478	598
-2.4	487	608
-3.3	495	614
-4.4	502	620
-5.1	510	627
-5.6	524	640
-5.9	544	658
-6.2	551	668
-6.3	553	670
-6.5	556	673
-7.0	570	689





MODELE SALDE – PLAINE DE PETE N'GOUI  
(Hauteurs exprimées dans le système NG)

Temps (j)	Hsaldé	Hpété
2.5	200	810
2.5	222	812
2.5	236	812
2.5	244	813
2.5	256	814
3.5	264	814
5.4	273	814
7.6	286	814
8.1	300	814
8.1	310	815
9.0	321	815
10.0	330	816
11.0	340	816
13.3	346	816
15.6	356	817
16.2	366	818
16.7	376	819
17.5	387	820
17.6	391	821
18.6	404	822
19.2	410	823
20.0	425	824
20.4	446	825
20.5	457	826
20.4	466	826
20.0	470	827
19.4	479	827
18.8	486	828
18.0	492	829
15.3	503	829
13.2	510	830
12.3	522	830
12.0	532	831
12.3	546	831
12.3	553	832
12.6	560	832
13.0	581	832
13.0	584	833
13.0	602	833
13.0	607	834
12.9	618	835
12.8	627	836
12.6	638	837
11.8	649	838
11.4	655	839
11.2	669	840
11.0	676	842
10.8	682	843
10.5	693	846
10.1	703	849
9.8	719	852
9.7	729	856
9.6	738	859
9.2	747	862
8.4	758	866
8.2	764	869
7.7	771	872
6.9	778	880
6.7	788	888
6.3	806	896
6.1	820	906
5.9	832	917
5.7	843	928
5.5	850	935
5.3	855	941
5.0	860	948
4.7	869	955
4.2	885	971
4.0	920	1020



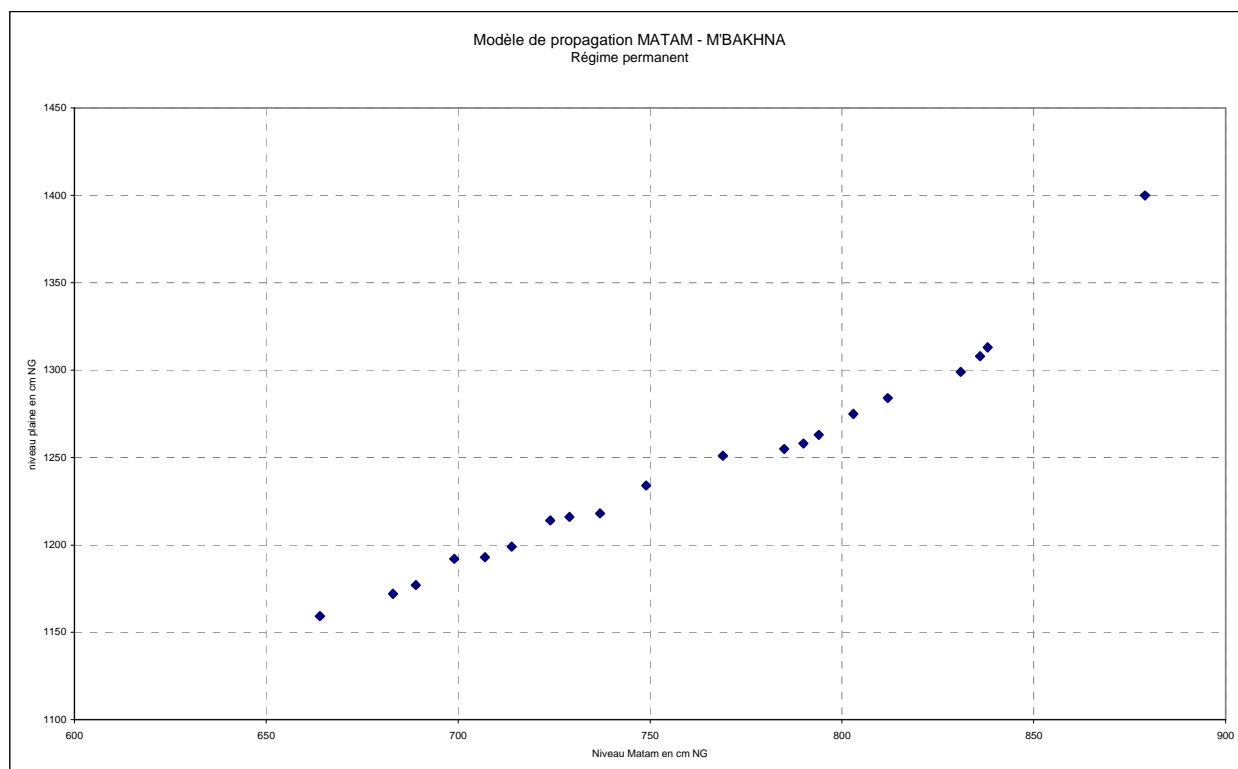
Modèle de Propagation SALDE – PLAINE de PETE N'GOUI  
Simulation 1998 - 99

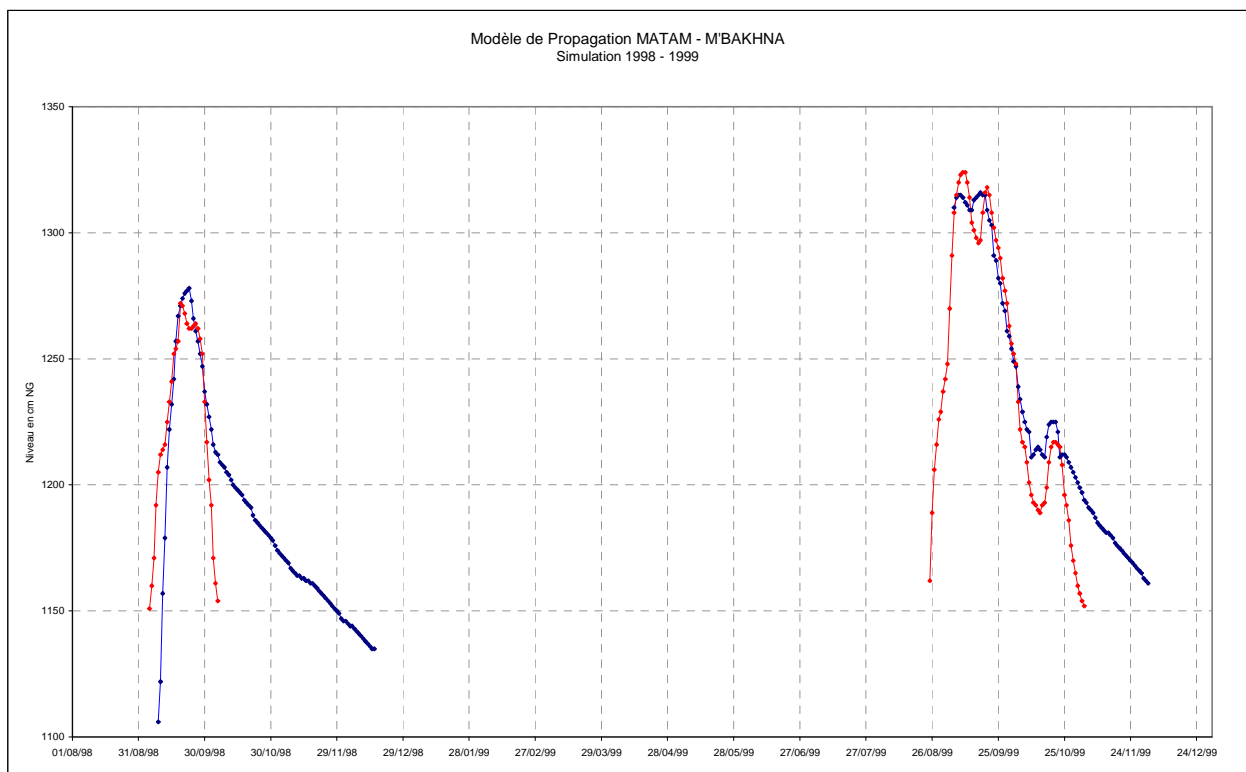
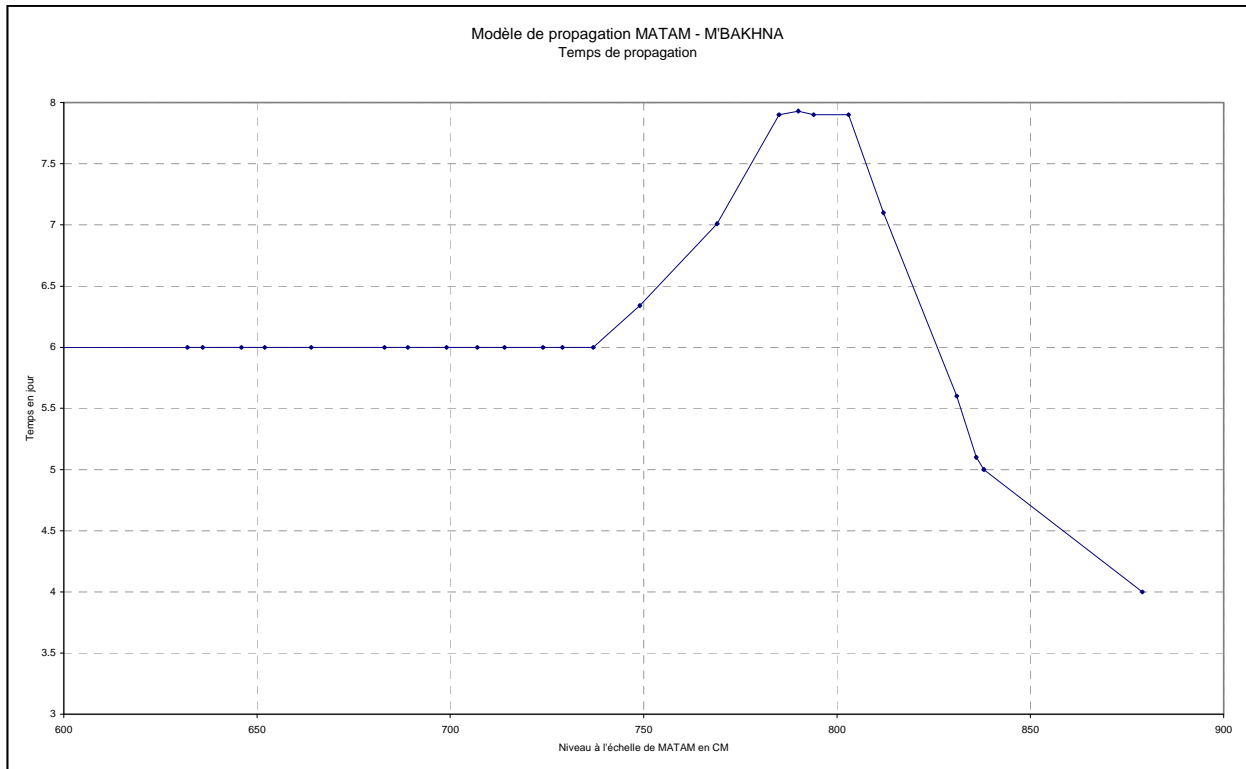




MODELE MATAM – PLAINE DE M'BAKHNA  
(Hauteurs exprimées dans le système NG)

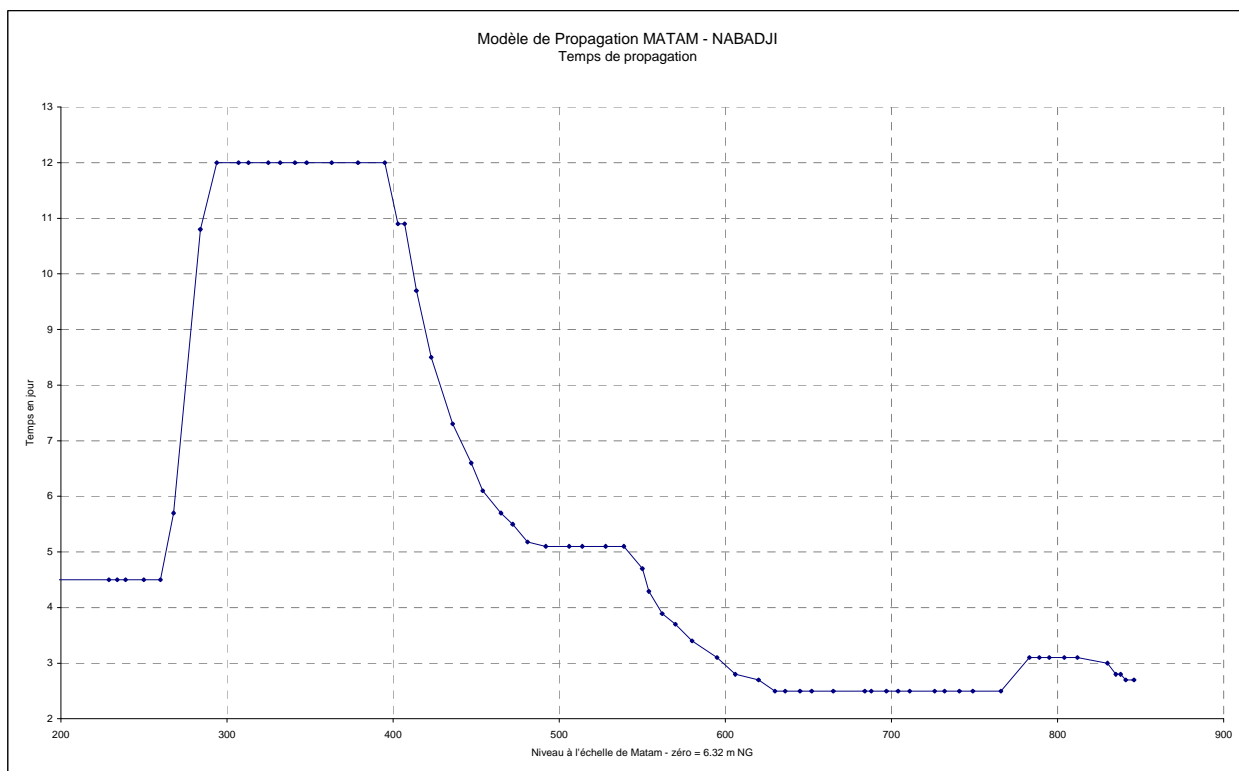
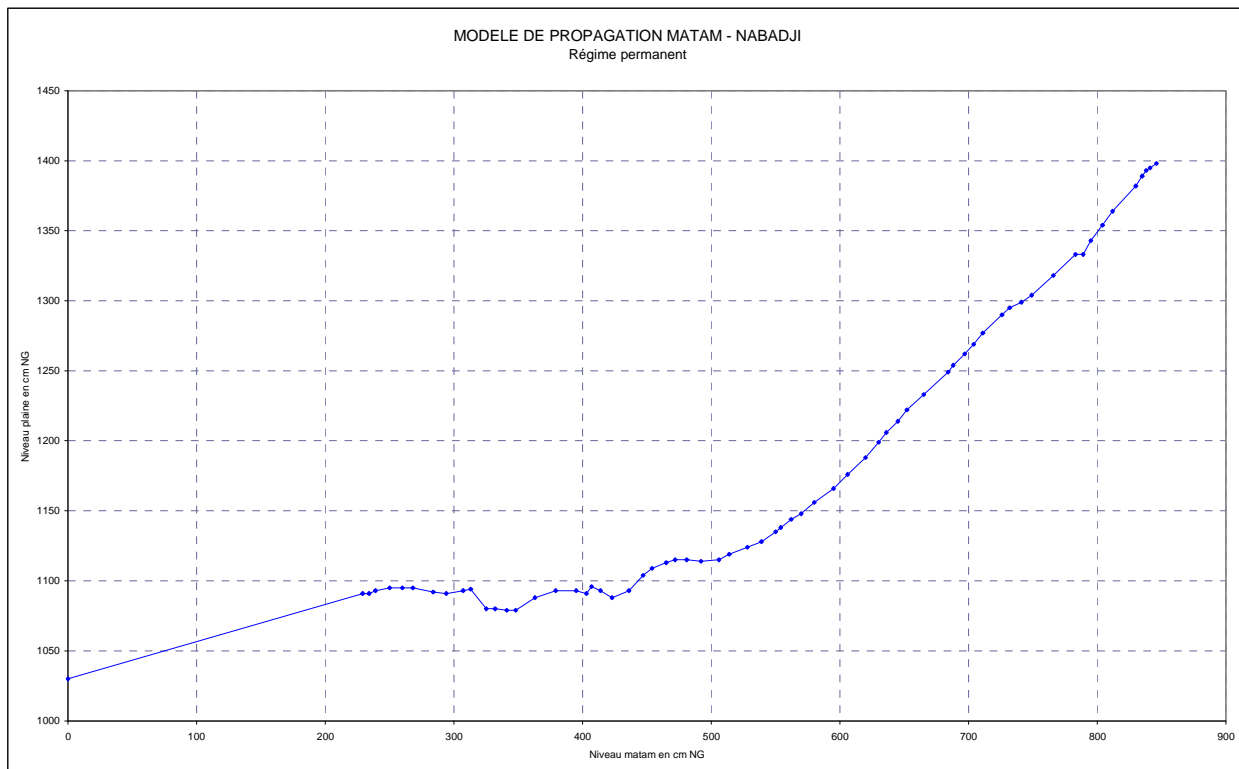
Temps(j)	Hmatam	Hm'bakhna
6.0	0	1150
6.0	632	1147
6.0	636	1146.9
6.0	646	1151
6.0	652	1152
6.0	664	1159.3
6.0	683	1172
6.0	689	1177
6.0	699	1192
6.0	707	1193
6.0	714	1199
6.0	724	1214
6.0	729	1216
6.0	737	1218
6.3	749	1234
7.0	769	1251
7.9	785	1255
7.9	790	1258
7.9	794	1263
7.9	803	1275
7.1	812	1284
5.6	831	1299
5.1	836	1308
5.0	838	1313
4.0	879	1400



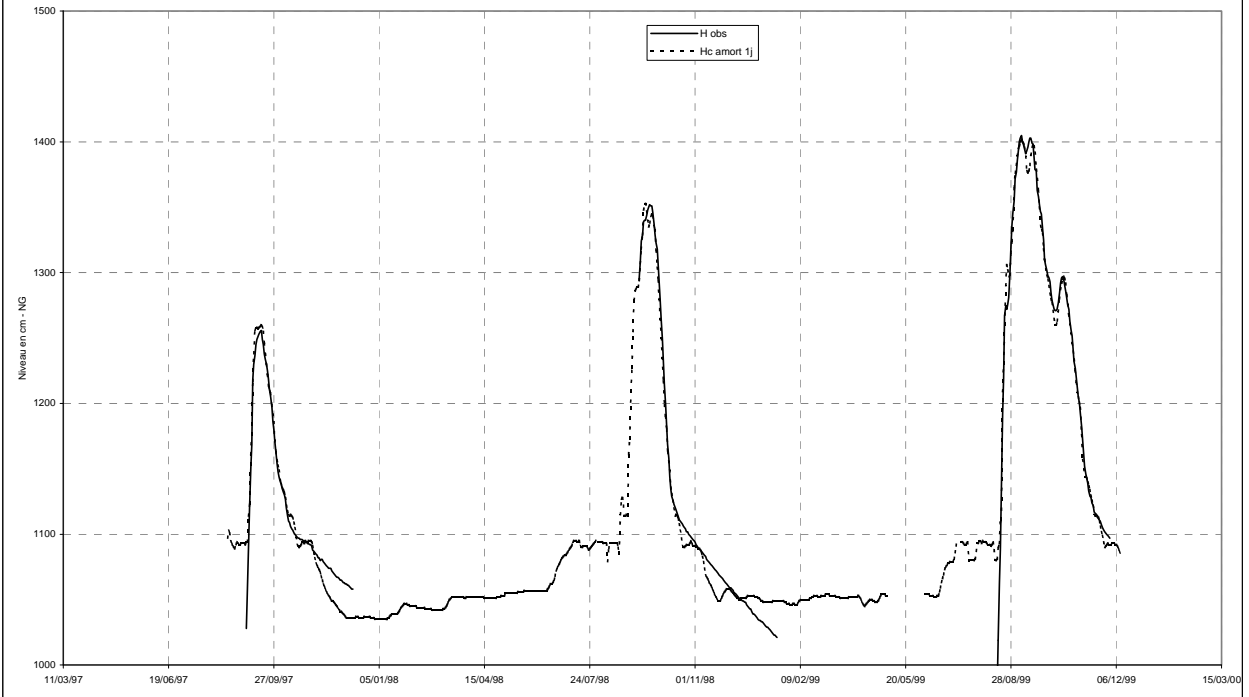


MODELE DE PROPAGATION MATAM – PLAINE DE NABADJI

Temps (j)	Hmatam	Hnabadji
4.5	0	1030
4.5	229	1091
4.5	234	1091
4.5	239	1093
4.5	250	1095
4.5	260	1095
5.7	268	1095
10.8	284	1092
12	294	1091
12	307	1093
12	313	1094
12	325	1080
12	332	1080
12	341	1079
12	348	1079
12	363	1088
12	379	1093
12	395	1093
10.9	403	1091
10.9	407	1096
9.7	414	1093
8.5	423	1088
7.3	436	1093
6.6	447	1104
6.1	454	1109
5.7	465	1113
5.5	472	1115
5.18	481	1115
5.1	492	1114
5.1	506	1115
5.1	514	1119
5.1	528	1124
5.1	539	1128
4.7	550	1135
4.29	554	1138
3.89	562	1144
3.7	570	1148
3.4	580	1156
3.1	595	1166
2.8	606	1176
2.7	620	1188
2.5	630	1199
2.5	636	1206
2.5	645	1214
2.5	652	1222
2.5	665	1233
2.5	684	1249
2.5	688	1254
2.5	697	1262
2.5	704	1269
2.5	711	1277
2.5	726	1290
2.5	732	1295
2.5	741	1299
2.5	749	1304
2.5	766	1318
3.1	783	1333
3.1	789	1333
3.1	795	1343
3.1	804	1354
3.1	812	1364
3	830	1382
2.8	835	1389
2.8	838	1393
2.7	841	1395
2.7	846	1398

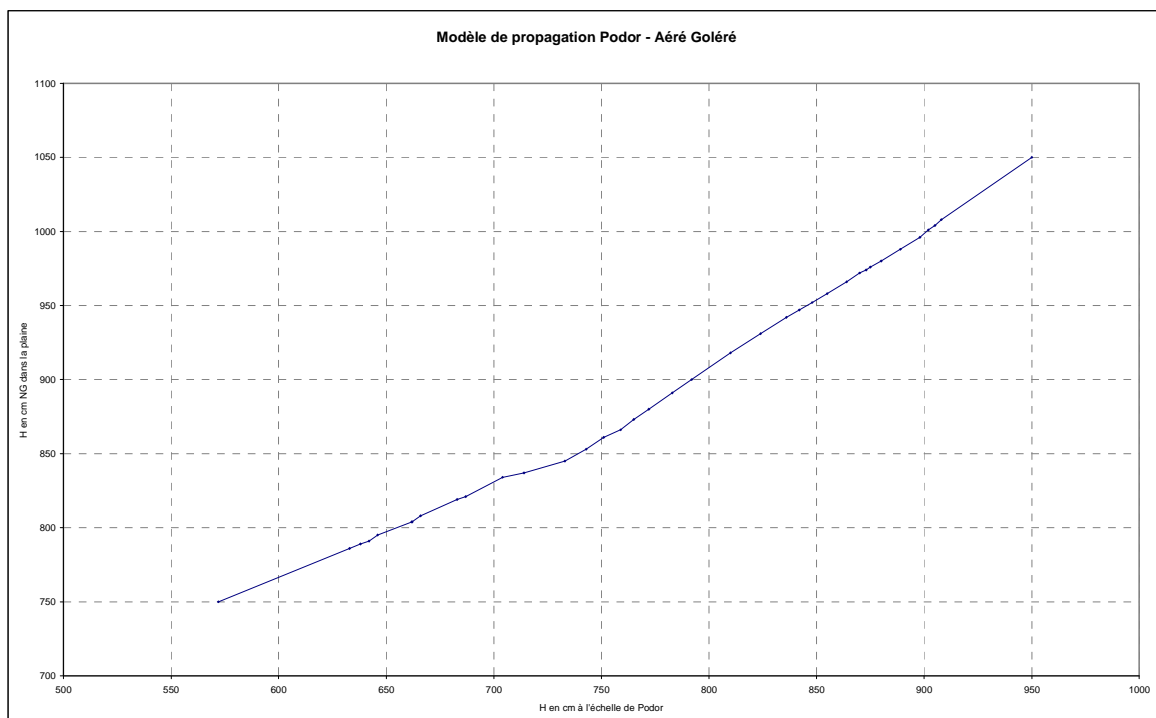


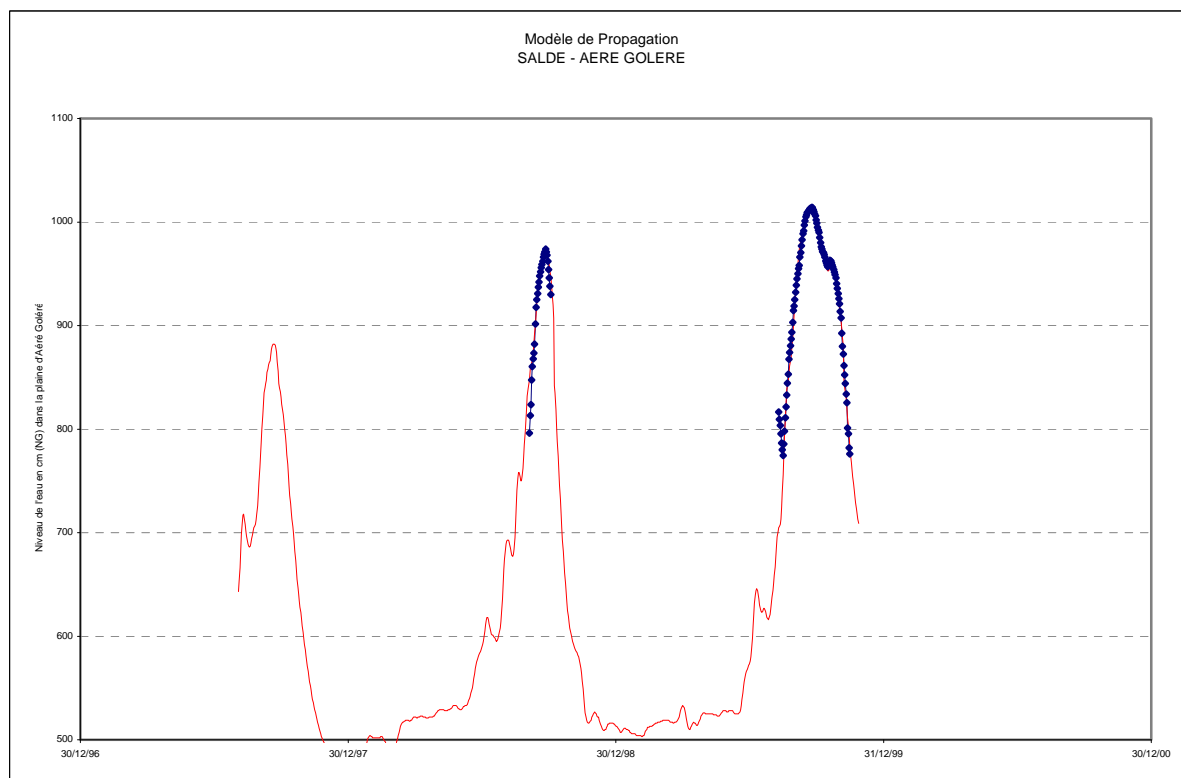
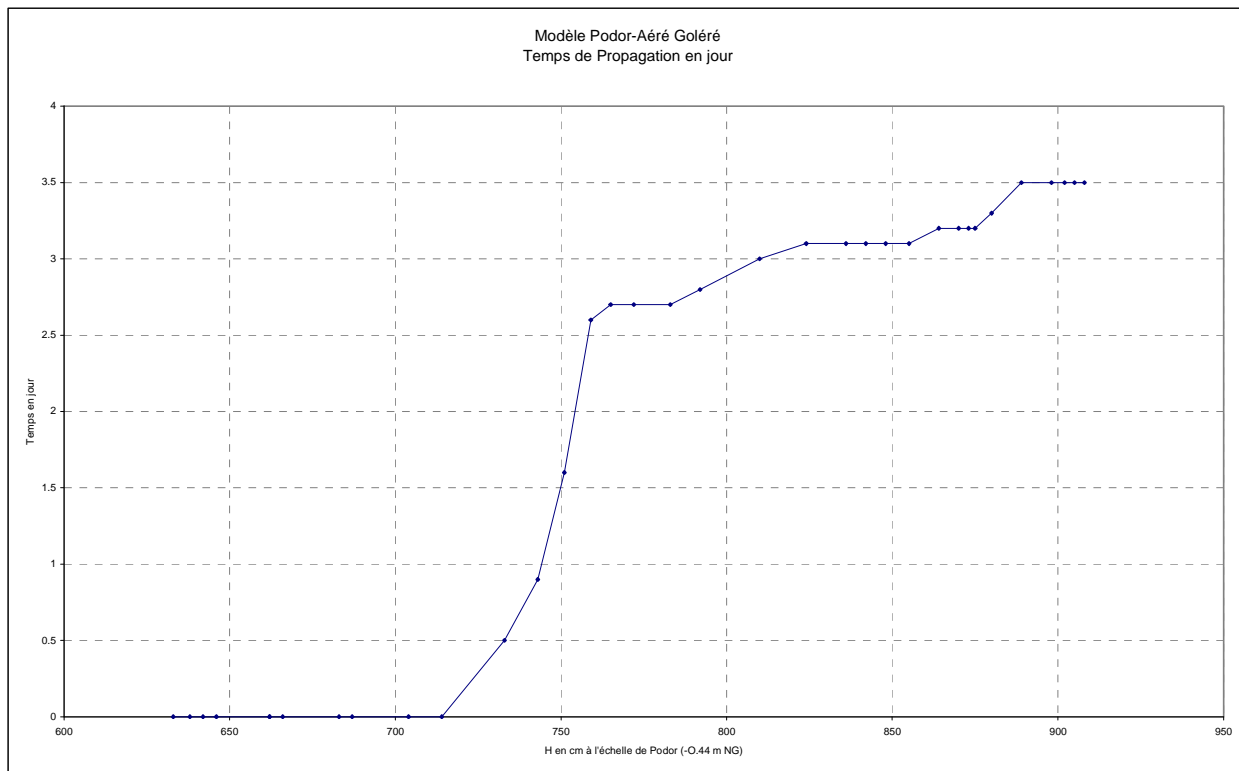
Modèle de Propagation MATAM - Plaine de NABADJI  
Simulation 1997 - 1999



**MODELE PODOR – PLAINE D'AERE GOLERE**  
(Hauteurs exprimées dans le système NG)

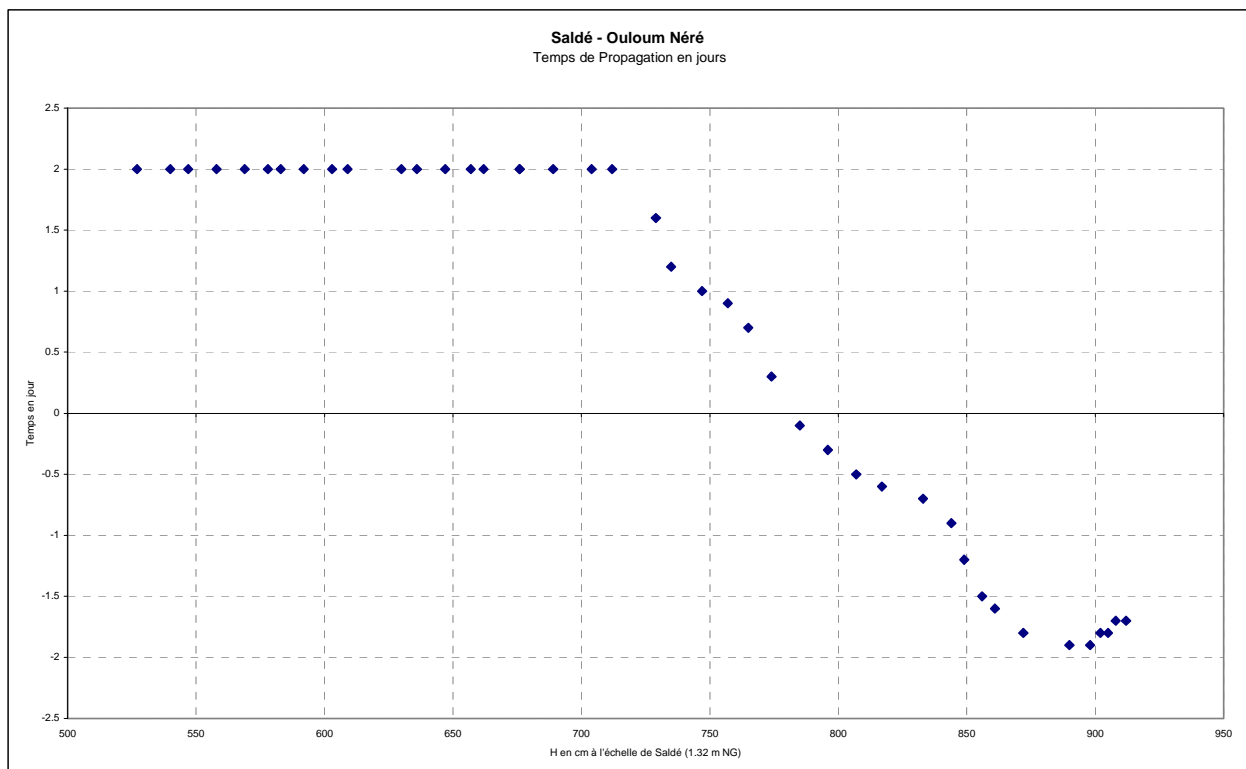
Hpod	Tj	Hpod	HNGplaine
550	0	572	750
633	0	633	786
638	0	638	789
642	0	642	791
646	0	646	795
662	0	662	804
662	0	662	804
666	0	666	808
683	0	683	819
687	0	687	821
704	0	704	834
714	0	714	837
733	0.5	733	845
743	0.9	743	853
751	1.6	751	861
759	2.6	759	866
765	2.7	765	873
772	2.7	772	880
783	2.7	783	891
792	2.8	792	900
810	3	810	918
824	3.1	824	931
836	3.1	836	942
842	3.1	842	947
848	3.1	848	952
855	3.1	855	958
864	3.2	864	966
870	3.2	870	972
873	3.2	873	974
875	3.2	875	976
880	3.3	880	980
889	3.5	889	988
898	3.5	898	996
902	3.5	902	1001
905	3.5	905	1004
908	3.5	908	1008
950	3.5	950	1050



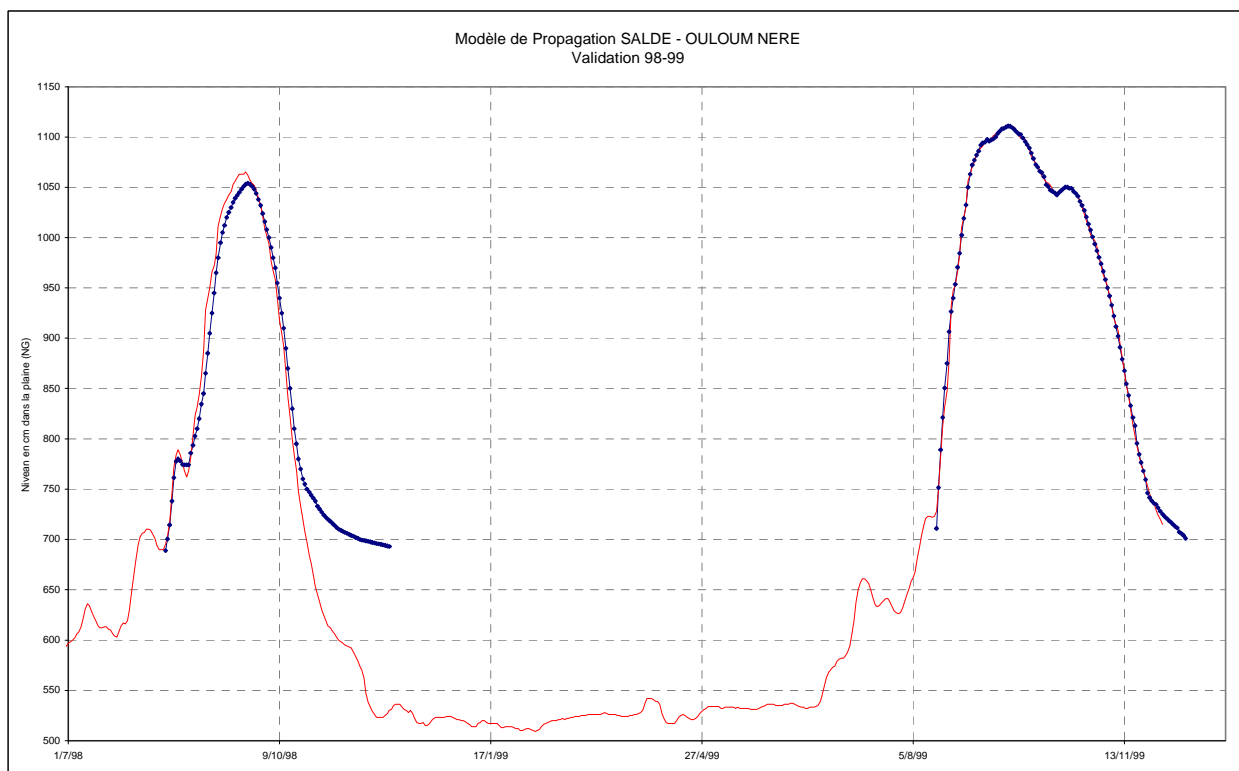
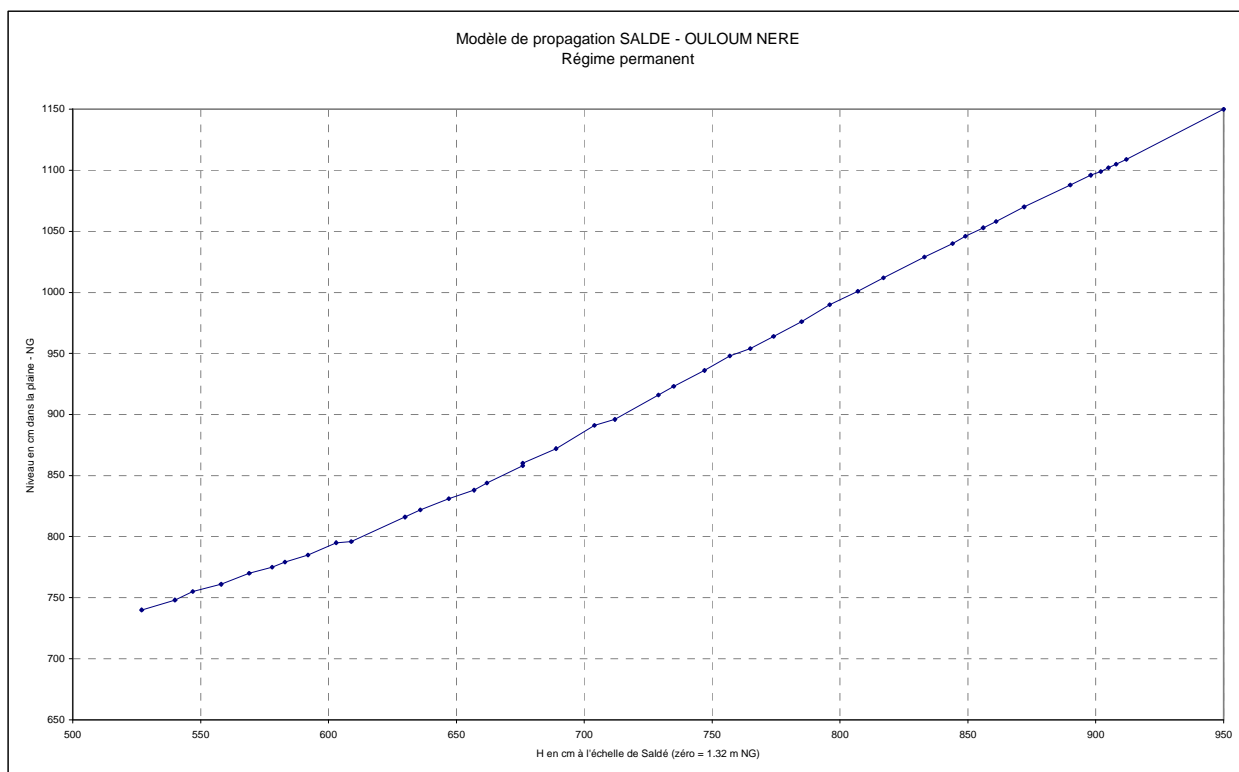


**MODELE SALDE – PLAINE DE OULOUM NERE**  
(Hauteurs exprimées dans le système NG)

Hsaldé	Tj	Hsaldé	Hng ON
527	2	527	740
540	2	540	748
547	2	547	755
558	2	558	761
569	2	569	770
578	2	578	775
583	2	583	779
592	2	592	785
603	2	603	795
609	2	609	796
630	2	630	816
636	2	636	822
647	2	647	831
657	2	657	838
662	2	662	844
676	2	676	858
676	2	676	860
689	2	689	872
704	2	704	891
712	2	712	896
729	1.6	729	916
735	1.2	735	923
747	1	747	936
757	0.9	757	948
765	0.7	765	954
774	0.3	774	964
785	-0.1	785	976
796	-0.3	796	990
807	-0.5	807	1001
817	-0.6	817	1012
833	-0.7	833	1029
844	-0.9	844	1040
849	-1.2	849	1046
856	-1.5	856	1053
861	-1.6	861	1058
872	-1.8	872	1070
890	-1.9	890	1088
898	-1.9	898	1096
902	-1.8	902	1099
905	-1.8	905	1102
908	-1.7	908	1105
912	-1.7	912	1109
950	-1.7	950	1150

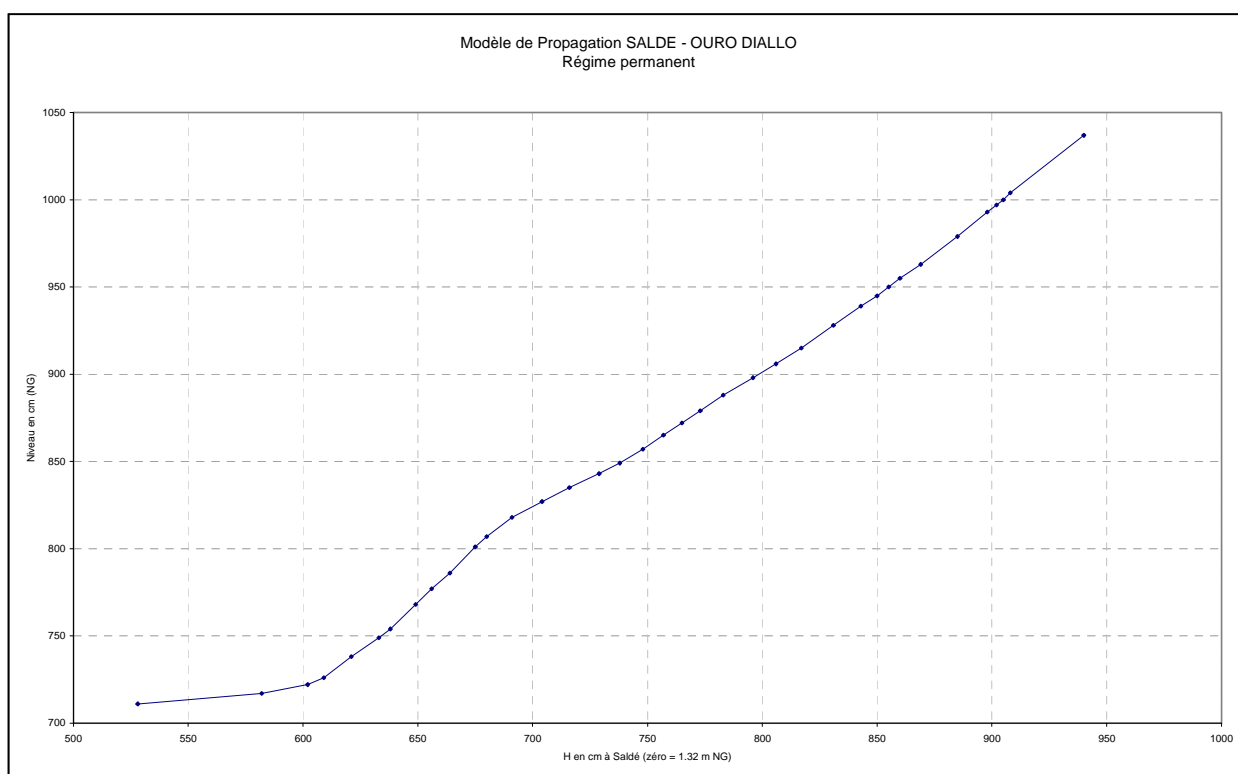


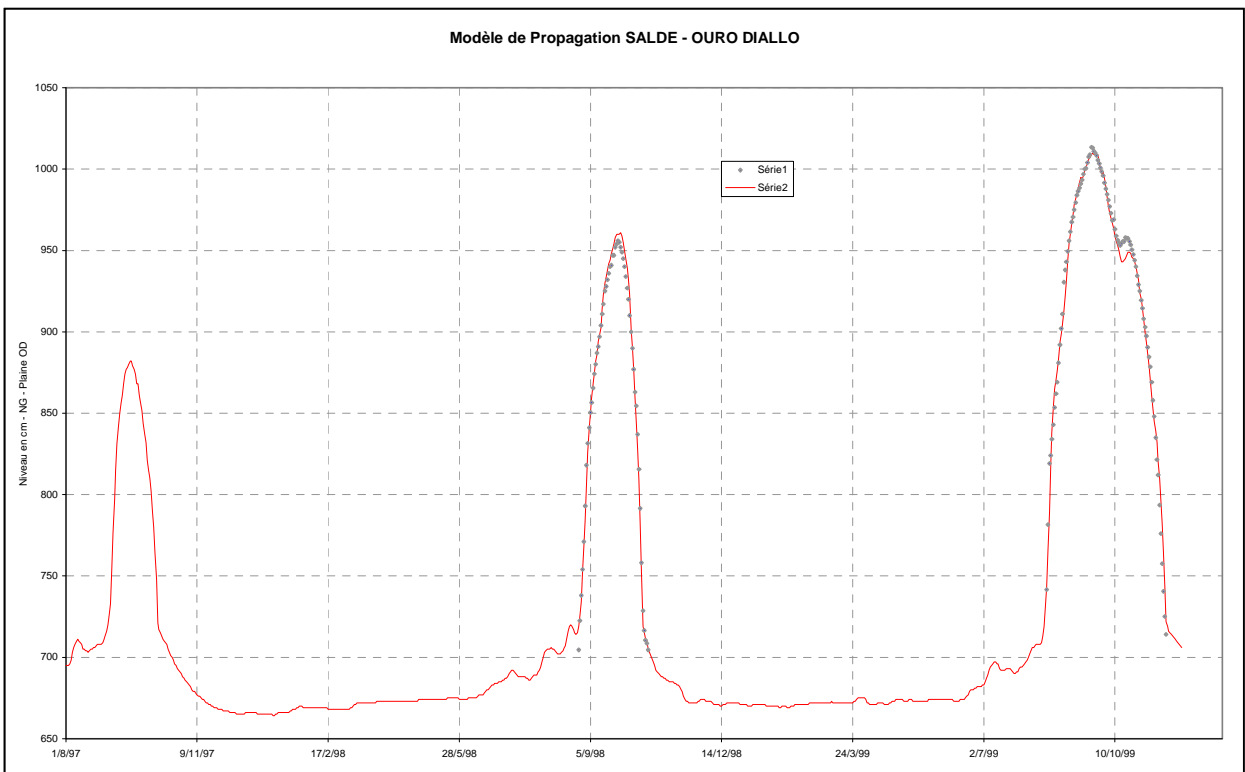
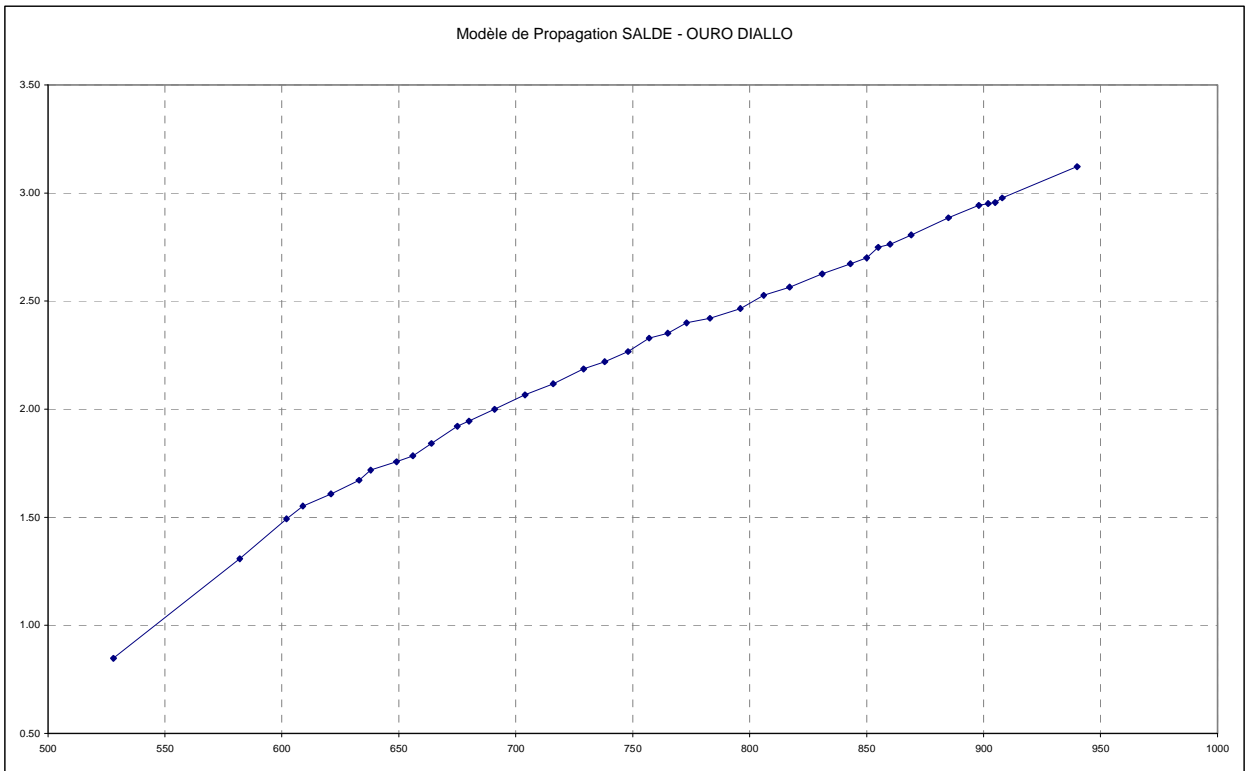




### Modèle de propagation SALDE – OURO DIALLO

Hsaldé	Tj	Hsaldé	hOD (cm NG)
528	0.85	528	711
582	1.31	582	717
602	1.49	602	722
609	1.55	609	726
621	1.61	621	738
633	1.67	633	749
638	1.72	638	754
649	1.76	649	768
656	1.79	656	777
664	1.84	664	786
675	1.92	675	801
680	1.95	680	807
691	2.00	691	818
704	2.07	704	827
716	2.12	716	835
729	2.19	729	843
738	2.22	738	849
748	2.27	748	857
757	2.33	757	865
765	2.35	765	872
773	2.40	773	879
783	2.42	783	888
796	2.47	796	898
806	2.53	806	906
817	2.57	817	915
831	2.63	831	928
843	2.67	843	939
850	2.70	850	945
855	2.75	855	950
860	2.76	860	955
869	2.81	869	963
885	2.89	885	979
898	2.94	898	993
902	2.95	902	997
905	2.96	905	1000
908	2.98	908	1004
940	3.12	940	1037





# ANNEXE G

## MODELISATION DE LA MISE EN EAU DU LIT MINEUR

### METHODOLOGIE

Nous disposons des observations limnimétriques aux stations principales de la vallée du fleuve Sénégal de BAKEL à PODOR

Les caractéristiques des six modèles élaborés sont présentés dans les pages suivantes :

- BAKEL - MATAM
- BAKEL - SALDE
- BAKEL – PODOR
- MATAM – SALDE
- MATAM – PODOR
- SALDE – PODOR

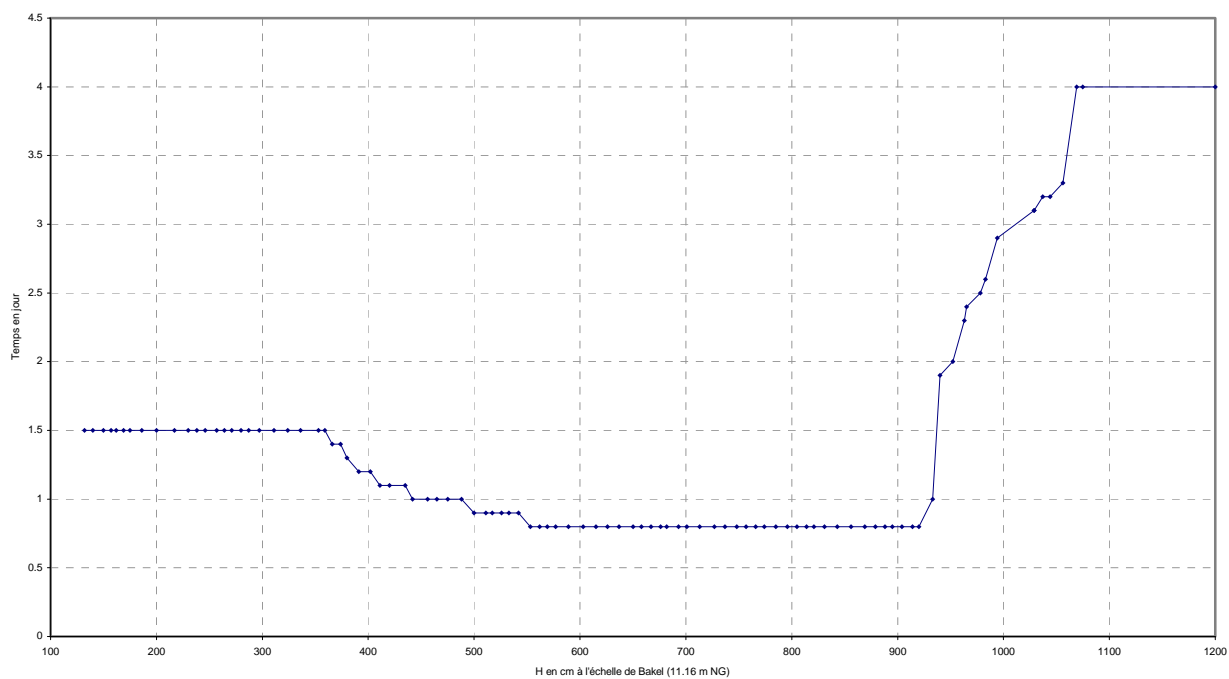
Ces modèles fonctionnent en mode direct amont-aval ou en mode inverse aval-amont. Ils sont utilisés pour transférer les limnigrammes de PODOR à BAKEL.

Le limnigramme transféré à BAKEL correspond à un limnigramme « amorti », par analogie, l'amortissement est obtenu en prenant une moyenne mobile dont la période optimisée est de 30 à 33 jours. La valeur du jour « j » est remplacée dans le calage du modèle par la moyenne des valeurs de « j-15 » à « j+15 ». pour les débits, cela n'entraîne pas de conséquence majeure, la continuité des valeurs du gradient en régime amorti correspond bien à la moyenne des gradients pour la même période de 31 jours.

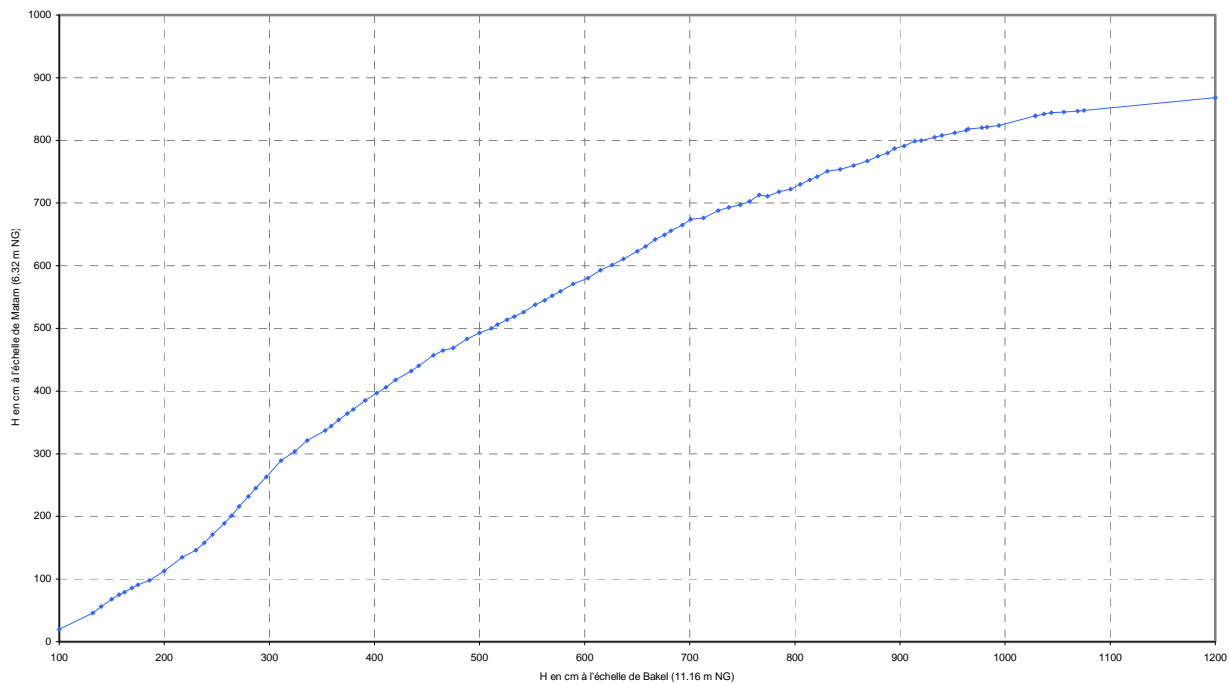
## Modèle de Propagation BAKEL - MATAM

Hbakel	Tjour	Hbakel	Hmatam
100	1.5	100	20
132	1.5	132	46
140	1.5	140	56
150	1.5	150	68
157	1.5	157	75
162	1.5	162	79
169	1.5	169	86
175	1.5	175	91
186	1.5	186	98
200	1.5	200	113
217	1.5	217	135
230	1.5	230	146
238	1.5	238	158
246	1.5	246	171
257	1.5	257	189
264	1.5	264	201
271	1.5	271	216
280	1.5	280	232
287	1.5	287	245
297	1.5	297	263
311	1.5	311	289
324	1.5	324	304
336	1.5	336	321
353	1.5	353	337
359	1.5	359	344
366	1.4	366	354
374	1.4	374	364
380	1.3	380	371
391	1.2	391	385
402	1.2	402	397
411	1.1	411	406
420	1.1	420	418
435	1.1	435	432
442	1	442	440
456	1	456	457
465	1	465	465
475	1	475	469
488	1	488	483
500	0.9	500	493
511	0.9	511	500
517	0.9	517	506
526	0.9	526	514
533	0.9	533	519
542	0.9	542	526
553	0.8	553	538
562	0.8	562	545
569	0.8	569	552
577	0.8	577	559
589	0.8	589	571
603	0.8	603	580
615	0.8	615	593
626	0.8	626	601
637	0.8	637	611
650	0.8	650	623
658	0.8	658	631
667	0.8	667	642
676	0.8	676	649
682	0.8	682	656
693	0.8	693	665
701	0.8	701	674
713	0.8	713	676
727	0.8	727	688
737	0.8	737	693
748	0.8	748	697
757	0.8	757	703
766	0.8	766	713
774	0.8	774	711
785	0.8	785	718
796	0.8	796	722
805	0.8	805	730
814	0.8	814	737
821	0.8	821	742
831	0.8	831	751
843	0.8	843	754
856	0.8	856	760
869	0.8	869	767
879	0.8	879	775
888	0.8	888	780
895	0.8	895	787
904	0.8	904	791
914	0.8	914	799
920	0.8	920	800
933	1	933	805
940	1.9	940	808
952	2	952	812
963	2.3	963	816
965	2.4	965	818
978	2.5	978	820
983	2.6	983	821

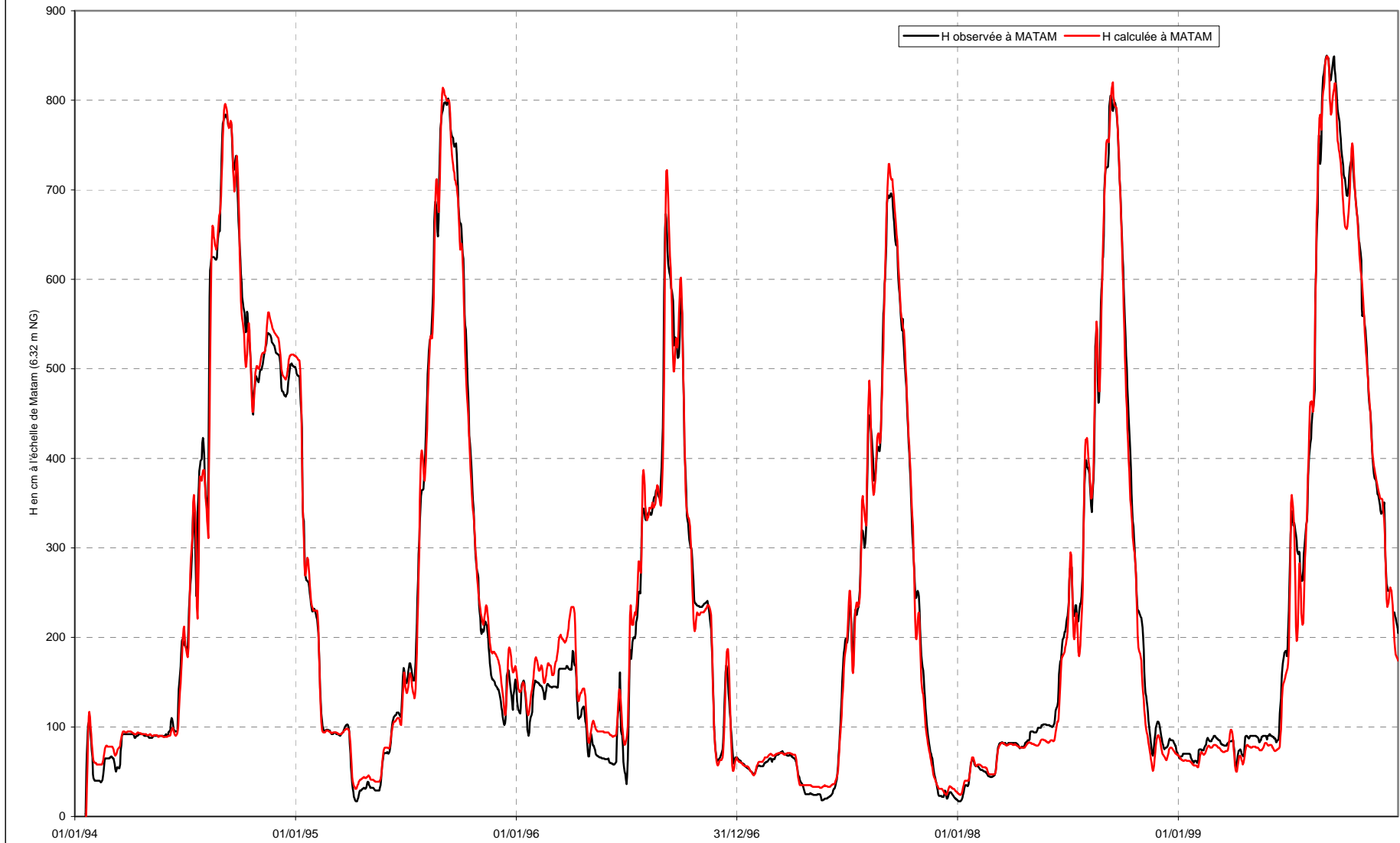
Modèle de Propagation BAKEL - MATAM  
Amortissement 5 j



Modèle de Propagation BAKEL - MATAM  
Amortissement 5 j



Modèle Bakel - Matam  
Amortissement 5j

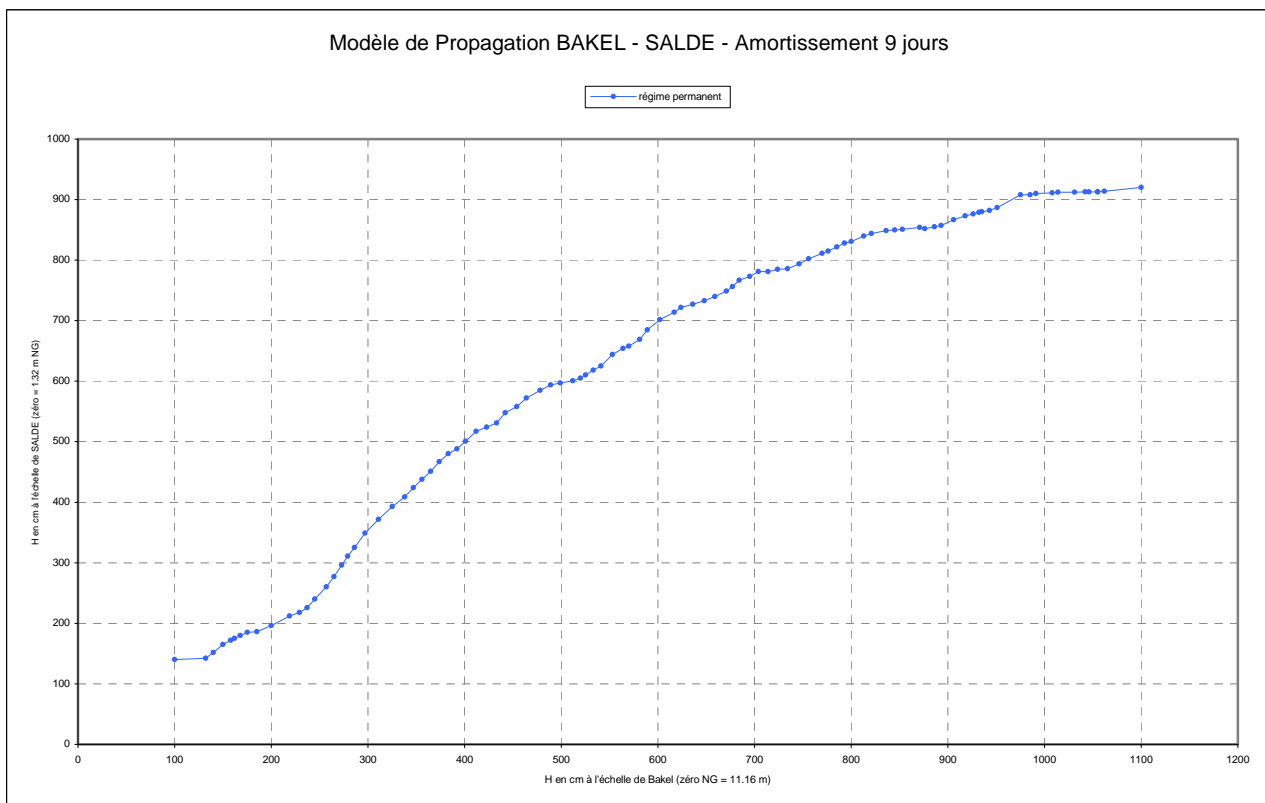
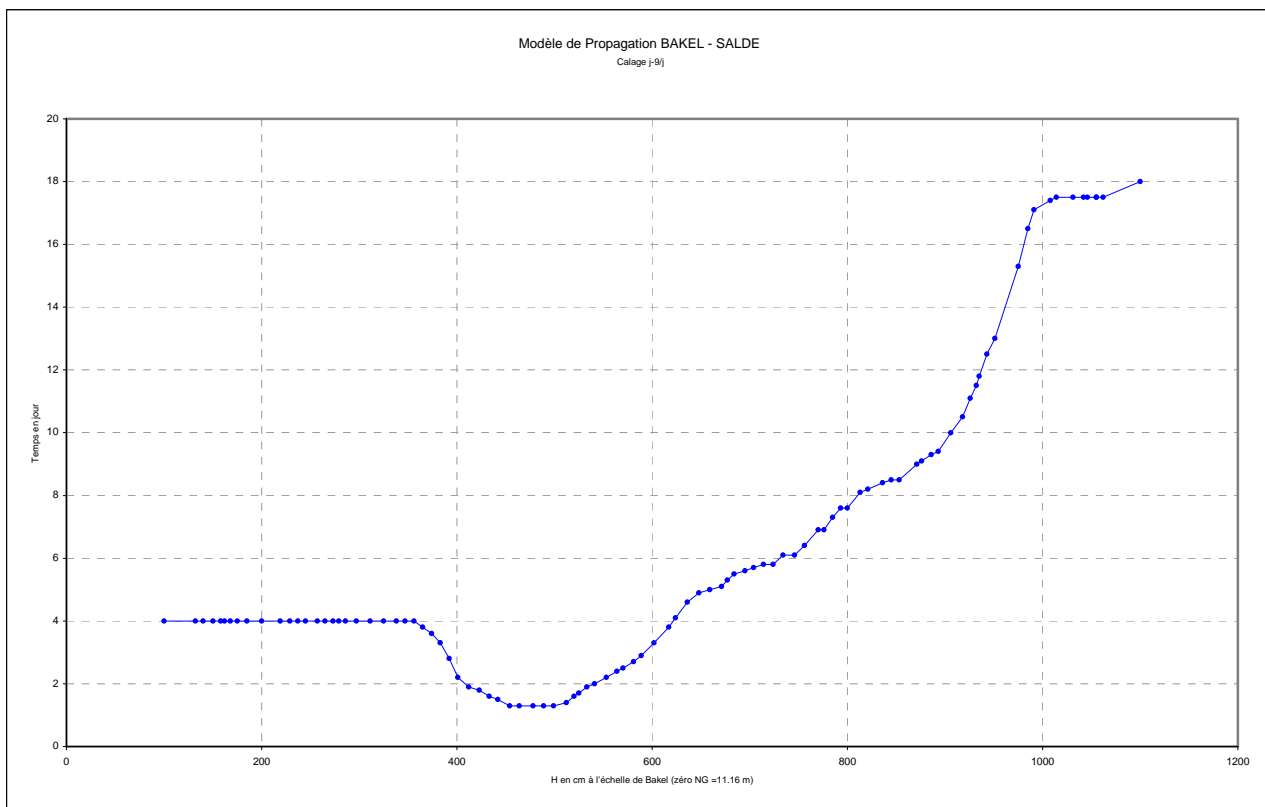


### Modèle de Propagation BAKEL – SALDE

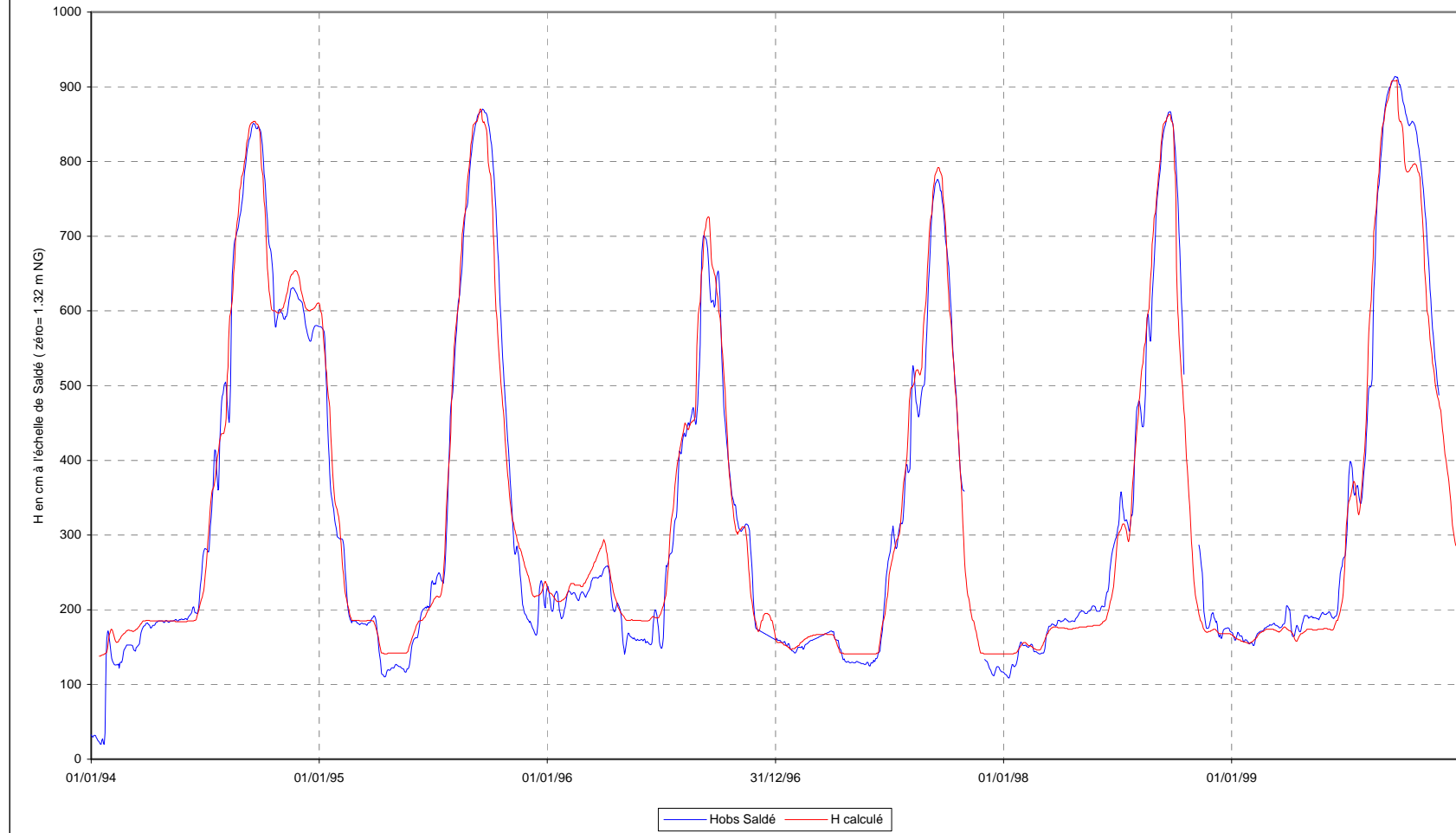
Hb	Tj	Hb	Hs
100	4	100	140
132	4	132	142
140	4	140	152
150	4	150	165
158	4	158	172
162	4	162	175
168	4	168	180
175	4	175	185
185	4	185	186
200	4	200	196
219	4	219	212
229	4	229	218
237	4	237	226
245	4	245	240
257	4	257	260
265	4	265	277
273	4	273	296
279	4	279	311
286	4	286	325
297	4	297	349
311	4	311	372
325	4	325	393
338	4	338	409
347	4	347	424
356	4	356	438
365	3.8	365	451
374	3.6	374	467
383	3.3	383	480
392	2.8	392	488
401	2.2	401	501
412	1.9	412	517
423	1.8	423	524
433	1.6	433	531
442	1.5	442	548
454	1.3	454	558
464	1.3	464	572
478	1.3	478	585
489	1.3	489	594
499	1.3	499	597
512	1.4	512	601
520	1.6	520	605
525	1.7	525	610
533	1.9	533	618
541	2	541	625
553	2.2	553	644
564	2.4	564	654
570	2.5	570	658
581	2.7	581	669
589	2.9	589	685

Hb	Tj	Hb	Hs
602	3.3	602	702
617	3.8	617	714
624	4.1	624	722
636	4.6	636	727
648	4.9	648	733
659	5	659	740
671	5.1	671	749
677	5.3	677	756
684	5.5	684	767
695	5.6	695	773
704	5.7	704	781
714	5.8	714	781
724	5.8	724	785
734	6.1	734	786
746	6.1	746	794
756	6.4	756	802
770	6.9	770	811
776	6.9	776	815
785	7.3	785	822
793	7.6	793	828
800	7.6	800	831
813	8.1	813	840
821	8.2	821	844
836	8.4	836	849
845	8.5	845	850
853	8.5	853	851
871	9	871	854
876	9.1	876	852
886	9.3	886	855
893	9.4	893	857
906	10	906	867
918	10.5	918	873
926	11.1	926	876
932	11.5	932	879
935	11.8	935	880
943	12.5	943	882
951	13	951	887
975	15.3	975	908
985	16.5	985	908
991	17.1	991	910
1008	17.4	1008	911
1014	17.5	1014	912
1031	17.5	1031	912
1042	17.5	1042	913
1046	17.5	1046	913
1055	17.5	1055	913
1055	17.5	1055	913
1062	17.5	1062	914
1100	18	1100	920



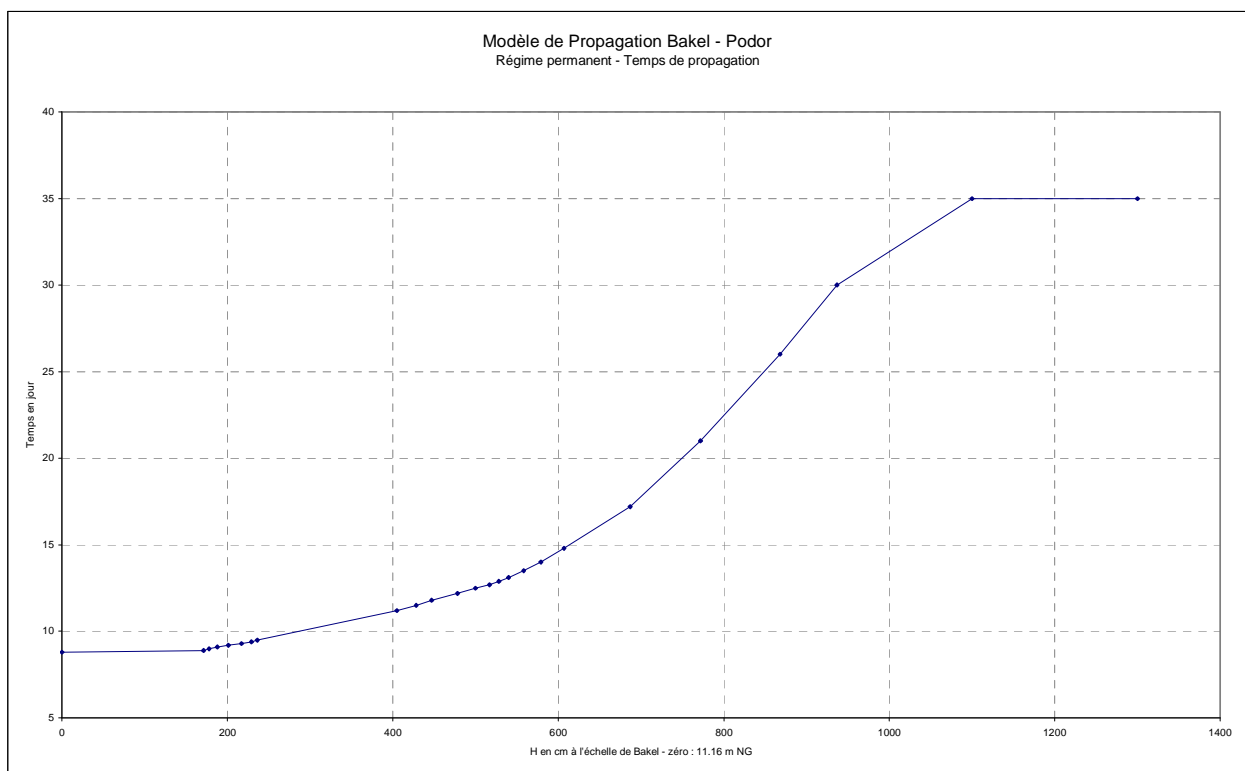
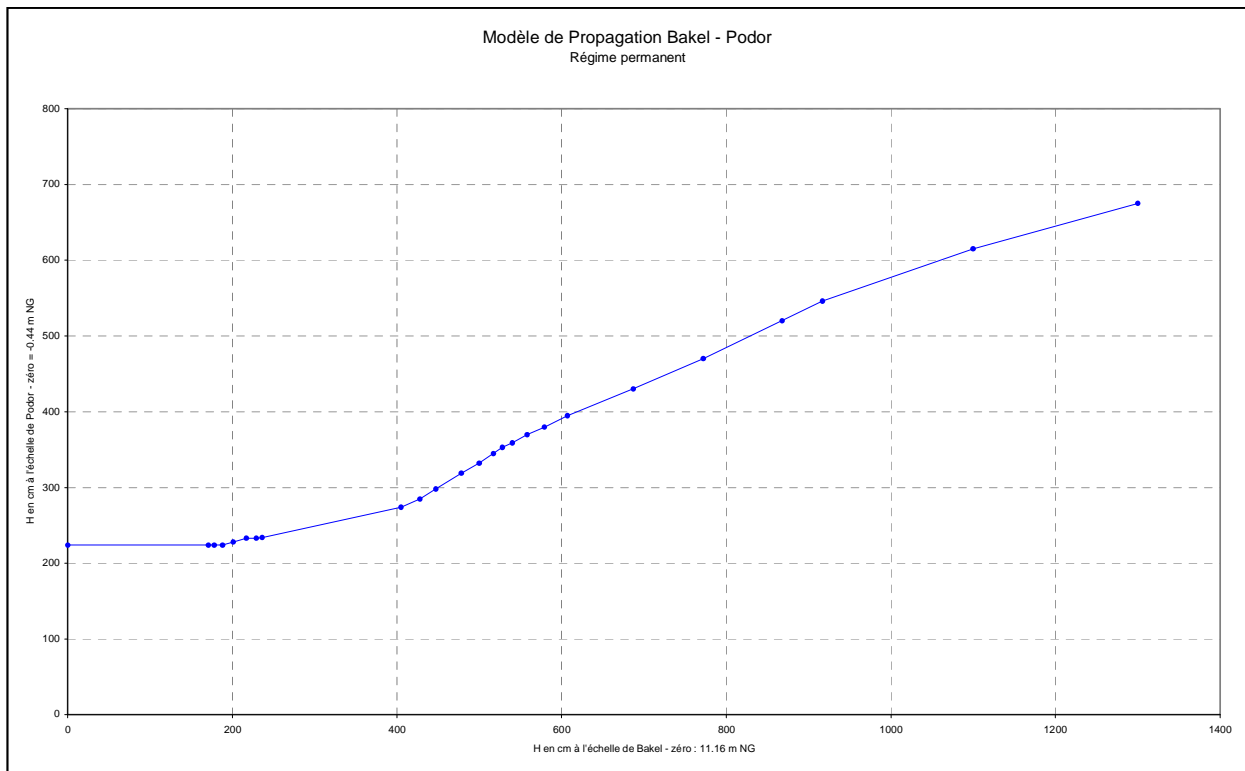


Modèle de propagation BAKEL - SALDE  
Amortissement Bakel - 9 jours

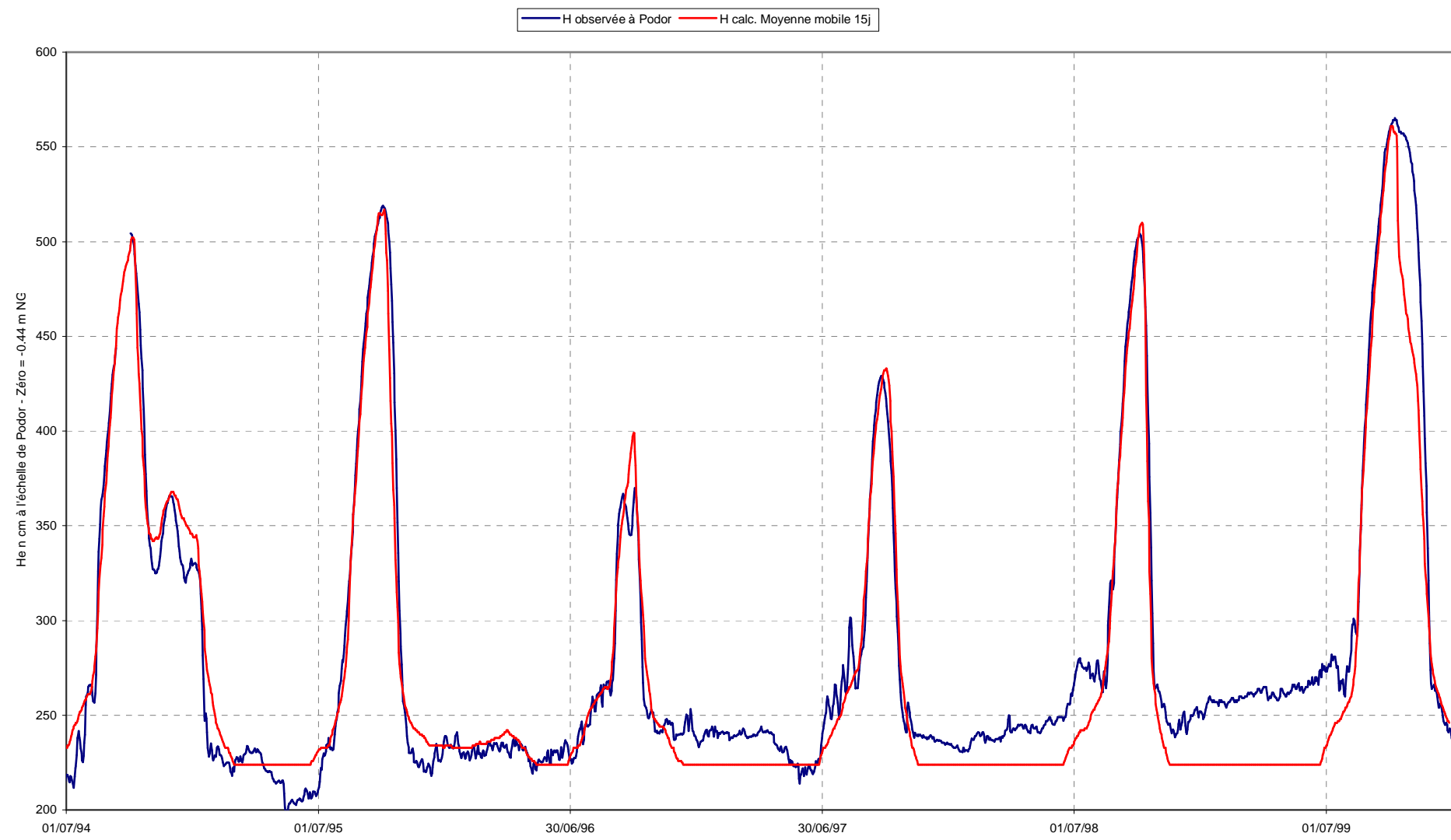


## Modèle de Propagation BAKEL – PODOR

Hbkl	Tjour	Hbkl	Hpodor
0	8,8	0	224
171	8,9	171	224
178	9	178	224
188	9,1	188	224
201	9,2	201	228
217	9,3	217	233
229	9,4	229	233
236	9,5	236	234
405	11,2	405	274
428	11,5	428	285
447	11,8	447	298
478	12,2	478	319
500	12,5	500	332
517	12,7	517	345
528	12,9	528	353
540	13,1	540	359
558	13,5	558	370
579	14	579	380
607	14,8	607	395
687	17,2	687	430
772	21	772	470
868	26	868	520
937	30	917	546
1100	35	1100	615
1300	35	1300	675

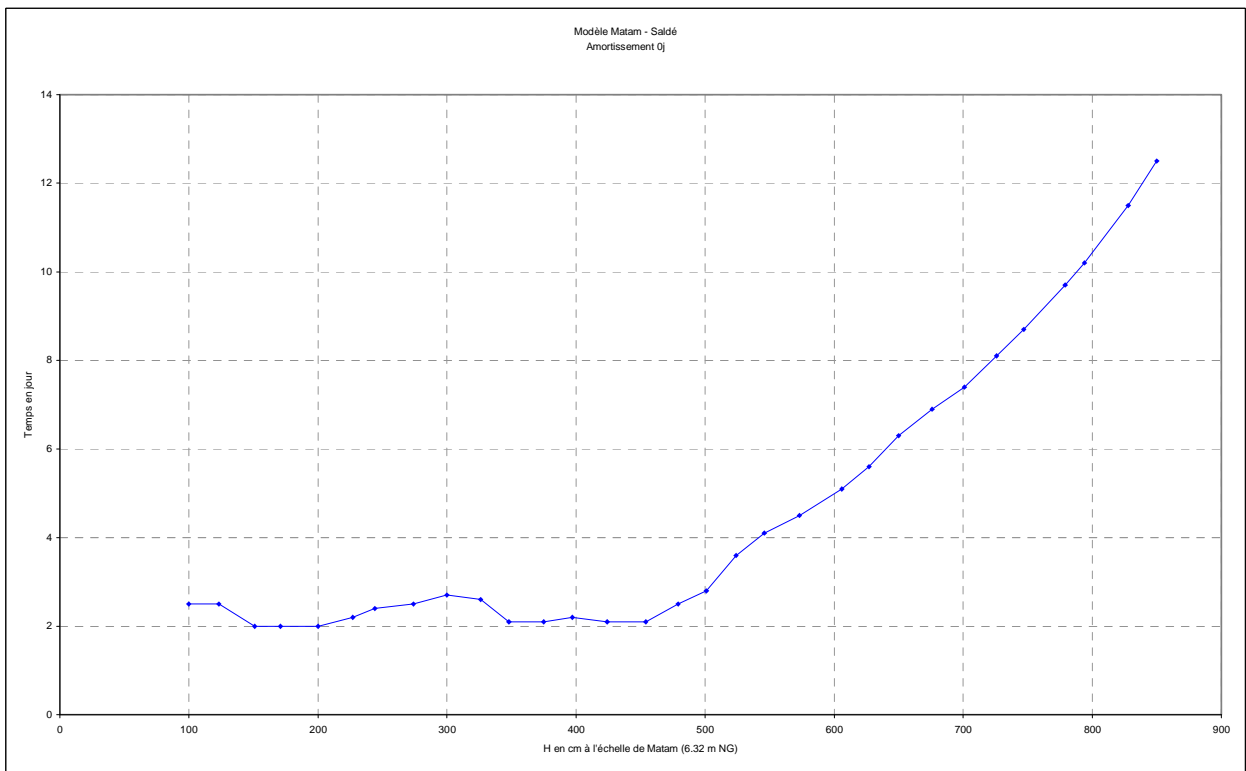
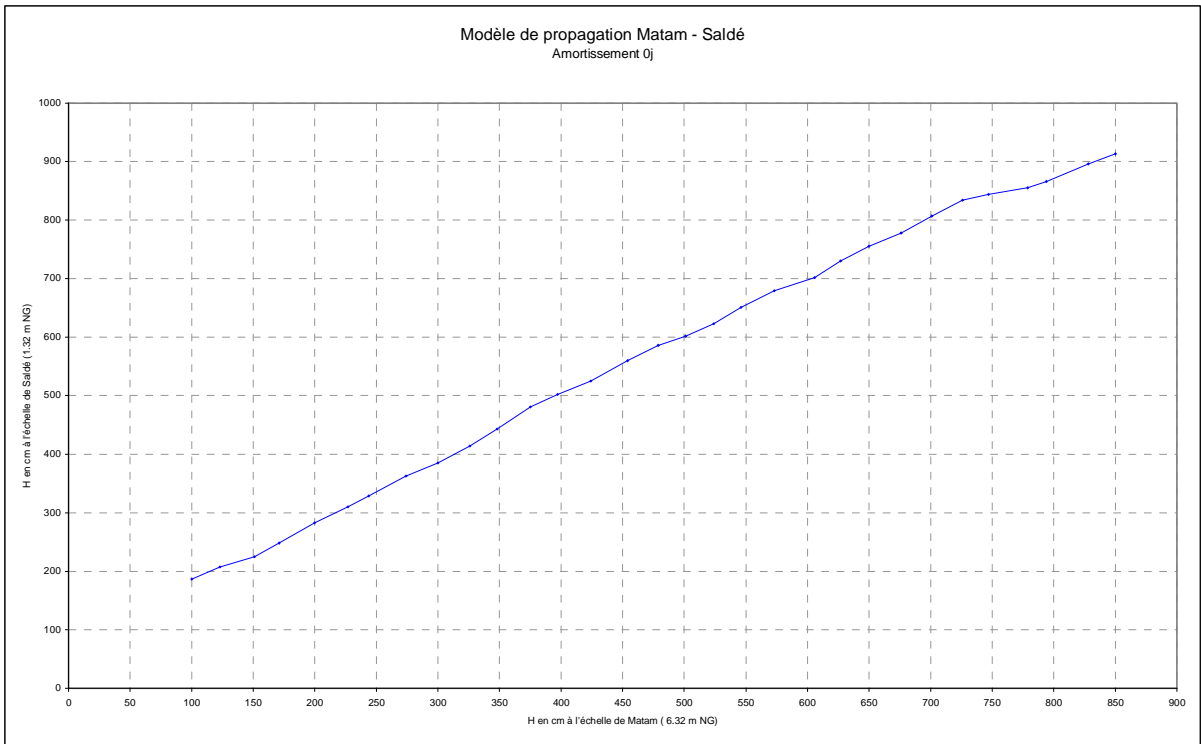


### Modèle de Propagation BAKEL - PODOR

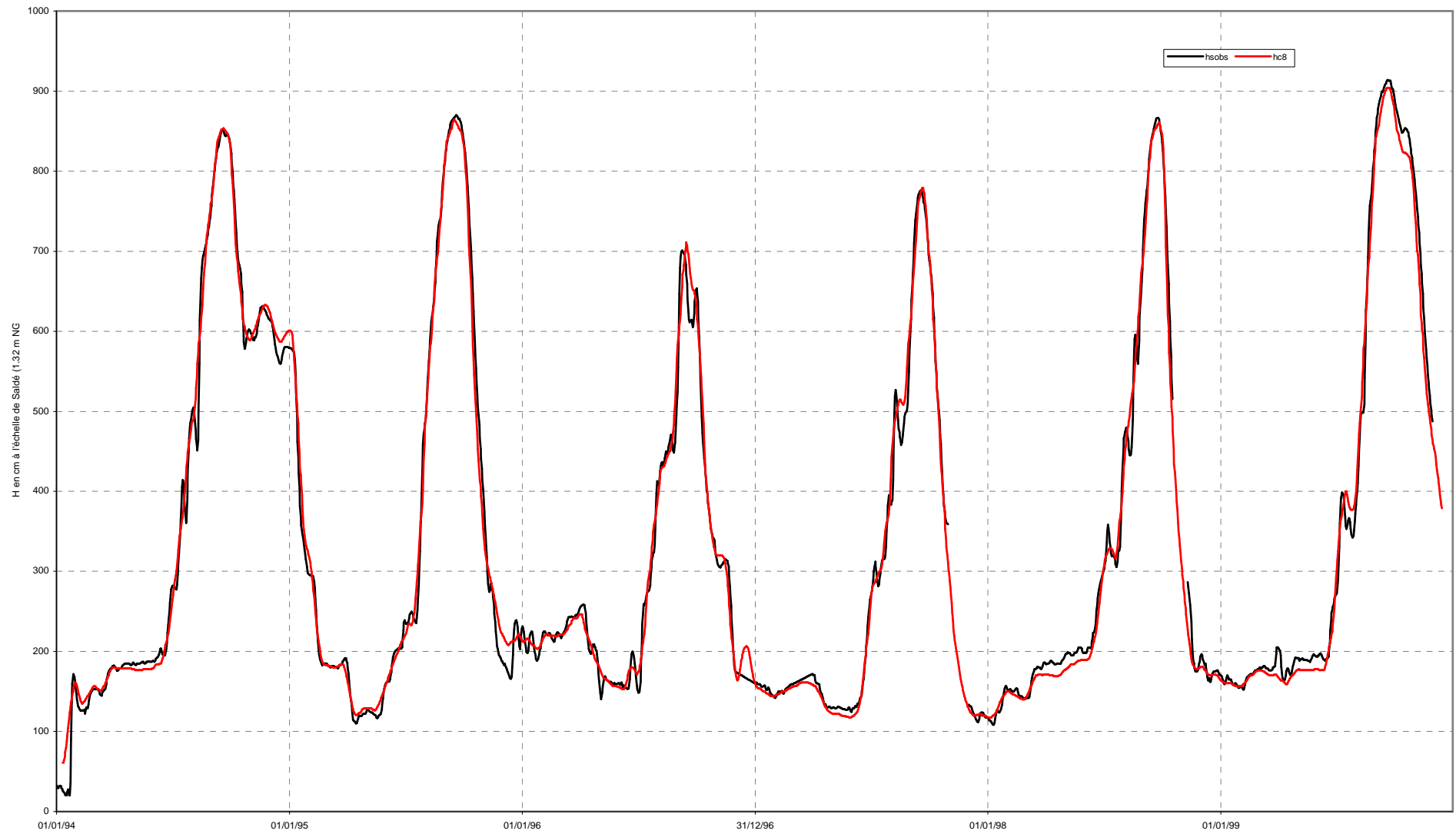


## Modèle de Propagation MATAM - SALDE

Hmatam	Tjour	Hmatam	Hsaldé
100	2,5	100	187
123	2,5	123	207
151	2	151	225
171	2	171	248
200	2	200	283
227	2,2	227	310
244	2,4	244	329
274	2,5	274	363
300	2,7	300	385
326	2,6	326	414
348	2,1	348	443
375	2,1	375	481
397	2,2	397	502
424	2,1	424	525
454	2,1	454	560
479	2,5	479	586
501	2,8	501	602
524	3,6	524	623
546	4,1	546	651
573	4,5	573	679
606	5,1	606	702
627	5,6	627	730
650	6,3	650	755
676	6,9	676	778
701	7,4	701	807
726	8,1	726	834
747	8,7	747	844
779	9,7	779	855
794	10,2	794	866
828	11,5	828	896
850	12,5	850	913



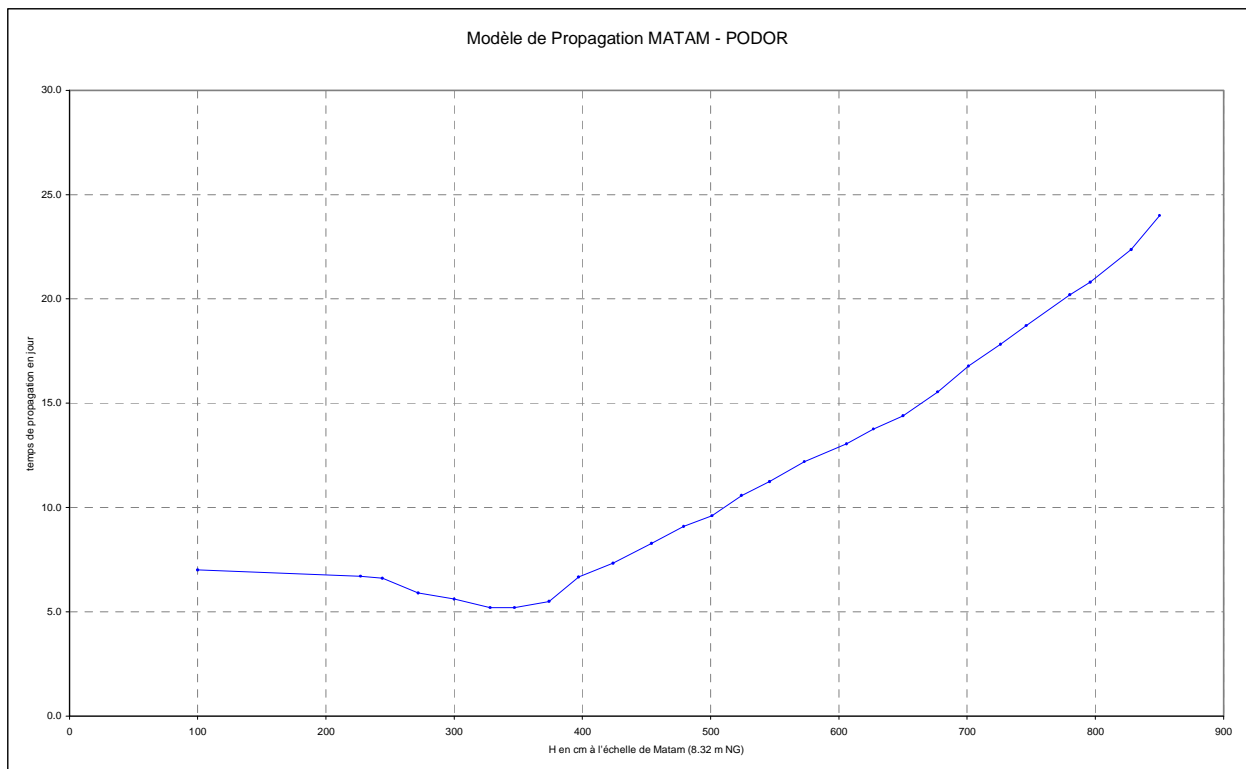
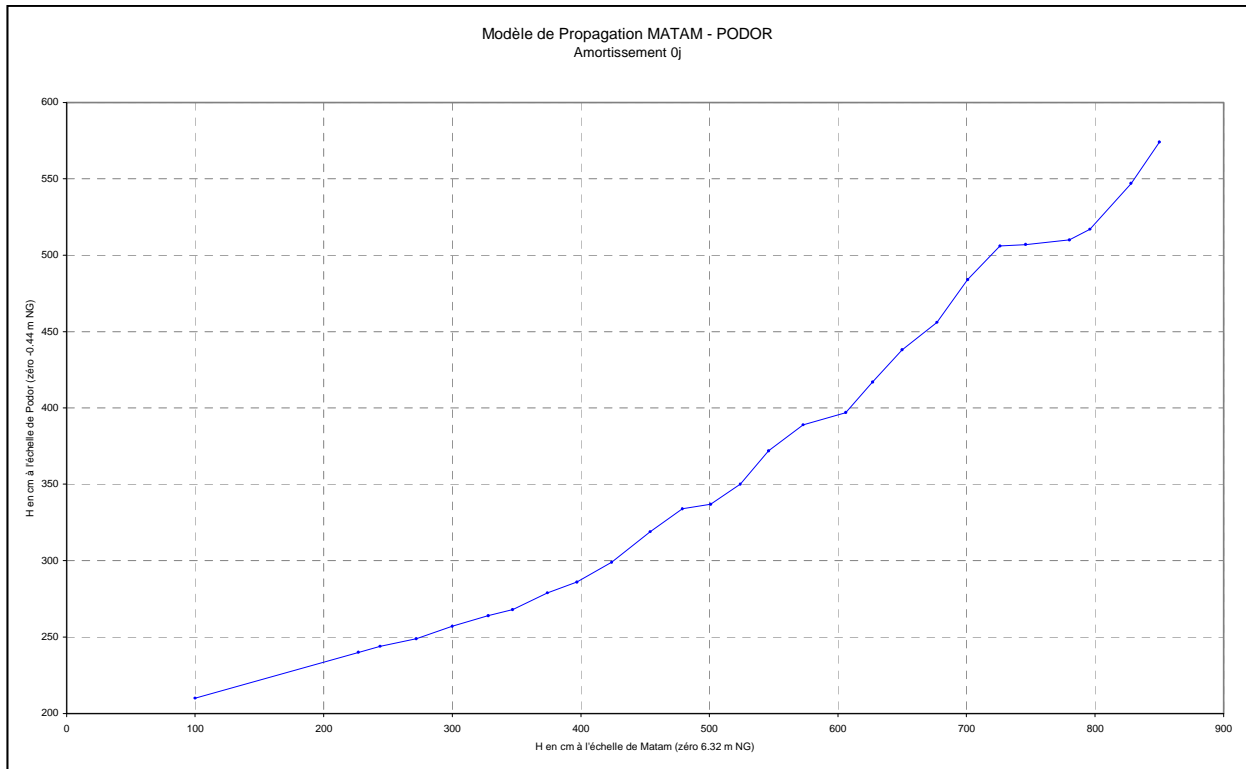
Modèle de Propagation Matam - Saldé  
Amortissement 8 j





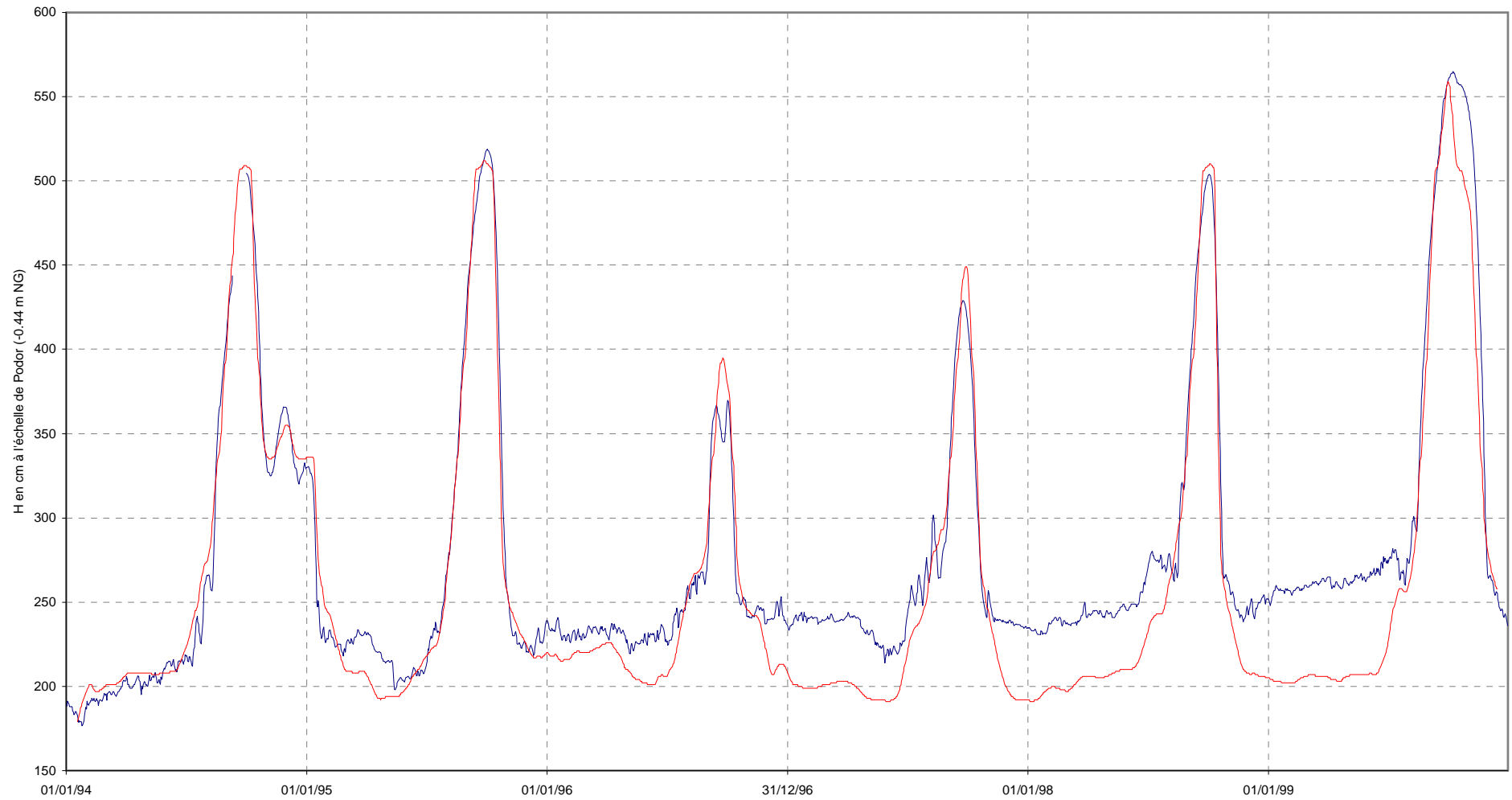
## Modèle de Propagation MATAM - PODOR

Hmatam	Tjour	Hmatam	Hpodor
100	7.0	100	210
227	6.7	227	240
244	6.6	244	244
272	5.9	272	249
300	5.6	300	257
328	5.2	328	264
347	5.2	347	268
374	5.5	374	279
397	6.7	397	286
424	7.3	424	299
454	8.3	454	319
479	9.1	479	334
501	9.6	501	337
524	10.6	524	350
546	11.2	546	372
573	12.2	573	389
606	13.1	606	397
627	13.8	627	417
650	14.4	650	438
677	15.5	677	456
701	16.8	701	484
726	17.8	726	506
746	18.7	746	507
780	20.2	780	510
796	20.8	796	517
828	22.4	828	547
850	24.0	850	574



Modèle Matam Podor  
Amortissement 10j

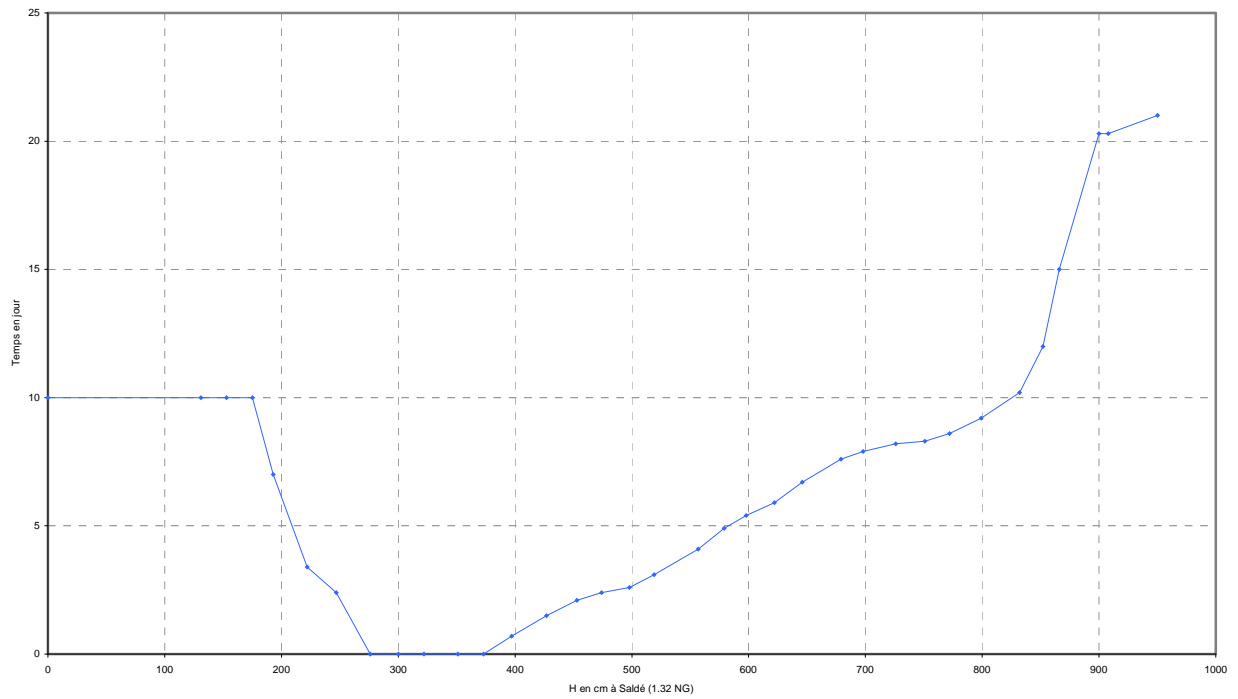
H Podor observées H podor calculées



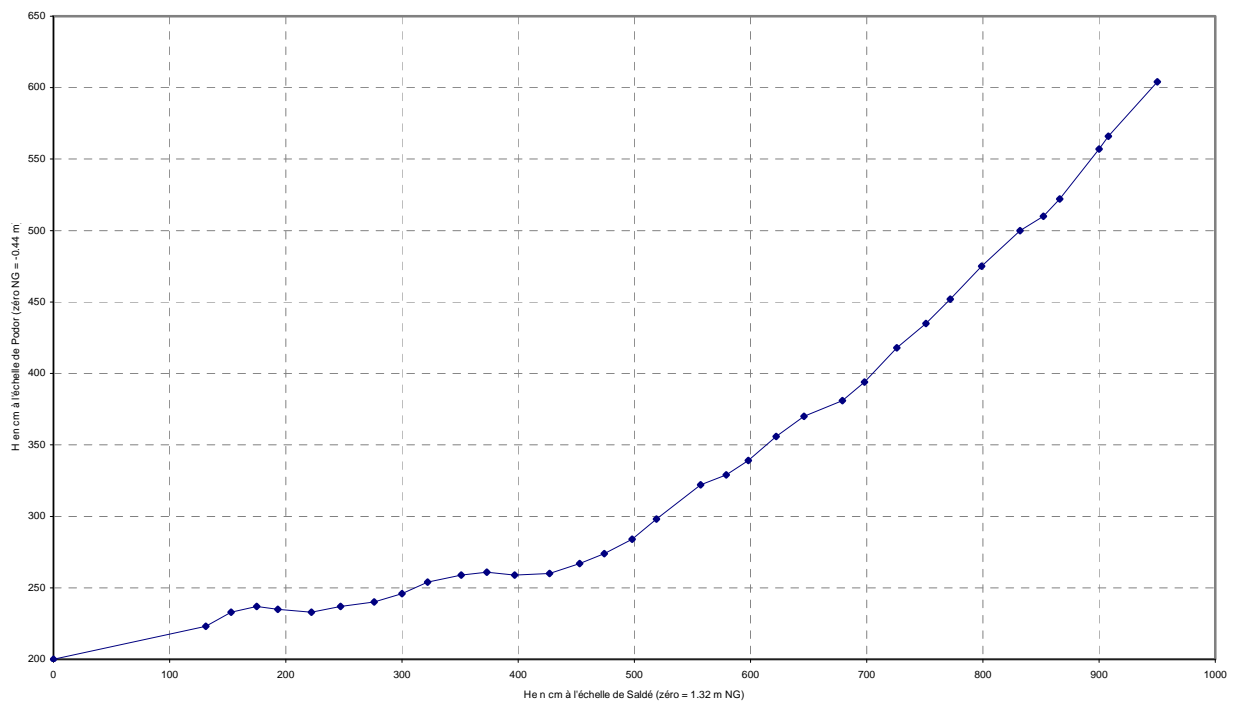
## Modèle de Propagation SALDE - PODOR

Hsaldé	Tjour	Hsaldé	Hpodor
0	10	0	200
131	10	131	223
153	10	153	233
175	10	175	237
193	7	193	235
222	3.4	222	233
247	2.4	247	237
276	0	276	240
300	0	300	246
322	0	322	254
351	0	351	259
373	0	373	261
397	0.7	397	259
427	1.5	427	260
453	2.1	453	267
474	2.4	474	274
498	2.6	498	284
519	3.1	519	298
557	4.1	557	322
579	4.9	579	329
598	5.4	598	339
622	5.9	622	356
646	6.7	646	370
679	7.6	679	381
698	7.9	698	394
726	8.2	726	418
751	8.3	751	435
772	8.6	772	452
799	9.2	799	475
832	10.2	832	500
852	12	852	510
866	15	866	522
900	20.3	900	557
908	20.3	908	566
950	21	950	604

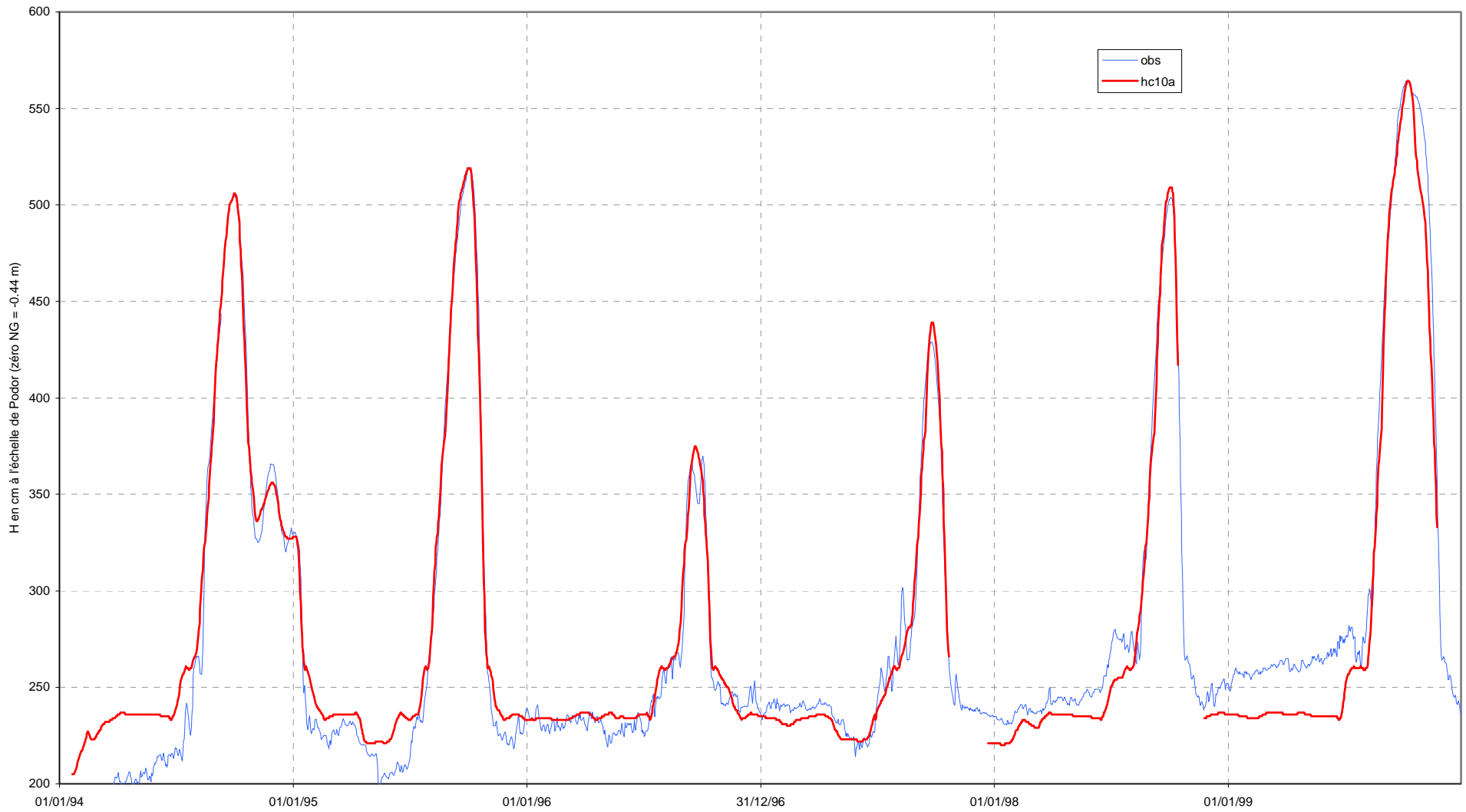
### SALDE - PODOR Calage 0j



### SALDE - PODOR Calage 0j



Modèle SALDE - PODOR  
Validation 1994/1999 - Amortissement 10j



# ANNEXE H

## Programme POGR

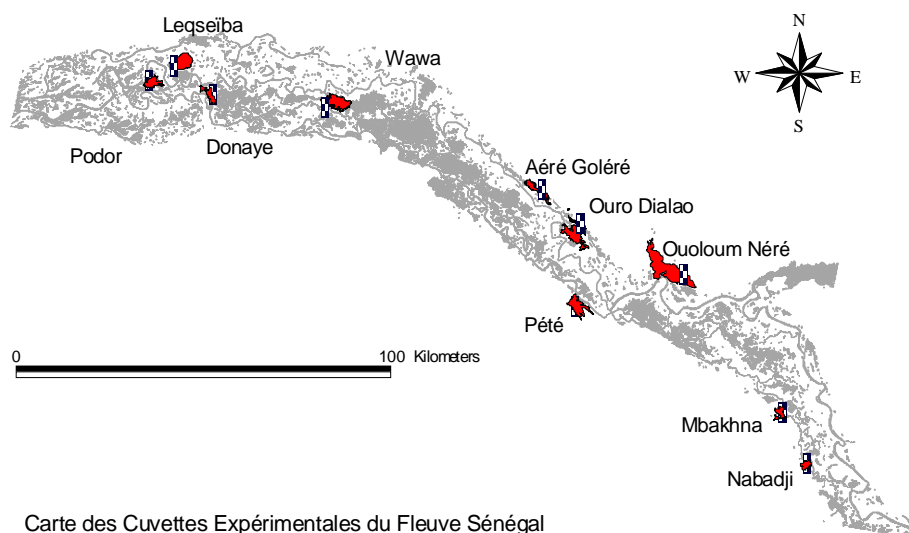
### Mise en eau du lit majeur entre Matam et Dagana Synthèse des résultats obtenus en 1997 et 1998

#### INTRODUCTION

Ce document reprend sous forme résumée l'ensemble des résultats obtenus sur les zones inondées de la vallée du fleuve Sénégal durant les campagnes 97-98 et 98-99. Le chapitre 1 est consacré aux résultats obtenus sur les cuvettes expérimentales, alors que le chapitre 2 est dédié aux interprétations des images SPOT.

#### 1. – Résultats des cuvettes expérimentales

##### 1.1 – Niveaux maximums dans les cuvettes



Carte des Cuvettes Expérimentales du Fleuve Sénégal

Figure n° 1 :

#### Localisation des Cuvettes Expérimentales

On trouvera au tableau n° 1 une présentation des niveaux maximums et de leur dates d'occurrence pour l'ensemble des échelles de la vallée (stations hydrométriques du réseau en majuscules et échelles de crue sur les cuvettes en caractères gras), présentées de l'amont vers l'aval. La différence de niveau médiane entre les maximums de 97 et 98 est de 86 cm. On remarque que les différences de niveau entre l'année 97 et l'année 98 sont du même ordre de grandeur sur les stations hydrométriques de base et sur les cuvettes. Cependant, deux valeurs de ces différences de niveau se distinguent pour Mbakhna et Ouôloum Néré.

A Mbakhna, cette forte différence de niveau est bien une réalité, elle provient du fait que le seuil à partir duquel se remplit la cuvette n'a pratiquement pas été dépassé en 97, alors qu'il a été largement dépassé en 98. Cela a permis en 98 un remplissage de la cuvette quasiment au niveau du fleuve, alors qu'en 98 seul le fond de la cuvette s'est rempli.

A Ouôloum Néré par contre, cette forte différence de niveau n'est pas justifiée, car la connexion entre le fleuve et la cuvette paraît excellente (cette cuvette a été la première à se remplir en 98). Les niveaux maxi en 97 et 98 ont été obtenus pour cette cuvette par nivellement des points d'arrêt des crues indiqués par les

paysans après enquête. Si le point indiqué pour 98 paraît fiable (présence de délaissées de crue), il n'en va pas de même pour le point indiqué pour 97, et ce niveau maxi 97 est probablement largement sous-estimé.

Si l'on excepte les valeurs de ces deux cuvettes, l'accroissement de niveau observé en 98 dans les cuvettes n'a été que légèrement supérieur à l'accroissement de niveau observé sur le fleuve (87 cm pour les cuvettes contre 83 cm pour les stations hydrométriques du fleuve).

Tableau n°1  
Dates et Niveaux maximaux aux échelles

Echelle	1997		1998		H maxi 98 - H maxi 97 (cm)
	Date Maxi	H Maxi (cm)	Date Maxi	H Maxi (cm)	
MATAM	13-sept	1328	11-sept	1437	109
Diamel / NABADJI	13-sept	1257	20-sept	1352	95
<b>Nabadji</b>	<b>15-sept</b>	<b>1244</b>	<b>19-sept</b>	<b>1338</b>	<b>94</b>
NDOULOUMADJI	16-sept	1213	20-sept	1296	83
<b>Mbakhna</b>	<b>17-sept</b>	<b>1087</b>	<b>23-sept</b>	<b>1259</b>	<b>172</b>
KAEDI	14-sept	1068	20-sept	1144	76
<b>Ouloum Néré</b>	<b>?</b>	<b>(866)</b>	<b>24-sept</b>	<b>1054</b>	<b>(188)</b>
SALDE	17-sept	908	25-sept	999	91
NGOUI	17-sept	887	22-sept	970	83
<b>Pété</b>	<b>24-sept</b>	<b>814</b>	<b>28-sept</b>	<b>900</b>	<b>86</b>
<b>Ouro Dialao</b>	<b>?</b>	<b>858</b>	<b>26-sept</b>	<b>926</b>	<b>68</b>
<b>Aéré Goléré</b>	<b>?</b>	<b>814</b>	<b>27-sept</b>	<b>924</b>	<b>110</b>
<b>Wawa</b>	<b>24-sept</b>	<b>557</b>	<b>01-oct</b>	<b>630</b>	<b>73</b>
GUEDE	20-sept	537	30-sept	589	52
<b>Donaye</b>	<b>24-sept</b>	<b>428</b>	<b>03-oct</b>	<b>518</b>	<b>90</b>
PODOR Préfecture	24-sept	385	03-oct	460	75
<b>Leqseïba</b>	<b>?</b>	<b>?</b>	<b>08-oct</b>	<b>418</b>	
<b>Podor Cuvette</b>	<b>30-sept</b>	<b>351</b>	<b>04-oct</b>	<b>439</b>	<b>88</b>

Données en Italique = valeurs estimées

## 1.2 – Surfaces inondées et surfaces cultivées

Le tableau n°2 montre les surfaces mises en eau et les surfaces de cultures de décrue récoltables pour les années 97-98 et 98-99. Pour les cuvettes de la Rive Gauche, les superficies ont été obtenues par levé de terrain au GPS. Pour les cuvettes de la Rive Droite, dont les tailles et l'éloignement rendent difficiles les levés de terrain, les superficies ont été obtenues par télédétection (caractères en italique). Les chiffres obtenus sont fiables pour les surfaces inondées, et comme on le verra plus loin, douteux voire fantaisistes pour les surfaces cultivées.

On notera d'abord que les accroissements de surface inondée ont été de 118% pour la Rive Gauche et de 115% pour la Rive Droite. Quant aux accroissements de surface cultivée, ils sont également très voisins sur les deux rives puisqu'ils sont de 129% pour la Rive Gauche et 130% pour la Rive Droite.

Pour les cuvettes de la Rive Gauche, le pourcentage global de surfaces récoltables par rapport aux surfaces mises en eau est de 58% en 97-98 et de 60% en 98-99 (à partir des levés GPS dans les 2 cas). Pour les cuvettes de la Rive Droite, ce pourcentage n'est que de 27% en 97-98, et de 30% en 98-99. Il faut cependant rappeler que les surfaces cultivées pour la Rive Droite ont été tirées des interprétations des images SPOT effectuées par le bureau d'études BRLi, qui est lui même extrêmement réservé sur la qualité des chiffres fournis.



Tableau n°2

## Surfaces des cuvettes et des récoltes

Cuvette		97-98		98-99		Accroissement 98-99	
		Eau (ha)	Récoltes (ha)	Eau (ha)	Récoltes (ha)	Eau (ha)	Récoltes (ha)
Nabadji	RG	191	92	448	162	257	70
Mbakhna	RG	59	0	611	107	552	107
Ouoloum Néré	RD	<i>4 964</i>	<i>1 288</i>				
Pété	RG	346	268	1 485	928	1 139	660
Ouro Dialao	RD	2 206	<i>742</i>	3 357	143	1151	-599
Aéré Goléré	RD	<i>1 008</i>	165	1 929	652	921	487
Wawa	RG	1 845	<i>1 004</i>	2 520	1 325	675	321
Donaye	RG	173	8	795	429	622	421
Leqseïba	RD	175	45	1 997	1 395	1 822	1 350
Podor	RG	8 74	641	1 754	1 651	880	1 010
<b>Total Rive Gauche</b>		<b>3 488</b>	<b>2 013</b>	<b>7 613</b>	<b>4 602</b>	<b>4 125</b>	<b>2 589</b>
<b>Total Rive Droite (*)</b>		<b>3 389</b>	<b>952</b>	<b>7 283</b>	<b>2 190</b>	<b>3 894</b>	<b>1 238</b>
<b>Total Général (*)</b>		<b>6 877</b>	<b>2 965</b>	<b>14 896</b>	<b>6 792</b>	<b>8 019</b>	<b>3 827</b>

Données en Italique = Valeurs issues de l'interprétation des images SPOT  
 Les autres valeurs proviennent des contours mesurés sur le terrain au GPS  
 (\*) Sans la cuvette de Ouoloum Néré dont les résultats manquent en 98-99

### 1.3 – Difficulté d'estimer les surfaces cultivées par télédétection

Durant la campagne 97-98, les contours des cultures de décrue levés au GPS sur les cuvettes de la Rive Gauche avaient été fournis à BRLi qui les avait utilisés comme vérité sol pour l'interprétation des surfaces cultivées au niveau de l'ensemble de la vallée. Les résultats de ces interprétations sur les cuvettes expérimentales étaient donc très comparables aux résultats des levés au GPS, et nous ne disposons pas de moyen de vérification des interprétations SPOT.

Pour la campagne 98-99, les ingénieurs de BRLi ont effectué eux-mêmes les observations au sol (mission de Mr Jacky ASTIER, Expert, du 18 mars au 1<sup>er</sup> avril 99). Nous avons donc pu comparer pour les cuvettes de Rive Gauche les résultats issus des levés au GPS et de l'interprétation satellitaire. Ces résultats comparatifs sont regroupés dans le tableau n° 3 ci-dessous. Ils confirment les doutes que l'on pouvait émettre dès la campagne 97-98 sur l'interprétation satellitaire des superficies en culture de décrue, dont les résultats paraissent souvent fantaisistes. On constate que l'interprétation satellitaire sous-estime (souvent fortement) les cultures de décrue, sauf pour le cas de la cuvette de Wawa où une importante superficie de végétation naturelle de fond de cuvette a été confondue avec les cultures de décrue. Il faut dire à la décharge de BRLi que pour la campagne 98-99, les images ont été prises très tardivement, alors que les cultures de décrue étaient déjà desséchées et en partie récoltées.

Un autre exemple de la mauvaise fiabilité des estimations de cultures de décrue à partir des images SPOT est donné ci-après. BRLi n'a effectué aucune vérité terrain pour la scène 26-317mps. Cela a conduit ce bureau d'études à utiliser les vérités terrain des scènes voisines pour interpréter cette scène. Le résultat obtenu paraît sous-estimer fortement les cultures de décrue pour la scène 26-317. On peut juger de l'importance de cette sous-estimation en examinant sur la figure n° 1 les surfaces de cultures estimées pour la scène 26-317 dans une zone de superposition avec la scène 25-317. On constate que les superficies identifiées en culture obtenues pour la scène 26-317 sont très différentes de celles obtenues pour la scène voisine.

Tableau n°3  
 Comparaison des Surfaces Cultivées estimées par GPS ou Télédétection

Cuvette	Surfaces GPS (ha)	Surfaces Télédétection (ha)
Nabadji	162	55
Mbakhna	107	16
Pété	928	187
Wawa	1325	1984
Donaye	429	168
Podor	1651	839
Total	4602	3242

## 2. – Synthèse des résultats issus de la télédétection (Images Spot)

Dans le cadre d'une commande de l'OMVS au bureau d'études BRLi, des séries d'images Spot ont été acquises et traitées durant les campagnes 97-98 et 98-99, et une étude réalisée par BRLi pour chaque campagne.

### 2.1 – Campagne 97-98

Les résultats de la campagne 97-98 ont été repris par l'IRD à partir des informations sur supports numériques fournies par BRLi. Du fait de la prise tardive des images sur la partie amont de la vallée (zone de Mbagne à Kanel), les surfaces inondées de cette zone ont été estimées à partir d'une analyse des zones de retrait de l'eau basée sur la couleur du sol. Cette analyse ne conduit en réalité qu'à une estimation assez grossière, car les traces d'humidité sur le sol ne persistent que peu de temps.

Les résultats obtenus pour la zone de Fanaye à Mbagne sont présentés au tableau n°4, et les résultats de la zone de Mbagne à Kanel au tableau n°5. On note ra pour les 2 tableaux :

- La ligne « Bras + Mares » représente d'une part les parties linéaires servant visiblement au passage de l'eau (bras), d'autre part les très petites cuvettes, de l'ordre de un ha ou moins (mares)
- La ligne « Permanents » représente soit les cuvettes très profondes qui restent en eau une bonne partie de l'année (souvent des anciens méandres du fleuve), soit les cuvettes qui restent désormais en eau toute l'année du fait de la gestion haute du barrage de Diama.
- La ligne « Gayo » ne représente pas le Gayo au sens strict, mais l'axe hydraulique principal traversant l'île à Morphil et se terminant par le Gayo. Du fait du barrage de Diama, cet axe reste désormais en eau toute l'année.
- La ligne « Diamel » ne représente pas le Diamel au sens strict, mais l'axe hydraulique commençant avec le Diamel et rejoignant le Doué près de sa défluence avec le fleuve Sénégal.

Tableau n°4  
Superficies inondées pour la zone Fanaye / Mbagne en 97-98

Entité \ Date	Septembre 97	Octobre 97
Cuvettes	43934	29624
Bras + Mares	7158	3619
Permanents	3292	3292
Sénégal	6011	5659
Doué	3655	3859
Koundi	1133	982
Gayo	1158	1158
Ngalenka	236	244
<b>Rappel Cuvettes</b>	<b>43934</b>	<b>29647</b>
<b>Total Fleuves</b>	<b>12193</b>	<b>11902</b>
<b>Total Général</b>	<b>66577</b>	<b>48460</b>

Tableau n°5  
Superficies inondées pour la zone Mbagne / Kanel en 97-98

Entité \ Date	Septembre 97	Octobre 97
Cuvettes		9706
Zone de Retrait		21251
Bras + Mares		2272
Sénégal		5442
Diamel		1087
<b>Cuvettes + Retraits</b>		<b>30957</b>
<b>Total Fleuves</b>		<b>6529</b>
<b>Total Général</b>		<b>39758</b>

On trouvera au tableau n° 6 les surfaces des cuvettes inondées calculées pour chacune des zones, en regard des surfaces cultivées déterminées à partir des images Spot. On constate que les surfaces cultivées ont représenté environ la moitié des surfaces des cuvettes. Il faut toutefois prendre avec une certaine réserve les estimations des cultures de décrue faites à partir des images Spot. En effet dans la conclusion de son rapport, BRLi insiste sur le fait que : « **Les résultats des classifications automatiques devront être utilisés avec prudence, en particulier les superficies de cultures de décrue. Il a en effet été indiqué les difficultés rencontrées pour l'établissement de la classification correspondante, difficultés liées à une réponse peu marquée des cultures de décrue** ».

Tableau n°6  
Résultats des mises en cultures de décrue, campagne 97-98

Zone	Surface inondée (ha)	Surface cultivée (ha)	Pourcentage de mise en culture
Fanaye à Mbagne	46 394	20 857	45%
Mbagne à Kanel	30 957	17 015	55%
Ensemble	77 351	37 872	49%

Enfin, et de manière anecdotique, on trouvera au tableau n°7 la comparaison des superficies données dans le rapport BRLi avec les superficies calculées dans le présent rapport. On constate dans ce tableau une grosse différence inexplicable pour les résultats d'Octobre 97.

Tableau n°7  
Comparaison des surfaces globales BRLi et IRD

Origine	Eau Sept 97 Fanaye à Mbagne (ha)	Eau Oct 97 Fanaye à Kanel (ha)	Zone retrait Oct 97 Fanaye à Kanel (ha)	Cultures Févr 98 Fanaye à Kanel (ha)
BRLi	60 599	34 455	45 904	37 865
ORSTOM	63 321	63 278	38 699	37 873

On notera que nous avons pris pour la superficie des cultures donnée par BRLi le chiffre de 37 865 ha résultant de la somme des sous totaux du tableau des résultats finaux, et non 33 198 ha comme indiqué à tort dans ce tableau à la ligne « Total ».

## 2.2 – Campagne 98-99

Durant cette campagne, la zone déflue du Doué à Matam n'a pas été couverte par les images SPOT, par contre nous avons obtenu des images sur la zone Matam – Bakel.

On trouvera au tableau n°8 les résultats obtenus sur la zone Dagana – déflue du Doué.

Tableau n°8  
Superficies inondées pour la zone Dagana / Déflue du Doué en 98-99

Entité \ Date	Octobre 98
Cuvettes	71733
Bras + Mares	4 424
Permanents	9 178
Sénégal	
Doué	
Koundi	
Gayo	
Ngalenka	
<b>Rappel Cuvettes</b>	<b>71 733</b>
<b>Total Fleuves</b>	<b>13 279</b>
<b>Total Général</b>	<b>98 615</b>

Pour la zone de Matam à Bakel, l'image de la partie Ouest (Matam) est trop tardive, alors que l'image de la partie Est a été prise à une date plus favorable. Les surfaces des cuvettes mises en eau ont été estimées de manière grossière à 25 000 ha pour cette zone.

On notera enfin que des surfaces de cultures de décrue ont été estimées par interprétation des images SPOT de Mars 99. Vu le peu de fiabilité de ces traitements, nous avons préféré ne pas les mentionner ici (voir le tableau n3 de la partie 1)

### 2.3 – Comparaison des résultats des inondations entre les 2 campagnes (97-98 et 98-99)

#### 2.3.1 – Zone de la Défluence du Doué à Dagana

Cette zone est la seule pour laquelle on dispose d'images à la fois en 97 et en 98.

Les images 97 s'arrêtant à Fanaye, une extrapolation des surfaces inondées a été faite jusqu'à Dagana à partir des données observées dans la région de Fanaye en 97 et en 98, conduisant à majorer légèrement les résultats 97 de cette zone. Les résultats de la comparaison sont donnés au tableau n°9 ci-dessous :

Tableau n°9 : Comparaison des surfaces de cuvettes inondées en 97 et 98

Entité	1997	1998
<b>Cuvettes</b>	<b>45013</b>	<b>71733</b>
Bras + Mares	8190	4425
Permanents	5809	9178
Fleuves	13091	13279
Total Général	72103	98615

N.B. : Les images de 98 ont été prises une à deux semaines après le passage du maximum de la crue. Ce fait combiné à l'interprétation plus restrictive des zones inondées conduit à une légère sous estimation des surfaces des cuvettes en 98.

On peut remarquer également que sur la zone défluence du Doué à Dagana, l'augmentation de la surface des cuvettes en 98 par rapport à 97 n'est que de 59% , alors que l'on a observé pour les 7 cuvettes expérimentales de la même zone une augmentation de 109%. Cette grosse différence est probablement due au poids de la cuvette de Leqseiba, qui ne s'est pratiquement pas mise en eau en 97, alors qu'elle s'est bien remplie en 98.

Il nous a paru intéressant de voir comment les surfaces des cuvettes de cette zone se répartissent entre la Rive Droite, l'île à Morfil et la Rive Gauche (limitée par le Sénégal et le Doué). Les résultats sont donnés au tableau n° 10 ci-dessous :

Tableau n°10 : répartition des surfaces des cuvettes par zone (en Ha)

Entité	1997				1998			
	Rive Droite	Ile à Morfil	Rive Gauche	Total	Rive Droite	Ile à Morfil	Rive Gauche	Total
<b>Cuvettes</b>	<b>10259</b>	<b>26773</b>	<b>7981</b>	<b>45013</b>	<b>20183</b>	<b>39199</b>	<b>12351</b>	<b>71733</b>
Bras + Mares	3294	3178	1719	8190	1693	2005	726	4424
Permanents	3921	330	1558	5809	5463	845	2870	9178
Total	17474	30281	11258	59012	27339	42049	15947	85335
Pourcentage	23%	59%	18%	100%	28%	55%	17%	100%

N.B. : La rive droite représente la Mauritanie, alors que la rive gauche représente les surfaces des cuvettes sur le territoire Sénégalais en dehors de l'île à Morfil.

#### 2.3.2 – Extension au niveau de la moyenne vallée du Fleuve Sénégal (Bakel – Dagana)

Pour obtenir une estimation grossière des surfaces de cuvettes inondées en 97 et 98, au niveau de la moyenne vallée du fleuve Sénégal, il nous faut faire l'hypothèse que les rapports entre les superficies observées en 97 et 98 sur les zones de la Défluence du Doué à Bakel ont été les mêmes que le rapport entre les superficies 97 et 98 de la zone Dagana – Défluence Doué. On obtient ainsi pour les zones sans images des ordres de grandeur notés en rouge, qui permettent de se faire une idée des surfaces totales des cuvettes pour la vallée du fleuve Sénégal, présentés dans le tableau n°11 ci-dessous :

Tableau n° 11 : Estimation des surfaces des cuvettes entre Bakel et Dagana en 97 et 98

Zone	Année 97 (ha)	Année 98 (ha)
Dagana – Défluece Doué	45 013	<b>71 733</b>
Défluece Doué - Matam	<i>30 957</i>	<i>49 300</i>
Matam - Bakel	<i>15 700</i>	<i>25 000</i>
<b>Total Cuvettes Dagana - Bakel</b>	<b>92 000</b>	<b>146 000</b>

NB : chiffres en italique : par estimation des zones de retrait sur des images tardives  
 chiffres en rouge : estimations au prorata des valeurs observées en 97 et 98 sur la zone Dagana – Défluece Doué

## CONCLUSION

Les estimations faites au dernier paragraphe ci-dessus permettent d'obtenir une estimation (grossière) des surfaces cultivées en décrue durant les campagnes 97-98 et 98-99.

Les études menées sur les 6 cuvettes expérimentales de la rive gauche ont montré que les surfaces cultivées en cultures de décrue étaient de l'ordre de 50% des surfaces des cuvettes. Les estimations même imprécises des cultures de décrue faites à partir de l'interprétation des images SPOT conduisent à un ratio du même ordre.

En appliquant ce ratio, on obtiendrait donc environ 46 000 ha cultivés en 97-98 et 73 000 ha en 98-99.

Il faut bien comprendre que ces chiffres constituent des ordres de grandeur et non des valeurs fermes et définitives. Ces chiffres pourront probablement être précisés après l'étude des images SPOT anciennes disponibles sur la zone Dagana – Matam entre 1986 et 1988. Pour la zone Matam – Bakel, il faudrait étudier les disponibilités d'images LANDSAT pour les années passées.

On notera que l'objectif de 50 000 ha de cultures de décrue fixé par l'étude Alexander GIBB aurait presque été atteint en 1997. Il faut cependant prendre en compte que l'année 97 a été ressentie comme nettement déficitaire par les paysans que nous avons pu rencontrer lors des mesures de suivi sur le terrain.

# ANNEXE I

Centre IRD de DAKAR

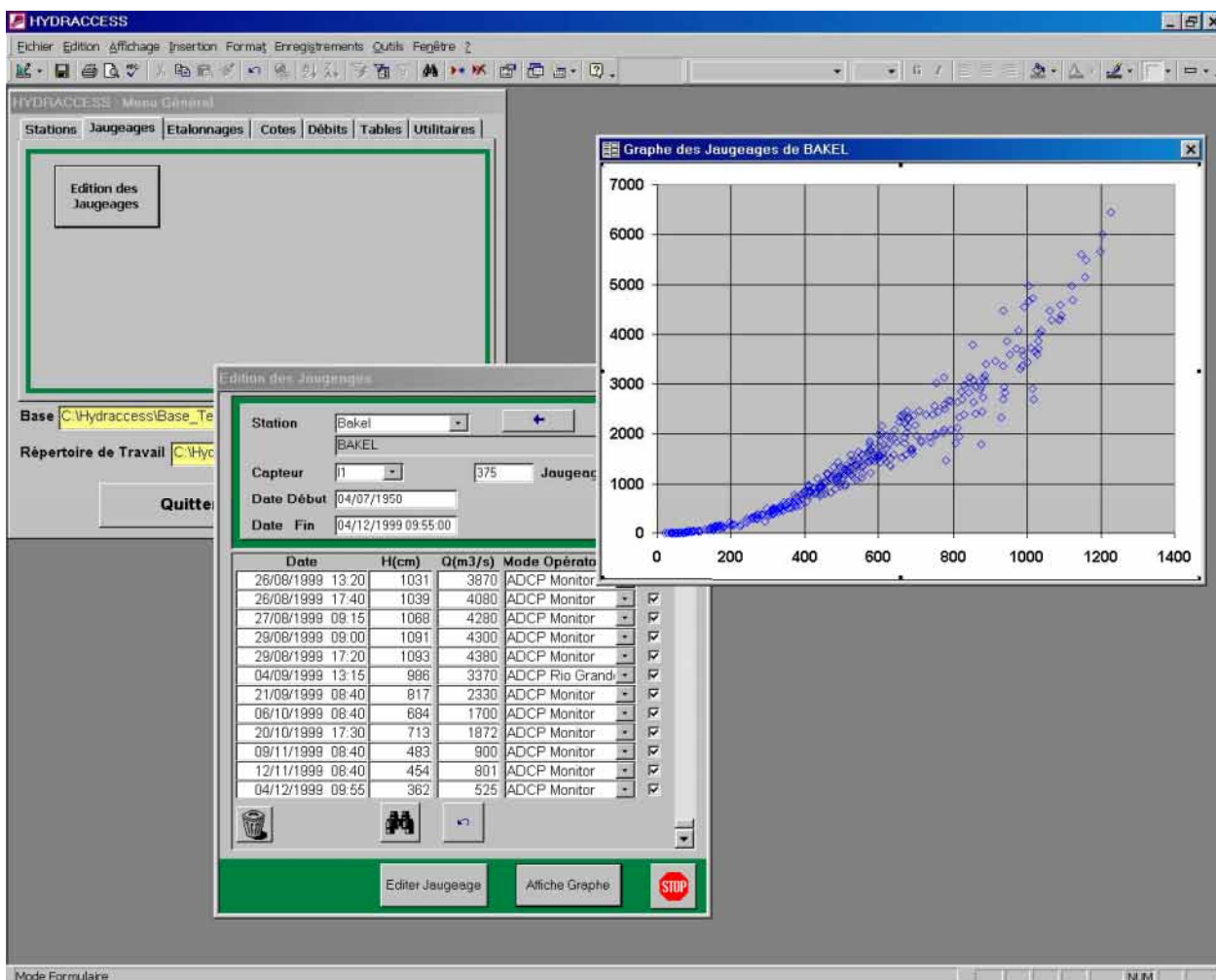
Projets  
Optimisation de la Gestion  
des Réservoirs de l'OMVS  
et  
Appui Institutionnel aux  
Brigades Hydrologiques

Institut de Recherche pour  
le Développement



## HYDRACCESS

Base de données hydrométriques sous Access 2000



## INTRODUCTION

Jusqu'à ces derniers mois, nous utilisons toujours au Sénégal pour la gestion de nos données hydrométriques HYDROM 2, le passage à HYDROM 3 ne nous ayant pas semblé motivant pour plusieurs raisons :

- Ergonomie parfois meilleure mais aussi parfois pire que HYDROM 2 (en particulier, la nécessité de faire apparaître un menu au moyen des touches Shift – Alt ou Shift – Ctrl avant de pouvoir choisir une option rend acrobatique certaines opérations comme l'insertion de cotes dans des données déjà existantes).

Certaines fonctions importantes que nous (ou nos partenaires) utilisons fréquemment ne sont pas gérées par HYDROM 3, comme le dépouillement de jaugeages, la digitalisation des diagrammes, l'importation de diagrammes provenant de capteurs électroniques. Cela oblige donc à utiliser 2 logiciels à la fois, alors que certains de nos partenaires ont déjà bien du mal à se former à l'utilisation de HYDROM 2.

- La base de données HYDROM 3 est toujours dans un mode 'fermé', ce qui oblige (comme sous HYDROM 2) à des exportations et réimportations fréquentes lorsque l'on procède à des analyses de données avec des outils personnels, et que l'on souhaite procéder à la mise à jour de ces analyses après une saisie de données nouvelles, ou intégrer à la base de données des corrections effectuées de manière externe.

Cependant, la complexité de notre structure de travail au Sénégal, dans laquelle de nombreux intervenants peuvent être fournisseurs ou clients de données hydrométriques, rendait de plus en plus difficile la gestion des bases de données partagées entre de nombreux utilisateurs. Les données doivent en effet être réparties entre :

- une équipe IRD au Sénégal
- une équipe IRD à Montpellier
- 5 brigades hydrologiques nationales
- l'OMVS (Office de mise en Valeur du Fleuve Sénégal)
- un certain nombre de stagiaires et étudiants

L'environnement mono-utilisateur des logiciels sous DOS ne permettant pas un accès partagé à une base de données centrale, même sur un réseau local, il fallait donc 'éclater' la base de données entre tous les intervenants, avec toutes les difficultés que cela implique pour maintenir une base centrale à jour et en bon état. En particulier, la gestion des homogénéisations de données était très mal réalisée, puisque souvent les utilisateurs qui détectaient des anomalies dans les données ne reportaient pas leurs corrections dans une base centrale, mais se contentaient de garder leurs mises à jour dans des fichiers Excel ou Ascii.

Enfin, comme c'est généralement en faisant des graphiques ou des analyses comparatives que l'on détecte des anomalies dans les données, et que ces analyses se faisaient de plus en plus à l'extérieur de HYDROM, nous étions sans cesse obligés de procéder à des corrections sous HYDROM avant de ré-exporter les données, et de refaire ces mêmes graphiques ou analyses pour les maintenir en cohérence avec la base de données, processus souvent lourd et lassant.

Il nous fallait donc mettre au point un outil présentant globalement les mêmes fonctionnalités que HYDROM, mais bénéficiant des possibilités actuelles des outils informatiques disponibles sous Windows.

Nous avons choisi pour obtenir un résultat rapide et facilement utilisable sur ordinateur personnel de développer ce nouveau logiciel sous Access 2000, avec quelques outils annexes développés en Visual Basic 6, et une large utilisation des exportations de données et de graphiques vers Excel que presque tout le monde connaît et utilise.

En deux mois de travail, tous les objectifs de départ n'ont pas encore été réalisés, mais nous disposons déjà d'un logiciel cohérent qui remplit un bon nombre des tâches dévolues à HYDROM, au point que la base de données que nous utilisons au Sénégal a pu être totalement importée dans la nouvelle structure, et l'ancienne base HYDROM laissée en sommeil. Il semblait donc intéressant de diffuser cette expérience, pour permettre à d'autres utilisateurs potentiels de tester ce nouveau produit et de participer éventuellement à son amélioration.

Ce nouveau logiciel a été baptisé pour le moment **HYDRACCESS**, même s'il était tentant de l'appeler HYDROM 2000.



# 1 – Organisation générale de HYDRACCESS

HYDRACCESS comporte deux éléments distincts :

- un (o plusieurs) fichier(s) de Base de Données au Format Access 2000, que l'utilisateur peut nommer comme il souhaite, et contenant les tables de données hydrométriques.
- un fichier Hydraccess.Mdb qui contient le logiciel proprement dit, permettant de réaliser les tâches courantes de gestion et d'exploitation des données contenues dans la Base. Une option de menu permet de se connecter à une Base de Données comme définie ci-dessus.

HYDRACCESS ne dépaysera pas trop les utilisateurs de HYDROM puisque l'organisation des données reste globalement assez similaire, avec un rattachement des données à un capteur dépendant lui-même d'une station, et des tables des Dossiers de Stations, des Jaugeages, des Etalonnages, des Cotes et des Débits. La principale nouveauté quant au contenu des données est l'ajout de quelques nouvelles tables pour permettre de gérer les Capteurs, les Zéros NG des échelles, et les Equipements des stations.

ACCESS étant un SGBDR (système de Base de Données Relationnel), les données contenues dans les différentes tables ont une structure en lignes et colonnes, les lignes constituant les enregistrements, et les colonnes des champs de ces enregistrements. Cette structure donne aux données une continuité qui n'était pas toujours présente dans les anciens systèmes de base de données. Par exemple, la table des cotes d'un capteur ressemble à une feuille Excel (mais non limitée en taille) dans laquelle les colonnes représentent les champs Station, Capteur, Date/Heure, Valeur et Code Origine, alors que les lignes contiennent toutes les valeurs de cotes disponibles pour ce Capteur triées par Date/Heure croissante. A l'intérieur de cette table, chaque ligne est indexée, ce qui permet au logiciel de retrouver rapidement les cotes de n'importe quel jour. En contre-partie, les tailles des index sont beaucoup plus importantes que dans les anciennes structures (la taille de la base de données du fleuve Sénégal est ainsi passée d'une dizaine de Mo à une centaine de Mo).

Des relations entre les différentes tables basées sur des champs communs (souvent les champs Station et Capteur) permettent d'effectuer des jointures entre les tables, et donc de créer temporairement de nouvelles tables en Lignes et Colonnes contenant des informations issues de plusieurs tables. Des contrôles « d'intégrité référentielle » sont effectués par ACCESS en continu, et assurent la cohérence des informations entre les différentes tables. Par exemple, le changement d'un code station dans la table des stations sera répercuté dans toutes les tables contenant ce code, évitant ainsi la création de données non identifiées après la modification d'un code de station.

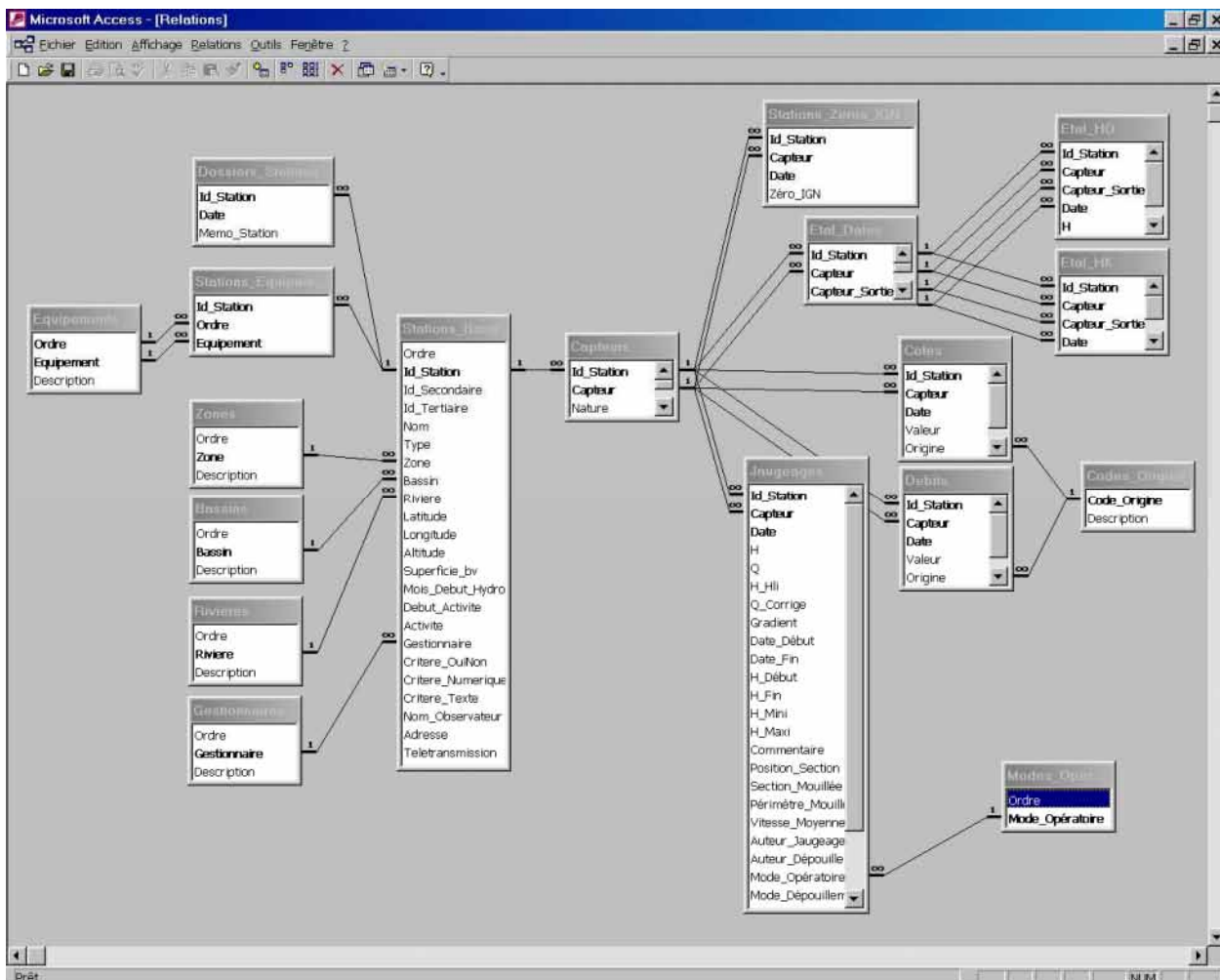
Les principaux avantages de la gestion des données sous Microsoft Access sont :

- l'accès multi-utilisateurs à une base de données partagée en réseau est possible. Tous les participants à un projet travaillent alors sur la même base, et bénéficient des saisies et apports des autres utilisateurs.
- HYDRACCESS constitue une interface utilisateur spécifique aux besoins courants des Hydrologues. Cependant, les possibilités d'accès direct à la base de données sans utiliser HYDRACCESS sont multiples :
  - Accès direct aux données à partir de l'interface de Microsoft Access 2000, qui comporte de nombreuses fonctions permettant à un utilisateur averti de sélectionner et de modifier un jeu de données basé sur n'importe quelle table. Des ajouts, suppressions, recherches – remplacements et mises à jour de données sont permises, ainsi que des opérations de gestion de l'ensemble de la base.
  - Accès aux données à partir de Microsoft Excel 2000, qui permet d'importer des données externes en Lecture seule dans une feuille de calcul (Menu 'Données' puis 'Données Externes') par l'intermédiaire de Microsoft Query.
  - Accès aux données en Lecture – Ecriture à partir de Microsoft Query
  - Accès en Lecture – Ecriture aux tables et aux données à partir de la plupart des langages de programmation Windows (Visual Basic, C++, etc.) grâce au pilote ODBC qui permet à ces langages des connexions à toutes sortes de Bases de Données, dont bien sûr les Bases Access. Par exemple, un logiciel appelé DIAGRAM écrit en Visual Basic nous permet au Sénégal de réaliser les opérations courantes de visualisation, calage et linéarisation sur des limnigrammes ou hydrogrammes provenant de sources diverses, puis d'écrire ces informations dans une Base HYDRACCESS.

- Microsoft Access offre une possibilité de constituer facilement des pages Web d'accès aux données. Cette fonctionnalité n'est pas encore développée dans HYDRACCESS, mais le sera à terme, pour permettre les échanges de données par Internet entre différents utilisateurs distants.
- Des migrations d'une Base de Données vers SQL Server (et peut-être Oracle) sont envisageables, il existe des assistants pour cela.

## 2 – Structure des tables de HYDRACCESS

La figure ci-dessous illustre l'organisation des tables de la base de Données Access, avec les différentes relations de type « Un à Plusieurs » définies entre ces tables sur certains champs.



Les tables contenant des données sont les suivantes :

- Stations
- Dossiers de Stations
- Equipements des Stations
- Zéros NG des échelles
- Jaugeages
- Etalonnages
- Cotes (qui contient aussi bien les valeurs instantanées que moyennes journalières)
- Débits (qui contient aussi bien les valeurs instantanées que moyennes journalières)

Les tables de codification sont les suivantes :

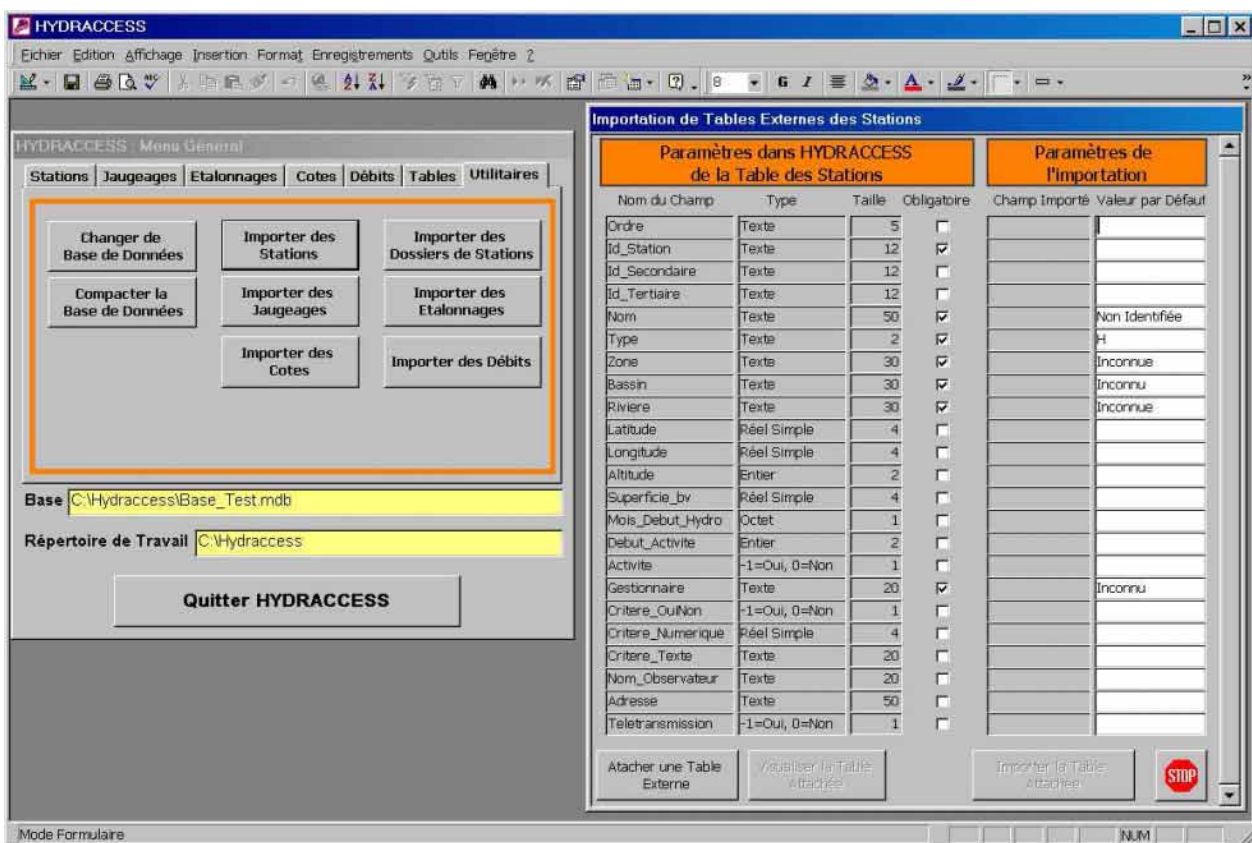
- Capteurs (la 1ère lettre du capteur indique si les données sont instantanées ou moyennées)
- Zones Géographiques, Bassins, Rivières et Gestionnaires

### 3 – Principales fonctions de HYDRACCESS

L'interface utilisateur HYDRACCESS est orientée autant vers les besoins de l'IRD que vers les besoins des services hydrologiques nationaux, elle est assez facile à comprendre pour qui connaît déjà HYDROM, et elle permet d'ores et déjà de réaliser un bon nombre des opérations de base de HYDROM, tout en offrant parfois des fonctionnalités ne figurant pas dans HYDROM. Les principales fonctions présentes à l'heure actuelle sont décrites ci-après.

#### 2.1 - Importation de données

Des procédures d'importation de données à vocation générale existent pour les principales tables de données : Stations, Dossiers de Station, Jaugeages, Etalonnages, Cotes et Débits. Lors de ces importations, les tables de codification sont également mises à jour lorsque c'est possible, la valeur 'Inconnu(e)' étant utilisée lorsqu'une valeur n'est pas renseignée. Comme ces importations se font en utilisant une fonction Access d'attache de table externe, les données à importer peuvent se trouver dans un fichier délimité de type texte (cas utilisé pour l'importation de données HYDROM), mais aussi dans un fichier Excel, une autre base Access, Dbase ou Paradox, ou n'importe quelle base acceptant le standard ODBC. Il faut cependant que les titres des colonnes de la table à importer correspondent aux noms des champs de la Base HYDRACCESS, aucune gestion d'alias n'étant proposée pour le moment.



Une passerelle (nommée Hydrom2Hydraccess.exe et développée en VB6) permet de récupérer les différents types de données HYDROM2 exportés sous forme de fichiers Ascii, et de les mettre sous forme de fichiers 'texte' en colonnes délimitées par des tabulations qui seront ensuite importables par les procédures d'importation de HYDRACCESS à vocation générale.

Exemple de la procédure d'importation des stations sous HYDRACCESS

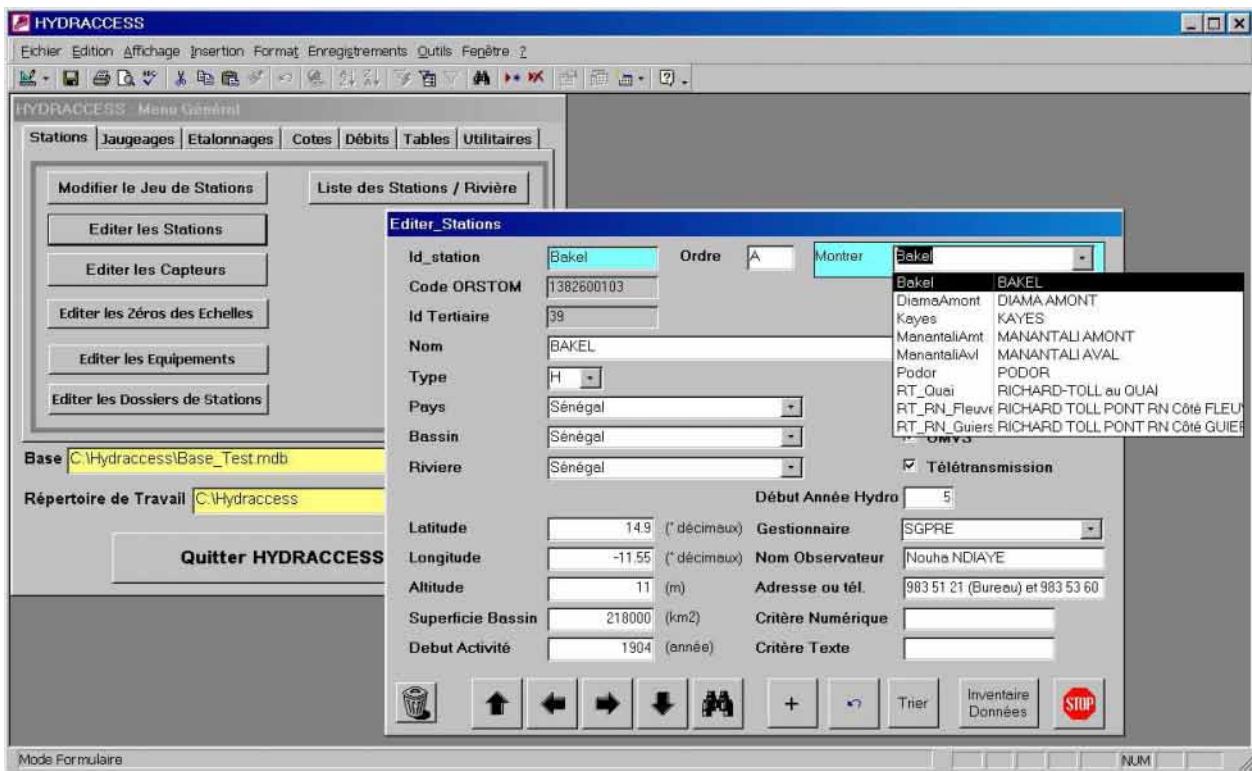
## 2.2 – Gestion des Stations

Le code station (Id\_Primaire) comporte 12 positions, il peut être composé de chiffres ou de lettres. La modification d'un code Station se répercute dans toutes les tables de la base. Le code HYDROM est sauvegardé dans un champ (Id\_Secondaire alias Id\_ORSTOM) pour échanges éventuels de données avec des bases restées au format HYDROM. Les champs Zone, Bassin, Rivière, et Gestionnaire sont choisis directement dans les tables de codification de la Base.

D'autres fonctions permettent :

- L'impression d'une liste par bassin et rivière (exportable directement vers Word).
- La constitution à partir de la table des stations d'un 'jeu de stations' plus restreint qui sera utilisé jusqu'à nouvel ordre (comportant par exemple les stations en activité, ou les stations gérées par un certain gestionnaire, etc.)

•



## 2.3 – Capteurs

Une table des capteurs à 2 lettres est gérée par HYDRACCESS. Les données de cotes ou de débits à différents pas de temps figurant toutes dans la même table, la première lettre du capteur indique le pas de temps (I pour instantané et J pour Journalier pour le moment). D'autres pas de temps sont envisageables dans le futur : Mensuel, Annuel, et peut-être horaire, pentadaire (5 jours) ou décadaire (10 jours)

## 2.4 - Zéros NG des échelles

Une table des Zéros NG par capteur permet de sortir des données et des graphiques de cotes en Nivellement Général (utile pour les zones à faible pente : deltas, estuaires, etc.)

## 2.5 - Equipements des stations

Cette fonction permet pour chaque station de définir comment elle est équipée (échelles, limnigraphes, télétransmission, etc.). Les équipements pouvant être affectés à une station sont répertoriés dans une table dont la gestion est assurée par l'utilisateur.

## 2.6 - Dossiers de stations

Des dossiers de stations pouvant comporter l'historique des installations et aussi les nivellements des échelles sont gérés. Il est notamment possible d'affecter à une station et à une certaine date un texte libre de taille non limitée. Ces textes peuvent être échangés avec n'importe quel traitement de texte par copier - coller...

## 2.7 - Tables de codification

Diverses tables de codification sont gérées par HYDRACCESS. Elles permettent d'assurer la cohérence de la Base de Données, puisque par exemple un nom de rivière apparaîtra toujours avec la même orthographe, et les changements de ce nom seront répercutés partout où il apparaît. Ces tables sont actuellement les suivantes :

- Zones géographiques
- Bassins
- Rivières
- Gestionnaires des stations
- Equipements des stations
- Modes Opératoires des jaugeages
- Codes 'Origine'

D'autres tables de codification pourront éventuellement être ajoutées pour gérer les modes de dépouillement et les lieux d'archivage des Jaugeages, qui pouvaient être définis dans HYDROM, bien que généralement peu utilisés.

La codification des codes 'Origine' a semblé nécessaire, l'absence de codification de ce code dans HYDROM 2 ayant créé un certain désordre. Pour le moment, les codes conseillés dans HYDRACCESS sont 'E' pour données provenant d'enregistreurs (limnigraphes), 'L' pour des données provenant d'un lecteur, et 'R' pour des données reconstituées ou homogénéisées. Des fonctions de recherche – remplacement dans la gestion des cotes permettent de mettre en cohérence les codes 'Origine'. Cette cohérence pourrait avoir son importance, car il est envisagé à terme dans Hydraccess de permettre la constitution d'une série de données opérationnelles à la volée au moment des traitements en combinant avec un ordre de priorité défini par l'utilisateur les données issues de différentes origines. On peut imaginer par exemple de créer un capteur fictif qui contienne au moment d'un traitement en priorité les données de l'Enregistreur, puis comble les lacunes de l'Enregistreur au moyen des données du Lecteur, et enfin complète les lacunes restantes au moyen de données Reconstituées. Ajouté à la possibilité de déclasser les données de l'Enregistreur et du Lecteur lorsqu'elles sont fantaisistes, ce système permettrait la constitution de séries de données opérationnelles **en évitant toute duplication de données**, ce qui constituerait un énorme avantage. L'expérience montre en effet que les corrections effectuées dans un fichier opérationnel sont rarement répercutées au niveau de la Base Source.

## 2.8 - Jaugeages

La liste simplifiée des jaugeages d'un Capteur peut être éditée au moyen d'un formulaire. Il est alors possible d'éditer la fiche complète d'un jaugeage, et de visualiser un graphe sommaire des jaugeages.

HYDRACCESS ne permet pas pour le moment l'exportation directe de ces données vers Excel, une fonction similaire existant au menu **Étalonnages**, avec pointage des jaugeages sur **la courbe d'étalonnage** et **sur la série des cotes du capteur**. Pour les stations non univoques, cette fonction calcule en plus les gradients limnimétriques, ainsi que les débits corrigés de la variation de gradient si une table de corrections de gradient est définie dans l'étalonnage.

The screenshot displays the HYDRACCESS software interface. The main window is titled 'HYDRACCESS - Menu Général' and contains several tabs: 'Stations', 'Jaugeages', 'Étalonnages', 'Cotes', 'Débits', 'Tables', and 'Utilitaires'. The 'Jaugeages' tab is active, showing a table of measurement data and a form for editing a specific measurement.

The 'Edition d'un Jaugeage' form is open, showing the following fields:

- Station: BAKEL
- Captteur: 1
- Date Début: 04/07/1950
- Date Fin: 04/12/1999 09:55:00
- Position Section: (km) - Amont Négatif
- Section Mouillée: 1420 (m<sup>2</sup>)
- Périmètre Mouillé: (m)
- Vitesse Moy Surface: (m/s)
- Auteur Jaugeage: (empty)
- Auteur Dépouillement: (empty)
- Mode Opérateur: Inconnu
- Mode Dépouillement: 0
- Lieu Archivage: 0
- Critère Txt: (empty)
- Critère Num: (empty)
- Activé:

The data table below the form shows the following columns: Date, H(cm), Q(m<sup>3</sup>/s), Mode Opérateur, and Activé.

Date	H(cm)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Mode Opérateur	Activé
28/07/1986 00:00	327	490	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
02/08/1986 00:00	357	605	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
26/08/1986 00:00	417	850	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
27/08/1986 00:00	445	1000	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
28/08/1986 00:00	472	1100	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
31/08/1986 00:00	502	1230	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
03/09/1986 00:00	537	1370	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
04/09/1986 00:00	609	2160	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
06/09/1986 00:00	662	2380	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
07/09/1986 00:00	750	2560	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
10/09/1986 00:00	759	2440	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>
12/09/1986 00:00	701	1970	Inconnu	<input checked="" type="checkbox"/>

The 'Graphes des Jaugeages de BAKEL' window shows a scatter plot of data points on a grid, with the y-axis ranging from 2000 to 7000. The x-axis is labeled '1400'.

Exemple de la fiche d'un jaugeage sous HYDRACCESS



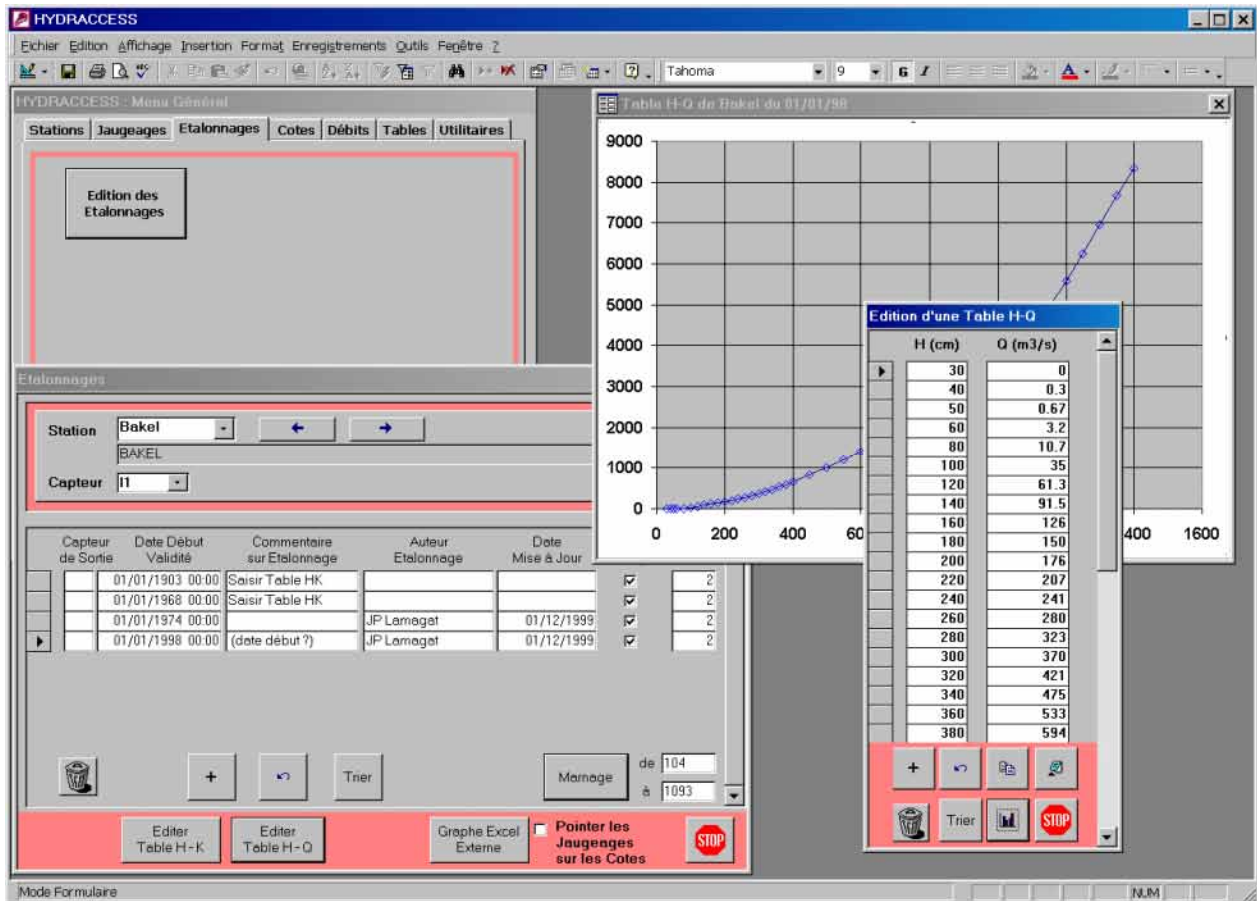
## 2.9 - Etalonnages

Un étalonnage est défini sous HYDRACCESS par sa date de début de validité, et reste valide jusqu'à ce qu'un autre étalonnage soit défini (ou jusqu'à nouvel ordre si aucun autre étalonnage n'est défini à une date postérieure).

Les seuls type d'étalonnage prévus pour le moment sont ceux des stations bi-univoques et des stations non univoques avec méthode du gradient limnimétrique. Dans ce dernier cas, la méthode retenue est celle de JP LAMAGAT, avec coefficient de correction de gradient K pouvant varier en fonction de la cote. On trouve donc pour les stations non univoques une table de coefficients de correction H-K en plus de la traditionnelle table H-Q.

Il est possible lorsque l'on définit un étalonnage d'indiquer un 'Capteur de Sortie' différent du capteur sur lequel est basé l'étalonnage. Cela permet, pour une série de cotes enregistrées sous un capteur I1 représentant par exemple les cotes dans un barrage, de définir trois courbes d'étalonnage :

- la première sans 'Capteur de Sortie', qui traduira donc les débits déversés du barrage sous un Capteur I1 dans la table des débits.
- la seconde avec 'Capteur de Sortie' = IS, qui traduira les cotes en surfaces inondées dans la retenue sous un Capteur IS.
- la troisième avec 'Capteur de Sortie' = IV, qui traduira les cotes en volumes stockés dans la retenue sous un Capteur IV.



Le marnage des cotes sur une période d'étalonnage peut également être affiché facilement.

Exemple de définition d'un Etalonnage sous HYDRACCESS

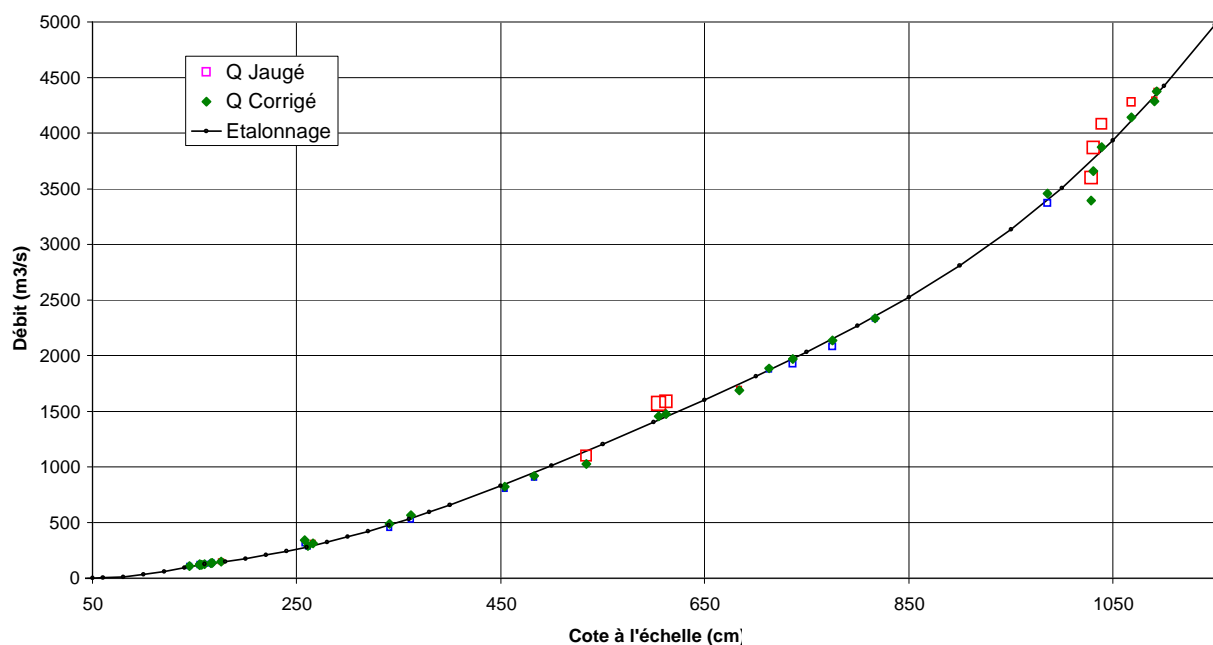


On notera que lors de l'édition d'une table H-Q ou H-K, des commandes Copier – Coller permettent d'insérer directement dans les tables des valeurs définies préalablement sous Excel ou sous tout autre logiciel acceptant de copier dans le presse-papiers. La seule condition est que le presse-papiers contienne dans sa première ligne les noms des champs H,Q (ou respectivement H,K).

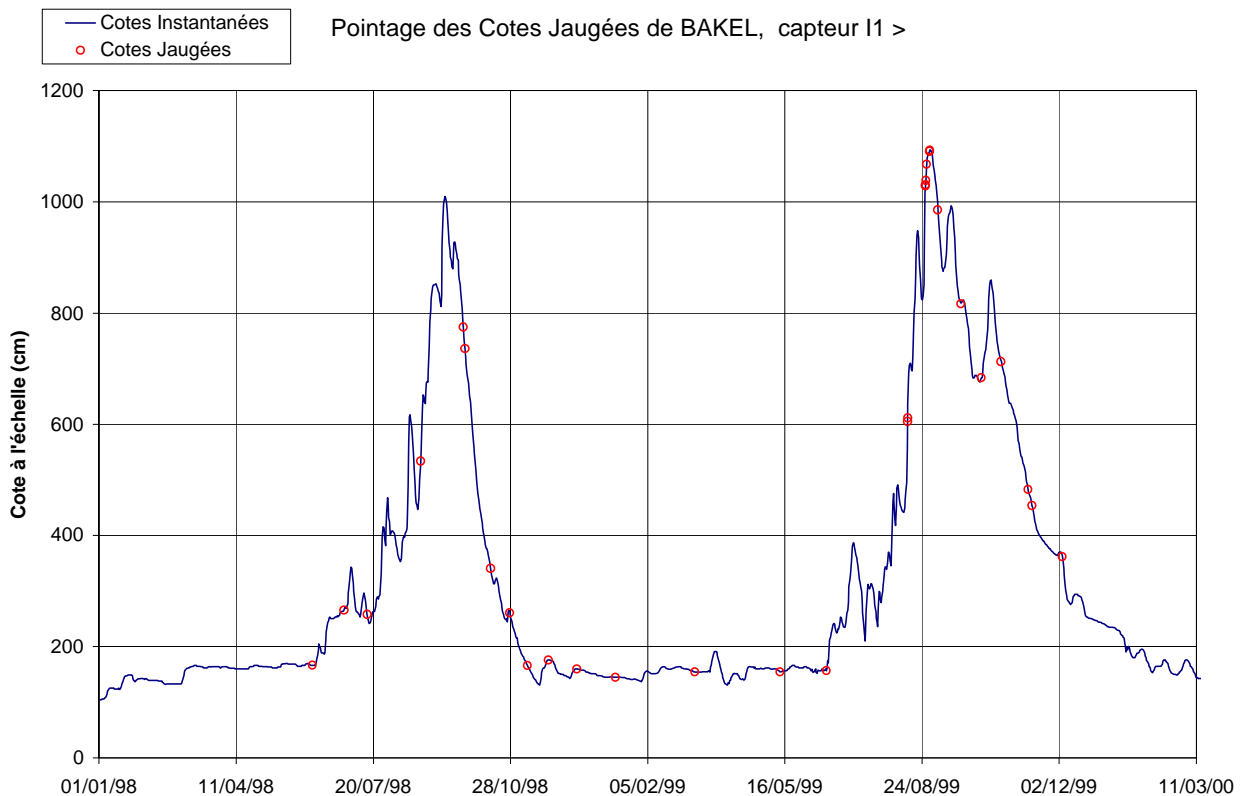
Enfin, HYDRACCESS donne pour un Etalonnage la possibilité d'exporter vers Excel les données des Jaugeages, Tables H-Q et H-K, et des Cotes, sur la période de validité de cet Etalonnage, avec constitution de deux graphiques :

- le premier, toujours présent, montre les jaugeages pointés sur la courbe d'étalonnage. Pour les stations non univoques, les jaugeages à gradients positifs sont pointés en rouge, les gradients négatifs en bleu, et la taille du symbole est proportionnelle à la valeur absolue du gradient. Si une table de corrections de gradient H-K est définie, les débits corrigés sont également pointés sur la courbe d'étalonnage.
- le deuxième, optionnel, permet de pointer les cotes jaugées sur la série chronologique des cotes instantanées disponibles sur la période de validité. Il offre parfois des surprises, et fournit un bon contrôle de la validité des dates et des cotes jaugées.

**Etalonnage de BAKEL, capteur I1 >  
Validité du 01/01/98 au 31/12/9999**



Graphique Excel d'un Etalonnage créé par HYDRACCESS



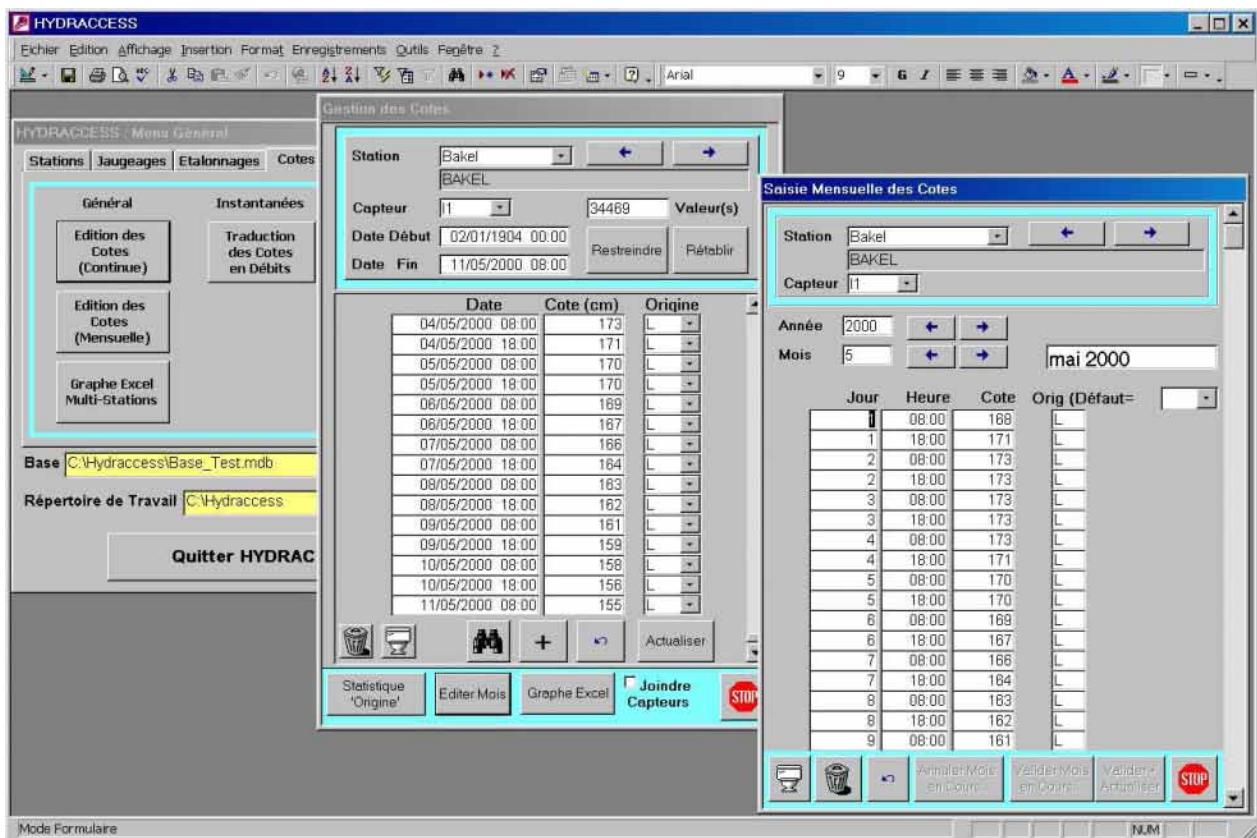
Graphique Excel de pointage des Jaugeages sur les Cotes créé par HYDRACCESS

## 2.10 – Cotes

La gestion des Cotes par HYDRACCESS présente deux modes principaux :

- le mode continu, qui affiche dans un formulaire l'ensemble des données de cotes disponibles pour une station, et permet de se déplacer librement dans la série pour effacer ou modifier des valeurs. Ce formulaire permet la saisie de nouvelles valeurs, mais il faut alors entrer les dates et heures complètes au format Windows pour chaque cote, ce qui n'est pas pratique pour des saisies importantes. On notera qu'une fonction de Recherche – Remplacement permet aussi de modifier des codes 'Origine' à ce niveau.
- le mode Mensuel, qui affiche un mois de données dans un formulaire, et libère donc de la saisie de l'année et du mois. On remarquera que pour le moment, la saisie de cotes à heure fixe permettant de libérer l'opérateur de la saisie du jour et de l'heure n'est pas gérée par HYDRACCESS, elle fera l'objet d'un développement futur. Une autre possibilité de saisir des valeurs de cotes, et que nous utilisons pour le moment au Sénégal dans l'attente de ce perfectionnement d'HYDRACCESS, consiste à effectuer les saisies à heure fixe sous Excel, puis à importer les valeurs saisies sous HYDRACCESS au moyen de l'utilitaire DIAGRAM qui sera brièvement présenté plus loin.

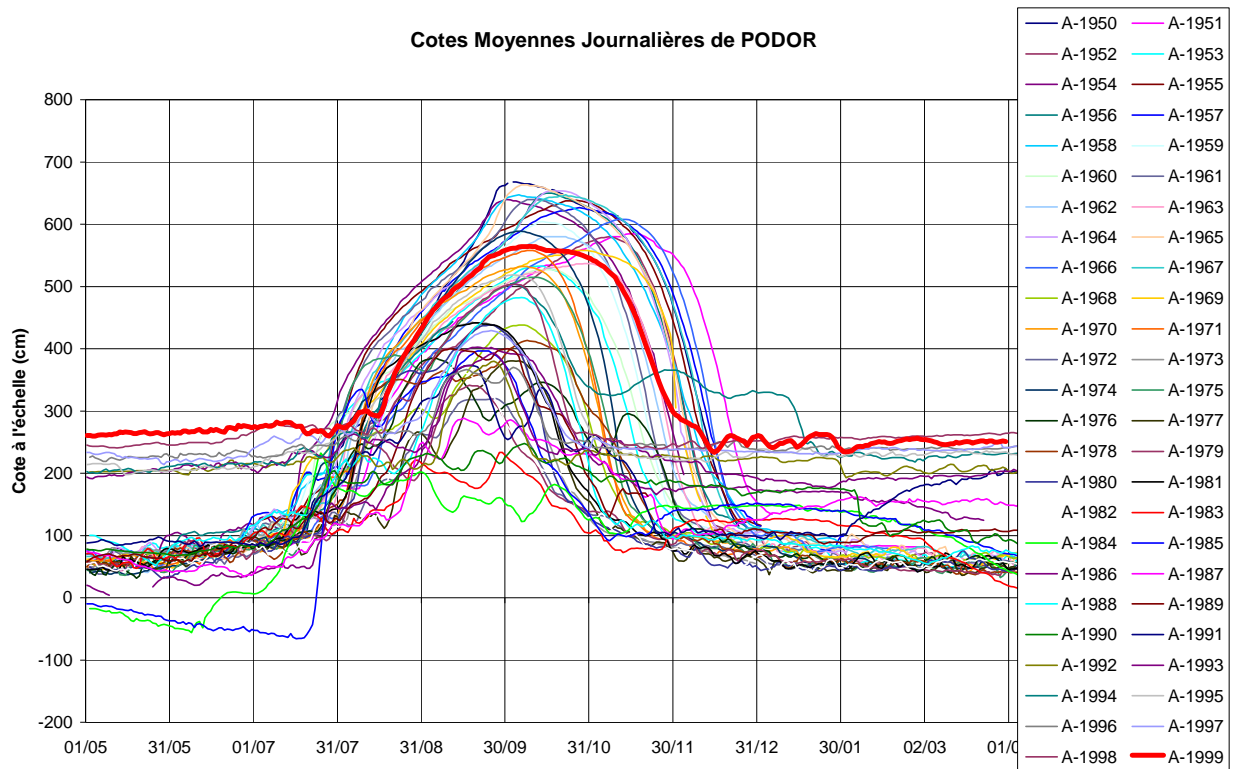
Lors de l'affichage des cotes en mode continu, une commande nommée 'Statistiques Origine' permet de visualiser le nombre de chacun des codes 'Origine' définis pour la série. Enfin, on peut également exporter l'ensemble des cotes vers Excel, et obtenir un graphique montrant les cotes dans des couleurs différentes selon le code 'Origine', avec superposition optionnelle des données d'autres capteurs de la même station.



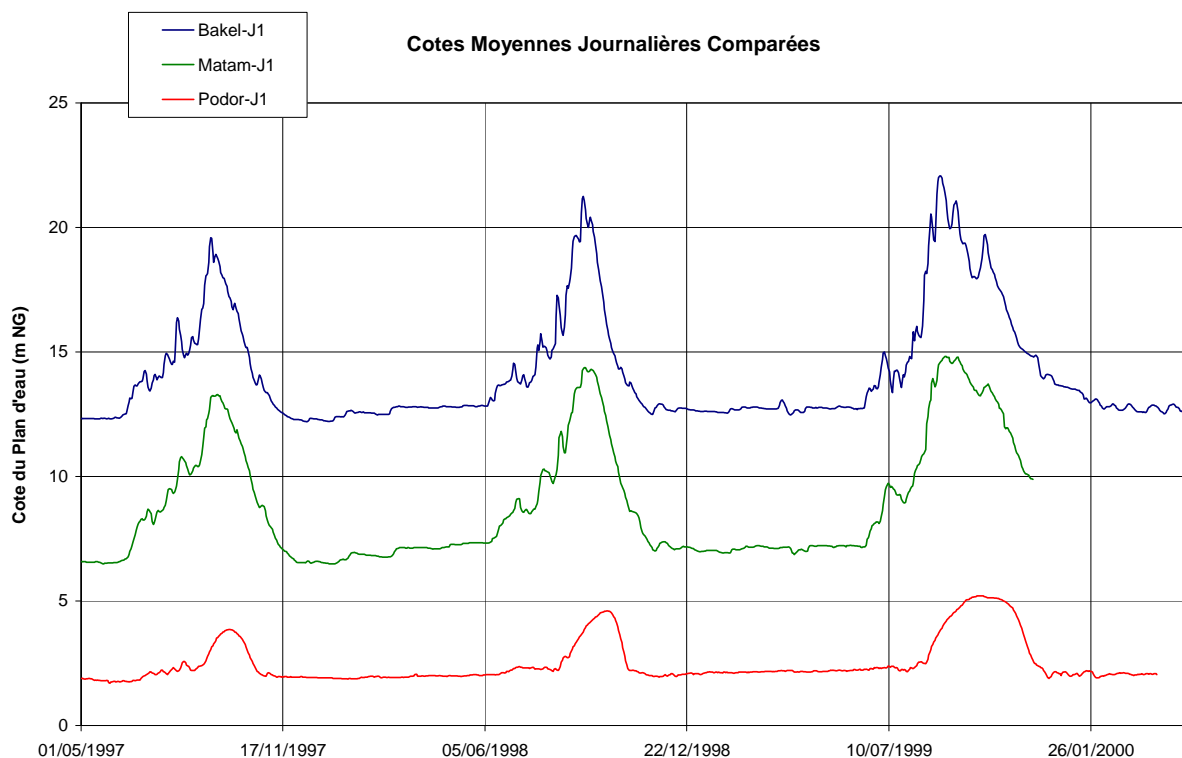
Exemple des deux modes de gestion des cotes de HYDRACCESS

En plus de la gestion des cotes présentée ci-dessus, le menu 'Cotes' de HYDRACCESS présente encore les fonctions suivantes :

- la traduction des cotes en débits permet de calculer les débits de la station courante, ou de l'ensemble des stations présentes dans le jeu de stations courant, avec possibilité de choisir une période de traduction.
- le calcul des cotes moyennes journalières de la station courante sur la période voulue.
- l'exportation vers Excel de cotes instantanées ou moyennes journalières provenant de Stations – Capteurs divers, et la constitution d'un graphe comparatif (optionnellement en Nivellement Général). Dans ce type de graphe, chaque série de données est stockée dans une feuille Excel différente.
- l'exportation vers Excel de cotes moyennes journalières provenant de Stations – Capteurs divers, et la constitution d'un graphe comparatif (optionnellement en Nivellement Général). Dans ce type de graphe, toutes les données des différentes stations sont placées côte à côte dans une même feuille Excel, puisqu'il n'y a qu'une seule valeur par jour pour chaque station. Ce type de fichier constitue une bonne base pour des analyses de corrélation ou de propagation.
- L'exportation vers Excel des Cotes Moyennes Journalières d'une seule station **en mode pluriannuel** et (optionnellement) **en année hydrologique**, et la constitution d'un graphe superposant toutes les années observées sur une même échelle de temps. Dans ce mode pluriannuel, les données sont stockées dans une seule feuille de données Excel, et les millésimes des années constituent les titres des colonnes. Il est alors facile sous Excel de calculer par exemple les cotes mini et maxi observées pour chaque année (fonctions MAX et MIN de Excel appliquées à chaque colonne), et aussi de calculer le nombre de jours observés chaque année (fonction NBVAL).



Graphique Pluriannuel de Cotes Moyennes Journalières créé par HYDRACCESS



Graphique comparatif de Cotes Moyennes Journalières en cotes NG créé par HYDRACCESS

**N.B.** une petite **macro** développée en VBA sous Excel permet de faire défiler facilement les graphes chronologiques, en fixant une durée pour l'échelle des temps, et en permettant par simple clic sur des boutons de commande de passer à la période **suyvante** ou **précédente**.

## 2.11 - Débits

La structure de la table des débits étant exactement similaire à celle des cotes, le fonctionnement de HYDRACCESS concernant les débits est quasiment le même que pour les cotes, à quelques petites différences près :

- l'option **Nivellement Général** pour les graphes et sorties comparatives n'aurait pas de sens pour les débits, et n'est donc pas présente.
- il n'y a pas de possibilité de **Traduction** à partir des débits, bien que ce ne serait pas stupide de prévoir cette possibilité, pour calculer des débits solides par exemple. Peut-être dans la prochaine version... ?

Il ne sera donc pas donné d'exemples de l'interface concernant la gestion des débits. On notera seulement que comme pour les cotes, l'exportation vers Excel fournit un bon moyen pour calculer (au moins provisoirement) les modules, débits de pointe, débits d'étiage et autres paramètres. Un simple tri de cette feuille Excel par ordre croissant fournit également les débits classés année par année.

## 2.12 - Utilitaires

Le menu Utilitaires de HYDRACCESS permet, outre la gestion des importations :

- de changer la Base de Données à laquelle on est connecté. HYDRACCESS peut ainsi travailler de manière successive avec différentes Bases de Données correspondant à des réseaux différents, ou passer d'une Base en réseau à une Base locale.
- de compacter la base courante. En effet, après des suppressions de données ou des opérations de recherche – remplacement, la taille de la Base de Données peut devenir inutilement grande. Cette opération permet alors de récupérer les espaces libres dans la base, et améliore légèrement les vitesses d'accès aux données.

## 3 - Modules externes à HYDRACCESS

### DIAGRAM

Ce module que certains connaissent peut-être déjà existe depuis plusieurs années, et il était jusqu'alors connecté (imparfaitement) avec HYDROM 2. Il a été récemment connecté avec HYDRACCESS (de manière bien meilleure qu'avec HYDROM, puisqu'un accès complet aux tables de la Base est désormais possible).

Le but de DIAGRAM est de **lire**, **visualiser**, **lisser**, et **recaler** des données de type diagramme de diverses origines, et de les **importer** ensuite dans la Base HYDRACCESS. DIAGRAM accepte comme données d'entrée :

- des Cartouches CHLOE dans un LCM connecté au port série
- des fichiers CHC créés à partir de Cartouches CHLOE (par DIAGRAM ou par Visual de Elsyde)
- des fichiers .DAT de limnigraphes CR2M (testé jusqu'en 1996)
- des données HYDARGOS (station de réception Argos SRDA)
- des données Hli ou Qli de Hydrom
- des fichiers Ascii de type Txt (séparateur tabulation) ou Csv (Séparateur virgule), et pouvant contenir des cotes ou des débits

DIAGRAM offre donc la possibilité d'importer des cotes ou des débits de diverses origines. Lors d'une importation, la présence de données déjà existantes pour un capteur sur une période est signalée, et il est également possible de visualiser graphiquement les données du diagramme à importer, superposées avec les données déjà présentes dans une base HYDRACCESS. L'utilisateur peut alors choisir de remplacer ou non les données existantes sur la période.

DIAGRAM offre donc une plate-forme d'importations de mesures dans les Bases HYDRACCESS, au point qu'au Sénégal certains préfèrent saisir des données de cotes provenant de lecteurs sous Excel, pour les importer ensuite dans la Base HYDRACCESS au moyen de DIAGRAM, dans l'attente de procédés de saisie plus commodes sous HYDRACCESS.

Pour mémoire, ce fichier Excel contient une macro permet de faire défiler latéralement sous Excel les graphes chronologiques. Ce n'est rien du tout mais c'est si pratique...

## 4 – Lacunes de HYDRACCESS

Après seulement deux mois de développement, HYDRACCESS présente encore quelques lacunes :

- Les impressions sont réduites au strict minimum. Il est vrai qu'avec les possibilités d'envoi de données et de graphiques vers Excel, elles sont de moins en moins nécessaires. Des sorties de type annuaire seraient peut-être encore utiles...
- Le dépouillement de jaugeages n'est pas intégré, cela pourrait demander quelques jours de travail de développement, pas si faciles à trouver.
- La digitalisation des diagrammes n'est pas intégrée, cette possibilité peut paraître désuète à l'époque des enregistreurs électroniques, mais ces technologies n'ont pas encore pénétré partout, et il y a encore tellement de diagrammes qui ne sont pas encore totalement dévorés par les insectes au fond de placards poussiéreux... Encore quelques jours de travail à trouver.
- Les **crues** et **tarissements** ne sont pas gérés et demanderont un certain temps...
- Les sorties de débits mensuels et annuels (voire pentadaires et décadares) et les extractions d'échantillons pour analyses fréquentielles sont faciles à réaliser. On peut déjà les obtenir à partir d'Excel, mais il faudra les intégrer à l'interface utilisateur.

## 5 – Perspectives de développements futurs

Outre les lacunes signalées au paragraphe précédent, il est indispensable que HYDRACCESS puisse rapidement permettre de publier des données sur Internet (les niveaux divers d'accès devront être protégés par des mots de passe), et d'échanger des données entre deux bases HYDRACCESS possédant une codification des Stations et des Capteurs identiques. Microsoft Access 2000 permet de créer d'une manière assez simple des 'pages d'accès aux données' qui peuvent être publiées sur un site Web. Cependant, si ce site Web a beaucoup de clients (plus de 2 à 3 personnes connectées de manière simultanée) une migration de la base vers des solutions plus puissantes du type SQL Server ou Oracle devront être envisagées.

D'un autre côté, l'architecture '**Ouverte**' des Bases de Données HYDRACCESS devrait permettre à des hydrologues maîtrisant Access ou un langage de programmation sous Windows d'écrire des modules complémentaires permettant de créer des fonctionnalités non prévues dans l'interface de départ. Des langages comme Visual Basic, C++, Java++ et d'autres encore permettent un accès complet à une Base de Données sous Access. Si un développement intéressant est fait en Visual Basic, il sera même possible de l'intégrer à l'interface HYDRACCESS, elle même programmée en Visual Basic à l'intérieur d'Access.

Enfin, l'intégration des données de qualité des eaux, de données climatiques ou simplement pluviométriques dans l'interface HYDRACCESS, dont on avait rêvé avec HYDROM 3, semble désormais à portée de main, la structure adoptée pour les données hydrométriques paraissant adaptable à d'autres types de données. La fusion de PLUVIO (logiciel resté injustement méconnu) avec HYDRACCESS pourrait se faire dans quelques mois).

# ANNEXE J

## NOTE SUR L'INTERET D'UNE PREVISION A LONG TERME DES ECOULEMENTS SUR LE HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL, POUR LA GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI.

### CONTEXTE

Le barrage de Manantali, implanté sur la rivière Bafing, contrôle environ la moitié des écoulements qui transitent à l'aval de Bakel dans la vallée du fleuve Sénégal. Les objectifs assignés à cet ouvrage sont multiples :

- Production d'électricité
- Soutien des débits d'étiage pour garantir la navigabilité du fleuve Sénégal, et satisfaire les besoins en eau de l'agriculture irriguée développée dans la vallée.
- Laminage des fortes pointes de crue,
- Soutien des faibles pointes de crue ("crue artificielle") dans le fleuve Sénégal, destiné à l'agriculture traditionnelle de décrue. Le maintien d'une bonne pointe de crue annuelle permet en outre de limiter les impacts écologiques négatifs dus à l'artificialisation du régime.

Parmi ces objectifs, il s'avère que le soutien de crue peut pénaliser gravement la production d'électricité lors des périodes déficitaires en eau. En effet, il nécessite à certains moments des lâchers importants dépassant la capacité de turbinage de l'ouvrage, et pouvant provoquer une baisse rapide du stock d'eau emmagasiné dans la retenue. Au contraire, l'optimisation de la production d'énergie nécessite le turbinage de la plus grande partie possible des débits lâchés, et le maintien d'une cote élevée dans la retenue tout en évitant les débordements.

L'organisme responsable de la gestion du barrage de Manantali est L'OMVS (Organisation pour la Mise en Valeur de la Vallée du fleuve Sénégal), qui regroupe les états riverains du fleuve Sénégal situés à l'aval de l'ouvrage : Mali ; Mauritanie ; Sénégal. Participant au Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs, l'IRD a été chargé par l'OMVS de définir le cadre d'une stratégie optimale de gestion de l'ouvrage.

### OBJECTIF

Le principal objectif de l'étude confiée à l'IRD par l'OMVS, consiste à trouver les moyens de maintenir une fréquence de crues correctes dans le fleuve, qui soit suffisante pour l'agriculture de décrue et l'équilibre des écosystèmes, tout en pénalisant le moins possible la production d'énergie et le soutien d'étiage. En pratique,

cela revient donc à trouver comment faire le soutien de crue avec une fréquence donnée, en abaissant le moins possible le niveau de la retenue.

## **SOLUTION ACTUELLEMENT ENVISAGEE**

La première piste envisagée consistait à positionner l'hydrogramme objectif en le faisant coïncider au mieux avec une pointe de crue des affluents non contrôlés, de façon à lâcher le moins d'eau possible du barrage pour le réaliser. Ceci permettait par ailleurs de renoncer au soutien de crue et donc d'économiser de l'eau, lors des années qui auraient nécessité les plus fortes lâchers. Cette solution nécessitait, au moins 10 jours à l'avance, une prévision assez précise des débits journaliers sur le haut bassin du fleuve, qui pour l'instant n'a pu être mise au point. Elle a donc été écartée.

La solution actuellement retenue consiste à positionner l'hydrogramme objectif de crue sur une date fixe. Celle-ci a été déterminée de façon à entraîner en moyenne les moindres volumes lâchés. Le soutien de crue n'est par ailleurs réalisé que si le stock observé dans le lac à la date de son déclenchement, est supérieur à un seuil fixé à l'avance. On ne vise donc plus ici à lâcher le moins d'eau possible pour faire le soutien de crue, mais seulement à écarter les risques d'épuisement de la réserve. Cette solution est très bien adaptée aux cas où la réserve disponible est soit très grande, soit très faible au moment de déclencher le soutien. Par contre elle peut parfois s'avérer non optimale dans le cas d'un stock moyen, proche du seuil évoqué ci-dessus. En effet, on ne peut alors écarter complètement le risque d'une décision inopportune concernant la réalisation, ou non, du soutien de crue :

- Le soutien de crue peut être abandonné pour cause de réserve jugée insuffisante, alors qu'on constate après coup que grâce à une hydraulicité excédentaire de l'année en question on aurait pu le réaliser tout en augmentant le stock disponible dans la retenue.
- Inversement, un soutien de crue réalisé à partir d'un stock assez moyen pourra s'accompagner d'une grave diminution de la réserve s'il est réalisé lors d'une année à très faibles apports. Dans les cas les plus graves il se peut même que le soutien de crue, une fois déclenché, ne puisse être mené à terme du fait de l'épuisement total de la réserve utile.

Comme on le voit, les risques de réaliser ou non le soutien de crue à mauvais escient sont dus à la méconnaissance globale des apports qui vont se présenter pendant le soutien.

## **BENEFICE ATTENDU D'UNE PREVISION DES APPORTS EN EAU**

Si la décision du soutien de crue repose pour le moment sur le stock disponible dans la retenue au début du soutien (20 août), c'est parce qu'on est réduit à gérer le barrage de Manantali face à un avenir inconnu. Or, le paramètre essentiel qui conditionne la production ultérieure d'énergie et le soutien d'étiage n'est pas le stock disponible au début, mais à la fin du soutien de crue (mi-octobre). Seule une prévision (même globale) des apports effectuée à un horizon de 2 mois nous permettrait d'estimer, à la mi-août, le stock disponible probable dans la retenue à la mi-octobre, suite ou non au soutien de crue. C'est sur cette estimation que pourrait alors être basée la décision d'effectuer ou non le soutien de crue. On voit donc tout l'intérêt que pourrait représenter pour le gestionnaire du barrage de Manantali, une prévision des apports en eau telle qu'elle qu'envisagée dans le projet.



# RECHERCHE DE CORRESPONDANCES ENTRE L'ÉCOULEMENT DU FLEUVE SENEGAL ET LES PREVISIONS D'INDEX D'ANOMALIES DE PRECIPITATIONS RECONSTITUES PAR METEO FRANCE.

## RESUME ET CONCLUSION

Par corrélation linéaire simple ou multiple, on tente de relier les débits naturels du fleuve Sénégal, aux index d'anomalies de précipitations reconstitués sur la zone en mode prévision par Météo France. L'analyse concerne les débits de septembre aux stations de Soukoutali et Bakel, sur la période 1979-1999.

En corrélation simple, seuls les index de août et septembre du point 33 (9,767° nord, 11,25° ouest) présentent une corrélation significative avec le débit naturel de septembre à Bakel ( $R^2 = 0,34$  et  $R^2=0,36$  respectivement).

La corrélation multiple permet de relier assez efficacement ( $R^2 = 0,600$ ) le débit de septembre à Bakel, aux index d'août du point 33, et de septembre des points 4, 5 et 19. On remarque cependant que certains coefficients de régression sont négatifs.

L'IRD ne possède pas actuellement tous les éléments lui permettant d'interpréter ces résultats. En particulier, il sera nécessaire de consulter les spécialistes de Météo France pour connaître la signification exacte des index, et pour apprécier le degré de signification physique de coefficients de régression négatifs. En fonctions des informations obtenues, on pourra envisager une modélisation plus élaborée que la corrélation linéaire.

Enfin, compte tenu des objectifs poursuivis par l'IRD pour la gestion du barrage de Manantali, il serait souhaitable de disposer des index d'anomalies pluviométrique du mois d'octobre en plus de ceux des mois de juin à septembre. Les apports du mois d'octobre sont en effet très importants pour la reconstitution du stock dans la retenue. Il serait également souhaitable de disposer des valeurs d'index de l'année 1995, s'ils peuvent être calculés.

## CONTEXTE ET OBJECTIF

Parmi les différents objectifs assignés au barrage de Manantali, il est envisagé un soutien des faibles crues du fleuve Sénégal, destiné à garantir une inondation suffisante du lit majeur dans la vallée. Cette opération, qui vise à maintenir un certain équilibre écologique et à permettre les cultures traditionnelles de décrue, s'étale sur une cinquantaine de jours, de fin août à mi-octobre.

Le soutien de crue nécessite des volumes lâchés variables d'année en année, selon les débits écoulés dans les affluents non contrôlés par le barrage. Afin de ne pas trop pénaliser la production d'électricité, il est envisagé de renoncer au soutien de crue lorsque celui-ci risque d'entraîner une diminution trop importante de la réserve en eau dans la retenue. La décision d'effectuer ou non le soutien devant être prise vers le 20 août, il faut donc disposer à cette date d'une prévision du déstockage net entraîné par le soutien jusque fin octobre. Comme il a été montré par ailleurs que ce déstockage est fortement lié au volume de crue naturel du Sénégal à Bakel, le problème revient donc à faire une prévision des volumes naturels écoulés dans le fleuve durant les mois de septembre et octobre.

Cette note analyse la possibilité de faire une telle prévision à partir des index moyens mensuels d'anomalies de précipitations, calculés 4 mois à l'avance par Météo France. Il s'agit d'une première approche, assez sommaire.

## DONNEES

### DEBITS ECOULES EN REGIME NATUREL

Les débits sont évalués aux stations de Soukoutali, située sur le fleuve Bafing au droit du barrage de Manantali, et de Bakel, station à l'aval de laquelle le fleuve ne reçoit plus que des apports assez négligeables. Les données utilisées pour l'analyse sont des débits moyens mensuels exprimés en mètre cube par seconde.

Les débits naturels du Bafing à Soukoutali sont obtenus jusque 1983 par traduction des cotes observées, complétées essentiellement à partir des données de Daka Saidou, station située à l'amont. A partir de 1984, ils sont intégralement reconstitués, essentiellement à partir de Daka Saidou jusque 1994, puis à partir de Makana depuis 1995.

Jusque fin 1986, les débits naturels du Sénégal à Bakel correspondent aux valeurs observées à cette station. A partir de 1987 (mise en service du barrage), ils sont intégralement reconstitués, de deux façons différentes.

- Première méthode : par modèle de propagation de crue de type JPL, à partir des débits naturels de Soukoutali, Oualia et Goubassy.
- Deuxième méthode : par bilan de volume écoulé, à partir des débits observés à Bakel et à la sortie du barrage, et du débit naturel à Soukoutali. On adopte un temps de propagation constant de 3 jours entre Manantali et Bakel :

$$Q_{\text{Bakel,Naturel}}(j) = Q_{\text{Bakel,Observé}}(j) + Q_{\text{Manantali,Naturel}}(j-3) - Q_{\text{Manantali,Observé}}(j-3)$$

Les débits reconstitués par la première méthode sont conservés pour des valeurs inférieures à 800 m<sup>3</sup>/s. Le reste du temps, on adopte les valeurs obtenues avec la seconde méthode, qui prend en compte la modification d'étalonnage mise en évidence en 1999, affectant les données postérieures à 1987.

Les valeurs de débits moyens mensuels sont données dans le tableau 1. On les notera désormais QB pour Bakel et QS pour Soukoutali. Par exemple : QBsept = débit moyen de septembre à Bakel.

### INDEX MOYEN MENSUEL D'ANOMALIE PLUVIOMETRIQUE

On utilise des valeurs d'index moyen mensuel d'anomalies de précipitations, reconstituées en mode prévision par Météo-France sur la période 1979-1999 pour les mois de juin à septembre, à l'exclusion de l'année 1995. Ces données obtenues par l'intermédiaire de Medias France, se présentent sous forme de valeurs affectées à des points repérés en coordonnées géographiques, répartis suivant un quadrillage de 300 km de côté. Les points concernant le haut bassin du Sénégal portent les numéros suivants : 4 ; 5 ; 18 ; 19 ; 33 (voir carte). Les valeurs d'index sont données dans le tableau 2. On les notera désormais Mn, M désignant l'initiale du mois et n le rang du point. Par exemple : S33 = index de septembre du point 33.

## METHODE

Pour relier les écoulements moyens mensuels aux valeurs d'index d'anomalies de précipitations, il serait souhaitable de passer par les deux étapes suivantes :

- Estimation de précipitations moyennes au sol en fonction des valeurs d'index. L'IRD ne possède pas pour le moment, les éléments suffisants pour faire ce genre d'estimation. En particulier, des explications sont attendues de la part de Météo France concernant la signification exacte de l'index.
- Mise au point d'un modèle pluie-débit.

Il n'est pas question d'entrer dans ces détails dans le cadre de l'analyse préliminaire présentée dans cette note.

La méthode utilisée ici consiste donc simplement à rechercher d'éventuelles liaisons directes entre les index pluviométriques et les débits moyens mensuels, sous forme de régressions linéaires simples ou multiples. En outre, l'analyse ne concerne que les débits du mois de septembre.

## RESULTATS

Le tableau 3 présente les valeurs de  $R^2$ , carré de coefficient de corrélation, entre tous les index pluviométriques et les débits de Bakel et Soukoutali, pour août et septembre. On peut faire les constatations suivantes :

- Parmi les index pluviométriques de août et septembre des différents points, seuls ceux du point 33 (août : A33 ; septembre : S33) présentent une valeur de  $R^2$  supérieure à 0,1 avec les débits de Bakel ou Soukoutali.
- Pris deux à deux, les différents index pluviométriques apparaissent la plupart du temps complètement indépendants, avec des valeurs de  $R^2$  très proches de zéro. Cependant, on remarque quelques paires d'index fortement corrélés (A4 A5 ; A4 A19 ; A5 A19 ; S4 S5 ; S33 A33 ; S18 S19). Dans ces cas là, la corrélation peut être soit positive, soit négative (S33 A33).
- Certains index ont des valeurs presque systématiquement positives (A18, A33), ou négatives (S19, S33).

Les tableaux 4 et 5 donnent les résultats des calculs de régression simple entre les différents index et les débits de septembre à Bakel et Soukoutali. Pour ces deux stations, c'est l'index de septembre du point 33 qui donne la meilleure estimation, avec une corrélation positive, mais une valeur de  $R^2$  restant toutefois assez faible :

$$QB_{sept} = 227,8 * S33 + 2450 \quad R^2 = 0,364$$

$$QS_{sept} = 52,6 * S33 + 1002 \quad R^2 = 0,289$$

Les tableaux 6 et 7 donnent les résultats des calculs de régression multiple effectués sur les débits de septembre de Bakel et Soukoutali. La méthode ascendante ayant donné de moins bons résultats, on ne présente que ceux de la méthode descendante. Les meilleures estimations obtenues sont les suivantes :

$$QB_{sept} = 2656 - 394,2 * A33 - 1117,1 * S4 + 1100,7 * S5 - 332,3 * S19 \quad R^2 = 0,600$$

$$QS_{sept} = 52,6 * S33 + 1002 \quad R^2 = 0,289$$

On constate que pour Soukoutali, la meilleure estimation reste celle de la régression simple, avec une faible valeur de  $R^2$ . Pour Bakel par contre, la régression multiple donne de bien meilleurs résultats (figure 1) que la régression simple avec un  $R^2$  intéressant. Ces résultats appellent toutefois les commentaires suivants :

- On peut être surpris de voir S33 disparaître des prévisionneurs significatifs de  $QB_{sept}$ , alors que cet index apparaissait comme le meilleur en régression simple. Ceci est probablement dû à la forte corrélation (négative) existant entre S33 et A33, ce dernier faisant partie des index significatifs.
- Trois des quatre coefficients de régression obtenus sont négatifs. Si les index varient effectivement dans le même sens que la pluviométrie, cela voudrait donc dire que moins il pleut en août sur la zone 33 et en septembre sur les zones 4 et 19, plus l'écoulement de septembre est fort à Bakel ! Peut-il y avoir une explication physique à ce phénomène (par exemple, la pluie tombée sur certaine zone à certain moment, manquerait sur telle autre zone plus contributive au ruissellement), ou bien celui-ci n'est-il dû qu'à un artifice de calcul qui pourrait s'expliquer par la corrélation existant entre certains index ? En d'autres termes, peut-on penser que les coefficients de régression obtenus sont fiables et robustes ? Sur cette question encore, l'IRD attend l'avis des spécialistes de Météo France.

## **SIGNIFICATION DES VARIABLES**

- A4 : index d'anomalie pluviométrique du mois d'août pour le point n°4
- A5 : index d'anomalie pluviométrique du mois d'août pour le point n°5
- A18 : index d'anomalie pluviométrique du mois d'août pour le point n°18
- A19 : index d'anomalie pluviométrique du mois d'août pour le point n°19
- A33 : index d'anomalie pluviométrique du mois d'août pour le point n°33
- S4 : index d'anomalie pluviométrique du mois de septembre pour le point n°4
- S5 : index d'anomalie pluviométrique du mois de septembre pour le point n°5
- S18 : index d'anomalie pluviométrique du mois de septembre pour le point n°18
- S19 : index d'anomalie pluviométrique du mois de septembre pour le point n°19
- S33 : index d'anomalie pluviométrique du mois de septembre pour le point n°33
- QBaoût: débit moyen naturel du mois d'août dans le Sénégal à Bakel
- QBsept: débit moyen naturel du mois de septembre dans le Sénégal à Bakel
- QSaoût: débit moyen naturel du mois d'août dans le Bafing à Soukoutali
- QSsept: débit moyen naturel du mois de septembre dans le Bafing à Soukoutali



	R <sup>2</sup>	M	Cte (m3/s)	Ecart absolu moyen (m3/s)	Ecart type résiduel (m3/s)
A4	0.050	179.6	1697	475	668
A5	0.098	224.0	1743	471	652
A18	0.017	-48.7	1850	474	680
A19	0.002	-14.0	1775	493	685
A33	0.335	-392.5	2190	453	559
S4	0.000	1.6	1764	496	686
S5	0.079	211.2	1771	504	658
S18	0.063	56.5	1787	500	684
S19	0.104	237.6	1926	473	649
S33	0.364	227.8	2450	425	547

Tableau 4 : Coefficients de régression simple (M et Cte) entre les index pluviométriques et le débit moyen naturel de septembre du Sénégal à Bakel

	R2	M	Cte (m3/s)	Ecart absolu moyen (m3/s)	Ecart type résiduel (m3/s)
A19	0.029	-13.1	853	127	175
A33	0.244	-86.8	938	117	154
S19	0.079	53.6	880	113	171
S33	0.289	52.6	1002	99	150

Tableau 5 : Coefficients de régression simple (M et Cte) entre les index pluviométriques et le débit moyen naturel de septembre du Bafing à Soukoutali

étape	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cte (m3/s)	2735	2727	2693	2676	2629	2613	2656	2531	2324	2191
A4	-124.5	-124.4	-92.7							
A5	237.0	247.0	242.7	174.0	111.4	99.2				
A18	-39.4	-36.2	-45.1	-52.3						
A19	6.4									
A33	-271.3	-266.2	-304.4	-306.2	-379.4	-379.3	-394.2	-329.8	-434.6	-392.5
S4	-1240.6	-1236.5	-1272.5	-1286.0	-1204.8	-1112.5	-1117.1	-664.1	-148.7	
S5	1255.2	1252.5	1278.9	1293.9	1203.9	1087.7	1100.7	633.7		
S18	140.8	142.3	144.7	139.9	103.8					
S19	-503.3	-503.9	-496.2	-510.4	-474.3	-352.9	-332.3			
S33	35.1	35.8								
R <sup>2</sup>	0.631	0.631	0.630	0.629	0.624	0.616	0.600	0.516	0.371	0.335
EAM (m3/s)	316	317	312	315	313	309	321	373	430	453
ETR (m3/s)	589	559	534	512	495	482	475	506	560	559

Tableau 6 : Coefficients de régression multiple, méthode descendante, entre les index pluviométriques et le débit moyen naturel de septembre du Sénégal à Bakel (EAM = écart absolu moyen ; ETR = écart type résiduel)

étape	1	2	3	4
Cte (m3/s)	1012	1013	1008	1002
A19	-10.4	-10.4	-11.3	
A33	-0.4			
S19	-15.0	-15.0		
S33	56.8	57.0	52.0	52.6
R2	0.314	0.314	0.310	0.289
EAM (m3/s)	103	103	100	99
ETR (m3/s)	161	156	152	150

Tableau 7 : Coefficients de régression multiple, méthode descendante, entre les index pluviométriques et le débit moyen naturel de septembre du Bafing à Soukoutali

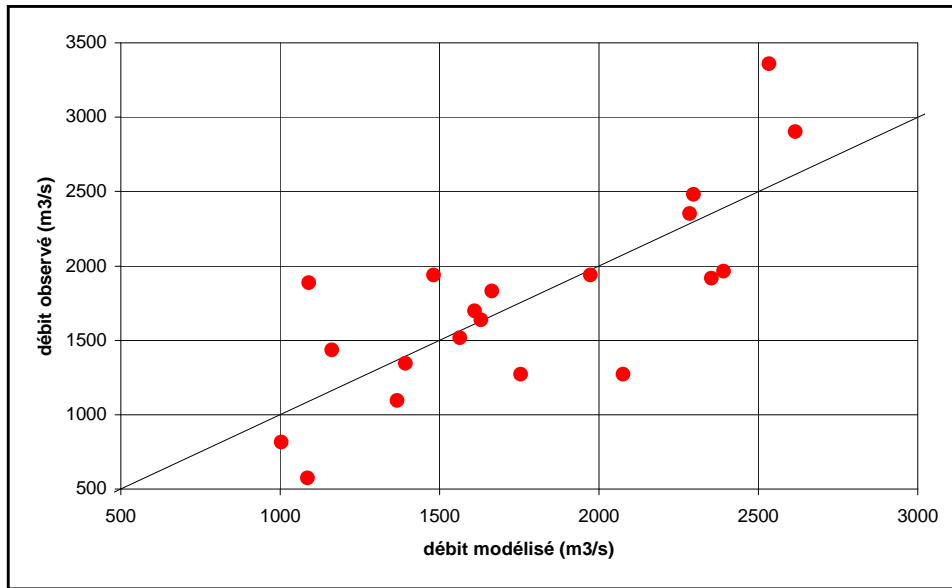
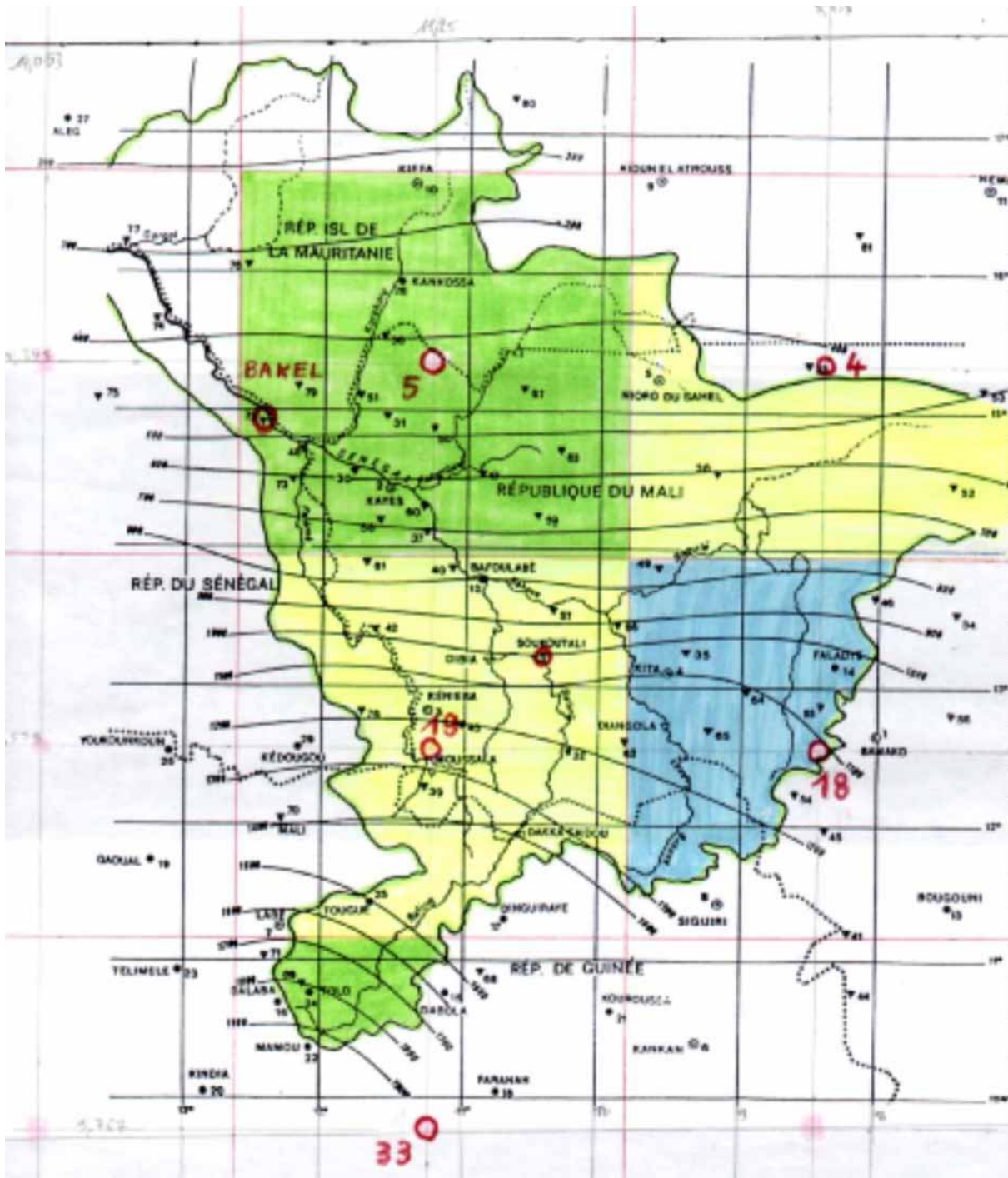


Figure 1 : relation entre les valeurs observées et modélisées par régression multiple (avec A33, S4, S5 et S19), du débit moyen naturel de septembre dans le Sénégal à Bakel





# ANNEXE K

OPTIMISATION DES REGLES DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI. POINT DE VUE DE L'IRD SUR LA PROPOSITION D'UNE NOUVELLE METHODOLOGIE BASEE SUR LA "PROGRAMMATION DYNAMIQUE".

## RESUME ET CONCLUSION

Cette note donne quelques commentaires sur un projet d'étude dont le texte a été communiqué à l'IRD par la Banque Mondiale, et qui concerne l'optimisation de la gestion du barrage de Manantali. Ce projet envisage une méthode apparemment très différente de celle qui est développée par l'IRD dans le cadre du POGR. Les principaux éléments communiqués au sujet de cette méthode sont tout d'abord résumés. Les points suivants sont ensuite abordés :

- Le pas de temps mensuel qui est, semble-t-il, préconisé pour le calcul des volumes d'eau optimaux à lâcher, apparaît beaucoup trop long et inadapté à la variabilité rapide des débits observés sur le haut bassin du Sénégal.
- Les éléments communiqués sont insuffisants pour pouvoir juger si la méthode pourra apporter ou non, une amélioration par rapport à la méthode d'optimisation proposée par l'IRD.
- Le projet d'étude ne garantit pas, tel que présenté en quelques lignes, qu'il conduira à des consignes de gestion opérationnelle suffisamment simples et transparentes, dont on peut facilement vérifier qu'elles sont correctement appliquées. Or, cette relative simplicité semble souhaitable pour éviter tout malentendu au sujet de la gestion de l'ouvrage, entre les trois pays concernés.

Conclusion : il est évident que l'optimisation de la gestion d'un barrage à objectifs multiples tel que celui de Manantali, peut être abordée de diverses manières. Le fait que la nouvelle méthode proposée ait apparemment fait ses preuves en d'autres lieux, est un point encourageant. Par contre, on dispose de trop peu d'éléments à son sujet pour pouvoir juger de son intérêt dans le cas particulier de Manantali. Des réserves peuvent être faites concernant la pertinence du pas de temps envisagé, et une complexité peut-être excessive pour l'application opérationnelle.

## CONTEXTE ET OBJECTIF

Courant Avril 2000, la Banque Mondiale a transmis à l'IRD pour avis, un texte de 4 pages présentant un projet d'étude intitulé : "Optimal long-term demand-driven operating rules for the Manantali reservoir". Cette étude se propose d'optimiser les règles de gestion du barrage suivant une méthode apparemment très différente de celle qui a été envisagée jusqu'à présent par l'IRD dans le cadre du POGR (Projet d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs).

On tente ici d'évaluer l'intérêt de la nouvelle méthode proposée, par rapport à la méthode de l'IRD.

## PRINCIPES DE LA NOUVELLE METHODE PROPOSEE.

D'après le texte transmis par la Banque Mondiale, la méthode proposée s'appuie sur une technique dite de "programmation dynamique". Elle vise à définir au début de chaque mois la quantité d'eau optimale à lâcher, durant le mois apparemment. Il est dit sans plus de détail que l'optimisation en question repose sur une méthode multicritère permettant de considérer les différents objectifs de gestion, que l'aléa hydrologique est traité de façon stochastique et que l'imprécision des objectifs est envisagée au travers de la théorie des objets flous.

Le texte donne une liste des différents aspects du problème pris en compte par la méthode :

- La présence d'objectifs multiples, pouvant être soit qualitatifs, soit quantitatifs
- Les demandes en eau des utilisateurs et décideurs ;

- Une hiérarchie variable dans le temps, entre les différents objectifs ;
- L'incertitude hydrologique et son impact à moyen et long terme sur la gestion ;
- Les contraintes physiques du système.

## **COMPARAISON AVEC LA METHODE PROPOSEE PAR L'IRD DANS LE CADRE DU POGR**

Les informations succinctes obtenues sur la nouvelle méthode d'optimisation proposée, appellent des commentaires sur les trois points suivants : le pas de temps envisagé ; le principe d'optimisation ; la transparence de la gestion opérationnelle.

### **Le pas de temps**

Le calcul du volume d'eau à lâcher est effectué au pas de temps mensuel, alors que l'IRD propose un calcul journalier. Face aux fluctuations très rapides de débit observées sur le haut bassin du Sénégal en période de crue, il semble illusoire de calculer entre juin et octobre, un volume optimal à lâcher à l'horizon mensuel. Ceci concerne tout particulièrement les objectifs de gestion qui se traduisent par un débit à respecter à Bakel (irrigation, navigation, soutien de crue, laminage des crues).

### **Le principe d'optimisation**

L'IRD préconise de gérer l'ouvrage à partir d'un jeu fixe de consignes, optimisées en préalable à la gestion opérationnelle en fonction des objectifs exprimés par les pays membres de l'OMVS. Ces consignes applicables en permanence, sont prévues pour entraîner une action appropriée dans tous les cas de figure. L'optimisation s'effectue en déterminant parmi de nombreux scénarios de consignes, celui qui offre le meilleur compromis de réussite probable pour les différents objectifs de l'ouvrage. Ce choix est effectué en concertation par les pays concernés, au vu de simulations numériques reproduisant la gestion du barrage (en avenir inconnu) sur une longue période, pour tous les scénarios de consignes envisagés. Les critères de choix actuellement retenus sont les taux de satisfaction à long terme des différents objectifs (énergie produite, pénurie d'eau pour l'irrigation, fréquence de bonnes crues pour l'agriculture traditionnelle...), qui devraient pouvoir être traduits en termes économiques par l'étude dite "coût bénéfice" menée par ailleurs. Bien entendu, les différents aspects du problème pris en compte par la nouvelle méthode (voir ci-dessus) sont également pris en compte par la méthode de l'IRD, qui permet tout autant d'adapter la gestion à l'évolution des objectifs exprimés.

La nouvelle méthode proposée consiste à calculer au début de chaque mois, le volume optimal à lâcher. Apparemment, il s'agit de redéfinir chaque mois par un nouveau calcul d'optimisation, les consignes de gestion opérationnelle à appliquer durant un mois. Les critères utilisés dans cette optimisation ne sont pas détaillés, et l'on ne sait pas s'ils concernent la satisfaction des objectifs pour le mois à venir, les mois suivants ou le long terme.

Les éléments dont nous disposons ne permettent pas de juger si la nouvelle méthode proposée pourra améliorer ou non, l'optimisation actuellement envisagée pour la gestion du barrage de Manantali. Ils ne permettent pas non plus de voir de quelle façon cette méthode pourrait, comme il est dit, être appliquée en combinaison avec la méthode de l'IRD.

## **LA TRANSPARENCE DE LA GESTION OPERATIONNELLE**

Le barrage de Manantali doit satisfaire des objectifs qui diffèrent pour les trois pays concernés. Pour le maintien d'une bonne entente entre ces pays, il est donc important d'éviter tout malentendu sur la gestion de cet ouvrage. Cela implique que le gestionnaire doit toujours être en mesure de démontrer de façon simple et claire, qu'il applique correctement le programme de gestion défini d'un commun accord par le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. Lorsqu'à cause d'un aléa hydrologique, l'un des objectifs ne pourra être satisfait comme prévu, tout soupçon d'une gestion biaisée ayant favorisé tel ou tel autre objectif pourra alors être levé de façon définitive. Tout ceci plaide en faveur de consignes de gestion qui, bien qu'assez complexes pour être adaptées à toutes situations hydrologiques, peuvent être clairement énoncées à l'avance, de façon compréhensible pour des non-spécialistes de gestion de barrage.

De ce point de vue, la gestion préconisée par l'IRD semble suffisamment simple puisqu'elle est basée sur des consignes permanentes adaptées aux différentes situations hydrologiques. Ces consignes sont préalablement optimisées en commun par les trois pays en fonction d'un compromis sur la satisfaction probable de leurs objectifs. Avec certes une indispensable marge de manœuvre, elles sont alors appliquées de façon invariable par le gestionnaire de l'ouvrage, tant qu'elles ne sont pas modifiées d'un commun accord par ces pays pour répondre à une évolution de leurs objectifs.

Cette qualité de simplicité et de transparence des règles de gestion opérationnelle ne transparaît pas dans la proposition transmise par la Banque Mondiale.

# ANNEXE L

## PROGRAMME D'OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESERVOIRS

### P.O.G.R.

#### CONTROLE DU REMPLISSAGE ET DE LA VIDANGE DU LIT MAJEUR A L'AMONT DE LA COURBE DE REMOUS DE DIAMA

Dans ses recommandations, le comité de suivi du POGR de juin 1999 a inclus la rédaction des Termes de Références d'une étude de l'amélioration du fonctionnement des cuvettes du lit majeur du fleuve Sénégal sur le bief amont de la séparation DOUE - SENEGAL.

La gestion optimisée envisagée doit permettre la réalisation de cultures de décrues dans le lit majeur, après une submersion qui varie selon les lieux de 18 à 25 jours. Cette variabilité est due à l'hétérogénéité des sols.

La crue artificielle réalisée durant l'hivernage 1997 a permis l'inondation du lit majeur dans le département de PODOR, et dans la zone correspondante de rive droite, en territoire Mauritanien.

Durant cette crue, soutenue artificiellement par des lâchés du barrage de Manantali, il a été constaté un déficit du limnigramme imposé au niveau du département de MATAM. La durée de maintien de la ligne d'eau au dessus de la cote permettant une inondation suffisante du lit majeur a été trop courte. Cela a entraîné un début de vidange avant que les cuvettes ne soient suffisamment remplies (surface inondée trop faible) et une durée de submersion trop courte pour la réalisation d'une recharge en eau des sols permettant la maturation des cultures de décrue.

#### **1. Objectifs de l'optimisation**

Dans le cadre du POGR, la crue artificielle est optimisée, la forme du limnigramme à BAKEL correspond à la demande (somme des contraintes aval) et doit en particulier assurer l'inondation de 100 000 ha du lit majeur, ce qui correspond à la possibilité de mise en culture de décrue de 50 000 ha.

Comme indiqué ci-dessus, la crue de 1997 correspond aux objectifs de culture de décrue, mais la forme du limnigramme de BAKEL n'a pas permis une inondation optimale pour les cultures de décrue dans la zone située de l'amont de l'île à Morfil à Kanel (20 km à l'amont de MATAM).

Les présents TDR ont pour objet de fixer le cadre d'une étude devant conduire à des travaux d'amélioration du remplissage du lit majeur afin d'augmenter les surfaces inondées, puis d'étendre la période de submersion. La période de submersion peut être variable en fonction des sols, l'optimisation de la durée correspond à une recharge en eau des sols qui doit permettre l'arrivée à maturité des plantes au moment de la récolte.

## 2. Etudes à réaliser

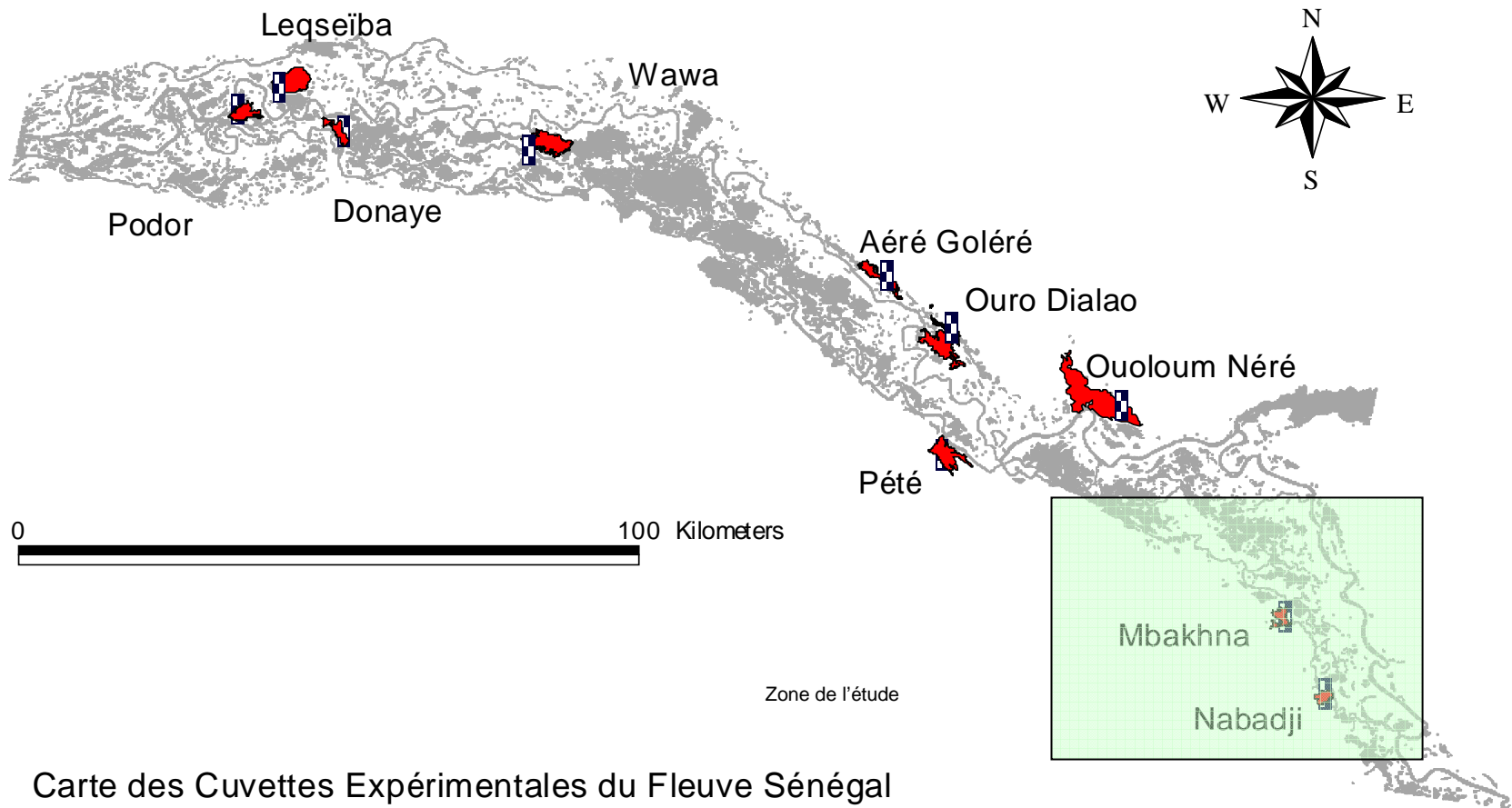
Le contractant effectuera des études devant conduire à une amélioration notable des conditions hydrauliques naturelles (en rive droite et rive gauche), pour cela les tâches suivantes devront être réalisées :

- Inventaire des plaines susceptibles de faire l'objet de travaux d'amélioration entre la défluence Doué – Sénégal et KANEL.
- Enquêtes auprès de la SAED et de la SONADER sur les plaines éventuellement prioritaires, compléments d'information dans les villages.
- Topographie des cuvettes retenues, des affluents et des défluents éventuels, schéma de fonctionnement.
- Elaboration d'un modèle de fonctionnement hydraulique du remplissage et de la vidange. Comparaison du régime naturel et du régime modifié (gain en ha de culture de décrue)
- Proposition de travaux et devis correspondant – Coût de l'hectare supplémentaire.

## 3. DOCUMENTS DISPONIBLES

Les soumissionnaires disposeront des documents existants (consultables à l'OMVS ou sur CDROM), entre autres (liste non exhaustive) :

- Imagerie SPOT existante de la zone d'étude, acquise par l'OMVS et consultables selon les conditions classiques (contrat SPOT IMAGE).
- Limnigrammes optimisés à BAKEL – MATAM – KAEDI – SALDE/N'GOUI.
- Observations du remplissage de diverses plaines de rive droite et de rive gauche.
- Rapports de campagne et de synthèse du POGR (1998 et 1999), particulièrement les tomes correspondant au remplissage du lit majeur.
- Lignes d'eau correspondant au régime permanent sur le cours principal du fleuve.



Carte des Cuvettes Expérimentales du Fleuve Sénégal

## ANNEXE M

### LISTE DES RAPPORTS REMIS PAR L'ORSTOM A L'OMVS DANS LE CADRE DU POGR

- (1) Etudes de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Rapport d'activités de l'étape 1. ORSTOM. Février 1998. 19 p.
- (2) Etudes de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Phase 1. Rapport de synthèse. ORSTOM. Mars 1998. 45 p.
- (3) Etudes de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Crue 1997. Addendum. ORSTOM. Mars 1998. 20 p.
- (4) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Phase 2. Tome 1. Analyses et mises à jour des étalonnages. IRD. Mars 1999. 54 p.
- (5) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Phase 2. Tome 2. Gestion du réservoir de Manantali. Ebauche du manuel de gestion.. IRD. Mars 1999. 59 p.
- (6) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Phase 2. Tome 3. Impact de la crue sur le remplissage des cuvettes dans la vallée du fleuve Sénégal. Résultats des campagnes 97-98 et 98-99. IRD. Mars 1999. 42 p.
- (7) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Phase 2. Tome 4. Campagne de mesures de débits 1998. IRD. Mars 1999. 11 p.
- (8) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Expertises sur les impacts environnementaux de la gestion des ouvrages. Tome 5. IRD. Mars 1999. 102 p.
- (9) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Phase 2. Manuel des consignes de gestion. IRD. Mars 1999. 82 .
- (10) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Faisabilité de la modélisation pluie-débit. Intérêts des solutions proposées. Crues naturelles et gestion. IRD. Juillet 1999. 29 p.
- (11) Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs. Phase 2. Synthèse. IRD. Octobre 1999. 113 p.

## LISTE DES NOTES REDIGÉES DANS LE CADRE DU POGR

### **1 Test des règles de déclenchement du soutien de crue (article AISH) dans le cas d'une prévision médiocre des débits sur le haut bassin du Sénégal.**

TESTREGL.DOC 4/7/97 ; 2 pages

Résultats mentionnés dans : (1) Etude de l'Optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Rapport d'activités de l'étape 1. Février 1998.

La prévision médiocre des débits (autorégression à Diangola et Fadougou ; propagation jusque Oualia et Gourbassy) entraîne un retard dans le déclenchement du soutien de crue mobile. Toutefois, moyennant une légère adaptation des règles de déclenchement, on obtient des résultats certes un peu moins bons qu'avec prévisions justes à l'horizon 10 jours, mais toujours bien meilleurs qu'avec soutien systématique à date fixe.

### **2 PROGEMAN. Logiciel de calcul du débit à lâcher au barrage de Manantali, en vue d'obtenir un débit objectif sur le fleuve Sénégal au niveau de Bakel. Notice d'utilisation, et consignes pour la crue de 1997.**

Logiciel mentionné dans : (1) Etude de l'Optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Rapport d'activités de l'étape 1. Février 1998.

NOT2408.DOC ; 8 pages

Buts, installation et fonctionnalités de PROGEMAN sont présentés dans cette note. Figurent également des considérations diverses concernant la crue de 1997.

### **3 RAPPORT DE MISSION AU SENEGAL, DU 18 AU 25 AOUT 1997**

MISS0897.DOC ; 4 pages

Points abordés : comité de suivi du POGR ; formation d'agents de l'OMVS ; problèmes d'acquisition de données et de télécommunications.

### **4 NOTE SUR LA POSSIBILITE D'OBTENIR UN NIVEAU SUPERIEUR A 192 M AU 30/6/98 DANS LA RETENUE DE MANANTALI, EN FONCTION DU SOUTIEN D'ETIAGE ENVISAGE APRES LA CRUE DE 1997.**

NOT2910A.DOC ; NOT2910A.XLS ; 10 pages

Résultats mentionnés dans : (1) Etude de l'Optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Rapport d'activités de l'étape 1. Février 1998.

Publication partielle : (2) Etude de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Phase 1. Rapport de synthèse. Annexe 2C

Cette note présente le principe et l'application d'une méthode de calcul basée sur l'utilisation de SIMULSEN, qui permet d'estimer pour chaque jour de l'année la fonction de répartition du niveau minimal requis à Manantali, pour obtenir une cote donnée le 30 juin suivant. Cette note a été partiellement reproduite dans l'annexe C de la note [10].

Annexe 1 : données et hypothèses présentées par Gibb pour le calcul des besoins en eau de 100000 ha de cultures irrigués

Annexe 2 : évaluation des pertes par évaporation



## **5 ANALYSE SUCCINCTE DE LA CRUE DE 1997 SUR LE HAUT BASSIN DU SENEGAL**

NOT2910B.DOC ; NOT2910B.XLS ; 4 pages

Points abordés : hydrogramme objectif retenu ; débits lâchés de Manantali ; débits observés à Kayes, Bakel, Oualia et Gourbassy. Résultats : le débit obtenu à Bakel est légèrement plus élevé que l'objectif. Une correction en boucle fermée a été appliquée dès le 18 septembre.

## **6 MISE A JOUR DE LA BANQUE DE DONNEES HYDROMETRIQUES HOMOGENEISEE DU HAUT BASSIN DU SENEGAL**

MISAJBKE.DOC ; PROPREC.XLS ; 5 pages

Il s'agit de la mise à jour des fichiers à partir de 1990, avec quelques nouvelles données antérieures à 1990 pour certaines stations. Quelques modifications ont été faites pour des données antérieures à 1990 (essentiellement : suppression de 1979 et 1981 à 1984 pour Bafing Makana). Le pourcentage de données observées est représenté graphiquement sur la période 1900-2000 pour chaque station.

## **? HAUT BASSIN DU SENEGAL. BILAN DES ECOULEMENTS SUR LA PERIODE DE SEPTEMBRE A NOVEMBRE 1997. COTE MAXIMALE DE LA CRUE DE 1997 DEPASSE PENDANT 15 JOURS CONSECUTIFS A PODOR**

BILAN.XLS ; NO040698.DOC ; 10 pages

## **7 ETUDE DE LA GESTION DES RESERVOIRS DE MANANTALI ET DIAMA. RAPPORT D'ACTIVITES DE PREMIERE PHASE. CONTRIBUTION DE JC BADER (JUILLET 97 – JANVIER 98)**

RAPDAC0298.DOC ; 4 pages

Publication : (1) Etude de l'Optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Rapport d'activités de l'étape 1. Février 1998.

Les points abordés sont les suivants :

- Simulations numériques visant à optimiser le soutien de crue : à date fixe optimale, ou à date mobile avec règles de déclenchement.
- Calage de modèles de prévision de débit par autorégression.
- Simulation numérique du soutien de crue à date mobile, en cas de prévisions de débit dégradées sur le Bakoye et la Falémé [1]
- Réalisation du logiciel PROGEMAN et formation dispensée aux agents de l'OMVS [2]
- Définition des objectifs de gestion pour la crue de 1997 : "ORSTOM1"
- Réalisation du soutien de crue de fin août à octobre 1997
- Réalisation du début de soutien d'étiage
- Probabilité d'obtenir une cote supérieure à 192 m au 30/6/98 à Manantali [4]
- Mise à jour de la banque de données hydrométriques [6]

## **8 LA POINTE DE CRUE DU SENEGAL A PODOR EN 1997. COMPARAISON AVEC LES CRUES OBSERVEES DE 1904 A 1996**

CRUPODOR.DOC ; 3 pages

La cote caractéristique de crue sur 15 jours observée à Podor en 1997 (413 cm), correspond à une fréquence au non dépassement de 0,22 (1904-1996), 0,36 (1950-1996) ou 0,63 (1970-1996).

## **9 NOTE SUR LA COHERENCE DES DONNEES LIMNIMETRIQUES DE LA STATION DE NGOUI SUR LE DOUE**

NGOUI.DOC ; 1 page

On donne la liste des corrections effectuées sur les données brutes, ainsi que la relation obtenue entre cotes homogénéisées de Salde et Ngoui.

## **10 ANALYSE DE LA GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI PENDANT LA CRUE DE 1997**

NO090298.DOC ; ANNEXE2A.DOC ; ANNEXE2B.DOC ; ANNEXE2C.DOC ; ANNEXE2D.DOC ; ANNEXE2E.DOC ; 30 pages

Publication (Texte + annexes 2A à 2E): (2) Etude de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Phase 1. Rapport de synthèse.

Il est d'abord rappelé les travaux effectués préalablement à la gestion de la crue : simulations numériques visant à optimiser le soutien de crue (soutien fixe ou mobile) ; prévision de débit par autocorrélation ; logiciel PROGEMAN. Les objectifs de gestion sont ensuite rappelés : soutien de crue ("ORSTOM1") ; soutien d'étiage ; remplissage (192 m au 30/6/98). Après quelques considérations sur les modalités pratiques de la gestion réalisée, les résultats obtenus sont présentés pour les différents cours d'eau :

- Les volumes écoulés dans le Bakoye et la Falémé entre le 15 août et le 15 octobre sont médians (1954-1994) ou quadriennaux humides (1970-1994).
- Il est constaté un excès d'eau en crue à Kayes et Bakel par rapport aux prévisions des modèles de propagation. On soupçonne une sous-estimation des débits lâchés, qui expliquerait aussi l'anomalie constatée sur le bilan de volume de la retenue.
- Résultats obtenus : crue légèrement supérieure à l'objectif à Bakel ; remplissage de la retenue supérieur à l'objectif ; pointe unique pour la crue obtenue en régime artificiel, contre deux pointes en régime naturel.

Les annexes concernent les points suivants :

- Annexe A : Valeurs des paramètres d'étalonnages, de modèles autorégressifs et de modèles de propagation figurant dans PROGEMAN
- Annexe B : Procédure de correction manuelle des lâchers calculés par PROGEMAN
- Annexe C : Evaluation en cours de crue, de la possibilité d'obtenir une cote donnée dans le lac de Manantali à la fin de l'étiage suivant. Il s'agit d'une reproduction partielle de la note [4].
- Annexe D : Vérification du calage du modèle de propagation amont
- Annexe E : Vérification du calage du modèle de propagation aval, et de l'étalonnage de Bakel

## **11 BILAN DES ECOULEMENTS SUR LE HAUT BASSIN DU SENEGAL ENTRE LE 01/06/97 ET LE 31/05/98**

BILVOL.XLS ; 1 page

Publication : (3) Etude de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Crue 1997. Addendum. Mars 1998

Pour l'ensemble des stations (Makana, Manantali, Oualia, Goubassy, Kayes et Bakel), la fréquence au non dépassement du volume écoulé en régime naturel entre le 1/6/97 et le 31/5/98 tourne autour de 0,4 sur 1950-1998, et autour de 0,7 sur 1970-1998.

## **12A APPLICATION DU MODELE DE PROPAGATION DE JP LAMAGAT EN REGIME ARTIFICIEL**

MODAMONT.DOC ; BILVOL.XLS ; 5 pages

Publication : (3) Etude de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Crue 1997. Addendum. Mars 1998

En régime artificiel, il est nécessaire d'appliquer le modèle de propagation de Lamagat en reliant les apports intermédiaires aux débits naturels (et non pas artificiels) de l'amont. Sur la crue de 1997, le fait d'utiliser les débits artificiels de l'amont pour calculer les débits intermédiaires, conduit à une sous-estimation des débits de Kayes de 3,5% en moyenne. Ceci ne suffit cependant pas pour expliquer l'excès d'eau constaté à Kayes, qui pourrait en fait s'expliquer par une sous-estimation des débits lâchés du barrage. Cette sous-estimation est soupçonnée du fait qu'on constate des apports intermédiaires d'importante très improbable entre Manantali et Kayes, ainsi qu'une anomalie dans le bilan de volume sur la retenue.

## **12B COMPARAISON DE TROIS SCENARIOS DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI**

?

Publication : (3) Etude de l'optimisation de la gestion des aménagements de l'OMVS. Crue 1997. Addendum. Mars 1998

Trois scénarios de gestion sont simulés sur la période 1950-1997.

A : Le soutien d'étiage et le soutien de crue (à date variable) sont pris en compte dans les consignes, mais pas la production électrique. On a alors l'équivalent d'une centrale au fil de l'eau.

B : Le soutien d'étiage (avec préservation de stock) et la production électrique sont pris en compte

C : Le soutien d'étiage (avec préservation de stock), le soutien de crue (à date variable) et la production électrique sont pris en compte.

Résultats obtenus pour la production d'énergie : en période de forte hydraulité, les scénarios B et C donnent des résultats assez proches, meilleurs que le scénario A. En période de faible hydraulité, A et C donnent des résultats assez proches, bien plus faibles que B. Conclusion : Le scénario B est le meilleur pour la production électrique, suivi de B puis de A.

Pour les superficies cultivables en décline, des différences sensibles apparaissent entre les trois scénarios pendant les périodes de faible hydraulité. Le B donne les plus mauvais résultats, alors que A et C donnent de meilleures superficies que le régime naturel environ 7 années sur 10. Le scénario A donne les meilleurs résultats pour le soutien de crue, mais peut entraîner quelques pénuries en étiage.

## **13 VERIFICATION DE L'ETALONNAGE DES STATIONS DU FLEUVE SENEGAL ENTRE KAEDI ET DAGANA**

030698.DOC ; VERIFETA.XLS ; SALDECOR.XLS ; PODORCOR.XLS ; 14 pages

Sauf pour Dagana, de fortes incertitudes pèsent sur l'importance des écoulements dans le lit majeur. En général, les plus fortes cotes jaugées sont assez proches des plus fortes cotes observées, mais on a dans certains cas (Salde, et surtout Ngoui) trop peu de mesures faites en montée des eaux. Une correction importante est proposée pour Salde (on sous-estimait les débits de crue) et une autre, moins importante est proposée pour Dagana.

## **14 BILAN DE VOLUME DE LA CRUE DE 1997 SUR LE SENEGAL. ORIGINE DES DIFFERENCES CONSTATEES ENTRE LA VERSION DEFINITIVE ET LES VALEURS PUBLIEES DANS LE RAPPORT ADDENDUM D'AVRIL 1998.**

110698.DOC ; 5 pages

Il est question de :

- Erreur de manipulation de fichier ayant fait confondre des débits entièrement reconstitués, au lieu de complétés, pour Kayes et Bakel. Correction.
- Reconstitution de débits naturels à Soukoutali à partir de Makana, avec un modèle dont l'extrapolation en hautes eaux sous-estimait les débits. Correction avec un modèle recalé sur un échantillon comportant une forte crue qui ne figurait pas dans l'échantillon utilisé pour le premier calage.
- Nouveau mode d'estimation des débits intermédiaires.
- Différence de productible énergétique s'expliquant par hypothèses de calcul complètement différentes.

## **15 REMARQUES SUR LE BILAN DE VOLUME DE LA CRUE DU SENEGAL EN 1997**

NOTE BIL.DOC ; 4 pages

Cette note apporte quelques explications sur les résultats présentés dans la note [17]. Elle donne le principe des extrapolations effectuées pour compléter les données jusqu'à la fin de l'étiage, et celui du calcul de volume écoulé en régime naturel. On envisage différentes hypothèses pour expliquer les anomalies constatées sur les bilans de volume effectués à l'amont et à l'aval de la retenue.

## **16 NOTE SUR LE SOUTIEN DE CRUE A DATE FIXE SUR LE FLEUVE SENEGAL**

180698C.DOC ; 17 pages

publication partielle (manque les figures) : (10) POGR. Faisabilité de la modélisation pluie-débit. Intérêt des solutions proposées. Crues naturelles et gestion. Juillet 1999. annexe D

publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 3.5

Cette note envisage un hydrogramme objectif de crue de type "ORSTOM1" (très proche de "GIBB A") à Bakel, dont le coût en eau dépensé à Manantali est analysé sur la période 1973-1997. Il est montré qu'en positionnant chaque année l'hydrogramme objectif à la meilleure date possible (variable suivant les années), le volume d'eau lâché de Manantali pour le soutien de crue se situe entre 0,500 et 5,8 km<sup>3</sup>. La part non turbinable de ce volume varie quant à elle entre 0 et 3,4 km<sup>3</sup>. En fixant au 28 août le premier jour du palier de 2500 m<sup>3</sup>/s à Bakel, il est montré que la part non turbinable du volume lâché pour le soutien (de moyenne 2,0 km<sup>3</sup>), ne dépasse sa valeur minimale optimale que de 0 à 0,496 km<sup>3</sup> selon les années. Cette augmentation vaut en moyenne 0,157 km<sup>3</sup>. Autrement dit, le fait de soutenir systématiquement la crue à date mobile de façon optimale grâce aux meilleures prévisions de débit possibles, pourrait permettre de turbiner selon les années, de 0 à 0,496 km<sup>3</sup> de plus (et en moyenne 0,157 km<sup>3</sup> de plus) qu'en effectuant le soutien à date fixe avec un début de palier calé sur la date optimale du 28 août. Ce gain relativement faible, ajouté aux difficultés rencontrées pour mettre au point les prévisions nécessaires, plaide en faveur d'un soutien à date fixe optimale plutôt qu'à date mobile.

Puisqu'il n'entraîne qu'une économie d'eau relativement faible, pourquoi le soutien à date mobile semble-t-il alors offrir de meilleurs résultats que le soutien à date fixe ? La réponse tient au fait qu'il était envisagé jusqu'à présent un soutien à date fixe engagé chaque année de façon systématique, alors que les consignes envisagées pour le soutien à date mobile permettaient de renoncer au soutien de crue quand celui-ci nécessiterait une dépense en eau excessive. En acceptant de renoncer au soutien de crue certaines années, on voit donc que le soutien à date fixe devrait donner des résultats assez proches de ceux obtenus avec le soutien à date mobile. Le critère proposé pour déclencher ou non le soutien de crue fixe, devrait prendre en compte le stock d'eau disponible dans la retenue au moment du déclenchement.

## **17 TABLEAU SYNTHETIQUE DE LA GESTION DES EAUX DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL DE JUIN 97 A MAI 98**

SENEG97C.DOC ; BILVOL1.XLS ; 6 pages

Deux versions sont proposées pour le tableau. La seconde diffère de la première par une correction de + 1 km<sup>3</sup> apportée de façon arbitraire sur le volume lâché de la retenue, qu'on suppose sous-estimé. Cette correction permet d'équilibrer le bilan de volume dans la retenue.

## **18 EBAUCHE D'UN MANUEL DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI**

EBMANGES.DOC ; EBMANGES.XLS ; 9 pages

Publication : (5) POGR. Rapport intérimaire de la campagne 1998. Tome 2. Annexe 2

Cette note ne présente qu'un canevas, qui est développé dans le manuel de gestion provisoire [23].

19(A et B) Programmation du soutien de crue de 1998 sur le fleuve Sénégal

19A : 070798.DOC ; VOLDEP.XLS ; 13 pages

19B : ADDENDUM.DOC ; ADDENDUM.XLS ; 3 pages

publication : (5) POGR. Rapport intérimaire de la campagne 1998. Tome 2. Annexe 1 (+addendum)

La première partie de cette note, ainsi que l'addendum, présentent une méthode de calcul qui a été utilisée en août 98 pour estimer les risques de ne pas pouvoir remplir la retenue à l'horizon du 31 décembre 2000, en fonction de l'hydrogramme objectif de crue qui serait retenu en 1998. Cette méthode est basée sur l'utilisation de SIMULSEN pour évaluer les bilans de volume, et sur l'utilisation d'un tableur (Excel) pour les combinaisons statistiques. Le logiciel SIMULSEN sera adapté au cours de la troisième phase pour pouvoir faire ce calcul de façon plus conviviale, puisque le genre de problème posé est susceptible de se présenter à nouveau.

Un calcul est également présenté dans cette première partie, pour estimer la capacité utile nécessaire pour garantir sur la période 1970-1996, la réalisation systématique du soutien de crue et du soutien d'étiage. On constate ainsi que la capacité de Manantali est insuffisante pour réaliser tous les ans la crue "ORSTOM2" (palier à 3500 m<sup>3</sup>/s) suivi d'un soutien d'étiage à 100 m<sup>3</sup>/s. L'addendum [19B] est repris intégralement en annexe 1 du rapport de mission [20B]. L'annexe 1 de la note [21/1] reprend intégralement les notes [19A] et [19B].

La seconde partie présente les résultats d'une simulation numérique visant à tester l'influence du paramètre Hs (cote limite minimale dans le lac au 20 août, permettant de déclencher le soutien de crue) sur le productible énergétique. Attention : cette simulation n'envisage pas de préservation de stock pour le soutien d'étiage, ni de respect de la cote minimale 187m. Elle envisage de laisser passer la crue naturelle quand on ne fait pas de soutien. Résultats : l'augmentation du paramètre Hs entraîne une augmentation du productible et une diminution de la fréquence du soutien de crue.

## **20A NOTE SUR L'EVENTUELLE IMPOSSIBILITE DE FAIRE UNE PREVISION DE DEBIT A 10 JOURS SUR LE BAKOYE ET LA FALEME. CONSEQUENCES PREVISIBLES SUR LE PRODUCTIBLE ENERGETIQUE DU BARRAGE DE MANANTALI**

NO310898.DOC ; NO310898.XLS ; 7 pages

Publication : (5) POGR. Rapport intérimaire de la campagne 1998. Tome 2. Annexe 3

Cette note, reprise intégralement dans l'annexe 4 du rapport de mission 20B, montre qu'il est possible d'envisager un soutien de crue à date fixe permettant d'obtenir des résultats presque aussi bons que le soutien à date mobile. Sur la base des débits observés entre 1970 et 1997, on peut obtenir la même fréquence de crues correctement soutenues, avec une perte de puissance moyenne produite s'élevant à 1, 4 Mw seulement. Pour cela, une demande importante de production électrique ne doit être prise en compte que pour des cotes élevées dans la retenue. Le soutien de crue ne doit par ailleurs être déclenché que lorsque le niveau de la retenue se situe au dessus d'un certain seuil au 20 août.

Il faut noter que les résultats présentés dans cette note de calcul, tant pour le soutien de crue à date mobile qu'à date fixe, envisagent d'utiliser pour la gestion, la totalité de la réserve située au dessus des vannes de demi-fond. Il n'est pas tenu compte d'une limitation de la réserve utile à la tranche de volume située au dessus de 187 m.

## **20B RAPPORT DE MISSION AU SENEGAL ET AU MALI, DU 12 AOÛT AU 2 SEPTEMBRE 1998**

MISSO898.DOC ; 29 pages

Les points suivants sont abordés dans cette note :

- Participation à la réunion de la CPE : choix d'un hydrogramme de crue pour 1998 (addendum [19B] présenté en annexe 1); présentation de l'ébauche du manuel de gestion [18].
- Réunion avec le gestionnaire de Manantali.
- Suivi de la gestion du barrage de Manantali.
- Note sur le productible énergétique de Manantali, dans le cas d'un soutien de crue à date fixe (note [20A] présentée en annexe 4).
- Notes sur la possibilité de régulariser l'étiage du Sénégal à 300 m<sup>3</sup>/s . Les notes présentées en annexe 5 et 6 montrent l'impossibilité d'atteindre simultanément de façon satisfaisante, cet objectif et celui du soutien de crue.

### **21(1 ET 2) GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI PENDANT LA CRUE DE 1998**

NO151298.DOC ; EBMANGES.DOC ; EBMANGES.XLS ; NO310898.DOC ; N0310898.XLS ; NO200898.DOC ; TARAGES.XLS ; BIVOLVAL.XLS ; 27 pages

Publication : (5) POGR. Rapport intérimaire de la campagne 1998. Tome 2

L'hydrogramme objectif "ORSTOM3" culminant à 3000 m<sup>3</sup>/s a été choisi sur la base de l'analyse présentée en annexe 1 (reprise intégrale des notes [19A] et [19B]).

L'ébauche du manuel de gestion est présentée (annexe 2 : reprise intégrale de la note [18]).

L'incidence sur le productible énergétique du type de soutien de crue (fixe ou mobile) est analysée dans l'annexe 3 (reprise intégrale de la note [20A]).

Certaines modalités pratiques de gestion sont présentées, avec des détails (annexe 4) concernant la procédure de calcul des lâchers.

La crue de 1998 a été caractérisée par des apports intermédiaires très importants entre Manantali, Oualia, Gourbassy et Bakel. Le volume de ces apports entre le 20 août et le 20 octobre (35% du volume naturel écoulé à Bakel) s'est élevé à 5,12 km<sup>3</sup>, valeur décennale humide sur la période 1950-1998. Ces apports ont permis de dépasser largement l'hydrogramme objectif de crue (palier à 3000 m<sup>3</sup>/s) qui avait été fixé pour Bakel en 98, tout en effectuant un stockage net de 3,03 km<sup>3</sup> dans la retenue entre le 20 août et le 20 octobre.

La fréquence au dépassement (période 1950-1998) du volume écoulé naturel entre le 20 août et le 20 octobre 1998, s'élève à 0,6 sur le Bakoye, 0,5 sur le Bafing et à Kayes, et 0,4 sur la Falémé et à Bakel.

Un bilan du volume écoulé en 1998 est effectué par biefs entre stations situées à l'aval de Bakel (annexe 5). Ce bilan est fait sous réserve d'imprécisions dues aux écoulements inconnus dans le lit majeur. Il utilise les résultats de jaugeages effectués en 1998 pour corriger les débits obtenus par traduction des cotes à partir des étalonnages.

### **22A NOUVEAU CALAGE DU MODELE DE COURBE DE REMOUS DE DIAMA**

COUREM99.DOC ; 18 pages

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 3.2

Cette note donne les résultats du nouveau calage du modèle COREDIAM de courbe de remous de Diama, effectué sur les données de la période 1986-1998. Par rapport à l'ancien calage (effectué sur la période 1988-1994), on constate un certain rehaussement des cotes obtenues à Rosso et Dagana.

## **22B NOTE SUR LE NIVEAU DE LA CRUE DU FLEUVE SENEGAL EN REGIME ARTIFICIEL, AUX STATIONS DE ROSSO ET DAGANA**

CRUDAGAN.DOC ; 5 pages

Le nouveau calage du modèle COREDIAM [22A] donne de bons résultats pour la reconstitution des cotes observées de 1986 à 1998 à Dagana et Rosso. Qu'en est-il pour la modélisation à ces stations, à partir de cotes à Bakel beaucoup plus élevées que celles de cette période ? Cette note montre que Corediam sous-estime de façon importante les fortes pointes de crue à Dagana et Podor, correspondant à une cote moyenne sur 15 jours supérieure à 1000 à l'échelle de Bakel.

Ainsi, pour une cote 250 à Diama et une cote moyenne sur 15 jours de 1140 ou 1222 cm à Bakel, COREDIAM donne respectivement les cotes 337 et 351 cm IGN à Dagana. La reconstitution par COREDIAM des maximums annuels observés depuis 1904, montre que ces cotes doivent en fait sous-estimer la réalité de 46 cm et 62 cm.

Conclusion : il est nécessaire de réviser le calage de COREDIAM pour les cotes moyennes sur 15 jours, supérieures à 1000 cm à Bakel.

## **23(1, 2 ET 3) MANUEL PROVISOIRE DE GESTION DE MANANTALI**

MANUEL1.DOC ; 75 pages

Publication : (9) POGR, phase 2. Manuel des consignes de gestion. Mars 1999

## **24 NOTE SUR LA CONSIGNE DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI, RELATIVE AU LAMINAGE DES CRUES EXCEPTIONNELLES DE LA RIVIERE BAFING**

NO090499.DOC ; 10 pages

Publication : (9) POGR, phase 2. Manuel des consignes de gestion. Mars 1999. Annexe D

Les consignes relatives au laminage de crue envisagées dans le manuel provisoire de gestion de Manantali, ne concernent que les crues d'importance comparable à celles qui ont été observées depuis 1950 sur le Sénégal. Pour les crues exceptionnelles, seule existe à notre connaissance une consigne d'exploitation (définie par le constructeur de l'ouvrage ?), qui préconise d'abaisser le niveau du lac à la cote 199 m "en début de crue". Cette note montre que le soutien d'étiage et la production d'électricité ne suffiront pas forcément dans tous les cas, pour garantir l'abaissement du lac à la cote 199 au 30 juin.

Une consigne spécifique devra donc être prévue pour garantir cette revanche dans la retenue, pour laquelle on devra au préalable préciser les points suivants :

- Quelle date entend-on précisément par "début de crue" ?
- Quel risque de crue cette consigne est-elle sensée prendre en compte ?
- Quelle programmation des lâchures faut-il envisager pendant tout l'étiage ?

Concernant ce dernier point, il est envisagé plusieurs possibilités pour garantir à partir d'une retenue pleine au 1er décembre, l'abaissement jusqu'à la cote 199 au 30 juin, en utilisant une prévision des apports entrant dans la retenue par modèle de tarissement. Il est alors possible de procéder, du 1<sup>er</sup> décembre au 30 juin, par lâchures à débit constant, à puissance constante produite ou à débit croissant linéairement. L'énergie produite, quasiment identique dans les trois cas, n'est inférieure que de 1,5% à l'énergie maximale théoriquement récupérable à l'aide de turbines de puissance infinie.

## **25 NOTE SUR L'INTERET D'UNE PREVISION A LONG TERME DES ECOULEMENTS SUR LE HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL, POUR LA GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI**

INTEPREV.DOC ; 2 pages

Publication partielle : (10) POGR. Faisabilité de la modélisation pluie-débit. Intérêt des solutions proposées. Crues naturelles et gestion. Juillet 1999.

Cette note présente sur un plan purement qualitatif, l'intérêt que pourrait avoir une prévision des précipitations mensuelles sur le haut bassin du Sénégal, faite trois ou quatre mois à l'avance. Le but serait d'affiner la prise de décision concernant le soutien -ou non- de la crue. Des arguments numériques sont présentés dans la note [27].

## **26 PRINCIPE DU CALCUL DES COTES EN REGIME NATUREL ET REGIME ARTIFICIEL, ENTRE BAKEL ET DAGANA**

PRINCIPE.DOC ; 2 pages

## **27 COUT EN EAU DU SOUTIEN DE CRUE DANS LE FLEUVE SENEGAL, EN FONCTION DE L'HYDRAULICITE DES MOIS D'AOUT, SEPTEMBRE ET OCTOBRE**

NO030699.DOC ; 12 pages

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 3.3

Cette note montre le grand intérêt que pourrait présenter pour la gestion de Manantali, une prévision des pluviométries mensuelles de août, septembre et octobre effectuée dès le mois de juin pour le haut bassin du fleuve Sénégal (projet Medias). Il apparaît en effet que les volumes à lâcher de Manantali pour effectuer le soutien de crue à date fixe sont fortement corrélés ( $R^2 = 0,96$ ) avec le stock initial dans la retenue et l'hydraulicité naturelle du Sénégal à Bakel pendant le soutien, cette dernière pouvant être probablement assez bien reliée aux précipitations mensuelles. De telles prévisions devraient donc permettre de prendre la décision d'effectuer ou non le soutien de crue, non plus en fonction du stock disponible en début de soutien, mais en fonction du stock disponible probable en fin de soutien.

## **28 COMPARAISON DES CRUES NATURELLES OBTENUES DANS LE SENEGAL A BAKEL, AVEC L'HYDROGRAMME OBJECTIF "ORSTOM1"**

N0110699.DOC ; 5 pages

Publication : (10) POGR. Faisabilité de la modélisation pluie-débit. Intérêt des solutions proposées. Crues naturelles et gestion. Juillet 1999. annexe D

Cette étude analyse la fréquence naturelle des crues supérieures à l'hydrogramme objectif "ORSTOM1". Cette fréquence pourrait en effet servir de référence pour doser les objectifs assignés au barrage de Manantali, en matière de production d'énergie et de soutien de crue. On constate que sur la période 1950-1998, la crue naturelle est inférieure à l'hydrogramme objectif, 31 fois sur 100. Les années 80, très déficitaires, montrent une série de 7 années successives avec des crues inférieures à l'objectif.

## **28' POGR. SYNTHESE DES OPERATIONS REALISEES PAR L'IRD DANS LE CADRE DE LA PHASE 2**

SYNTHJCB.DOC ; 7 pages

Cette note (rédaction : JPL, JCB) présente pour chaque opération prévue dans les TDR de phase 2, un court résumé des travaux effectués, ainsi que le taux de réalisation au mois de juin 99.

## **29 REPONSES DE L'IRD AUX REMARQUES CONCERNANT LE MANUEL PROVISOIRE DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI, ET LE RAPPORT INTERIMAIRE DE 2EME PHASE DU POGR**

**REPONSES.DOC ; 7 PAGES**

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 4.

Cette note apporte une réponse aux remarques écrites qui ont été transmises à l'IRD par la Direction Technique de l'OMVS, au sujet des rapports mentionnés.



### **30 MODIFICATIONS APPORTEES AU LOGICIEL PROGEMAN POUR LA CRUE DE 1999**

? ; 1 page

Les modifications concernent essentiellement l'automatisation de la correction en boucle fermée, et le calcul du dernier débit à Bakel à partir du gradient non centré.

### **31 REVISION DES MODELES DE PROPAGATION DE DEBIT ENTRE LES STATIONS DE MANANTALI, OUALIA KAYES, GOURBASSY ET BAKEL, SUR LE HAUT BASSIN DU FLEUVE SENEGAL**

MODPROP1.DOC ; 18 pages

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 3.1.

Les modèles ont été recalés sur les données accumulées depuis la mise en service de Manantali (1987). Par rapport à l'ancien calage, les temps de propagation subissent assez peu de modifications. Néanmoins, il a été possible de les dissocier station par station, contrairement à l'analyse globale effectuée jusqu'alors. Les apports intermédiaires entre stations amont et aval, toujours reliés aux débits naturels de l'amont, sont nettement plus importants que ceux qui prévalaient lors de l'ancien calage. Les calculs concernant la propagation entre Kayes, Gourbassy et Bakel seront repris dès que le nouvel étalonnage de Bakel sera arrêté.

### **32 GESTION PRECONISEE LORSQUE LA RESERVE DISPONIBLE DANS LA RETENUE DE MANANTALI NE PERMET PAS DE SOUTENIR LA CRUE DU FLEUVE SENEGAL**

ABSOUT.DOC ; 6 pages

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 3.4.

Cette note de calcul rappelle pour quelles raisons il est parfois physiquement impossible (capacité utile trop réduite en cas de succession d'années sèches), et parfois préférable (risque de diminution importante de la production électrique) de ne pas effectuer le soutien de crue. Elle démontre que lors des années où la crue n'est pas soutenue pour cause de réserve insuffisante à Manantali, on a tout intérêt à stocker l'eau qui aurait été nécessaire pour le soutien, plutôt qu'à laisser passer la crue naturelle comme il avait été un moment proposé.

### **33 RAPPORT D'ACTIVITE DE L'IRD MONTPELLIER DANS LE CARE DU PROGRAMME D'OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESERVOIRS DE L'OMVS. DEBUT JUIN A DEBUT OCTOBRE 1999**

RAPDAC.DOC ; 2 pages

### **34 SYNTHESE DU MANUEL PROVISOIRE DES CONSIGNES DE GESTION DE MANANTALI**

SYNTHMANU.DOC ; 11 pages

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse.

### **35 GLOSSAIRE DE QUELQUES TERMES EMPLOYES DANS LE MANUEL PROVISOIRE DE GESTION DE MANANTALI**

GLOSSAIRE.DOC ; 3 pages

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 3.6.

Pour répondre aux recommandations formulées en juin 99 par le Comité de Suivi du POGR, ce glossaire explique quelques termes utilisés dans le manuel provisoire de gestion. Il faut souligner qu'une liste exhaustive des différentes variables utilisées dans le manuel figure dans l'annexe A de ce dernier.

### **36 SYNTHÈSE DE DIVERS TRAVAUX CONCERNANT LA GESTION STRATÉGIQUE ET OPÉRATIONNELLE DE MANANTALI ET DIAMA**

PHAS2JCB.DOC ; 4 pages

Publication : ( 11) POGR. Phase 2. Rapport de synthèse. Annexe 3

Cette note présente un bref résumé des notes suivantes : [16], [19A], [19B], [20A], [21/1], [22A], [24], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [35].

### **37 PROGRAMMATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE DU SÉNÉGAL, DE NOVEMBRE 1999 À JUIN 2000**

PROET99A.DOC ; 6 pages

La gestion de Manantali pendant l'étiage 1999-2000 doit viser : à satisfaire la demande en eau de l'agriculture irriguée ; à abaisser le niveau du lac de Manantali à la cote 199 au 1/7/2000 ; à maintenir un débit assez faible dans le Sénégal durant une période suffisamment longue pour permettre l'agriculture de berge (falo). Pour atteindre ces objectifs, on propose de ne provoquer l'abaissement conséquent de la retenue qu'à partir de mai 2000, par une augmentation progressive du débit lâché. D'ici là, on propose de ne lâcher que le débit nécessaire pour satisfaire les besoins de l'irrigation, et empêcher toute remontée du niveau de la retenue.

### **38 COMMENTAIRES SUR LA CRUE DU SÉNÉGAL DE 1999**

SCIAUSUD.DOC ; 2 pages

Il s'agit d'une présentation très succincte du régime naturel du fleuve, du rôle des barrages de Manantali et Diama, du rôle des hydrologues de l'IRD dans le POGR et de l'impact des barrages sur la crue de 1999. Conclusion : l'impact des deux ouvrages a été globalement très positif pour réduire de façon très nette les effets dévastateurs de la crue de 1999 (abaissement de 40 cm de la cote max à Podor).

### **39 RAPPORT D'ACTIVITÉS DE JC BADER DANS LE CADRE DU POGR, DU 1/10/99 AU 14/12/99**

01101412.DOC ; 1 page

### **40 UTILISATION DE LA FORMULE THÉORIQUE DU COEFFICIENT DE CORRECTION DE GRADIENT, POUR ÉTALONNER UNE STATION HYDROMÉTRIQUE PAR LA MÉTHODE DU GRADIENT LIMNIMÉTRIQUE . APPLICATION AU CAS DE LA STATION DE BAKEL SUR LE FLEUVE SÉNÉGAL.**

GRADLIM.DOC ; 27 pages

On compare dans cette note deux méthodes permettant d'étalonner une station en tenant compte du gradient limnimétrique. La méthode M1, habituellement utilisée, consiste à ajuster les relations  $Q_0(H)$  et  $K(H)$  en fonction des points jaugés, sans fixer de contraintes sur la forme de ces relations. Elle nécessite un nombre de jaugeages assez important. La seconde, notée M2, tient compte de la formule théorique du coefficient  $K$  et consiste alors à ajuster la relation  $Q_0(H)$  (polynôme de degré 5) et la relation  $l_0(H)$  (relation linéaire), ainsi que la forme du profil en travers (section polygonale très proche de section mesurée). Les résultats obtenus par la méthode M2 sont légèrement meilleurs que ceux obtenus par la méthode M1. La méthode M2 peut par ailleurs être préférée à la méthode M1 pour les stations assez peu jaugées.

### **41 UTILISATION DU GPS DIFFÉRENTIEL SR 520**

LEICARES.DOC ; 20 pages. Février 2000

Il s'agit des notes prises au cours de la session de formation de janvier 2000, concernant l'utilisation du GPS différentiel. En annexe sont ajoutées quelques questions posées au formateur, avec les réponses de celui-ci.

#### **42 REPONSES DE L'IRD AUX COMMENTAIRES TRANSMIS LE 19/11/1999 PAR LA BANQUE MONDIALE, AU SUJET DU MANUEL DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI**

REBA0300.DOC ; 5 pages. Mars 2000

Sur la base des données observées de 1950 à 1998, on constate qu'un soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s échouerait de façon fréquente par épuisement de la réserve utile de Manantali, du fait de la capacité insuffisante de la retenue.

Il est confirmé que les simulations effectuées n'aboutissent jamais au dépassement de la cote de sécurité de Manantali.

On explique de quelle façon le mode de gestion du soutien de crue pourrait être amélioré avec les prévisions météo à long terme du programme Medias : début août, une prévision du stock disponible fin octobre après soutien de crue, est calculée à partir du stock disponible et des prévisions Medias. Le soutien de crue est déclenché, fin août, si et seulement si ce stock prévu en fin de crue est supérieur à un seuil prédéfini.

#### **43 RECHERCHE DE CORRESPONDANCES ENTRE L'ÉCOULEMENT DU FLEUVE SENEGAL ET LES PREVISIONS D'INDEX D'ANOMALIES DE PRECIPITATIONS RECONSTITUES PAR METEO-FRANCE**

NO100400.DOC ; 8 pages. Avril 2000

Par régression linéaire simple ou multiple, le débit naturel de septembre du Sénégal à Bakel est relié aux index d'anomalies pluviométriques, reconstitués en mode prévision par Météo-France sur la période 1979-1999 pour les mois de juin à septembre. Seuls sont testés les 5 index correspondant à des points géographiques couvrant le haut bassin du Sénégal.

Une relation significative ( $R^2 = 0,600$ ) est obtenue avec les index d'août pour le point 33 et de septembre pour les points 4, 5 et 19. Mais on remarque que certains des coefficients de régression obtenus sont négatifs.

#### **44 COMPTE RENDU DE MISSION DE JC BADER A TOULOUSE, AUPRES DE MEDIAS-FRANCE ET METEO-FRANCE, LE 12 AVRIL 2000**

MI120400.DOC ; 3 pages. Avril 2000

Au cours de la mission, des éclaircissements ont été obtenus sur la nature des index d'anomalies pluviométriques calculés par Météo-France, ainsi que sur la façon de les utiliser.

#### **45 MODELE DE PROPAGATION DE CRUE DE JP LAMAGAT. COMMENTAIRES SUR LES PROCEDURES DE CALAGE AUTOMATIQUE ET D'APPLICATION DU MODELE**

COMMENTA.DOC ; 4 pages. Avril 2000

On décrit l'utilisation des programmes ATH2E et HCLA développés par JP Lamagat, qui sont destinés à caler et appliquer son modèle de propagation. Des suggestions sont faites en vue de compléter ces procédures.

#### **46 NIVEAUX ATTEINTS PAR LE FLEUVE SENEGAL AUX STATIONS DE PODOR ET BOGHE, POUR QUELQUES CAS PARTICULIERS DE DEBIT ENVISAGE A BAKEL**

REPSKET.DOC ; 2 pages. Mai 2000

Il s'agit d'une réponse à une demande de la SCET Tunisie, concernant les niveaux atteints dans la vallée dans différents cas d'hydrogrammes objectifs de crue, de crues exceptionnelles et de débits d'étiage, le niveau étant maintenu à 1,75 ou 2,25 m à Diama.

#### **47 OPTIMISATION DES REGLES DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI. POINT DE VUE DE L'IRD SUR LA PROPOSITION D'UNE NOUVELLE METHODOLOGIE BASEE SUR LA "PROGRAMMATION DYNAMIQUE".**

REPBANQM.DOC ; 3 pages. Avril 2000

On résume les principaux éléments communiqués sur la nouvelle méthode, qui sont insuffisants pour juger de son intérêt. Des réserves sont faites sur le pas de temps mensuel préconisé, inadapté au cas du haut Sénégal, et sur la complexité probable et le manque de transparence des règles de gestion opérationnelle liées à cette méthode.

#### **48 POGR PHASE 3. MANUEL DES CONSIGNES DE GESTION DU BARRAGE DE MANANTALI. ADDENDUM CONCERNANT LE SOUTIEN D'ETIAGE A 300 M3/S.**

NO080600.DOC ; 11 pages. Juin 2000

La retenue de Manantali a une capacité insuffisante pour permettre de soutenir de façon permanente le débit du Sénégal à hauteur de 300 m<sup>3</sup>/s . Même considéré comme unique objectif de gestion, un tel soutien d'étiage connaîtrait des défaillances de plus d'un mois environ une année sur quatre. Des défaillances de plus de trois mois sont à attendre au moins une année sur trois si ce soutien d'étiage est associé aux autres objectifs de l'ouvrage.

#### **49 ETUDE STATISTIQUE DES COTES MAXIMALES DE CRUES A LA STATION DE PODOR, SUR LE FLEUVE SENEGAL**

NO160600.DOC ; 4 pages. Juin 2000

On établit la fonction de répartition des cotes maximales annuelles à l'échelle de Podor, sur la période 1904-1999. Parmi les cotes maximales observées depuis 1987 en régime artificiel, seule celle de 1999 (fréquence 0.568) est supérieure à la médiane du régime naturel. La cote maximale annuelle à Podor est reliée de façon très étroite (écart type résiduel 11 cm, et  $R^2 = 0,989$ ) à un polynôme du second degré du maximum annuel de la moyenne sur 33 jours de la cote à Bakel. Il est rappelé la nécessité de réviser le calage de Corediam pour les fortes crues.

#### **50 SOUTIEN DE L'ETIAGE DU FLEUVE SENEGAL A HAUTEUR DE 300 M3/S A PARTIR DU BARRAGE DE MANANTALI. ANALYSE DES CONTRAINTES**

NOJCB50.DOC ; 8 pages. Juin 2000

On montre que si le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s apparaît maintenant comme infaisable, c'est parcequ'on tient compte des faibles apports en eau des décennies 80 et 90, et non pas à cause d'un changement de stratégie (soutien de crue).