



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

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

**PHASE III**

**CRUE ARTIFICIELLE ET CULTURES DE DECRUE**

**SYNTHESE FINALE**

Décembre 2001

AUTEUR : JP LAMAGAT



**Institut de recherche  
pour le développement**

**République Française**

**SERVICE DE COOPERATION ET D'ACTION  
CULTURELLE**

**DAKAR – SENEGAL  
S.C.A.C**

# TABLE DES MATIERES

CONCLUSION et recommandations .....	1
-------------------------------------	---

## OPTIMISATION DE LA CRUE ARTIFICIELLE

<b>1. CRITERES .....</b>	<b>4</b>
<b>Organigramme logique.....</b>	<b>5</b>
<b>2. MOYENS ET ANALYSES .....</b>	<b>6</b>
<b>3. DESCRIPTION DES MODULES ANALYTIQUES .....</b>	<b>7</b>
3.1. Observations limnimétriques et modèles de fonctionnement du lit majeur .....	7
3.2. Etudes des surfaces inondées – Analyse et interprétation de l'imagerie satellitaire ..	11
3.3. Modèles de propagation du lit mineur .....	20
<b>4. OPTIMISATION DU LIMNIGRAMME DE BAKEL .....</b>	<b>26</b>
4.1. EVALUATION DES SURFACES CULTIVEES EN DECRUE .....	26
4.2. Répartition des cultures de décrues.....	31
4.3. Limnigramme optimisé à BAKEL.....	33
4.4. Optimisation finale du limnigramme .....	40
4.3.1 Limnigramme garantissant un potentiel de 50 000 ha durant 25 et 30 jours.....	40
4.5. Hydrogrammes optimisés pour 50 000 ha garantis 30 jours.....	48
<b>5. CHOIX DES HYDROGRAMMES.....</b>	<b>51</b>
5.1 Cas d'une Submersion garantie 30 jours .....	51
5.2 Cas d'une Submersion garantie 25 jours .....	58
5.3 Vérification des potentiels avec le transfert des limnigrammes à PODOR.....	63
<b>6. STATISTIQUES DES INONDATIONS.....</b>	<b>64</b>

# SYNTHESE

Après quatre années de travaux et d'études dans le domaine de l'analyse hydrologique du fleuve, la gestion des barrages a atteint l'objectif des termes de références initiaux : gérer la retenue de Manantali suivant un scénario annuel choisi, dont une crue « crue artificielle », avec une minimisation optimale des impacts négatifs.

Le présent document contient deux séries de limnigrammes à la station de BAKEL qui correspondent aux objectifs fixés. Ils correspondent aux scénarios à assurer à cette station pour obtenir des potentiels de surfaces cultivables en décrue variant de 45000 à 70000 ha.

L'optimisation des scénarios a été réalisée à partir des critères suivants :

1. imagerie satellitaire pour les surfaces inondées
2. observations du lit majeur sur dix sites représentatifs
3. modélisation de la mise en eau du lit majeur
4. relation entre sites observés et inondation maximale
5. constitution d'un échantillon d'inondation du lit majeur : 1904 – 2000
6. enquêtes sur les surfaces cultivées en décrue de 1946 à 2000
7. relation surfaces cultivées – inondation maximale
8. échantillon de surfaces cultivées 1946 – 2000
9. relation intensité/forme du limnigramme à BAKEL avec surfaces cultivées
10. établissement de limnigrammes garantissant une submersion utile de 25 et 30 jours pour un potentiel cultivable allant de 45 000 ha à 70 000 ha sur le bief MATAM – DAGANA.

Le schéma des études est resté prudent, il a écarté en rive droite les cultures de BOGHE et KAEDI, déjà aménagées, ainsi que la partie de la vallée située à l'amont de MATAM, partie représentant environ 19% de celle située à l'aval.

La forme des limnigrammes et hydrogrammes de BAKEL est optimisée pour obtenir un maximum d'inondation avec un minimum de ressource en eaux. **Un choix est nécessaire le 21 août**, la veille du début des éventuels lâchés, afin de choisir un objectif de surface potentiellement cultivable en fonction de la ressource en eau disponible : état de la retenue – Hydraulicité des affluents non contrôlés.

## S1

PERIODE A FAIBLE HYDRAULICITE - Fréquence<=0.33 - Période de retour 1 année sur 3							
Submersion 25 jours - Décrue rapide - Débit de soutien stoppé au 1er octobre							
Volumes en 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>							
Surface cultivable	45 000 ha	50 000 ha	55 000 ha	60 000 ha	65 000 ha	70 000 ha	75 000 ha
Risque faible - Enveloppe 50% des cultures observées	4.184	4.428	4.661	4.904	5.166	5.444	5.751
Gain par rapport à la crue type GIBB/IRD1 - 50 000 ha	2.404	2.160	1.927	1.684	1.422	1.144	0.837
Risque moyen - Enveloppe 80% des cultures observées	3.909	4.131	4.377	4.613	4.866	5.115	5.383
Gain par rapport à la crue type GIBB/IRD1 - 50 000 ha	2.679	2.457	2.211	1.975	1.722	1.473	1.205
PERIODE A FAIBLE HYDRAULICITE - Fréquence>0.33 - Période de retour 2 années sur 3							
Submersion 30 jours - Décrue moyenne - Débit de soutien stoppé au 12 octobre							
Surface cultivable	45 000 ha	50 000 ha	55 000 ha	60 000 ha	65 000 ha	70 000 ha	75 000 ha
Risque faible - Enveloppe 50% des cultures observées	4.613	4.876	5.138	5.416	5.709	6.028	6.436
Gain par rapport à la crue type GIBB/IRD1 - 50 000 ha	1.975	1.712	1.450	1.172	0.879	0.560	0.152
Risque moyen - Enveloppe 80% des cultures observées	4.308	4.523	4.826	5.090	5.363	5.652	6.317
Gain par rapport à la crue type GIBB/IRD1 - 50 000 ha	2.280	2.065	1.762	1.498	1.225	0.936	0.271

La durée de submersion contient une imprécision importante ; dans certaines enquêtes, les cultivateurs auraient annoncé jusqu'à 7 semaines de submersion nécessaires pour assurer la maturation. Une durée aussi longue doit correspondre aux points bas des zones cultivées, une garantie de 25 jours semble suffire à assurer la recharge en eau des sols. Cette garantie correspond en fait aux points les plus hauts, le temps de submersion croît rapidement pour les zones situées à des altitudes inférieures et peut effectivement atteindre 7 semaines pour les zones les plus basses.

Les dernières enquêtes réalisées pendant la décrue 2000-2001 (SAED-IWMI-ADRAO) montrent qu'une submersion de 25 jours est suffisante pour assurer un rendement correct de récolte en décrue. Jusqu'à nouvel ordre il est recommandé d'utiliser ce seuil pour les points les plus hauts des zones cultivables.

Les tableaux n°16 et 18 contiennent les limnigrammes optimisés correspondant aux garanties de 25 et 30 jours pour des potentiels de surfaces cultivable allant de 45000 ha à 70 000 ha de culture de décrue, avec un pas de 5000 ha.

Les tableaux n°17 et 19 contiennent les hydrogrammes optimisés correspondant aux limnigrammes ci-dessus.

Les études d'accompagnement du POGR, incluses dans le P.A.S.I.E., n'ont pas été menées préalablement à ce dernier, comme elles auraient dues l'être. Les résultats obtenus ne sont donc pas optimisés pour les contraintes autres que les cultures de décrue.

La vallée du Sénégal, à l'aval de BAKEL présente un cadre géomorphologique dont les paramètres ont été calibrés par les crues du passé, quelques centaines de milliers ou de millions d'années. Il est raisonnable de penser que les contraintes non étudiées à ce jour ont des caractéristiques statistiques liées à celles des crues et des surfaces inondées. L'étude statistique de l'inondation du lit majeur, présentée dans le dernier chapitre montre que la crue optimisée (l'objectif « optimisation » a été évalué durant la sécheresse, il s'agit donc d'un minimum de survie pour les agriculteurs de la vallée), correspond à une période de retour proche de 1 année sur 6 ou 7, soit une fréquence au dépassement de 85%. L'objectif est donc minimal, et il est à espérer que la gestion conduite à des choix beaucoup plus optimistes.

Les études ne sont pas terminées et l'optimisation sera améliorée au cours des années à venir.

Lors des sessions de formation qui doivent avoir lieu durant la prolongation du projet, en octobre, les gestionnaires seront familiarisés avec les techniques qui permettent d'élaborer les tableaux d'optimisation tels que l'exemple ci-dessus. Ceci afin de conduire, non pas à un objectif rigide et fixe, mais au meilleur objectif possible qui sera à établir pour chaque crue. Un cd-rom contenant toutes les bases de données et les tableaux dynamiques d'analyses seront remis au cours de cette formation.

Le tableau n°16 contient les limnigrammes qu'il convient de prendre comme base de l'optimisation. Le logiciel « temps réel » PROGEMAN 3 qui travaille en « boucle » peut très bien ajuster les lâchés de Manantali à ces limnigrammes optimisés si d'éventuels détarages intervenaient à la station de Bakel.

Les analyses ont été menées à partir de la moyenne des surfaces cultivées en décrue, en fait il serait plus logique de prendre comme base des analyses la courbe enveloppe de 80% des surfaces cultivées. En utilisant la moyenne il est probable que des paramètres indépendants de la ressource, c'est-à-dire de l'hydraulicité de la crue, interviennent et faussent la notion de potentiel cultivable. Le tableau ci dessous montre l'écart existant entre les volumes de crue issue des deux bases d'analyse, moyenne et 80% des surfaces cultivées (base 50 000 ha – 30 jours de submersion).

## Recommandations

L'analyse des limnigrammes et des hydrogrammes est terminée, la précision de la connaissance du régime à BAKEL, en fonction des surfaces inondées et des potentiels cultivables en décrue, est maintenant suffisante pour gérer les lâchés du barrage de MANANTALI en fonction des diverses contraintes que l'OMVS voudra prendre en compte.

La crue minimale à assurer correspond aux objectifs fixés, soit 50 000 ha de potentiel cultivable avec une garantie de 30 jours de submersion de ce potentiel. Les dernières enquêtes réalisées pendant la décrue 2000-2001 (SAED-IWMI-ADRAO) montrent qu'une submersion de 25 jours est suffisante pour assurer un rendement correct de récolte en décrue.

Le tableau S1 montre les choix qui se présentent pour les Décideurs qui doivent fixer le scénario à réaliser à partir du 22 août, chaque année.

Cela entraînerait, si ce délai de submersion est confirmé dans le futur, une nouvelle économie de ressource (>500 millions de m<sup>3</sup>), donc un meilleur potentiel pour le soutien d'étiage.

Cet objectif doit être revu chaque année, à une date la plus proche possible du 22 août, date de début des éventuels lâchés du barrage, ceci afin d'effectuer, en connaissance de cause, le meilleur choix possible, choix dépendant de l'état de la ressource au moment du début des lâchés (niveau de la retenue – apports des affluents non contrôlés – volume à réserver pour le soutien d'étiage).

La crue sera donc variable chaque année, l'option de base étant l'objectif décrit au §1 ci-dessus.

Le tableau S1 permet d'évaluer la meilleure crue à prévoir en fonction du potentiel ressource au 22 août.

La formation des décisionnaires devra inclure une compréhension totale du schéma d'analyse utilisé dans le présent rapport, afin d'élaborer le 20 ou le 21 août de l'année en cours, le « meilleur » limnigramme possible, « meilleur » au sens du P.A.S.I.E. et de l'économie des ressources en eau du bassin.

Une très importante économie en volume est réalisée en utilisant les formes de limnigrammes fixés à BAKEL, elles permettent de réaliser les objectifs de cultures de décrue avec une solide garantie et de diminuer les risques de défaillance des autres objectifs : navigation, irrigation aménagée...

La recommandation issue de cette étude qui s'est étalée sur quatre années, concerne la « philosophie de stratégie » de la gestion :

Il conviendra de réaliser une crue artificielle qui corresponde à l'état de la ressource au 22 août, et non une crue « plancher » correspondant à 50 000 ha de culture de décrue. D'une part, cette crue correspond à une gestion de survie, d'autre part il est nécessaire d'avoir des crues différentes sur le plan statistique (fréquence/période de retour variable). En fonction de la ressource la crue, dans la mesure où elle peut avoir lieu, sera réalisée avec un objectif variable compris entre 45 000 ha et 100 000 ha de potentiel de culture de décrue.

# OPTIMISATION DE LA CRUE ARTIFICIELLE

Le Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs de l'OMVS a débuté en juin 1997 et arrive à son terme. Le présent rapport fait état des résultats obtenus dans le domaine de l'optimisation de la crue artificielle.

L'organigramme présenté à la page suivante (Fig. 1) montre le cheminement logique suivi pour obtenir une liaison directe entre le limnigramme à la station de BAKEL et la surface potentiellement cultivable en décrue dans des conditions optimales.

Les critères contenus dans les termes de référence de l'étude sont contenus dans le §1, ces critères feront l'objet de critique et de proposition de changement afin de mieux répondre aux souhaits des Etats riverains.

## 1. CRITERES

Le critère retenu est celui de l'origine des études GIBB des années 80, soit assurer un potentiel de surface cultivable en décrue de 50 000 ha dans la vallée, de BAKEL à Saint Louis.

Le critère ci-dessus est un objectif initial, qui, il le sera démontré dans ce qui suit, n'est pas véritablement satisfaisant en régime naturel. D'autres critères seront proposés et conseillés dans le cadre de l'optimisation, d'une part, par souci de satisfaction des populations paysannes de la vallée, d'autre part, dans un but d'économie de la ressource.

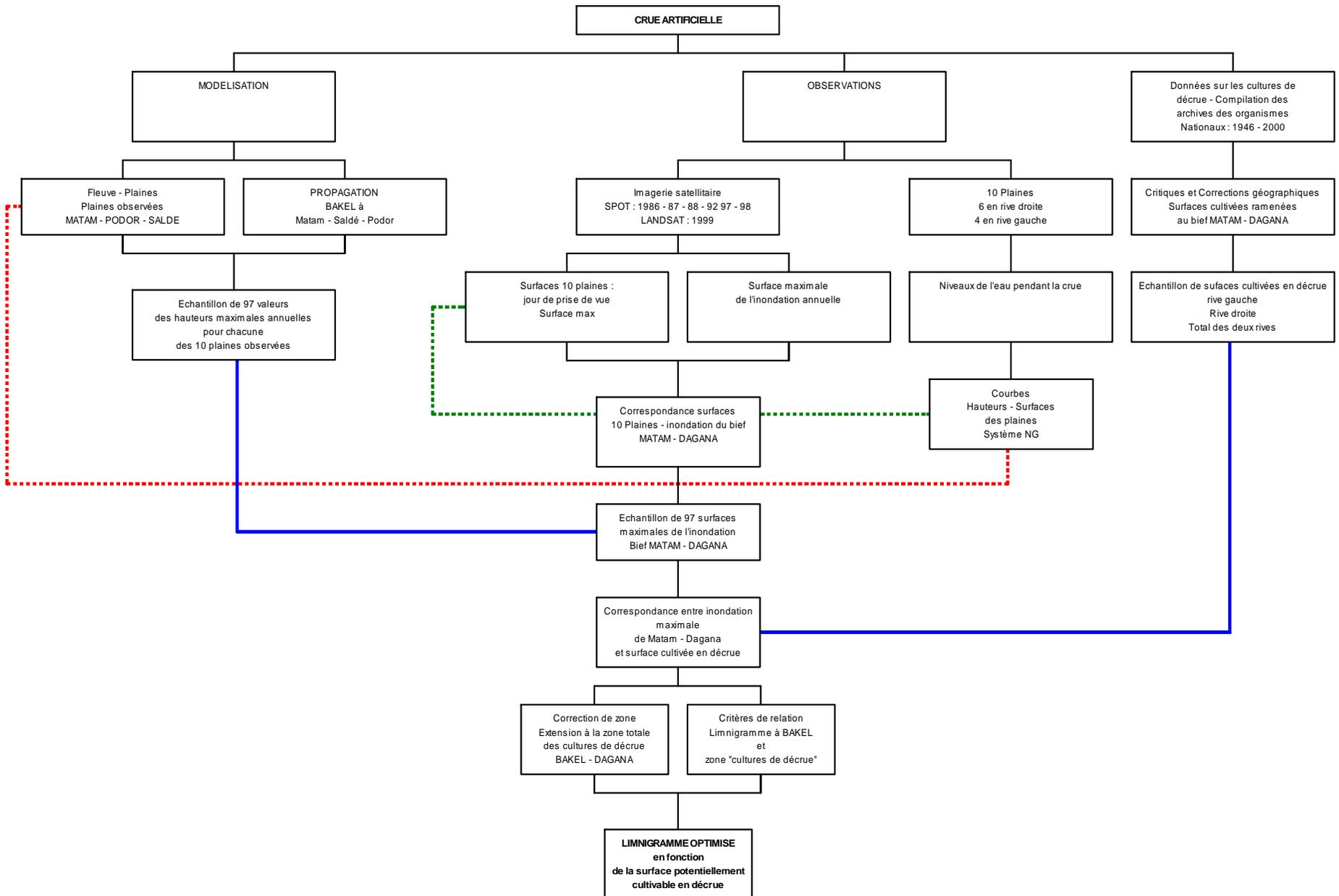
La zone réelle correspondant aux cultures traditionnelles de décrue est circonscrite au bief BAKEL – DAGANA.

Les coûts et disponibilités de moyens d'observation et de mesure ont imposé de limiter l'étude à la zone MATAM – DAGANA. L'extension des résultats vers l'amont devant être réalisée à partir des analyses de l'imagerie SPOT.

La réalisation des objectifs exprimés ci-dessus passe par la connaissance de la correspondance entre le limnigramme de crue à BAKEL, station d'entrée de la vallée, et l'aire submergée par la crue durant une période pouvant varier de 25 à 30 jours pour la partie potentiellement cultivable. Cette période est variable en raison de l'hétérogénéité des sols, le critère de satisfaction pour les cultures de décrue étant la recharge suffisante en eau des sols qui permette la maturation des récoltes avec des rendements optimaux.

# OPTIMISATION DE LA GESTION DES RESERVOIRS

Figure n°1



## 2. MOYENS ET ANALYSES

La méthode retenue à partir du début de la deuxième phase du projet, avril 1998, a eu pour objectif l'établissement d'une fonction de transfert entre le limnigramme à BAKEL et la surface potentiellement cultivable. Pour cela, plusieurs modules ont été mis en œuvre :

- Observation du remplissage et de la vidange de 6 plaines représentatives du lit majeur (nombre étendu à 10 afin de mieux représenter la diversité amont – aval et rive droite – rive gauche). Echelles de crue à lecture quotidienne.
- Etablissement de fonctions de transferts entre les plaines et le lit mineur du fleuve et les plaines – Modèles « MODPLAINES » - Ces modèles permettent de connaître le niveau moyen journalier dans chaque plaine observée en fonction du niveau à la station principale du lit mineur.
- Etablissement d'un modèle de propagation de la crue dans la vallée entre BAKEL et PODOR, dernière station liée aux plaines observées.
- Utilisation de l'imagerie satellitaire de la vallée pendant la période de crue pour les années suivantes :

1986 – 1987 – 1988 – 1992 – 1997 – 1998 et 1999

Soit 7 crues observées avec ou sans lacunes (dues à l'absence d'archive ou à une nébulosité trop forte). Ceci pour la zone MATAM – DAGANA et pour deux années BAKEL – MATAM (1998 et 99)

- Analyse de l'imagerie débouchant sur des images en format « bitmap » avec corrections radiométriques et géométriques (projection UTM – Clarke 1880).
- Traitement vectoriel sous ARCVIEW 3.2 avec obtention des surfaces inondées du lit majeur le jour de l'enregistrement et éventuellement le jour de l'extension maximale de la crue si l'image a été réalisée après la date du maximum. Pour chaque année surface maximale des dix plaines et de la zone inondées par mesure directe ou par extrapolation.
- Utilisation de MODPLAINES pour la connaissance du niveau dans chaque plaine le jour de la prise de vue et le jour du maximum. Ceci débouchant sur des courbes hauteurs – surfaces pour chacune des plaines. Ces courbes sont utilisées par la suite pour l'évaluation de la surface maximale inondée chaque année depuis le début de l'installation du réseau hydrologique (1904).
- Analyse de la documentation existante dans les archives des organismes de tutelle de l'agriculture de décrue (Ministères et Sociétés d'Etat). Un échantillon a été constitué sur la période 1946 – 2000 avec une correction de zone pour ramener les résultats au bief MATAM – DAGANA. Connaissance des surfaces cultivées en décrue chaque année depuis 1946 (avec des lacunes).
- Etablissement de la liaison surfaces observées maximales (10 plaines) et surface maximale inondée du bief MATAM – DAGANA pour les années correspondantes. Echantillon de 97 années de surfaces inondées maximales.
- Analyse de la liaison entre surface maximale inondée et surface cultivée – Potentiel cultivable.
- Analyse statistique des critères de représentation de l'hydrogramme à BAKEL et correspondance avec la surface maximale inondée.

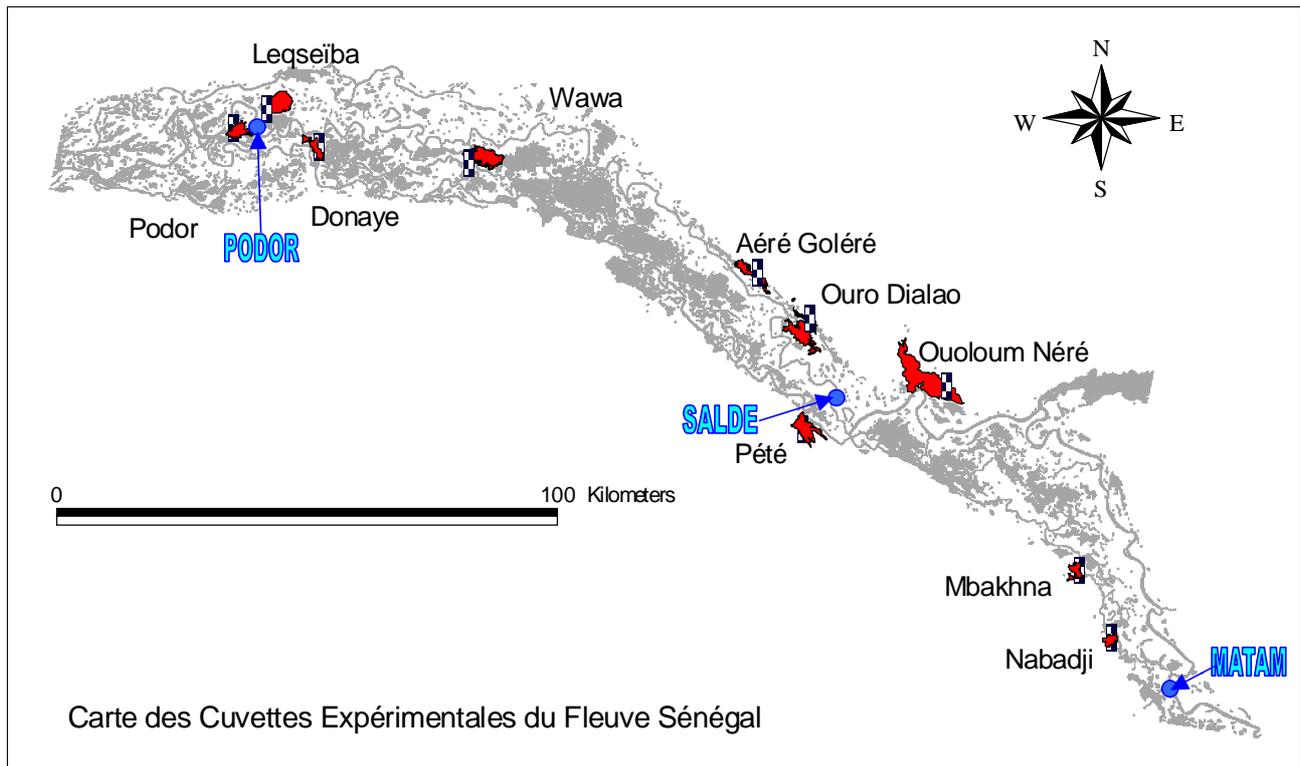
### 3. DESCRIPTION DES MODULES ANALYTIQUES

#### 3.1. Observations limnimétriques et modèles de fonctionnement du lit majeur

Dix plaines du lit majeur, dont les positions géographiques sont reportées sur la carte n°1, ont été observées durant 2 ou 3 années suivant la date d'installation des échelles de crue correspondantes.

Les observations obtenues durant la crue, généralement d'août à décembre, ont été utilisées pour le calibrage de modèles de propagation entre le fleuve et les différentes plaines.

CARTE N°1



La modélisation a été présentée dans le rapport de phase 3 (Annexe F) – Dix modèles de propagation permettent de connaître la hauteur d'eau dans chaque plaine en fonction des niveaux aux stations principales du fleuve, MATAM, SALDE et PODOR :

PODOR : Plaine Podor – Leqseïba – Donaye et WAWA.

SALDE : Aéré Goléré – Ouro Diallo – Ouloum Néré et Pété N'Goui

MATAM : M'Bakhna et Nabadji.

Les différents modèles ont été mis en œuvre pour reconstituer les remplissages et vidanges des cuvettes pour les années 1986 à 92. Les années 97,98, 99 et 2000 ont été directement observées au moyen des échelles de crue.

Les crues reconstituées ont permis de tracer les courbes hauteur – surface de chacune des dix cuvettes en associant les résultats des vectorisations des zones inondées sur les images satellites.

Deux exemples sont présentées dans ce qui suit : les modèles et les tests sur l'année 1999 pour deux plaines : PODOR – Plaine PODOR en rive gauche et SALDE - Aéré Goléré en rive droite.

La qualité des résultats est remarquable, les écarts « observés – calculés » étant très faibles, de l'ordre du cm (cf. figures n°6 et 7).

# MODELE DE PROPAGATION PODOR – Plaine PODOR

Figure n°2

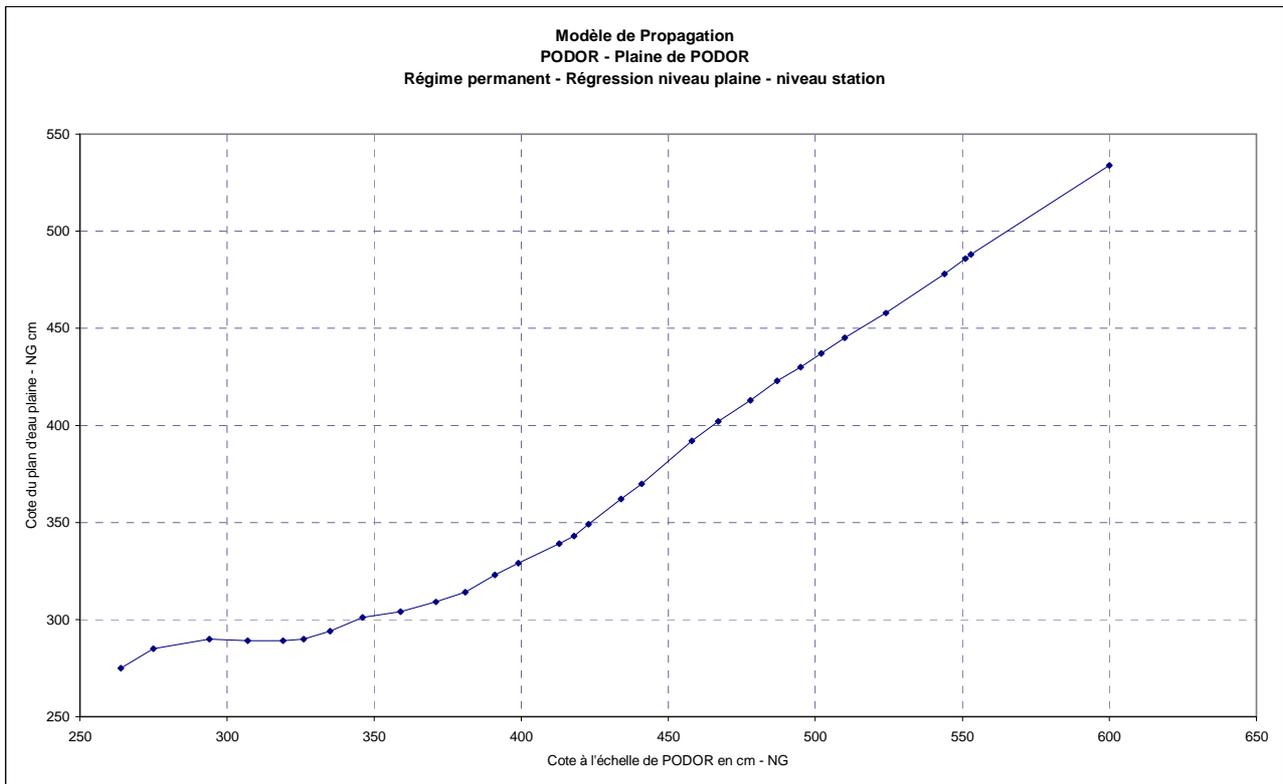
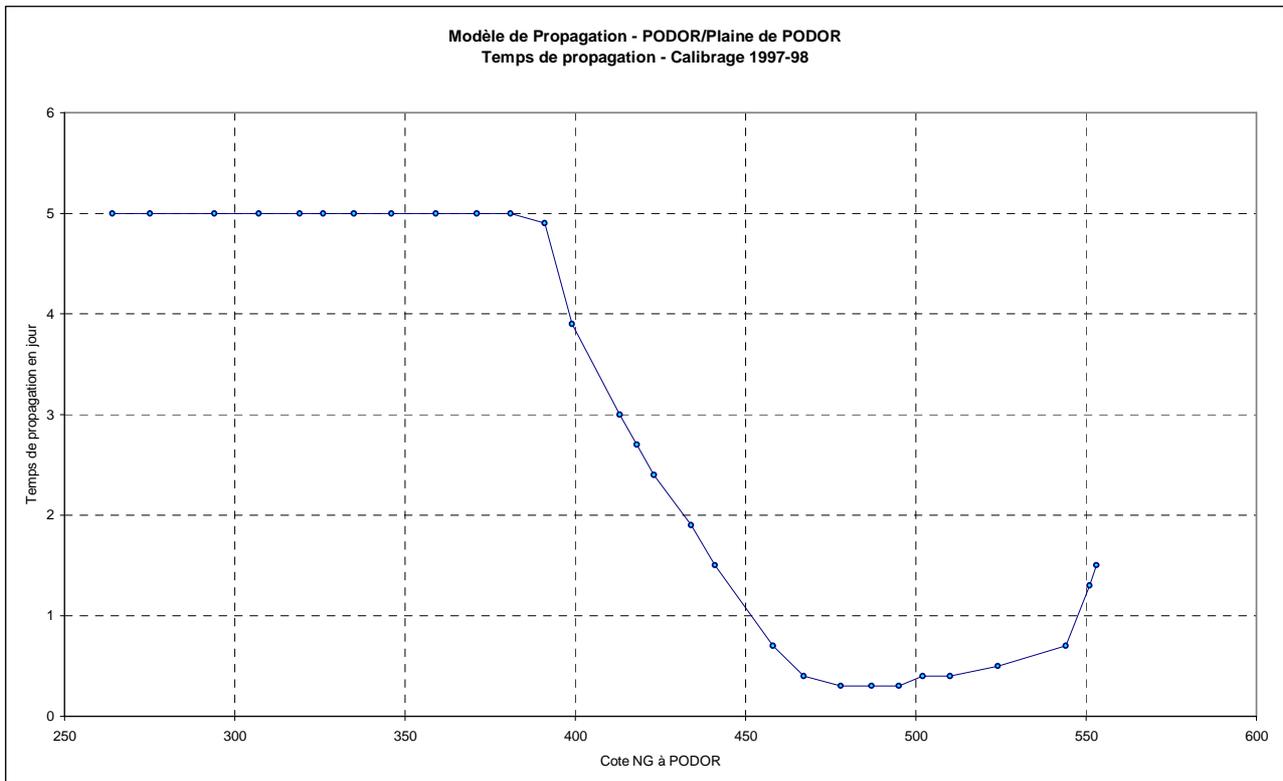


Figure n°3



# MODELE DE PROPAGATION SALDE – AERE GOLERE

Figure n°4

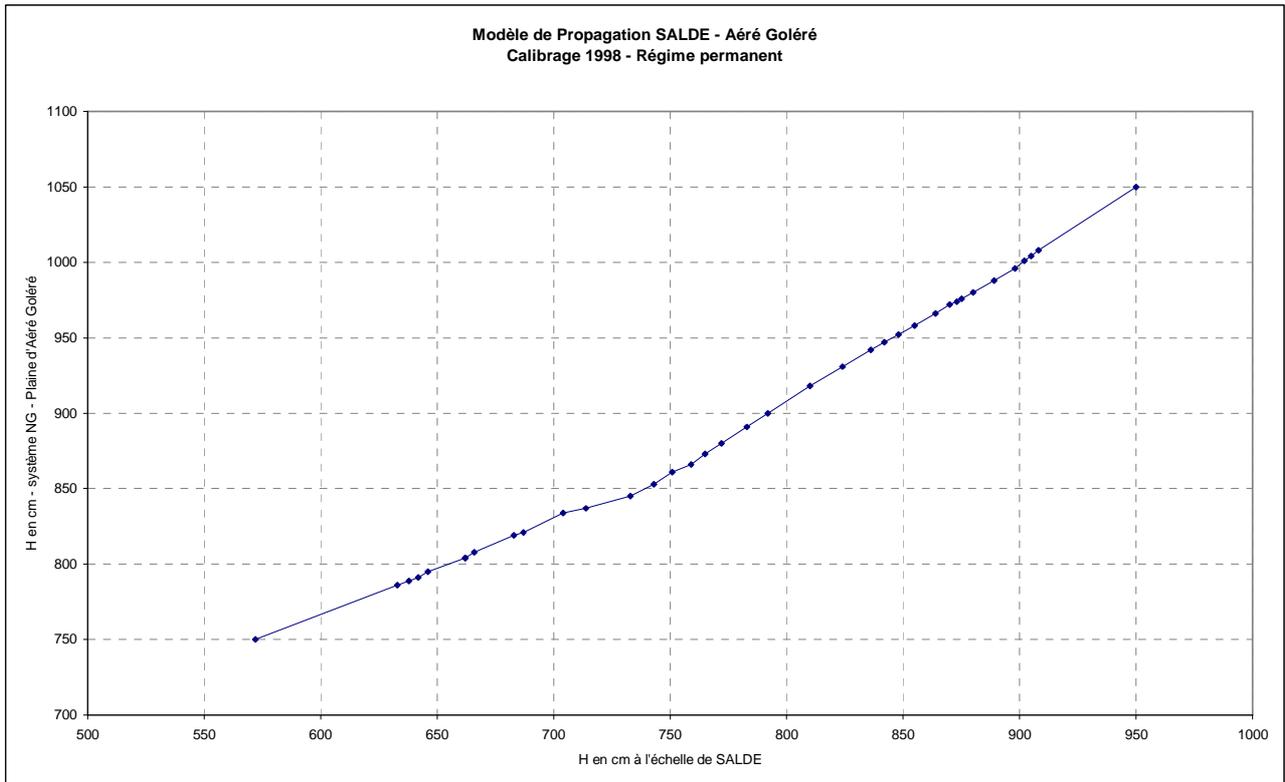
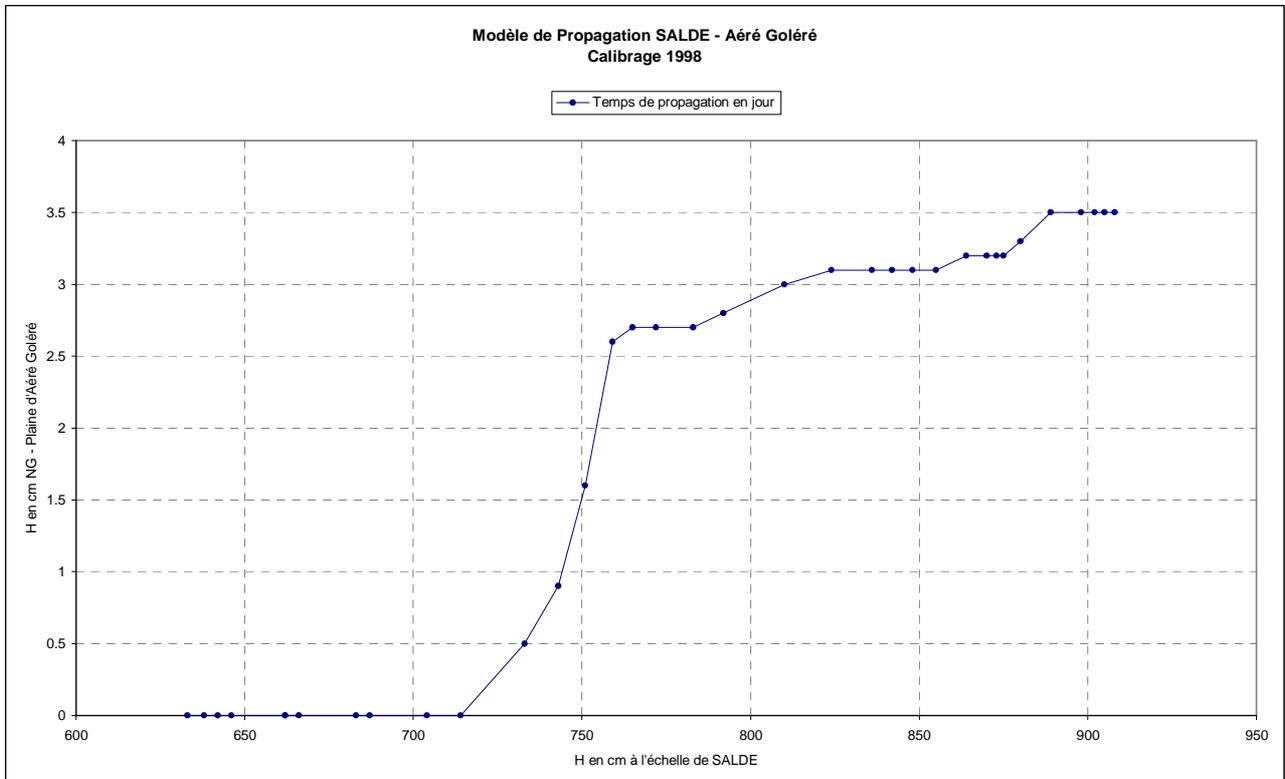


Figure n°5



# Validation des modèles (1998 a servi au calibrage – 99 à la validation)

Figure n°6

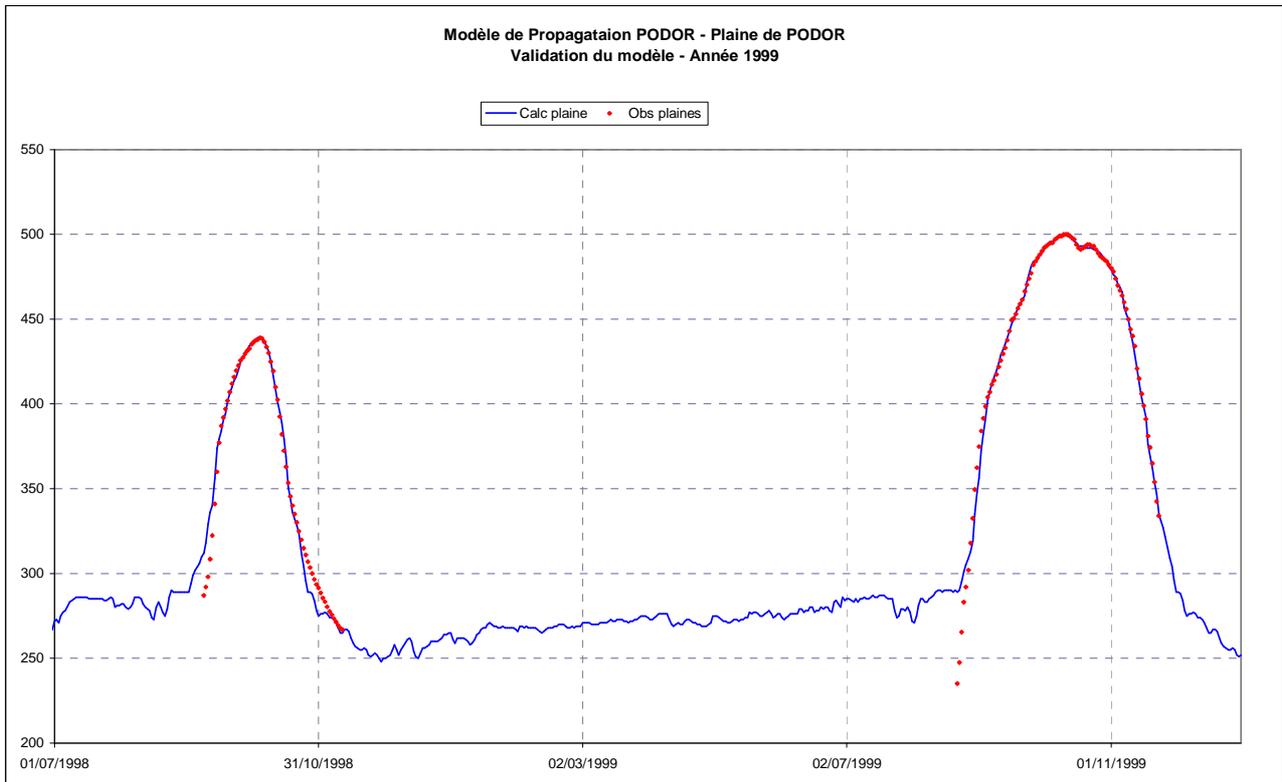
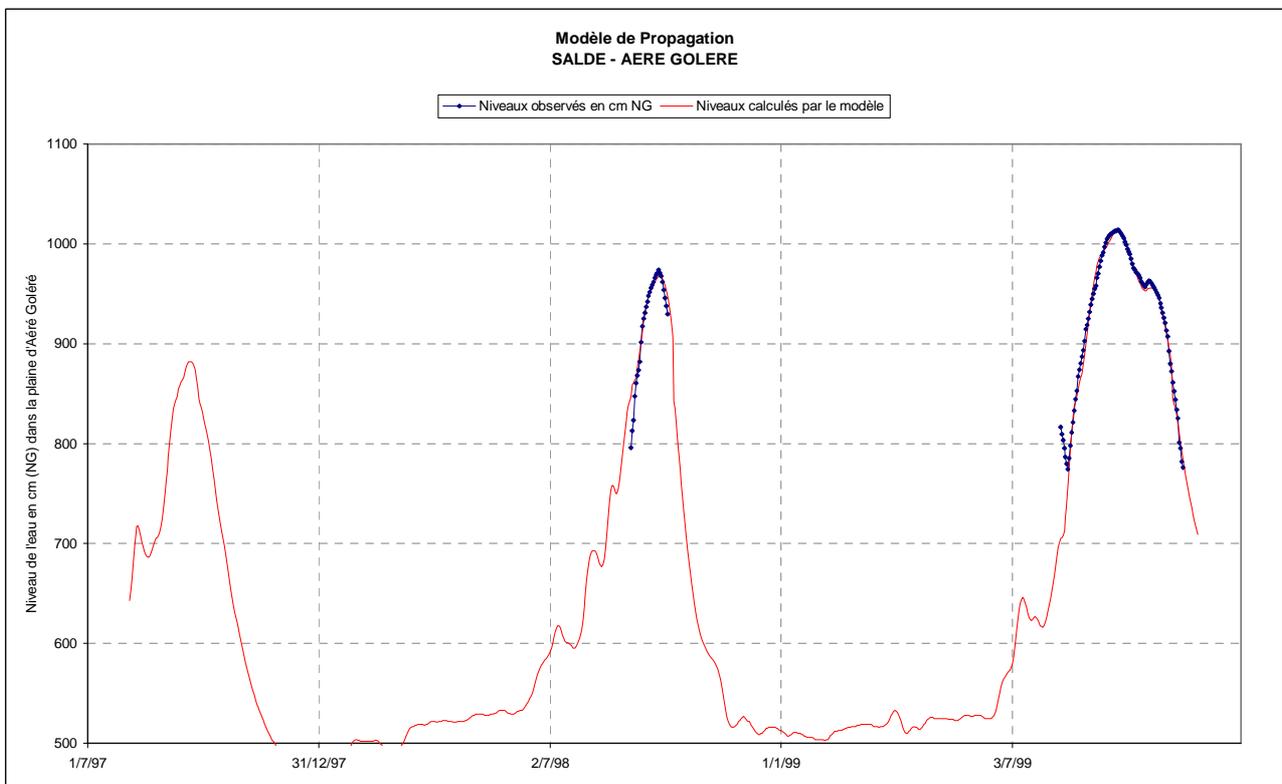


Figure n°7



### 3.2. Etudes des surfaces inondées – Analyse et interprétation de l'imagerie satellitaire

L'imagerie des années 1997 et 1998 a fait l'objet d'un marché entre l'OMVS et un bureau d'étude qui a fourni les images en format « bitmap » avec une vectorisation automatique des plans d'eau libres. Seules, les images utilisables par le logiciel ARCVIEW ont été utilisées.

Les autres années ont fait l'objet d'une fourniture par le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales de TOULOUSE), partenaire de l'IRD dans ses travaux de recherche. Les cd roms de données fournis ont été analysés par l'IRD et traités de manière à être interprétables au moyen d'ARCVIEW.

Pour chaque image (Spot XSI ou LANDSAT), la date de prise de vue a été fournie. A l'aide des modèles de transfert des crues dans les plaines, nous avons pu établir manuellement une surface de chaque plaine correspondant à un niveau calculé le jour de la prise de vue. Les tableaux n° 1 et 2 montrent les résultats obtenus pour deux années : 1986 et 1998 :

Tableau n°1

Année	n°scène	J	PLAINES		Podor		Leqseiba		Donaye		Wawa		Aéré Goléré		Ouro Diallo		Ouloum Néré		Pété		Mbakhna		Nabadji		
			Date	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)
1986	23-317	J	21-sept	11:29																					
		Max																							
1986	25-317	J	22-sept	11:30					389	156	515	1791													
		Max							390		515														
1986	26-317	J	17-sept	11:48										855	2144										
		Max												855											
1986	27-317	J	16-sept	11:25												934	4259	832	340						
		Max														937		861	929						
1986	28-318	J	16-sept	11:45																	1168,0	113	1236	178	
		Max																					1238		

Tableau n°2

Année	podor	j	PLAINES		Podor		Leqseiba		Donaye		Wawa		Aéré Goléré		Ouro Diallo		Ouloum Néré		Pété		Mbakhna		Nabadji		
			Date	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)	H(ng)	S(ha)
1999	podor	j	26-sept		482	1959	474	4278	567	1357	684	3882	1012	2729	1009	5740									
1999	matam		21-oct										961	2189	955,5	4768	1044	6333	957	1650	1225	361,4	1276	281,4	

Pour certaines images, il a été possible de vectoriser les traces des maxima atteints par la crue (trace d'humidification).

Le tableau n°3 contient toutes les surfaces et cotes correspondantes pour les 10 plaines qui ont été observées.

Pour chaque plaine nous avons établi une courbe hauteur – surface. Les figures ci-dessous montrent deux exemples des courbes tracées (figures 8 et 9). Le tableau n°4 contient toutes les courbes digitalisées.

L'utilisation des modèles de remplissage fourni la cote max. atteinte pour chaque plaine, annuellement.

Le tracé manuel des zones inondées a été réalisé pour chaque année disponible, dans le bief MATAM – DAGANA. Il n'a pas été tenu compte des lits mineurs. La date des images ne correspondant qu'assez rarement à la date du maximum local de la crue, des corrections linéaires de surfaces maximales ont été effectuées en tenant compte des

écarts constatés sur chaque plaine. Ces dernières étant représentatives des images correspondantes.

Figure n°8

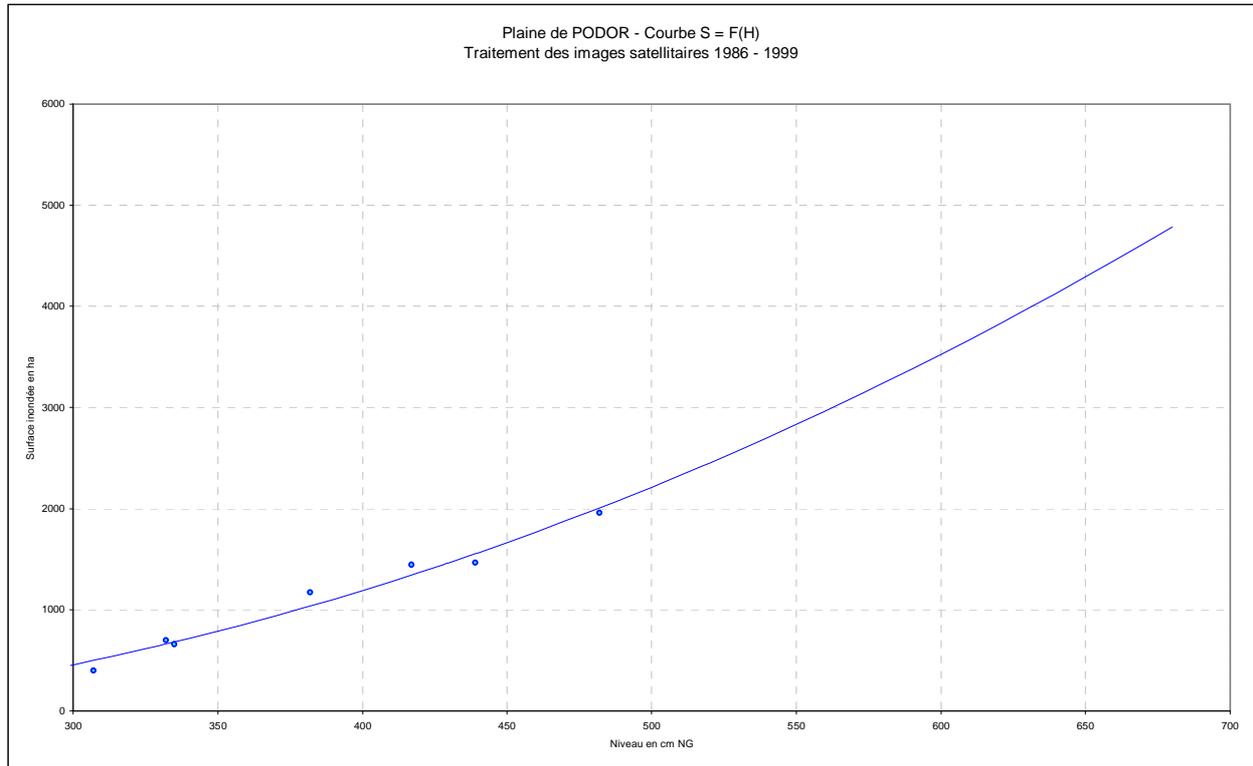
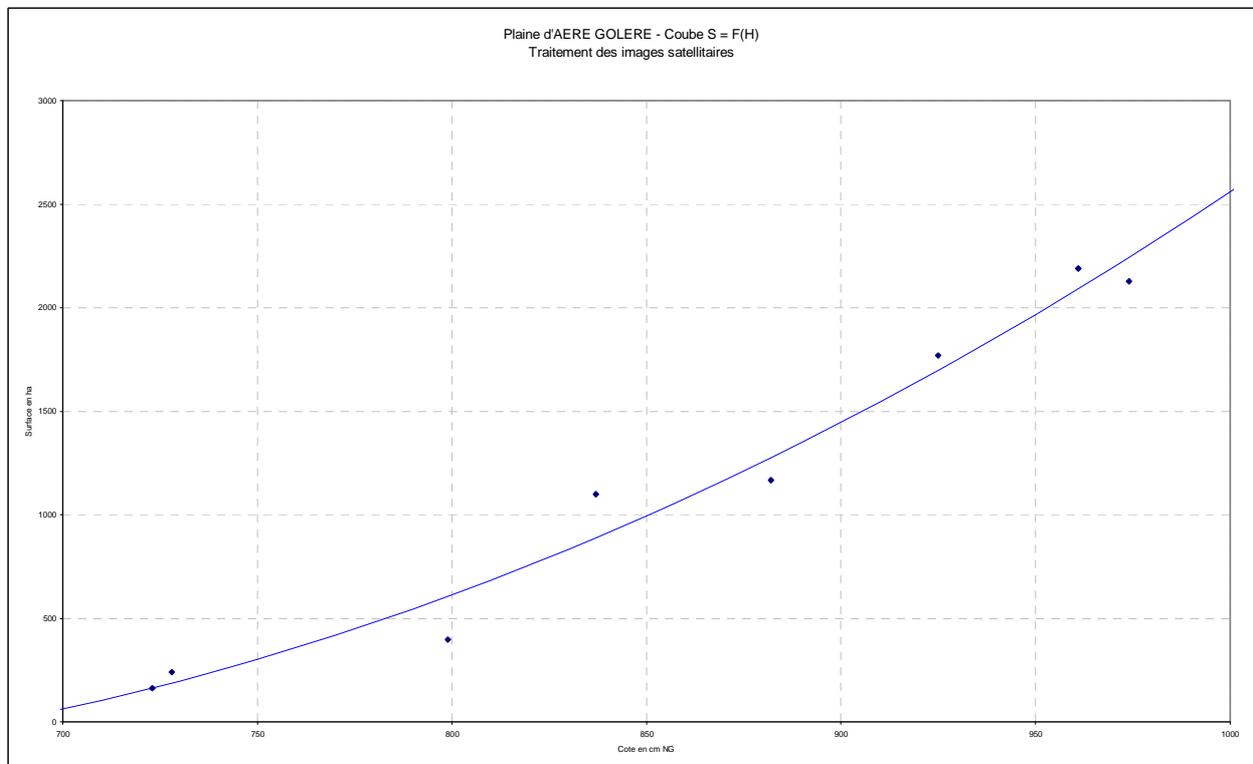


Figure n°9



## Tableau synthétique des surfaces inondées en fonction du niveau (cm NG)

Tableau n°3

H syst. NG S en ha	PODOR		DONAYE		WAWA		PETE N'GOUI		M'BAKHNA		NABADJI		LEQSEIBA		AERE GOLERE		OURO DIALLO		OULOUM NERE	
	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S
1986			389	156	515	1791	832	340	1168	113	1236	178					855	2144	934	4259
1987	205	1,5			267	1224	825	293			1092	33			723	164	713	106		
1988	417	1444	489	610	585	2548	921	1154	1228	270	1256	250	386	2311	925	1769	918	3674	1047	6197
1992	307	398	357	57	445	1523			1150	60	1179	119	306	111	799	397	827	1152	891	3273
1997	332	699	424	210	554	1903											855	2094		
1998	382	1171	444	415			906	848					395	2512	882	1167	877	2690		
1999	482	1959	567	1357	684	3882	957	1650	1225	270	1276	281	474	4278	961	2189	956	4768	1044	6333

Tableau n°4

PLAINES OBSERVEES DU LIT MAJEUR DU SENEGAL - Bief MATAM - DAGANA

Surface inondée en fonction de la cote en cm - nivellement général

DONAYE		PODOR		OULOUM NERE		AERE GOLERE		WAWA		PETE N'GOUI		M'BAKHNA		NABADJI		LEQSEIBA		OURO DIALLO		
Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	Hng	Sha	
340	5	204	0	600	37	690	21	200	1254	800	186	1140	33	1080	32	300	65	700	41	
357	52	300	457	620	182	710	104	220	1237	810	206	1150	60	1100	47	305	189	713	128	
358	55	307	499	640	339	730	197	240	1227	820	235	1160	88	1115	59	306	213	715	143	
360	60	313	536	660	509	743	264	260	1223	830	274	1168	110	1120	64	320	561	720	181	
370	88	325	613	680	691	750	302	280	1227	832	283	1180	143	1140	83	324	660	740	356	
380	118	330	647	700	886	770	418	290	1232	839	318	1184	154	1160	105	340	1057	760	567	
390	148	331	653	720	1095	790	545	300	1238	840	323	1200	197	1179	128	341	1081	780	812	
400	180	340	715	740	1315	799	606	320	1256	850	381	1220	252	1180	129	349	1280	800	1093	
410	215	358	847	760	1549	810	684	340	1280	860	450	1240	307	1200	155	360	1553	820	1410	
420	252	360	862	768	1646	830	833	360	1312	861	457	1260	362	1220	183	380	2049	827	1529	
428	284	370	940	780	1796	837	888	380	1350	866	495	1268	384	1240	213	391	2322	836	1688	
430	292	380	1020	800	2055	850	994	400	1396	870	527	1278	411	1250	229	400	2545	840	1761	
440	336	390	1103	820	2327	857	1053	420	1448	880	615	1280	417	1256	239	418	2991	857	2088	
450	383	400	1190	840	2612	870	1166	440	1507	890	712	1300	472	1260	246	420	3041	860	2148	
460	434	410	1279	860	2909	882	1275	455	1556	900	819	1316	516	1280	281	440	3537	880	2571	
470	490	417	1343	880	3219	890	1350	460	1573	910	936	1320	527	1300	318	460	4033	882	2615	
480	551	420	1371	891	3396	910	1544	480	1646	920	1062			1322	361	480	4529	900	3028	
489	611	428	1447	900	3542	925	1697	481	1650	921	1075			1320	357	494	4876	918	3470	
490	618	429	1456	902	3575	930	1750	500	1726	930	1198			1340	398	500	5025	920	3521	
500	690	430	1466	920	3878	950	1967	515	1791	932	1227			1348	416	510	5254	940	4049	
510	768	439	1554	937	4174	953	2000	520	1813	940	1344			1352	424	520	5521	946	4214	
518	836	440	1564	940	4227	970	2195	540	1935	950	1500			1360	442			955	4468	
520	853	450	1665	960	4588	974	2242	557	2063	952	1532			1380	488			960	4612	
530	945	460	1768	966	4699	990	2434	560	2088	953	1548			1400	536			961	4641	
540	1044	470	1875	980	4963	1010	2685	580	2273	960	1665			1405	548			980	5211	
550	1151	480	1985	1000	5350	1013	2723	585	2325	970	1840			1420	586			1000	5845	
560	1267	489	2086	1020	5749	1030	2946	600	2494	980	2024							1014	6310	
570	1390	490	2097	1040	6162	1050	3219	602	2518	990	2219							1020	6514	
573	1429	500	2212	1048	6330	1070	3503	620	2755	1000	2423							1040	7219	
580	1523	504	2259	1060	6587	1090	3799	630	2901	1009	2615							1060	7959	
590	1665	510	2330	1065	6695			640	3058	1010	2636							1080	8734	
600	1817	518	2427	1080	7025			660	3409	1020	2860							1100	9544	
610	1979	520	2452	1100	7476			680	3809	1030	3093							1120	10390	
620	2152	530	2576	1111	7729			694	4121	1040	3336							1140	11271	
630	2335	540	2702	1120	7940			700	4263									1160	12188	
640	2530	550	2832	1140	8416			720	4775											
650	2737	560	2965	1160	8905			740	5347											
660	2956	565	3032	1180	9407			760	5984											
670	3187	570	3101	1200	9922			780	6689											
680	3431	573	3142					800	7466											
		580	3239																	
		590	3380																	
		600	3525																	
		610	3672																	
		620	3822																	
		630	3975																	
		640	4131																	
		650	4290																	
		660	4451																	
		670	4616																	
		680	4784																	

Ce travail étant réalisé, nous disposons de 7 échantillons de la somme des 10 plaines observées et des 7 valeurs de la surface maximale inondée pour les années correspondantes.

Le tableau n°5 contient les résultats pour chaque plaine et pour le bief total.

**Tableau synthétique de l'inondation du lit majeur – Période 1986 - 1999**

Tableau n°5

Plaines/Années	1986		1987		1988		1992		1997		1998		1999	
	Hmax	Smax	Hmax	Smax	Hmax	Smax	Hmax	Smax	Hmax	Smax	Hmax	Smax	Hmax	Smax
<b>PODOR</b>	331	653	289	2	417	1343	313	536	429	1456	439	1554	565	3032
<b>DONAYE</b>	390	148	252	0	489	749	358	33	428	284	518	836	573	1429
<b>WAWA</b>	515	1791	290	1232	602	2714	481	1650	557	2063	630	2901	694	4121
<b>PETE NGOUI</b>	861	457	832	283	932	1344	850	381	866	495	953	1548	1009	2615
<b>M'BAKHNA</b>	1168	110	1150	60	1268	485	1150	60	1184	154	1278	411	1316	516
<b>NABADJI</b>	1250	229	1115	59	1348	416	1200	155	1256	239	1352	424	1405	548
<b>LEQSEIBA</b>	341	1081	305	189	391	4377	324	660	349	1280	418	2991	494	4876
<b>OURO DIALLO</b>	857	2088	715	143	946	4214	836	1688	882	2615	961	4641	1014	6310
<b>AERE GOLERE</b>	857	1053	743	264	953	2000	837	888	882	1275	974	2242	1013	2723
<b>OULOUM NERE</b>	937	4174	768	1646	1048	7959	902	3575	966	4699	1065	6695	1111	7729
<b>SOMME 10 plaines</b>		11784		3878		25601		9626		14560		24243		33899
<b>TOTAL ZONE INOND.</b>		82520		37000		148700		60725		92000		146000		221000

La figure n°10 représente la régression entre la somme des 10 plaines et la surface de l'inondation maximale correspondante.

Figure n°10

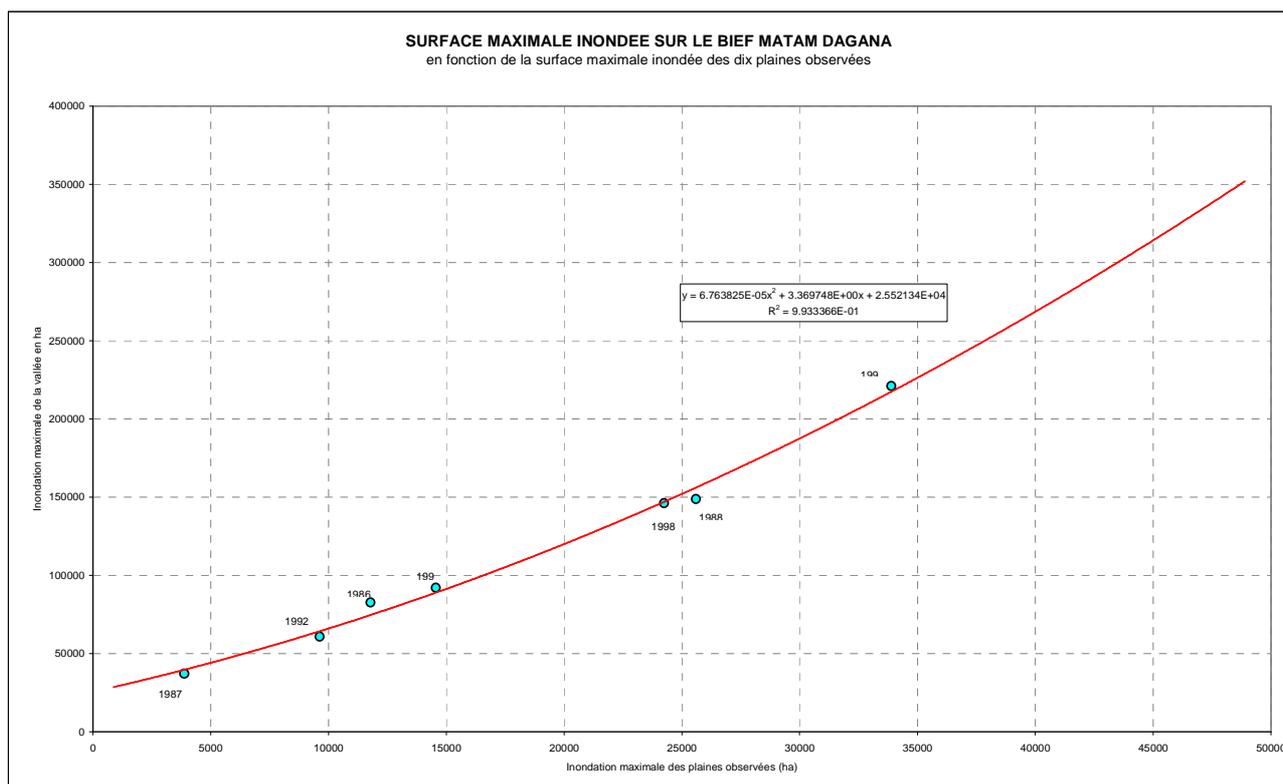


Tableau n°6

H max aux échelles en cm				H max aux échelles en cm			
Année	MATAM	SALDE	PODOR	Année	MATAM	SALDE	PODOR
	cm	cm	cm		cm	cm	cm
1946	870	926	573	1973	730	785	442
1947	860	906	545	1974	903	941	589
1948	828	882	530	1975	813	853	515
1949	815	868	515	1976	656	692	346
1950	1000	1039	668	1977	657	711	381
1951	896	945	585	1978	702	759	413
1952	900	930	580	1979	596	660	341
1953	831	880	533	1980	744	776	438
1954	970	1000	640	1981	679	784	442
1955	910	986	639	1982	633	706	371
1956	950	1013	650	1983	466	533	233
1957	930	980	627	1984	399	477	202
1958	986	1019	647	1985	667	729	397
1959	928	978	604	1986	685	748	402
1960	810	870	527	1987	487	559	289
1961	965	1008	640	1988	799	851	482
1962	879	933	580	1989	705	757	400
1963	821	860	537	1990	404	485	248
1964	962	1017	654	1991	660	711	373
1965	986	1031	663	1992	627	717	380
1966	927	967	608	1993	667	716	393
1967	943	1011	647	1994	784	851	498
1968	747	786	438	1995	802	870	519
1969	849	927	558	1996	673	701	370
1970	801	879	532	1997	696	776	429
1971	846	917	558	1998	805	867	504
1972	582	655	320	1999	850	914	565
				2000	738	802	455

La liaison entre les deux variables est serrée et peut-être utilisée pour obtenir la surface maximale annuelle d'inondation du lit majeur en fonction des niveaux maxima atteints par la crue aux stations de MATAM, SALDE et PODOR.

Les maxima à ces trois stations pour la période 1946 – 2000 sont portés dans le tableau n°6 ci-dessus. Les valeurs manquantes à la station de SALDE (1946 – 1950) ont été reconstituées à l'aide celles de PODOR. La figure n°11 montre ces relations.

Les modèles de propagation lit mineur – lit majeur permettent d'établir un échantillon de valeur de la somme des aires de submersion des dix plaines (maxima annuel).

La régression de la figure 10 permet d'obtenir un échantillon de même taille. Cet échantillon de 55 valeurs correspond sensiblement à la période d'observation quasi permanente des surfaces cultivées en décrue (traité au chapitre « cultures de décrue »).

Les tableau n°7 et 7bis des pages suivantes contiennent les détails des calculs permettant d'obtenir la relation entre la cote maximale à PODOR et la surface inondée maximale correspondante (bief MATAM – DAGANA). La figure n°11 représente les régression entre cette cote maximale et les surfaces inondées des 10 plaines et du bief.

Il faut noter l'excellente relation qui existe entre la cote maximale annuelle à PODOR et les surfaces inondées. Cela n'est pas réellement étonnant car l'amortissement de la crue est quasiment totalement réalisé au niveau de cette station, et il s'ensuit que la cote maximale est un critère remarquable de représentation de la crue.

La relation mise en évidence conduit à l'étude de la relation qui existe entre le limnigramme à BAKEL et le maximum à PODOR.

Figure n°11

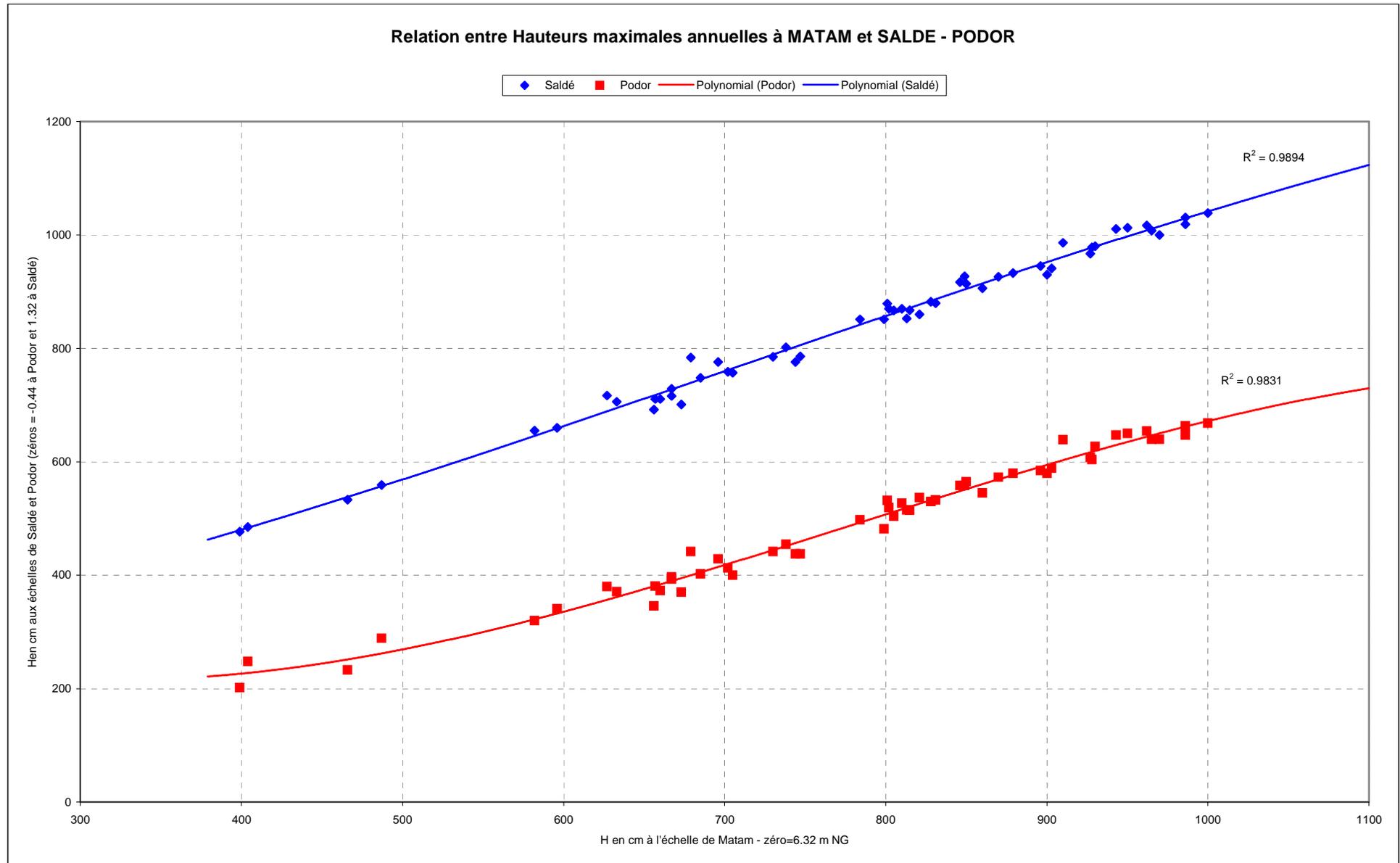


Tableau n°7

## MODELES DE PROPAGATION STATIONS PRINCIPALES - PLAINES

Niveaux maxima annuels dans les plaines calculés à l'aide des modèles "MODPLAINES"

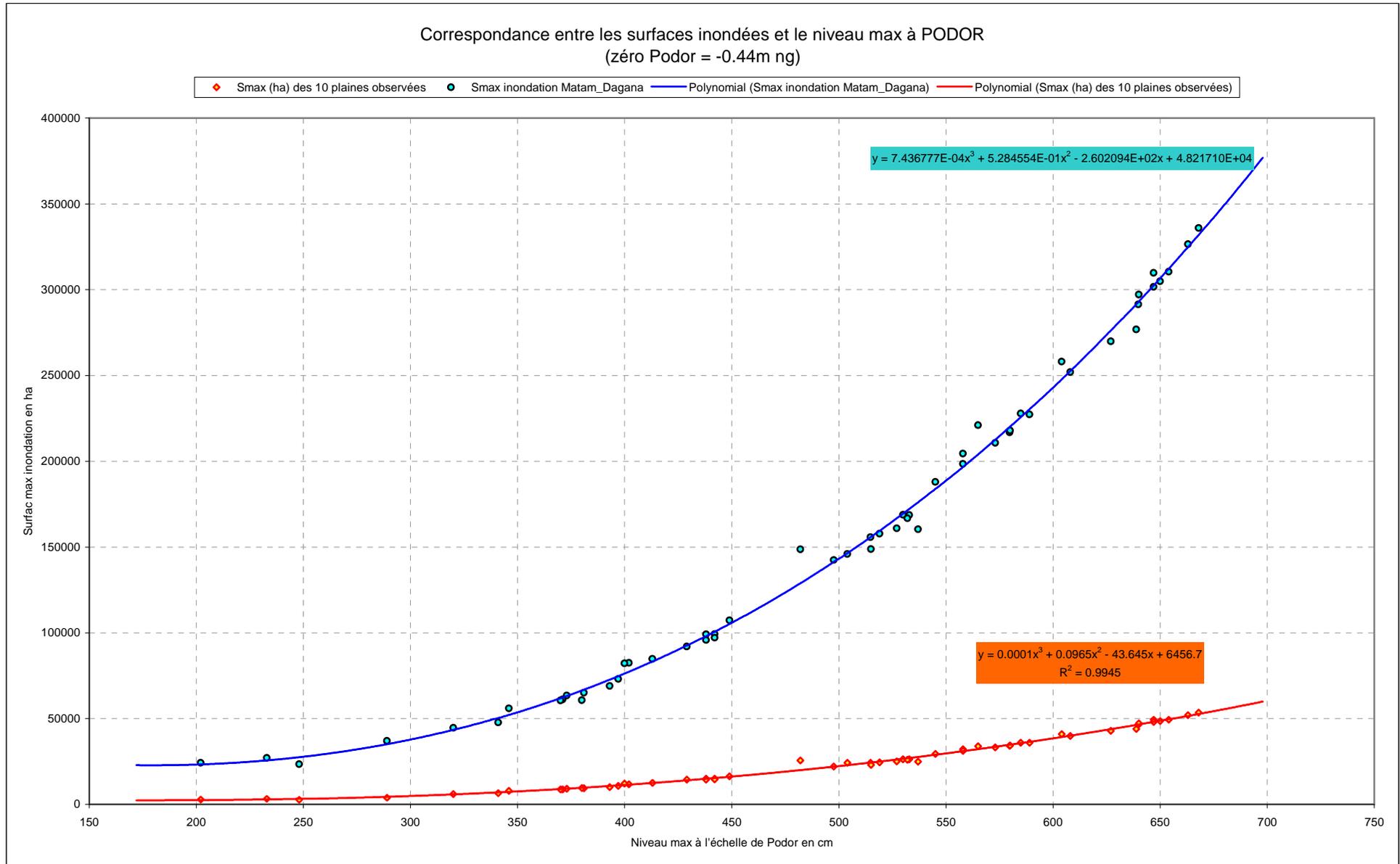
An	PODOR éch.	pl pod	Donaye	wawa	leqseiba	Matam éch.	Nabadji	Mbakhna		Saldé	Pété ng	aéréG NG	OuroD NG	OuloumN
1944	403	332	391	515	342	625	1 197	1 135		736	858	847	848	923
1945	625	559	632	742	574	955	1 513	1 458		995	1 077	1 089	1 095	1 200
1946	573	508	581	690	504	870	1 423	1 353		926	1 011	1 024	1 023	1 124
1947	545	479	554	667	467	860	1 413	1 342		906	991	1 006	1 001	1 104
1948	530	464	539	650	448	828	1 380	1 307		882	968	984	976	1 080
1949	515	450	524	634	428	815	1 368	1 293		868	953	970	962	1 065
1950	668	602	674	786	630	1 000	1 564	1 520		1 039	1 120	1 130	1 141	1 255
1951	585	519	593	702	521	896	1 450	1 383		945	1 029	1 042	1 042	1 144
1952	580	514	588	697	514	900	1 454	1 388		930	1 014	1 028	1 027	1 128
1953	533	467	542	650	452	831	1 383	1 310		880	966	981	974	1 077
1954	640	574	647	757	593	970	1 530	1 478		1 000	1 083	1 094	1 100	1 207
1955	639	573	646	756	580	910	1 465	1 401		986	1 069	1 080	1 085	1 190
1956	650	584	657	768	606	950	1 508	1 451		1 013	1 095	1 106	1 113	1 223
1957	627	561	634	744	576	930	1 486	1 426		980	1 063	1 075	1 079	1 183
1958	647	581	654	765	602	986	1 548	1 500		1 019	1 101	1 111	1 120	1 230
1959	604	534	612	721	546	928	1 484	1 423		978	1 061	1 073	1 077	1 181
1960	527	461	536	644	444	810	1 363	1 288		870	956	972	964	1 067
1961	640	574	647	757	593	965	1 525	1 471		1 008	1 090	1 101	1 108	1 217
1962	580	514	588	697	514	879	1 432	1 363		933	1 017	1 031	1 030	1 132
1963	537	471	546	654	457	821	1 373	1 299		860	946	963	955	1 057
1964	654	588	661	772	612	962	1 521	1 467		1 017	1 099	1 109	1 118	1 228
1965	663	597	669	781	624	986	1 548	1 500		1 031	1 113	1 122	1 132	1 246
1966	608	534	615	725	551	927	1 483	1 422		967	1 050	1 063	1 065	1 168
1967	647	581	654	765	602	943	1 500	1 442		1 011	1 093	1 104	1 111	1 220
1968	438	367	437	556	355	747	1 303	1 228		786	886	894	890	979
1969	558	493	566	675	484	849	1 401	1 329		927	1 011	1 025	1 024	1 125
1970	532	466	541	649	450	801	1 354	1 279		879	965	980	973	1 076
1971	558	493	566	675	484	846	1 398	1 326		917	1 002	1 016	1 013	1 115
1972	320	289	287	367	305	582	1 163	1 110		655	839	800	776	838
1973	442	371	442	561	357	730	1 287	1 213		785	886	893	890	978
1974	589	523	597	706	526	903	1 457	1 392		941	1 025	1 038	1 038	1 140
1975	515	450	524	632	428	813	1 366	1 291		853	939	956	948	1 050
1976	346	301	317	424	306	656	1 223	1 156		692	846	823	819	875
1977	381	314	361	484	325	657	1 223	1 157		711	851	823	832	896
1978	413	339	404	528	345	702	1 262	1 190		759	867	868	867	949
1979	341	298	311	414	306	596	1 174	1 118		660	839	804	782	843
1980	438	367	437	556	355	744	1 300	1 225		776	878	884	882	968
1981	442	371	442	561	357	647	1 215	1 150		784	885	892	889	976
1982	371	309	348	469	316	633	1 203	1 140		706	850	819	828	890
1983	233			159		466	1 113	1 061		533	831	725	712	744
1984	202			87		399	1 092	1 046		477	827	690	709	705
1985	397	328	383	507	339	667	1 232	1 164		729	856	840	843	916
1986	402	331	389	514	341	685	1 247	1 177		748	862	858	857	937
1987	289			291		487	1 114	1 068		559	832	741	714	762
1988	482	417	488	601	391	799	1 352	1 277		851	937	954	946	1 048
1989	400	330	387	511	340	705	1 265	1 193		757	866	866	865	947
1990	248			194		404	1 092	1 047		485	828	695	709	711
1991	373	310	350	472	318	660	1 226	1 159		711	851	823	832	896
1992	380	314	360	483	324	627	1 199	1 137		717	852	829	836	902
1993	393	325	377	502	335	667	1 232	1 164		716	851	828	835	901
1994	505	433	518	624	409	784	1 338	1 262		851	937	954	946	1 048
1995	519	453	528	636	434	802	1 355	1 280		870	956	972	964	1 067
1996	370	309	346	467	315	673	1 237	1 168		701	848	814	825	885
1997	429	356	425	546	351	696	1 257	1 185		776	878	884	882	968
1998	504	439	513	621	416	805	1 358	1 283		867	953	969	961	1 064
1999	565	500	573	682	493	850	1 402	1 330		914	999	1 013	1 010	1 112
2000	449	388	450	568	365	738	1 295	1 220		802	889	908	903	996

# Echantillon 1944 – 2000 de l'inondation du lit majeur

Tableau n°7bis

Année	pl podor		Donaye		wawa		leqseiba		Nabadji		Mbakhna		Pété		aéréG		OuroD		Ouloum N		Totalcult ha	Hmax Podor échelle - cm	S 10 plaines ha	S total ha
	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha	ng	S ha				
1946	508	2307	581	1538	690	2833	504	5125	1423	593	1353	617	1011	2650	1024	2873	1023	6618	1124	8042	107438	573	33195	211911
1947	479	1973	554	1192	667	2667	467	4207	1413	567	1342	586	991	2237	1006	2629	1001	5878	1104	7558	106915	545	29494	183750
1948	464	1811	539	1033	650	2550	448	3735	1380	489	1307	490	968	1802	984	2356	976	5088	1080	7015	94538	530	26368	161404
1949	450	1665	524	889	634	2442	428	3239	1368	459	1293	453	953	1556	970	2192	962	4671	1065	6686	90682	515	24251	147023
1950	602	3549	674	3292	786	3626	630	8256	1564	1012	1520	1074	1120	5639	1130	4416	1141	11316	1255	11417	124100	668	53597	400425
1951	519	2439	593	1708	702	2924	521	5546	1450	665	1383	701	1029	3072	1042	3111	1042	7291	1144	8522	116042	585	35979	234320
1952	514	2379	588	1633	697	2885	514	5373	1454	676	1388	714	1014	2733	1028	2921	1027	6757	1128	8137	104978	580	34206	219929
1953	467	1843	542	1062	650	2546	452	3835	1383	496	1310	499	966	1761	981	2329	974	5028	1077	6962	92951	533	26360	161344
1954	574	3151	647	2667	757	3374	593	7332	1530	901	1478	960	1083	4482	1094	3852	1100	9544	1207	10103	130900	640	46365	327167
1955	573	3137	646	2646	756	3365	580	7010	1465	706	1401	747	1069	4096	1080	3656	1085	8933	1190	9668	112600	639	43965	304414
1956	584	3293	657	2882	768	3464	606	7666	1508	832	1451	887	1095	4857	1106	4038	1113	10090	1223	10527	136700	650	48534	348399
1957	561	2978	634	2414	744	3264	576	6910	1486	767	1426	816	1063	3936	1075	3573	1079	8694	1183	9489	125000	627	42843	294040
1958	581	3251	654	2817	765	3437	602	7568	1548	959	1500	1020	1101	5035	1111	4125	1120	10390	1230	10729	127630	647	49331	356358
1959	534	2626	612	2005	721	3074	546	6166	1484	761	1423	809	1061	3883	1073	3546	1077	8615	1181	9430	118653	604	40917	276638
1960	461	1779	536	1003	644	2506	444	3636	1363	448	1288	439	956	1594	972	2218	964	4729	1067	6739	92218	527	25092	152657
1961	574	3154	647	2671	757	3376	593	7338	1525	884	1471	941	1090	4711	1101	3966	1108	9878	1217	10361	125342	640	47280	336042
1962	514	2379	588	1636	697	2886	514	5373	1432	617	1363	645	1017	2798	1031	2958	1030	6862	1132	8212	108303	580	34367	221213
1963	471	1886	546	1105	654	2574	457	3959	1373	472	1299	470	946	1437	963	2110	955	4468	1057	6518	96326	537	24999	152030
1964	588	3349	661	2970	772	3499	612	7797	1521	873	1467	930	1099	4975	1109	4096	1118	10304	1228	10661	119000	654	49455	357597
1965	597	3477	669	3174	781	3580	624	8092	1548	959	1500	1020	1113	5401	1122	4302	1132	10915	1246	11146	129000	663	52067	384341
1966	534	2626	615	2072	725	3107	551	6290	1483	758	1422	805	1050	3601	1063	3398	1065	8149	1168	9114	118430	608	39921	267837
1967	581	3251	654	2817	765	3437	602	7568	1500	809	1442	862	1093	4798	1104	4009	1111	10005	1220	10460	135600	647	48016	343264
1968	367	916	437	321	556	1989	355	1429	1303	323	1228	274	886	672	894	1383	890	2795	979	4936	76498	438	15038	91493
1969	493	2131	566	1344	675	2722	484	4628	1401	539	1329	552	1011	2668	1025	2884	1024	6652	1125	8063	99546	558	32185	204038
1970	466	1832	541	1053	649	2540	450	3785	1354	428	1279	414	965	1744	980	2318	973	4997	1076	6939	103100	532	26051	159210
1971	493	2131	566	1344	675	2722	484	4628	1398	532	1326	543	1002	2458	1016	2761	1013	6276	1115	7819	103086	558	31215	196616
1972	289	394	287	-152	367	1325	305	189	1163	108	1110		839	318	800	616	776	760	838	2586	13700	320	6145	48781
1973	371	947	442	343	561	2011	357	1478	1287	294	1213	234	886	672	893	1374	890	2795	978	4915	82200	442	15064	91634
1974	523	2488	597	1767	706	2956	526	5670	1457	685	1392	724	1025	2978	1038	3059	1038	7147	1140	8416	106996	589	35890	233583
1975	450	1665	524	891	632	2427	428	3239	1366	455	1291	447	939	1332	956	2035	948	4270	1050	6365	88614	515	23125	139620
1976	301	463	317	-60.6	424	1459	306	213	1223	187	1156	76	846	357	823	781	819	1393	875	3143	29400	346	8013	56868
1977	314	542	361	62.6	484	1663	325	685	1223	188	1157	78	851	388	823	783	832	1617	896	3474	15400	381	9481	63548
1978	339	708	404	195	528	1849	345	1181	1262	250	1190	170	867	503	868	1151	867	2292	949	4385	56900	413	12684	79147
1979	298	446	311		414	1432	306	213	1174	121	1118		839	318	804	638	782	839	843	2657	14000	341	6663	50977
1980	367	916	437	321	556	1989	355	1429	1300	318	1225	267	878	597	884	1295	882	2615	968	4729	54104	438	14476	88474
1981	371	947	442	343	561	2011	357	1478	1215	176	1150	59	885	662	892	1365	889	2772	976	4894	66000	442	14710	89726
1982	309	511	348	26.1	469	1604	316	461	1203	160	1140	34	850	381	819	748	828	1546	890	3386	29301	371	8858	60679
1983					159	1310			1113	58	1061		831	279	725	171	712	121	744	1363	17000	233	3301	37383
1984					87	1481			1092	41	1046		827	262	690	20	709	100	705	937	16000	202	2841	35640
1985	328	633	383	125	507	1757	339	1032	1232	201	1164	98	856	421	840	915	843	1817	916	3802	45540	397	10801	69809
1986	331	653	389	146	514	1786	341	1081	1247	225	1177	134	862	464	858	1062	857	2088	937	4167	59398	402	11784	82520
1987					291	1232			1114	59	1068		832	283	741	252	714	135	762	1575	6700	289	3878	37000
1988	417	1343	488	604	601	2237	391	2322	1352	424	1277	408	937	1303	954	2014	946	4214	1048	6321	76980	482	25601	148700
1989	330	647	387	138	511	1774	340	1057	1265	254	1193	177	866	495	866	1135	865	2251	947	4345	59724	400	12272	77061
1990					194	1260			1092	41	1047		828	266	695	40	709	100	711	999	8625	248	2705	35131
1991	310	517	350	33.2	472	1616	318	511	1226	192	1159	84	851	388	823	783	832	1617	896	3474	22963	373	9215	62318
1992	314	542	360	58.9	483	1658	324	660	1199	153	1137	23	852	394	829	826	836	1688	902	3581	32526	380	9626	60725
1993	325	613	377	109	502	1734	335	933	1232	201	1164	98	851	388	828	819	835	1670	901	3563	59795	393	10127	66585
1994	433	1495	518	836	624	2377	409	2768	1338	393	1262	368	937	1303	954	2014	946	4214	1048	6321	65984	498	22090	132965
1995	453	1696	528	927	636	2453	434	3388	1355	431	1280	417	956	1594	972	2218	964	4729	1067	6739	88719	519	24591	149290
1996	309	511	346	22.5	467	1599	315	437	1237	209	1168	110	848	369	814	714	825	1494	885	3299	47314	370	8764	60248
1997	356	832	425	273	546	1939	351	1330	1257	241	1185	157	878	597	884	1295	882	2615	968	4729	71039	429	14560	92000
1998	439	1554	513	796	621	2356	416	2942	1358	437	1283	425	953	1546	969	2186	961	4641	1064	6672	90400	504	24261	146000
1999	500	2212	573	1432	682	2773	493	4852	1402	542	1330	555	999	2397	1013	2725	1010	6175	1112	7747	104457	565	33899	2210

Figure n°12



### 3.3. Modèles de propagation du lit mineur

Trois modèles de propagation ont été calibrés sur le bief BAKEL – PODOR :

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

La crue étant parfaitement contenue, quant à son extension, à partir des niveaux max. de PODOR, seul le troisième modèle est présenté et utilisé dans le cadre de la présente étude.

Le calibrage du modèle a été réalisé en travaillant par analogie (1997-2000), l'amortissement de la crue est représenté par un échantillon des valeurs issues d'une moyenne mobile dont la période est de 15j, c'est-à-dire que la valeur de l'échantillon du jour j est remplacée par la moyenne de j-15 à j+15. Le tableau n°8 contient les paramètres du modèle :

#### Modèle de propagation BAKEL - PODOR

Tableau n°8

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

Les hauteurs sont exprimées en cm à l'échelle de crue, le temps de propagation en jour et la hauteur à PODOR en cm à l'échelle de crue.

Les figures 13 et 14 montrent les relations ci-dessus.

La validation du modèle a été réalisée sur la période 1994 – 2000, une partie de la validation contient la période de calibrage.

Figure n°13

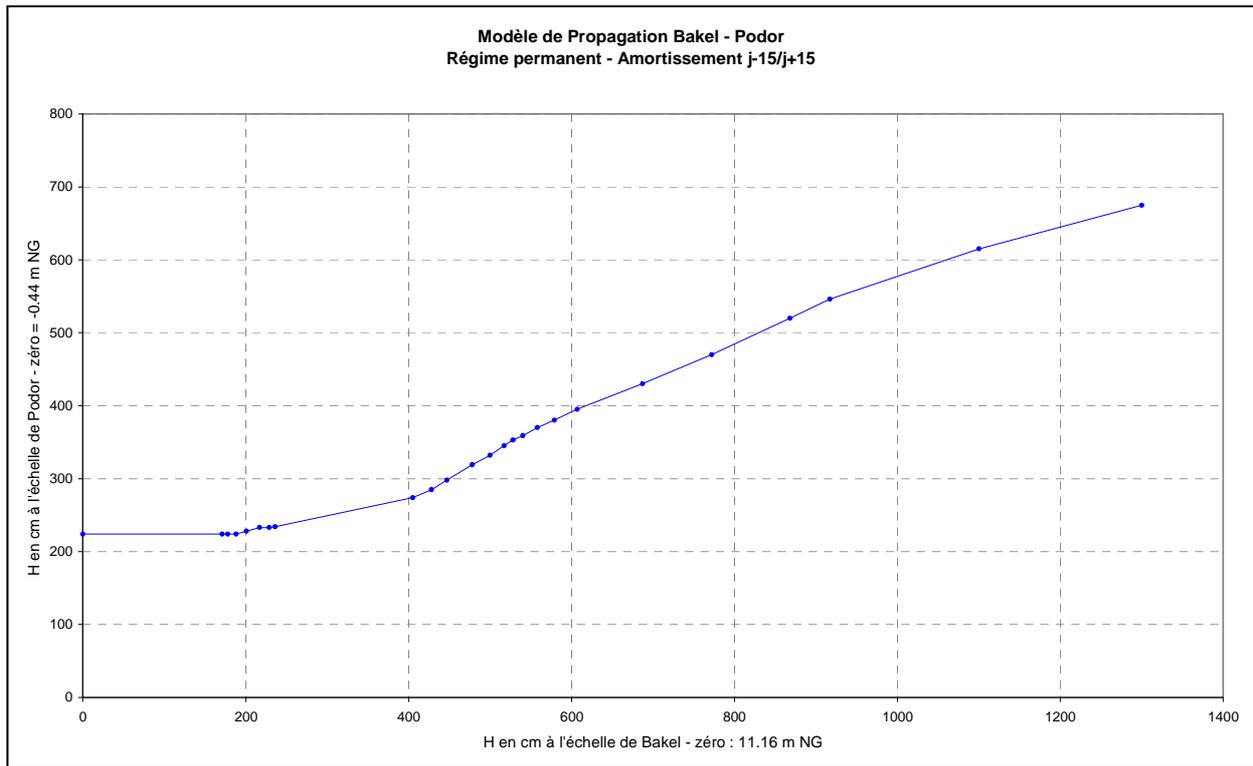


Figure n°14

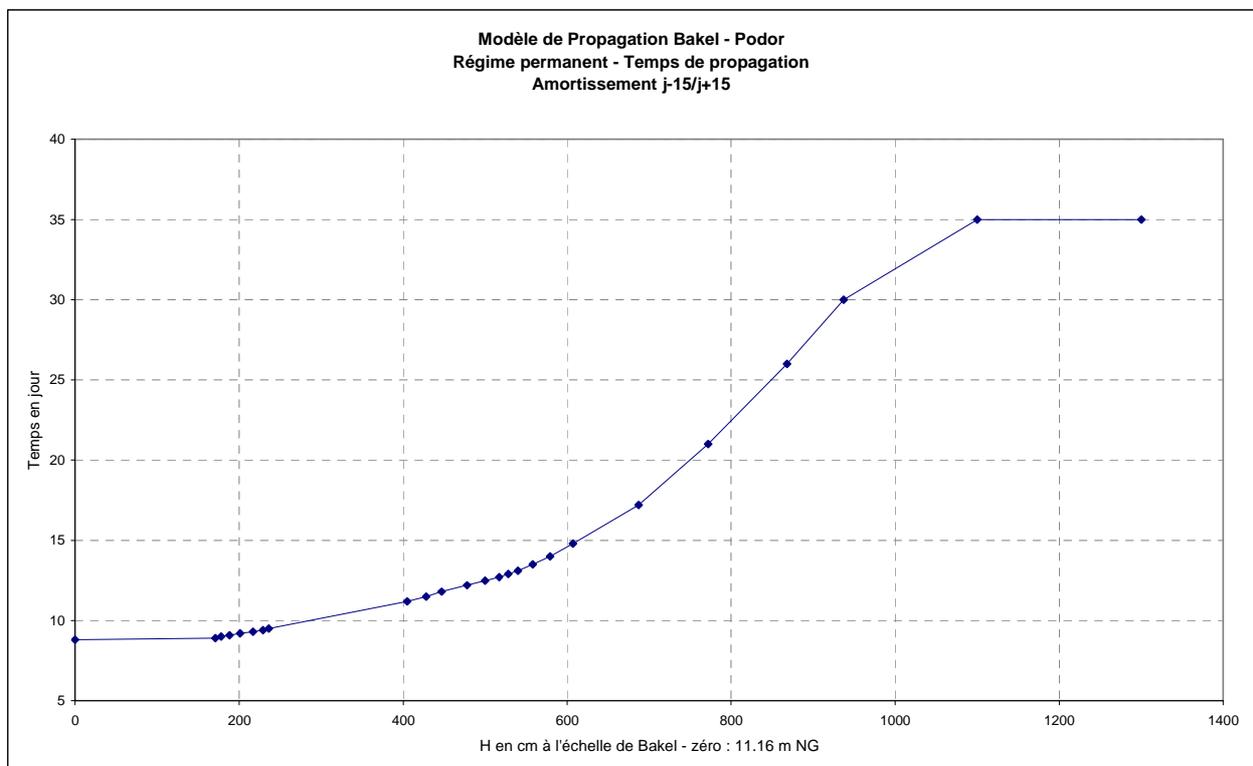
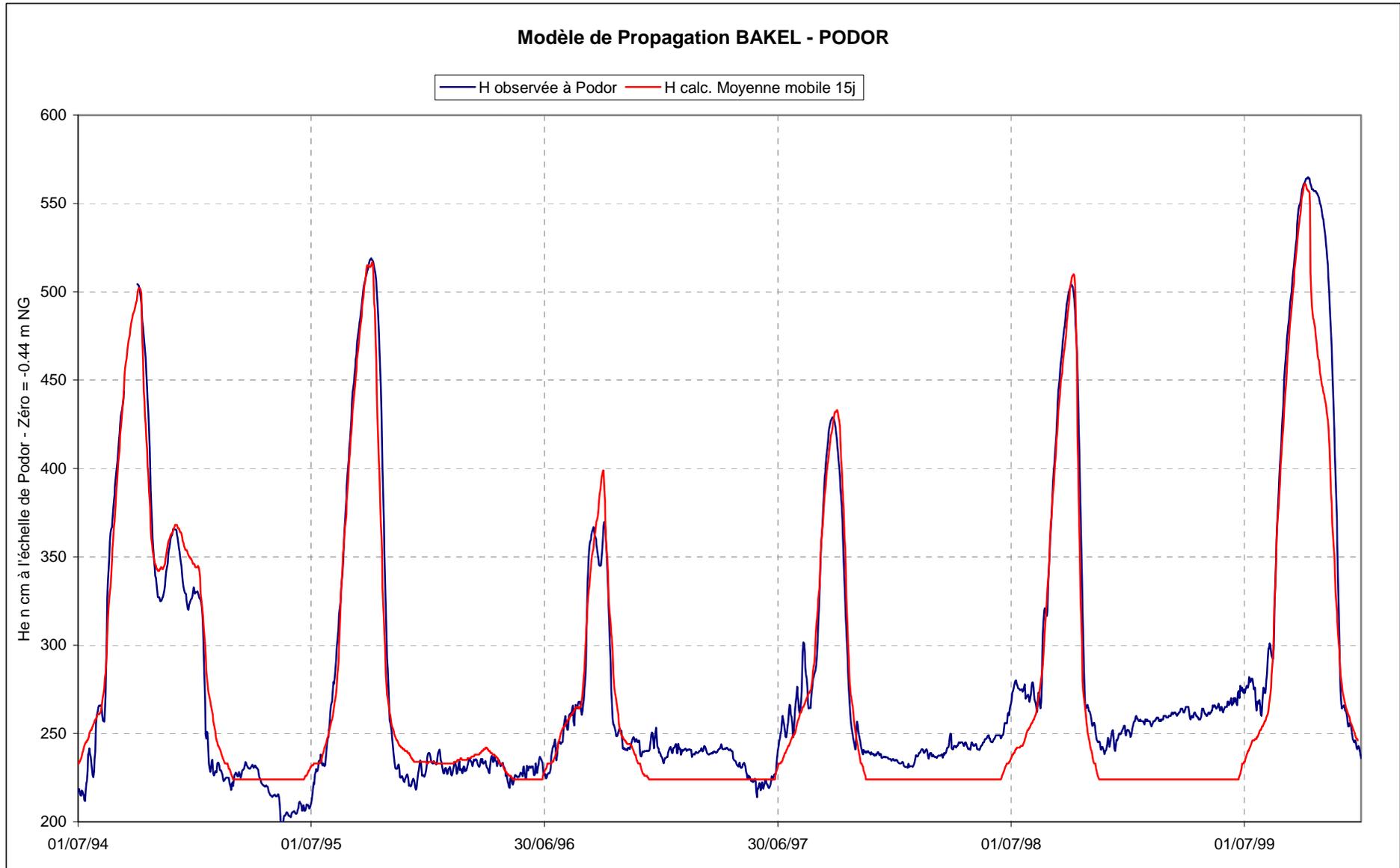


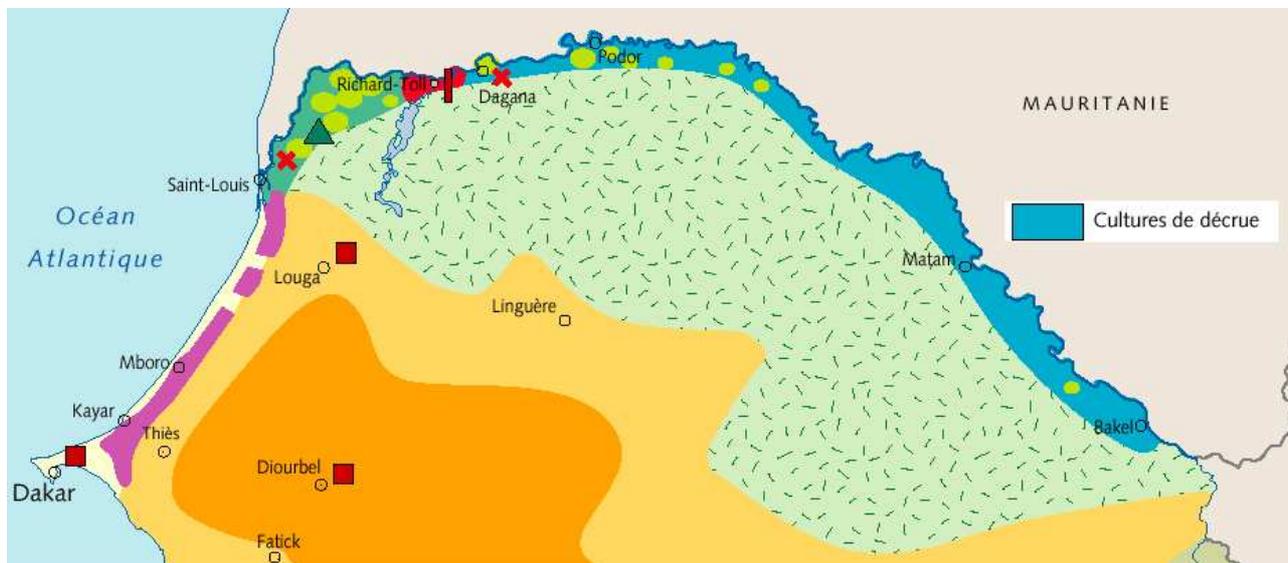
Figure n°15



Le modèle va permettre d'établir limnigramme à BAKEL dont les paramètres seront optimisés en fonction de l'aire de la zone potentiellement cultivable en décrue.

Les études ont été menées jusque là sur l'inondation du lit majeur du bief MATAM – DAGANA. Diverses études ont montré qu'elle correspond à la zone portée sur la carte n°2.

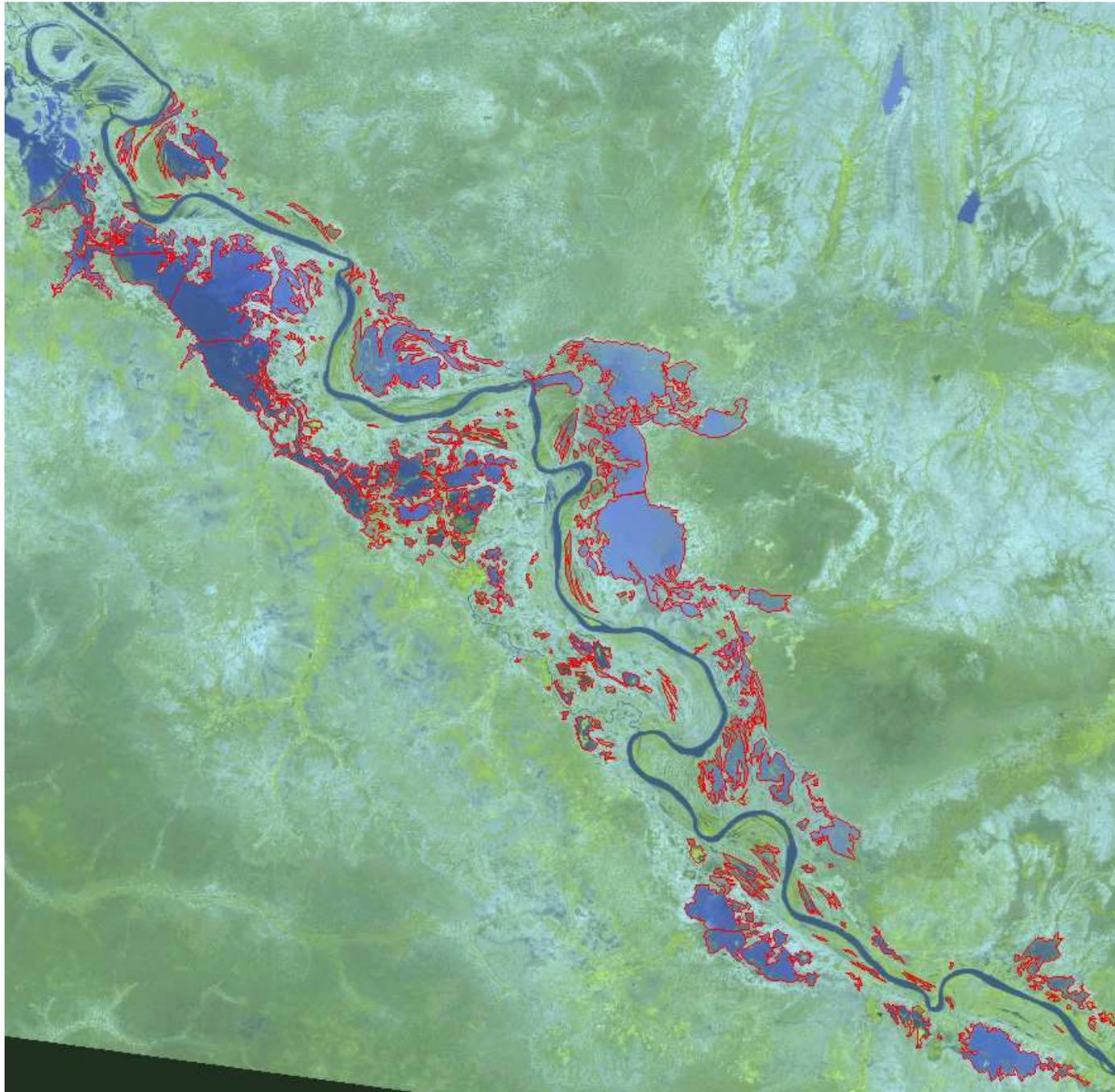
Carte n°2



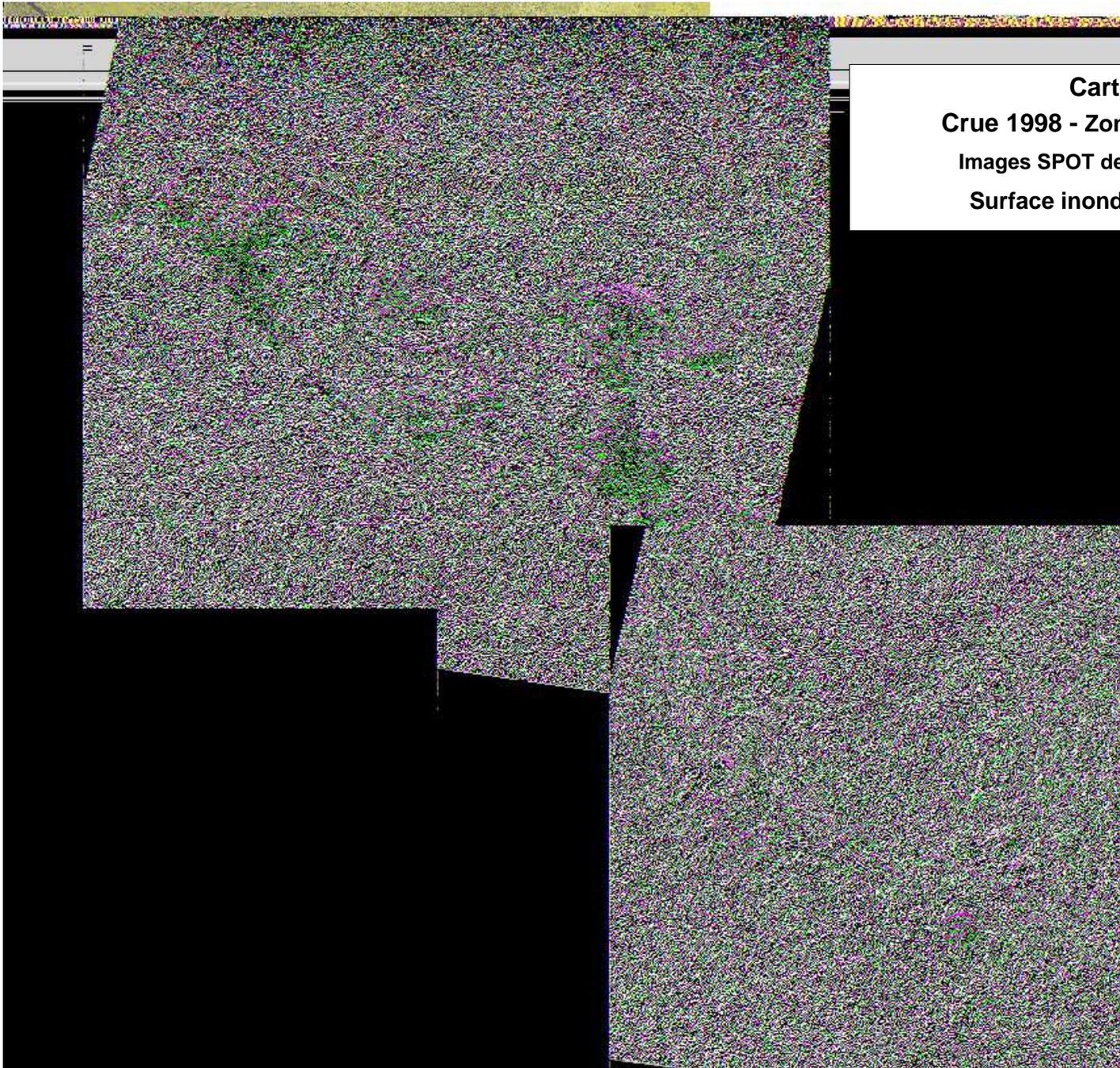
Les couvertures LANDSAT de 1999 et SPOT de 1998 – cartes 3 et 4 -, montrent que les surfaces inondées des parties situées à l'amont du bief MATAM – DAGANA correspondent à 19% (18,7% et 19,5%) de l'aire inondée de celui-ci.

Une partie beaucoup moins importante est située à l'aval des confluences du Ngalenka et du Koundi, la correction à apporter pour cette zone supplémentaire est de l'ordre de 1%, le total des corrections atteint 20%.

L'analyse de l'imagerie satellitaire a déjà fait l'objet de rapports de campagnes pour les crues 1997 à 1999, une annexe consacrée aux outils ayant servi à la rédaction de la synthèse sera publiée prochainement (imagerie satellitaire – propagation – base de données – etc.). Dans le présent rapport nous n'utilisons que les résultats de ces études.



**CARTE N°3**  
**CRUE 1999 – AMONT MATAM**  
Image LANDSAT du 21 octobre  
Surface inondée 42 076 ha



**Carte n°4**  
**Crue 1998 - Zone amont MATAM**  
Images SPOT des 8 et 13 octobre  
Surface inondée = 27 302 ha

## **4. OPTIMISATION DU LIMNIGRAMME DE BAKEL**

L'objectif d'optimisation de la gestion utilise un paramètre dit de la crue artificielle qui est fixé depuis les études « GIBB » à un potentiel cultivable de 50 000 ha en cultures traditionnelles de décrue.

Les développements de l'étude actuelle montrent qu'il faut scinder en deux possibilités l'optimisation :

1. Optimisation en considérant les paramètres physiques des lit en l'état actuel, c'est-à-dire sans amélioration du remplissage (accélération) et de la vidange (ralentissement) du lit majeur du fleuve,
2. Evaluation d'une optimisation future en réalisant des travaux minima garantissant une économie substantielle de la ressource en eau, économie en volume annuel pouvant atteindre ou dépasser un milliard de m<sup>3</sup> sur la réalisation de la crue artificielle.

### **4.1. EVALUATION DES SURFACES CULTIVEES EN DECRUE**

Au cours des années 1999 et 2000, une compilation des données « Cultures de décrue » a été réalisée dans le cadre du projet par deux agronomes, l'une de l'IRD, l'autre de la Coopération Française.

Les résultats de ces recherches dans le domaine des cultures traditionnelles de décrue sont contenues dans le CDROM joint : « EAU et AGRICULTURE dans la vallée du FLEUVE SENEGAL – Etat de l'art en l'an 2000 »

La période 1946 – 2000 a fait l'objet, en rive droite comme en rive gauche, d'observations et d'enregistrements des surfaces cultivées en décrue.

Les données afférentes à cette période ont été enregistrées puis critiquées, afin de cerner les zones de cultures prises en compte. Ce travail a permis de dresser un tableau d'aires mises en cultures pour 1946 – 2000. Un certain nombre d'années présentant des lacunes trop importantes ont été écartées.

Le tableau n°9 contient les résultats des analyses effectuées à la fin des compilations d'archives.

Les résultats de rive gauche et de rive droite ont été comparés aux surfaces inondées du bief MATAM – DAGANA. Les deux régressions établies ont permis de compléter les années avec lacunes. Les figures n°16 et 17 montrent les liaisons qui existent entre surfaces inondées et cultures de décrues.

Le tableau n°10 contient les données complétées grâce aux deux régressions. Une série de surfaces cultivées, dans la partie du lit majeur compris entre MATAM et DAGANA, est ainsi obtenue pour la période 1946 – 2000.

Le report des valeurs observées totales en fonction des surfaces inondées (Figure n°17), montre une relation de bonne qualité et il apparaît la notion de potentiel de surface cultivable en décrue.

Les cultures de décrues ne dépendent pas uniquement de l'étendue maximale de l'inondation, mais aussi de la durée de submersion, ainsi que de multiples facteurs humains.

Dans le cas présent où l'objectif est l'économie de la ressource en eau, il faut considérer que nous ne pouvons prendre en compte que l'extension de la submersion durant une période supérieure à 20 jours, la plupart du temps et de 25 jours quelquefois. Cette durée de submersion doit permettre la saturation totale ou quasi totale des sols afin de permettre la maturation des récoltes sans apport d'irrigation complémentaire.

La durée de submersion de 25 jours est retenue, elle semble couvrir la quasi totalité des types de sols.

Tableau n°9

## SUPERFICIES CULTIVEES EN DECRUE

Décru(e)	Rive droite			Rive gauche			Vallée			Source
	Amont	Aval	Total	Amont	Aval	Total	Amont	Aval	Total	
1946				22500	39900	62400				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1947				23000	42000	65000				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1948										
1949										
1950				27000	47100	74100				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1951				33000	36100	69100				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1952				25100	34100	59200				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1953				21000	33100	54100				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1954				30000	50900	80900				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1955				22500	40100	62600				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1956				35100	51600	86700				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1957	32650	16800	49450	31950	43600	75500	64600	60400	125000	Enquête MISOES, La moyenne vallée du Sénégal, 1962, Presses Universitaires de France (Cité par JUTON, 1970) (5)
1958										
1959										
1960										
1961				14200	35800	50000				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1962										
1963				20100	38800	58900				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1964				20500	48500	69000				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1965				21000	58000	79000				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1966				33100	36500	69600				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1967				34500	51100	85600				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1968				26100	24400	50500				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1969				30000	25300	55300				Services de l'agriculture (Cité par JUTON, 1970) (6)
1970	14700	26200	40900	27900	34300	62200	42600	60500	103100	Gibb 1987 (estimations tirées de JUTON 79) (2)
1971										
1972	1500	1500	3000	4900	5800	10700	6400	7300	13700	Gibb 1987 (estimations tirées de JUTON 79) (2)
1973	8600	17700	26300	27100	28800	55900	35700	48500	82200	Gibb 1987 (estimations tirées de JUTON 79) (2)
1974				17618	42491	60109				Services de l'agriculture Sénégal (1999)
1975									30000	Groupement Manantali, 1985 (Cité par IDA, 1990, source OMVS)
1976	4000	6500	10500	7300	11600	18900	11300	18100	29400	Gibb 1987 (estimations tirées de JUTON 79) (2)
1977	800	2900	3700	6000	5700	11700	6800	8600	15400	Gibb 1987 (estimations tirées de JUTON 79) (2)
1978	8700	9600	18300	19800	19800	38600	28500	28400	56900	Gibb 1987 (estimations tirées de JUTON 79) (2)
1979									14000	Groupement Manantali, 1985 (Cité par IDA, 1990, source OMVS)
1980						30035			30000	IRA (15) / Groupement Manantali, 1985 (Cité par IDA, 1990, source OMVS)
1981						34306			66000	IRA de Saint-Louis (récoltées en mission, 1999) (14) / Groupement Manantali, 1985 (Cité par IDA, 1990, source OMVS)
1982						16066				IRA (15)
1983						5810			17000	IRA (15) / Groupement Manantali, 1985 (Cité par IDA, 1990, source OMVS)
1984						0			16000	IRA (15) / Groupement Manantali, 1985 (Cité par IDA, 1990, source OMVS)
1985			24500			21040			45540	Sonader (1999) (1) / IRA (15)
1986			38700			76949			115649	Sonader (1999) (1) / IRA (15)
1987			24080							Sonader (1999) (1) (récoltées en mission, 1999)
1988			24088			32387			56475	Sonader (1999) (1) / Inspection Régionale de l'Agriculture de Saint-Louis (récoltées en mission, 1999) (14)
1989			22217			37507			59724	Sonader (1999) (1) / IRA (15)
1990			7365							Sonader (1999) (1) (récoltées en mission, 1999)
1991			14337			9090			23427	Sonader (1999) (1) / IRA (15)
1992			11612							Sonader (1999) (1) (récoltées en mission, 1999)
1993			15595			44200			59795	Sonader (1999) (1) / PDRG 1994
1994			24720			41264			65984	Sonader (1999) (1) / Inspection Régionale de l'Agriculture de Saint-Louis (récoltées en mission, 1999) (14)
1995			34405							Sonader (1999) (1) (récoltées en mission, 1999)
1996			15940	22789	8585	31374			47314	Sonader (1999) (1) / IRA (15)
1997							17015	20857	37872	Traitement d'images SPOT, OMVS-IRD, 1999 (11)
1998										
1999	9166	18691	27857	23450	35135	58585			86442	EMEA/DPSE, enquête auprès des ménages, céréales (16) / SAED juillet 2000 (17)

10015	12486	21878	23241	34412	48826	26614	31332	52040	Moyenne 1946-1999
5461	9482	19290	16120	19739	31726	17619	21626	46134	Moyenne 1972-1999
23675	21500	45175	26239	40589	66826	53600	60450	114050	Moyenne 1946-1971

(1) superficies cultivées en céréales en Walo

(2) Le walo du Gorgol est exclu des chiffres.

(3) La limite amont – aval est fixée à Mbagne en rive droite et à la déflue du Doué en rive gauche. Le périmètre de Dagana et le périmètre de Nianga sont exclus des chiffres

(4) Evaluation par excès, qui ne dépasse pas 10% (survol aérien)

(5) Superficies de Oualo en basse et moyenne vallée (RG: Statistiques annuelles/RD: estimations basées sur l'enquête MISOES)

(6) La limite entre les zones "aval" et "amont" passe approximativement par OREFONDE et DIORBIVOL sur la rive gauche, OUOLOUM NERE sur la rive droite

(7) Aval= DAGANA + PODOR; amont= MATAM

(8) Aval= DAGANA + PODOR; amont= MATAM + BAKEL (1000 ha)

(9) aval total= 1.4RG ; amont total= 2RG

(10) la zone amont comprend les 1500 ha du GORGOL

(11) Il n'est tenu compte que des cultures oualo et non falo

(12) Aval: de Fanaye à Mbagne ; Amont: de Mbagne à Kanel

(13) Aval: de Rosso à Kaedi ; Amont: de Kaedi à Bakel

(14) Superficies de sorgho, maïs, niébé, patates

(15) Aval= DAGANA + PODOR; amont= MATAM + BAKEL

(16) Données pour la région de Saint-Louis, le département de Bakel n'est pas pris en compte

(17) Le département de Guidimakha n'est pas pris en compte, Aval = TRARZA + BRAKNA, Amont = GORGOL

(18) Les départements de Dagana et Bakel ne sont pas pris en compte, Aval = PODOR, Amont = MATAM.

Figure n°15

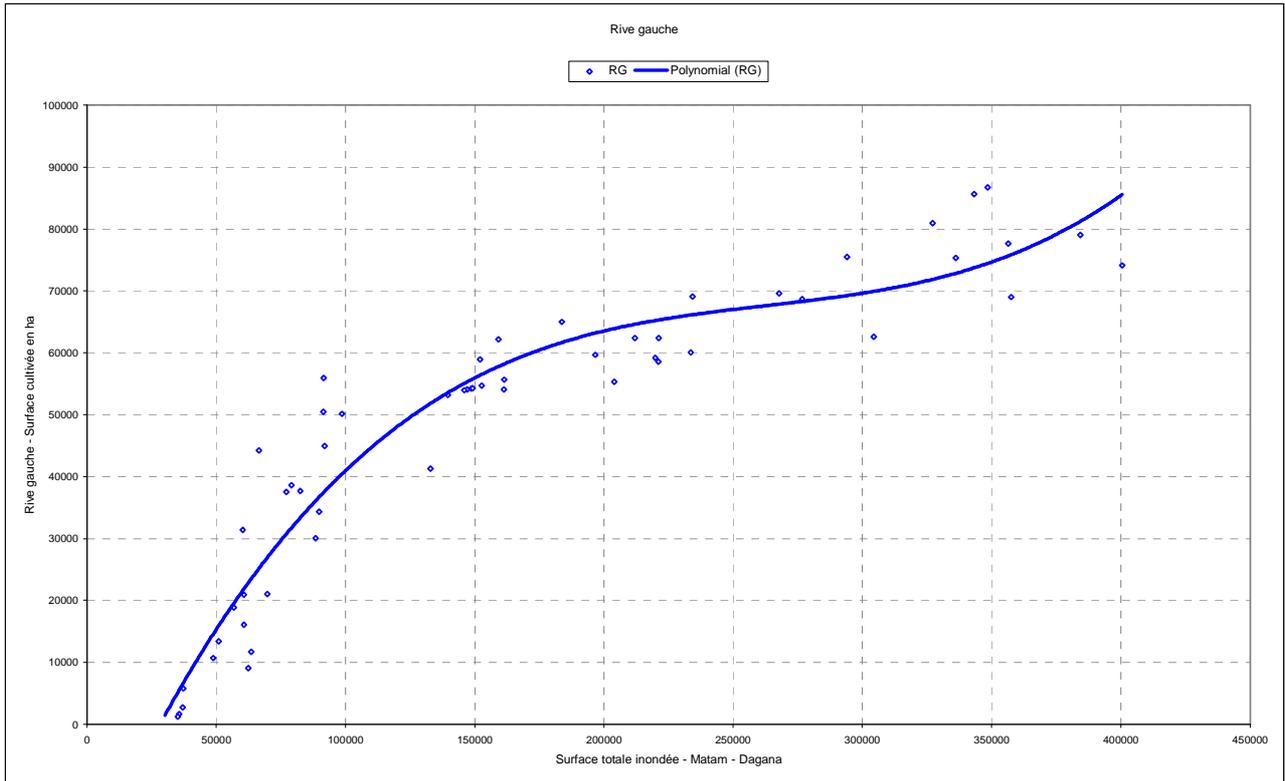


Figure n°16

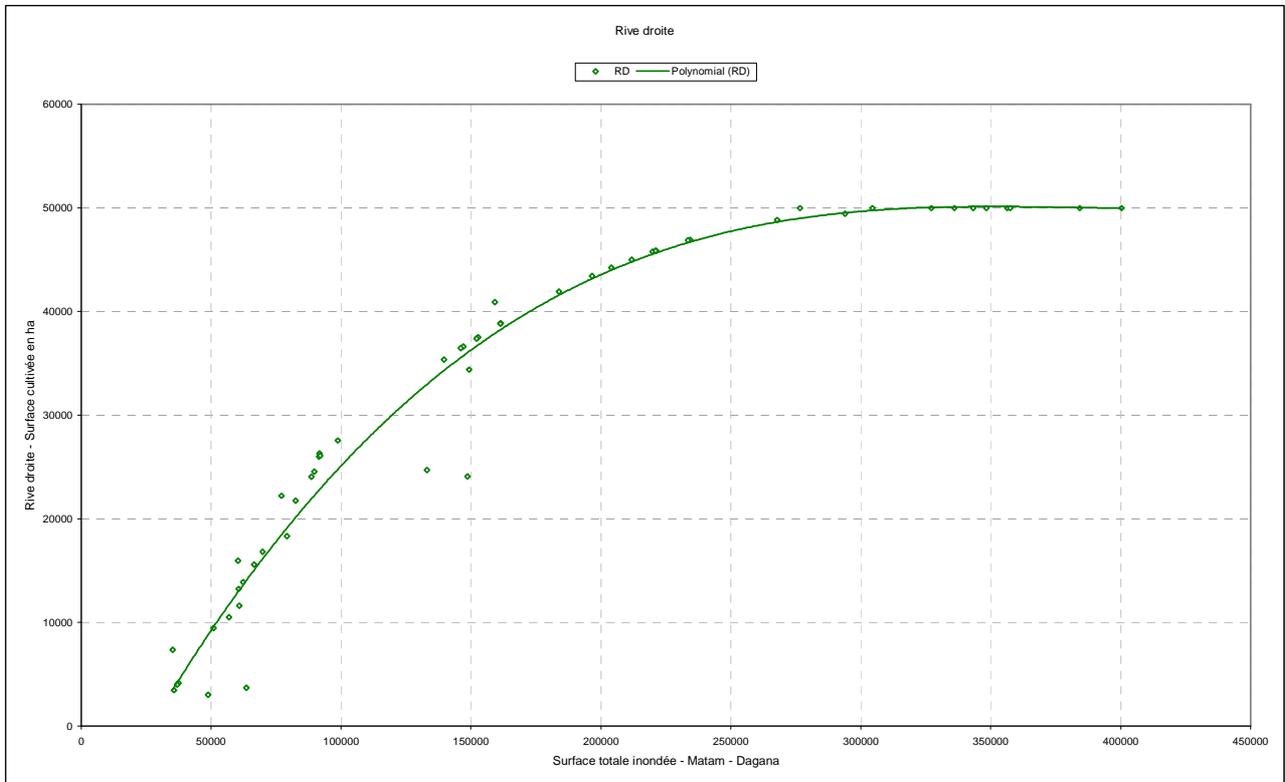
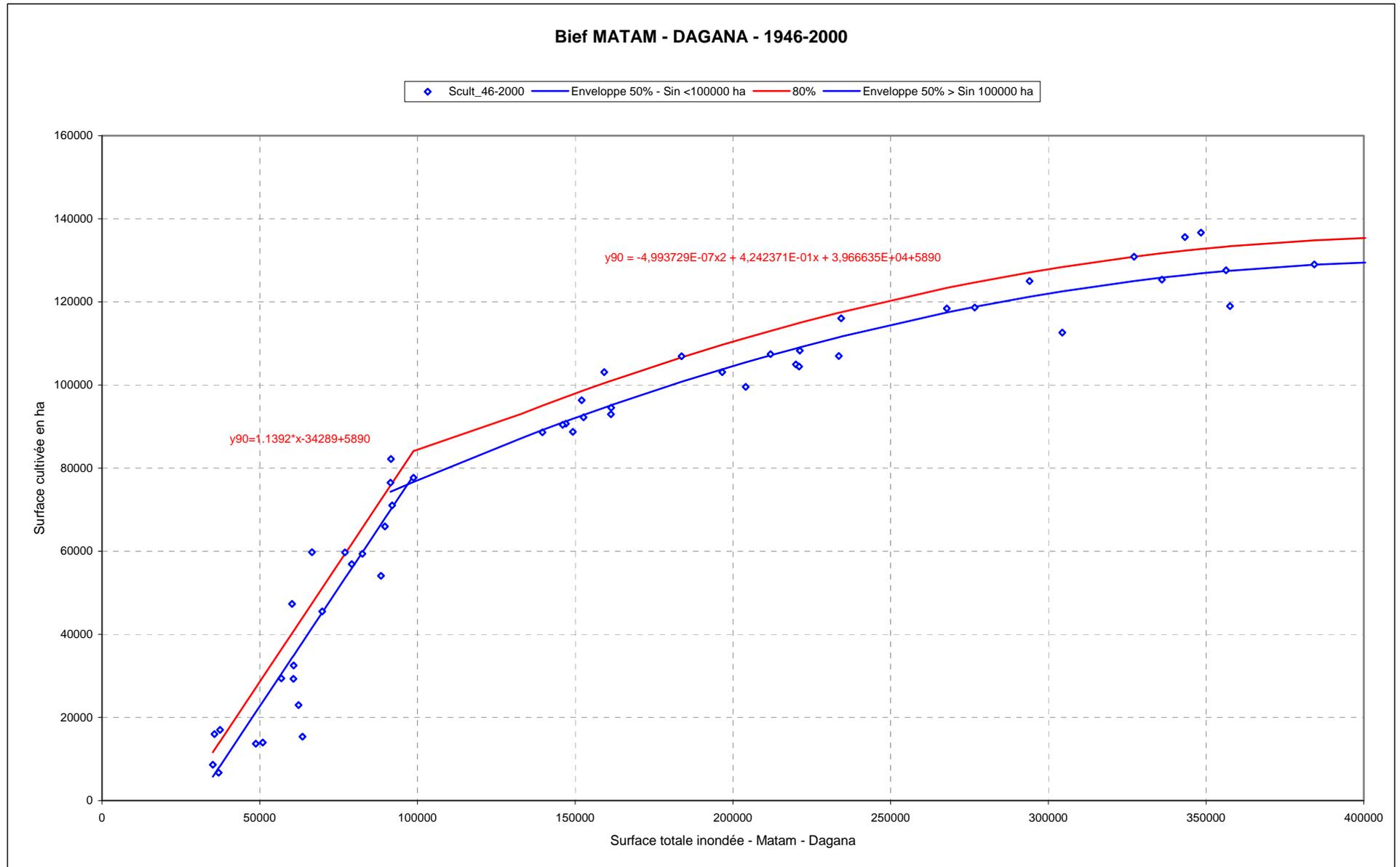


Tableau n°10

Année	Sinondé IRD	RG	RD	Total Cultures	Pot. Moy (50%)		Pot. 80%	
					Régression	Ecart	Régression	
1946	211911	62400	45038	107438	107142	-296	113032	
1947	183750	65000	41915	106915	100761	-6154	106651	
1948	161404	55678	38860	94538	95135	597	101025	
1949	147023	54059	36623	90682	91251	569	97141	
1950	400425	74100	50000	124100	129476	5376	135366	
1951	234320	69100	46942	116042	111654	-4388	117544	
1952	219929	59200	45778	104978	108814	3836	114704	
1953	161344	54100	38851	92951	95119	2168	101009	
1954	327167	80900	50000	130900	125009	-5891	130899	
1955	304414	62600	50000	112600	122532	9932	128422	
1956	348399	86700	50000	136700	126855	-9845	132745	
1957	294040	75500	49450	125000	121231	-3769	127121	
1958	356358	77630	50000	127630	127431	-199	133321	
1959	276638	68653	50000	118653	118808	154	124698	
1960	152657	54693	37525	92218	92797	579	98687	
1961	336042	75342	50000	125342	125835	493	131725	
1962	221213	62413	45890	108303	109076	773	114966	
1963	152030	58900	37426	96326	92627	-3699	98517	
1964	357597	69000	50000	119000	127515	8515	133405	
1965	384341	79000	50000	129000	128954	-46	134844	
1966	267837	69600	48830	118430	117467	-963	123357	
1967	343264	85600	50000	135600	126450	-9150	132340	
1968	91493	50500	25998	76498	69940	-6558	75830	
1969	204038	55300	44246	99546	105438	5891	111328	
1970	159210	62200	40900	103100	94556	-8544	100446	
1971	196616	59643	43443	103086	103775	689	109665	
1972	48781	10700	3000	13700	21283	7583	27173	
1973	91634	55900	26300	82200	70101	-12099	75991	
1974	233583	60109	46887	106996	111513	4517	117403	
1975	139620	53225	35389	88614	89171	556	95061	
1976	56868	18900	10500	29400	30495	1095	36385	
1977	63548	11700	3700	15400	38105	22705	43995	
1978	79147	38600	18300	56900	55875	-1025	61765	
1979	50977	13428	9453	14000	23784	9784	29674	
1980	88474	30035	24069	54104	66500	12396	72390	
1981	89726	34306	24557	66000	67926	1926	73816	
1982	60679	16066	13235	29301	34836	5536	40726	
1983	37383	5810	4154	17000	8298	-8702	14188	
1984	35640	1651	3475	16000	6313	-9687	12203	
1985	69809	21040	16794	45540	45238	-302	51128	
1986	82520	37650	21748	59398	59718	319	65608	
1987	37000	2695	4005	6700	7861	1162	13751	
1988	148700	54248	24088		91714	0	97604	
1989	77061	37507	22217	59724	53499	-6225	59389	
1990	35131	1260	7365	8625	5732	-2893	11622	
1991	62318	9090	13873	22963	36703	13740	42593	
1992	60725	20914	11612	32526	34889	2363	40779	
1993	66585	44200	15595	59795	41564	-18231	47454	
1994	132965	41264	24720		87200	0	93090	
1995	149290	54314	34405	88719	91877	3158	97767	
1996	60248	31374	15940	47314	34345	-12969	40235	
1997	92000	44930	26109	71039	70517	-521	76407	
1998	146000	53944	36456	90400	90967	567	96857	
1999	221000	58585	45872	104457	109032	4575	114922	
2000	98766	50125	27569	77694	78225	531	84115	
Ecart Type							6999	

Enveloppe 80%(F=0.8): variable réduite = 0.8415

Figure n°17



Les surfaces cultivées observées sont retenues car elles correspondent, normalement, à une optimisation de l'inondation, les agriculteurs étant très bien adaptés par tradition à ce genre de culture.

Afin d'établir des enveloppes potentielles de surfaces cultivables deux droites de régression représentent la valeur moyenne des surfaces cultivables en fonction de l'inondation.

La crue correspond à une surface inondée donnée qui submerge durant un temps nécessaire à une humectation optimale des sols. Cette optimisation doit sensiblement correspondre à 25 jours de submersion de la surface qui devient alors potentiellement cultivable, dans le sens de la possibilité correspondant au facteur eau.

Afin d'établir des enveloppes potentielles de surfaces cultivables deux droites de régression représentent la valeur moyenne des surfaces cultivables en fonction de l'inondation (cf. figure 17).

Ces droites correspondent aux possibilités des populations. Lorsque l'inondation est très importante, il semble que le « manque de bras », ou que les difficultés de déplacement dues à l'éloignement de certains territoires, réduisent le facteur de mise en culture. La borne de basculement se situe vers 100 000 ha d'inondation maximale. Avant cette borne, l'intensité culturelle progresse comme l'inondation, au-delà elle se réduit sensiblement.

Les écarts par rapport à la courbe moyenne sont la somme d'erreurs humaines, lors de l'évaluation des surfaces cultivées, et de variations provenant d'autres facteurs, tels que problèmes fonciers, forme de la crue, calendrier de cette dernière, etc.

Seule la première cause peut être retenue dans l'évaluation du potentiel cultivable. Les autres facteurs sont indépendants de la forme et de l'extension de la crue artificielle.

S'il n'existait pas d'autre facteur que l'erreur humaine, il serait possible de caler à 95% des droites enveloppes de la fonction  $S \text{ culture} = F(S \text{ inondation})$ . En considérant que ces erreurs sont aléatoires, la correspondance serait obtenue en ajoutant à la valeur moyenne une constante égale à l'écart type  $\times 1.645$  (valeur de la variable réduite pour une fréquence au non dépassement de 0.95).

L'écart type des écarts entre valeurs observées et valeurs calculées permet de tracer trois séries de deux droites correspondantes à des probabilités d'atteindre, à inondation égale, des potentiels cultivables qui vont en s'améliorant. La figure 17 montre les droites et courbes qui correspondent aux fréquences :

0.5 soit la moyenne (1 année sur 2)

0.8 soit 1 année sur 5 (80% des surfaces sont en dessous des droites)

Deux séries d'enveloppes ont été retenues, celles qui dépassent 50% et 80% des surfaces observées.

Le tableau 10 contient les séries de valeurs qui correspondent à >50%, >80% des surfaces cultivées.

#### 4.2. Répartition des cultures de décrues

La figure n°17bis montre la répartition des surfaces cultivées entre rive droite et rive gauche.

A partir d'une surface cultivable de 40 000 ha, la répartition des cultures entre rive droite et rive gauche semble stable à 34% et 66%.

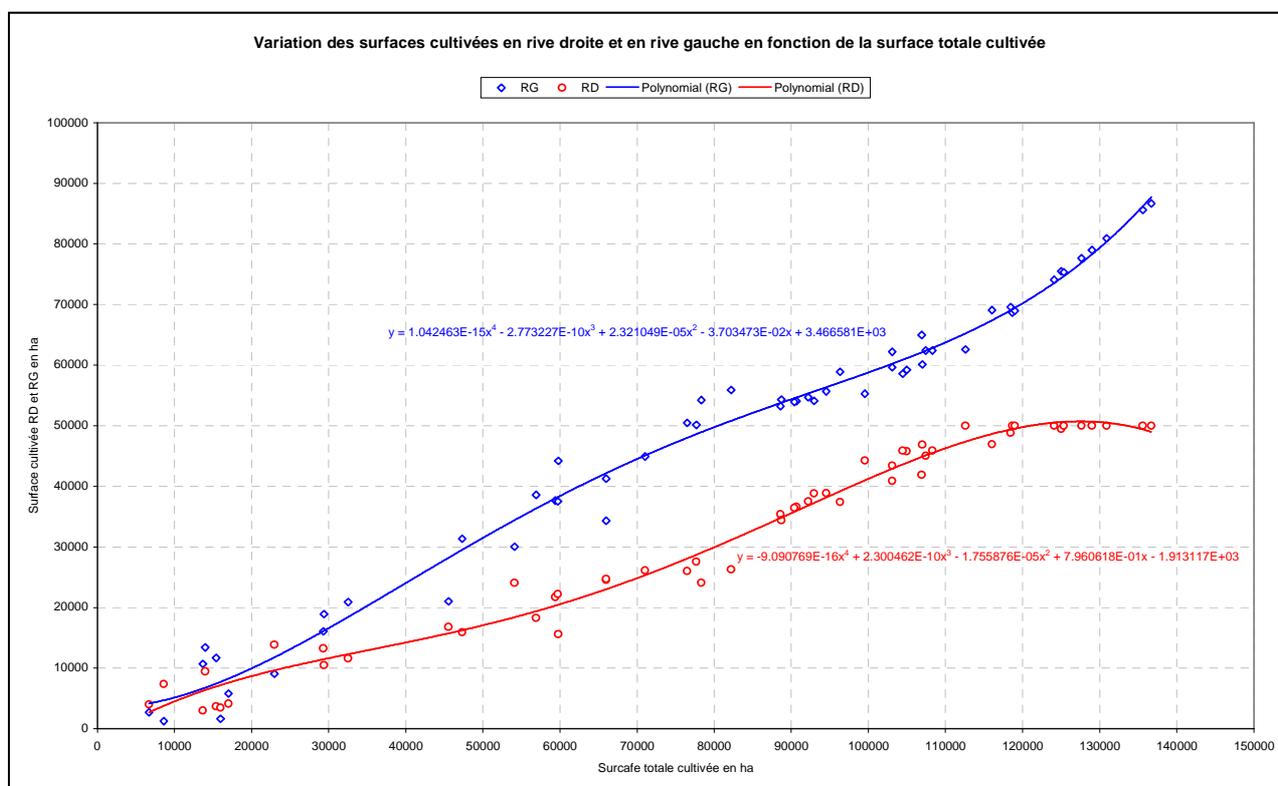
Les périmètres endigués de **BOGHE et KAEDI** ne sont jamais pris en compte en rive droite.

Tableau n°10bis : Répartition des Surfaces cultivées par rive

TOTAL cult.*	Part relative (%)			
	RG	RD		
Total (ha)	ha	ha	RG	RD
20000	9958	8680	53.4	46.6
25000	13121	10254	56.1	43.9
30000	16602	11641	58.8	41.2
35000	20277	12939	61.0	39.0
40000	24042	14231	62.8	37.2
45000	27805	15588	64.1	35.9
50000	31491	17067	64.9	35.1
55000	35041	18710	65.2	34.8
60000	38411	20547	65.1	34.9
65000	41573	22594	64.8	35.2
70000	44513	24852	64.2	35.8
75000	47237	27310	63.4	36.6

\* : Bief MATAM - DAGANA

Figure n°17bis



### 4.3. Limnigramme optimisé à BAKEL

La banque HYDRACCESS DU Sénégal a fourni les hauteurs moyennes journalières classées de 1946 à 2000. Séparées par année, les valeurs ont été triées en ordre décroissant puis les moyennes des hauteurs supérieure au N<sup>ème</sup> jour ont été calculées pour chacune des années.

Le tableau n°11 contient les valeurs issues de cette analyse.

Une étude de relation entre moyenne des hauteurs dépassées au jour N et la surface cultivée de l'année a été réalisée. Elle a été menée directement avec les surfaces cultivées, la relation entre surface inondée et surface cultivée n'a été utilisée que pour la reconstitution des lacunes qui existaient durant la période 1946 – 2000.

La figure 18(1 à 3) montre les relations ci-dessus pour N = 6 – 10 – 15 – 20 – 25 - 55 et 60 jours

Les relations pour N = 30 à 50 jours sont du même type.

Les équations des relations moyennes, du 3<sup>ème</sup> ordre, permettent de dresser un tableau de la hauteur moyenne dépassée pendant N jours pour obtenir une surface inondée allant de 25 000 ha à 100 000 ha. Le tableau n°12 ci-dessous correspond à l'analyse réalisée pour les droites moyennes (1 année sur deux) :

Tableau n°12

POTENTIEL SURFACE CULTIVABLE MOYENNE - 1946-2000												
Nj	6j	10j	15j	20j	25j	30j	35j	40j	45j	50j	55j	60j
25000	616	599	584	570	556	542	529	517	505	495	486	477
30000	648	629	613	597	581	565	551	538	525	514	503	493
35000	678	658	640	622	604	587	572	558	544	532	520	510
40000	706	684	665	646	627	608	592	577	563	549	537	526
45000	732	710	689	668	648	629	612	596	581	567	554	542
50000	757	734	712	690	669	649	631	615	600	585	572	559
55000	780	758	734	712	690	669	651	635	619	604	590	577
60000	804	781	757	733	711	690	671	655	639	623	609	596
65000	827	804	779	755	732	711	692	675	659	644	629	615
70000	850	828	802	778	754	733	715	697	681	666	651	636
75000	873	852	826	801	778	757	738	721	705	689	674	659
80000	898	878	851	826	803	782	763	746	730	714	699	684
85000	924	904	878	853	830	809	790	773	757	741	726	710
90000	951	933	907	882	859	838	820	803	787	771	755	740
95000	980	963	937	913	890	870	852	835	819	803	787	771
100000	1012	996	971	947	925	905	887	870	854	838	822	806

Le tableau n°12 conduit à la figure n°19 qui montre les variations de la cote à dépasser en moyenne durant N jours pour assurer une surface donnée.

# HAUTEURS MOYENNES JOURNALIERES CLASSEES A BAKEL – 1946 – 2000 – Tableau n°1

	jmax	1069	1074	984	1005	1270	1158	1132	1053	1231	1152	1203	1181	1288	1168	976	1251	1077	1009	1255	1250	1169	1189	888	1010	968	1070	619	833	1189	1013	694	705	786	618	862	
<b>6j moy</b>	1056	1066	967	993	1257	1144	1120	1038	1225	1127	1190	1174	1276	1159	931	1245	1062	988	1244	1242	1161	1183	858	1005	941	1056	585	809	1179	1002	674	678	759	610	824		
<b>10j</b>	1040	1055	959	980	1250	1123	1108	1017	1219	1116	1186	1165	1256	1142	901	1237	1056	960	1229	1227	1148	1177	834	995	924	1037	569	782	1160	980	659	659	742	596	797		
<b>15j</b>	1022	1037	950	951	1240	1076	1076	986	1213	1107	1183	1134	1225	1128	880	1219	1043	938	1216	1210	1131	1165	788	981	909	998	558	760	1117	934	636	646	724	580	761		
<b>20j</b>	1004	1012	935	922	1227	1039	1044	955	1195	1098	1179	1111	1126	1119	867	1194	1033	918	1203	1195	1110	1155	753	966	896	971	551	742	1077	894	621	634	705	566	732		
<b>25j</b>	981	984	914	890	1214	1010	1019	924	1167	1089	1170	1093	1162	1105	855	1166	1024	903	1190	1181	1090	1148	723	953	883	952	544	726	1038	868	610	624	687	553	709		
<b>30j</b>	964	960	894	864	1204	988	995	897	1140	1082	1147	1079	1135	1083	844	1138	1016	890	1176	1169	1070	1138	697	939	872	936	538	711	1003	847	601	614	673	541	691		
<b>35j</b>	950	941	878	844	1195	971	976	874	1119	1074	1121	1066	1114	1064	835	1113	1002	879	1154	1157	1049	1124	677	923	863	924	530	698	974	827	592	602	663	530	675		
<b>40j</b>	938	926	863	825	1180	954	957	854	1099	1068	1099	1055	1095	1046	827	1090	980	868	1127	1146	1028	1108	660	909	855	913	522	686	944	808	584	589	653	521	661		
<b>45j</b>	927	911	846	803	1166	939	939	836	1082	1062	1079	1046	1075	1021	818	1071	960	858	1096	1134	1007	1094	646	896	848	901	513	675	917	789	577	575	645	512	647		
<b>50j</b>	918	896	826	782	1151	927	920	817	1067	1056	1060	1036	1059	992	808	1054	940	849	1065	1115	987	1078	634	884	839	888	504	665	892	769	570	561	637	503	633		
<b>55j</b>	910	881	806	762	1135	914	899	801	1053	1050	1041	1026	1045	965	797	1038	920	840	1036	1093	970	1063	624	873	830	874	495	653	868	751	563	547	631	494	620		
<b>60j</b>	902	865	787	742	1118	902	879	786	1041	1043	1024	1017	1031	939	785	1019	901	830	1008	1074	952	1046	614	862	815	856	488	640	846	736	557	534	625	486	605		
	<b>1946</b>	<b>1947</b>	<b>1948</b>	<b>1949</b>	<b>1950</b>	<b>1951</b>	<b>1952</b>	<b>1953</b>	<b>1954</b>	<b>1955</b>	<b>1956</b>	<b>1957</b>	<b>1958</b>	<b>1959</b>	<b>1960</b>	<b>1961</b>	<b>1962</b>	<b>1963</b>	<b>1964</b>	<b>1965</b>	<b>1966</b>	<b>1967</b>	<b>1968</b>	<b>1969</b>	<b>1970</b>	<b>1971</b>	<b>1972</b>	<b>1973</b>	<b>1974</b>	<b>1975</b>	<b>1976</b>	<b>1977</b>	<b>1978</b>	<b>1979</b>	<b>1980</b>		
1	1069	1074	984	1005	1270	1158	1132	1053	1231	1152	1203	1181	1288	1168	976	1251	1077	1009	1255	1250	1169	1189	888	1010	968	1070	619	833	1189	1013	694	705	786	618	862		
2	1064	1071	968	1004	1266	1158	1127	1047	1228	1145	1193	1179	1284	1167	959	1250	1073	1003	1253	1248	1168	1188	879	1009	965	1067	611	825	1183	1006	683	694	774	617	845		
3	1056	1069	966	999	1262	1147	1121	1044	1227	1138	1190	1177	1283	1164	937	1248	1061	998	1250	1247	1163	1185	862	1009	950	1056	593	818	1180	1005	677	684	769	615	828		
4	1054	1067	965	990	1253	1140	1120	1033	1226	1128	1186	1172	1274	1160	929	1245	1057	982	1244	1240	1160	1180	860	1005	932	1049	582	814	1176	998	673	680	758	614	816		
5	1054	1058	964	979	1247	1136	1112	1031	1223	1102	1185	1171	1264	1148	912	1242	1054	978	1239	1240	1158	1180	832	1002	923	1047	555	781	1173	995	668	657	736	602	800		
6	1038	1058	956	979	1244	1123	1111	1022	1217	1100	1183	1166	1262	1147	875	1236	1052	958	1225	1227	1149	1178	826	994	907	1046	551	781	1170	994	652	650	729	594	792		
7	1034	1057	951	975	1240	1112	1108	1017	1216	1100	1182	1162	1245	1125	861	1234	1052	927	1221	1221	1143	1175	821	991	905	1034	551	756	1160	975	641	637	729	588	774		
8	1018	1040	950	970	1239	1096	1108	1002	1211	1099	1181	1160	1233	1123	859	1226	1051	922	1205	1207	1131	1174	819	982	901	1010	548	746	1147	950	638	630	721	575	773		
9	1012	1031	943	956	1238	1082	1088	964	1208	1098	1180	1146	1221	1108	857	1226	1044	915	1202	1206	1122	1169	779	981	897	1003	543	736	1119	943	635	627	708	568	740		
10	1003	1029	943	943	1237	1078	1055	956	1206	1096	1180	1137	1202	1107	849	1212	1036	908	1199	1190	1118	1157	774	968	889	985	543	730	1105	921	629	625	707	565	738		
11	1003	1021	941	920	1233	1039	1050	948	1205	1095	1179	1113	1190	1102	843	1208	1033	906	1198	1186	1109	1154	738	966	885	960	540	728	1068	887	610	624	699	562	705		
12	994	1018	937	911	1232	994	1023	921	1204	1090	1177	1086	1170	1102	843	1193	1018	903	1193	1185	1106	1141	703	962	880	919	535	716	1046	855	591	624	698	551	700		
13	987	995	936	900	1218	983	1017	920	1203	1089	1176	1068	1163	1101	836	1188	1016	896	1190	1178	1099	1138	697	959	880	919	535	715	1038	854	584	624	695	551	688		
14	977	988	934	879	1216	958	992	918	1196	1087	1176	1050	1148	1098	835	1168	1015	895	1185	1175	1089	1134	675	942	879	913	534	713	1010	821	584	623	674	543	675		
15	974	981	919	858	1204	942	979	915	1194	1084	1175	1048	1145	1097	833	1164	1014	876	1182	1159	1079	1130	666	927	873	899	533	705	992	797	583	612	673	542	674		
16	971	966	903	851	1196	938	962	915	1174	1072	1170	1047	1135	1097	833	1151	1009	869	1181	1157	1055	1129	664	927	862	894	532	700	991	780	580	610	669	536	662		
17	965	951	895	850	1194	935	959	871	1163	1071	1168	1045	1120	1096	826	1135	1004	862	1165	1153	1049	1126	661	927	861	892	531	696	955	775	579	600	655	527	654		
18	965	930	894	834	1189	929	946	860	1143	1070	1168	1044	1108	1096	826	1121	998	855	1162	1146	1049	1126	655	925	860	892	529	691	953	774	578	593	651	524	649		
19	931	921	874	829	1186	923	939	841	1125	1070	1164	1035	1105	1095	824	1100	998	853	1157	1144	1042	1124	635	923	854	888	527	686	946	771	577	592	635	519	641		
20	916	918	871	800	1177	920	935	818	1103	1066	1164	1034	1080	1088	819	1088	998	853	1154	1143	1040	1123	632	918	843	883	523	677	938	770	573	590	628	515	626		
21	901	916	848	773	1162	909	932	811	1089	1064	1163	1032	1052	1087	816	1068	996	850	1153	1137	1038	1122	614	911	841	883											

# HAUTEURS MOYENNES JOURNALIERES CLASSEES A BAKEL – 1946 – 2000 – Tableau n°1bis

768	693	490	430	722	779	514	958	820	444	769	712	779	915	975	847	843	1008	1091	899
728	679	482	427	692	750	502	944	796	436	737	706	753	909	956	780	804	971	1080	882
710	669	473	424	675	732	494	923	779	432	710	702	717	905	948	731	784	947	1056	864
697	653	460	420	658	704	484	891	758	428	688	695	691	893	938	699	761	921	1029	838
684	627	448	417	643	679	475	853	738	425	668	684	668	880	915	669	741	901	1006	803
671	608	438	414	632	658	465	820	715	420	651	649	633	861	892	644	721	883	983	768
662	593	431	412	624	639	457	793	695	415	634	605	600	838	872	621	698	854	964	737
654	579	425	409	617	624	450	763	676	409	616	572	573	819	854	598	678	825	946	709
647	565	420	407	608	608	442	731	659	404	598	545	550	802	834	574	659	798	930	686
640	552	416	404	598	593	435	704	641	399	582	522	530	787	815	553	640	770	916	664
635	539	413	402	587	577	428	680	623	394	568	504	514	772	797	535	622	742	900	644
628	526	409	399	577	561	422	657	607	390	556	487	499	755	775	519	605	715	884	627
618	513	404	396	567	547	416	636	592	386	546	472	487	740	756	506	589	691	869	611
<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
768	693	490	430	722	779	514	958	820	444	769	712	779	915	975	847	843	1008	1091	899
755	683	486	428	715	775	504	951	811	438	753	711	779	909	970	838	841	1000	1091	893
736	681	480	427	698	757	501	946	804	437	745	706	768	909	964	791	808	992	1085	892
719	677	480	427	679	752	500	943	783	437	742	703	750	909	945	787	782	956	1082	882
698	672	477	426	672	729	498	937	779	431	723	703	744	906	942	712	777	943	1068	866
694	668	476	426	665	710	495	927	776	430	691	702	699	905	941	706	772	925	1062	861
685	663	469	422	663	709	494	920	772	428	682	697	697	904	941	667	768	920	1044	849
684	659	466	421	649	708	489	895	769	426	670	697	652	904	939	659	759	915	1023	838
683	650	459	419	648	703	478	884	748	424	663	695	650	899	934	657	748	911	1019	837
680	647	450	415	639	699	470	873	731	423	660	691	650	891	934	650	744	898	991	819
678	645	448	414	633	679	470	852	727	423	657	686	647	879	930	647	744	896	991	808
676	639	443	414	631	666	467	849	723	422	648	686	646	875	928	640	728	884	982	800
673	630	435	414	630	638	465	823	719	421	646	683	646	872	917	635	703	867	980	787
671	605	426	413	615	633	455	818	714	420	644	682	632	861	907	632	700	852	974	783
659	581	422	411	613	623	455	790	700	420	633	672	631	856	904	617	692	851	957	762
655	561	416	411	601	623	454	770	689	418	624	661	620	855	895	599	692	848	946	735
655	560	415	410	601	605	450	764	686	418	606	657	612	853	857	594	689	846	942	705
650	546	407	409	599	604	448	748	684	418	605	655	589	840	834	587	682	845	939	703
632	539	406	408	597	599	444	712	667	415	600	650	586	837	824	567	679	838	927	680
625	536	405	406	593	597	441	709	651	410	599	634	578	832	818	558	671	830	920	654
625	535	401	404	593	586	431	700	644	405	596	622	576	817	817	555	659	828	899	648
623	534	399	403	590	570	430	690	625	400	595	546	522	789	804	553	653	825	899	636
623	533	399	402	589	567	430	687	619	400	585	474	470	784	799	547	648	815	891	633
622	529	398	402	586	567	426	683	616	399	581	472	465	774	796	545	626	794	885	626
621	524	398	402	585	563	426	682	616	396	572	418	449	756	795	520	606	779	882	615
619	523	397	399	585	559	422	668	601	396	561	393	448	741	780	519	601	744	881	614
616	522	395	399	583	556	419	664	597	395	557	389	439	729	766	512	587	720	878	607
615	519	395	398	583	550	413	656	595	394	545	386	434	726	765	506	579	714	876	573
615	517	394	398	581	540	412	643	592	390	539	379	432	717	764	501	578	688	859	558
613	517	394	397	579	540	411	637	589	380	522	379	421	713	764	480	573	678	856	554
611	512	393	396	578	538	411	624	572	380	518	379	414	710	761	479	565	670	851	547
608	504	393	393	576	535	408	598	570	379	511	375	412	710	758	477	561	663	840	542
608	490	392	393	572	533	407	585	565	377	505	374	409	705	752	456	560	649	835	541
602	488	391	393	572	521	403	574	558	367	504	370	400	697	750	454	555	646	834	538
600	484	389	393	567	514	402	553	552	366	496	365	396	696	723	429	554	640	828	535
598	476	389	391	563	512	400	535	547	365	483	364	394	695	712	423	546	620	824	533
597	472	388	390	558	502	397	519	545	365	481	363	393	690	700	418	539	612	822	528
595	466	386	390	556	498	385	515	537	364	478	359	393	681	691	412	521	611	821	527
592	459	386	389	552	489	382	490	533	364	478	353	392	679	682	401	519	602	818	517
591	457	386	389	530	488	378	489	529	363	466	350	390	679	676	395	515	585	814	509
591	453	385	388	524	483	377	488	524	361	461	347	375	669	672	392	509	576	811	501
590	451	385	388	522	478	377	488	521	360	455	344	375	665	670	383	502	554	811	500
589	448	384	387	517	471	375	488	503	359	452	344	374	665	668	381	490	533	811	499
588	448	382	384	511	466	374	484	480	357	451	343	372	663	665	379	476	532	794	491
587	445	380	384	496	453	372	480	474	357	448	340	369	660	656	378	475	526	782	472
587	439	380	382	496	449	371	479	471	353	447	338	369	657	655	374	469	524	776	470
586	433	380	382	489	442	371	473	463	352	445	337	368	655	637	370	456	495	761	466
584	425	378	380	489	432	369	472	463	352	442	331	366	652	629	370	450	484	755	464
584	415	378	379	488	425	367	455	457	351	442	330	361	616	624	370	446	483	749	461
583	407	377	376	477	418	367	444	456	351	440	329	359	599	600	367	445	471	739	459
582	407	376	375	477	415	366	443	448	350	440	325	358	590	594	366	441	458	738	453
574	398	374	371	476	408	361	435	446	348	439	323	358	587	560	365	437	457	737	452
560	397	374	371	474	407	359	426	445	347	438	322	358	585	556	365	433	453	724	450
550	387	371	370	469	405	358	417	445	346	437	319	352	584	556	364	428	450	723	448
538	373	370	370	468	403	355	416	444	346	436	316	351	583	553	363	426	437	720	447
524	373	364	370	464	401	352	411	443	343	434	315	350	582	552	362	420	428	715	442
517	373	349	368	461	390	350	409	429	343	432	314	350	581	551	362	416	426	709	441
511	371	345	367	458	390	347	407	426	342	430	309	347	578	544	361	414	419	705	439
494	370	344	359	454	389	344	407	424	341	427	308	347	574	541	360	414	417	703	437
483	369	342	358	448	384	338	404	422	340	418	306	34							

Figure n°18-1

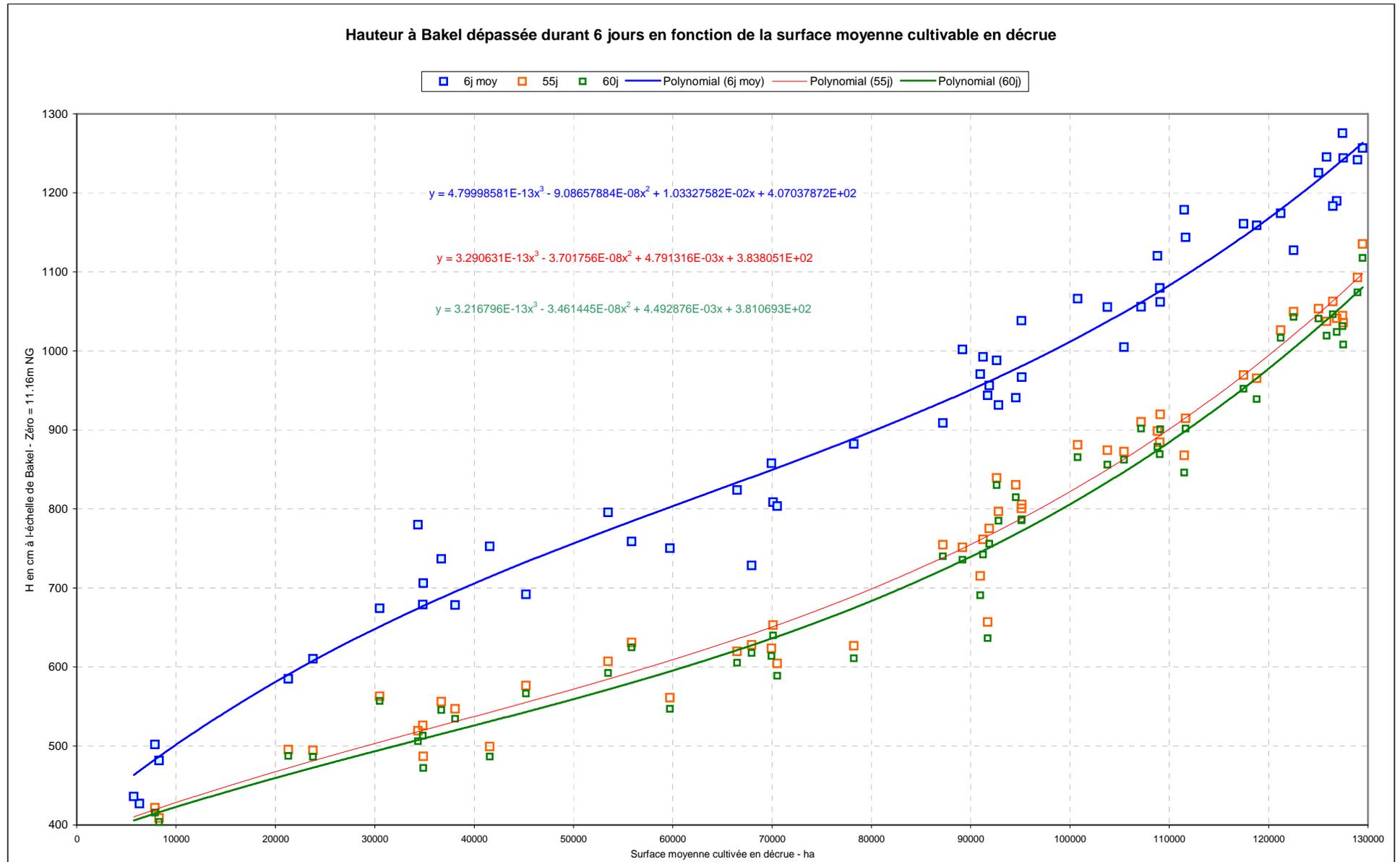


Figure n°18-2

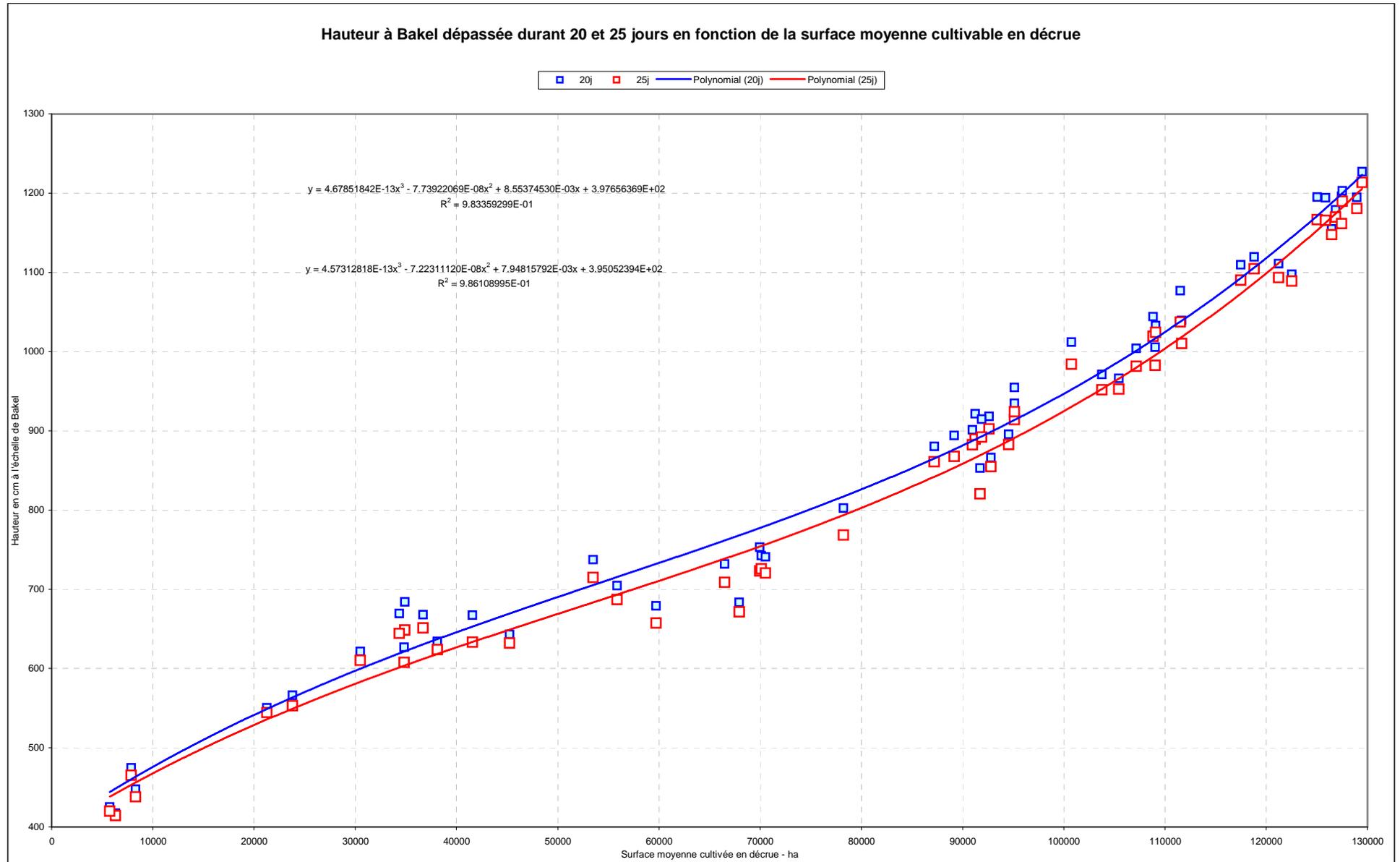


Figure 18-3

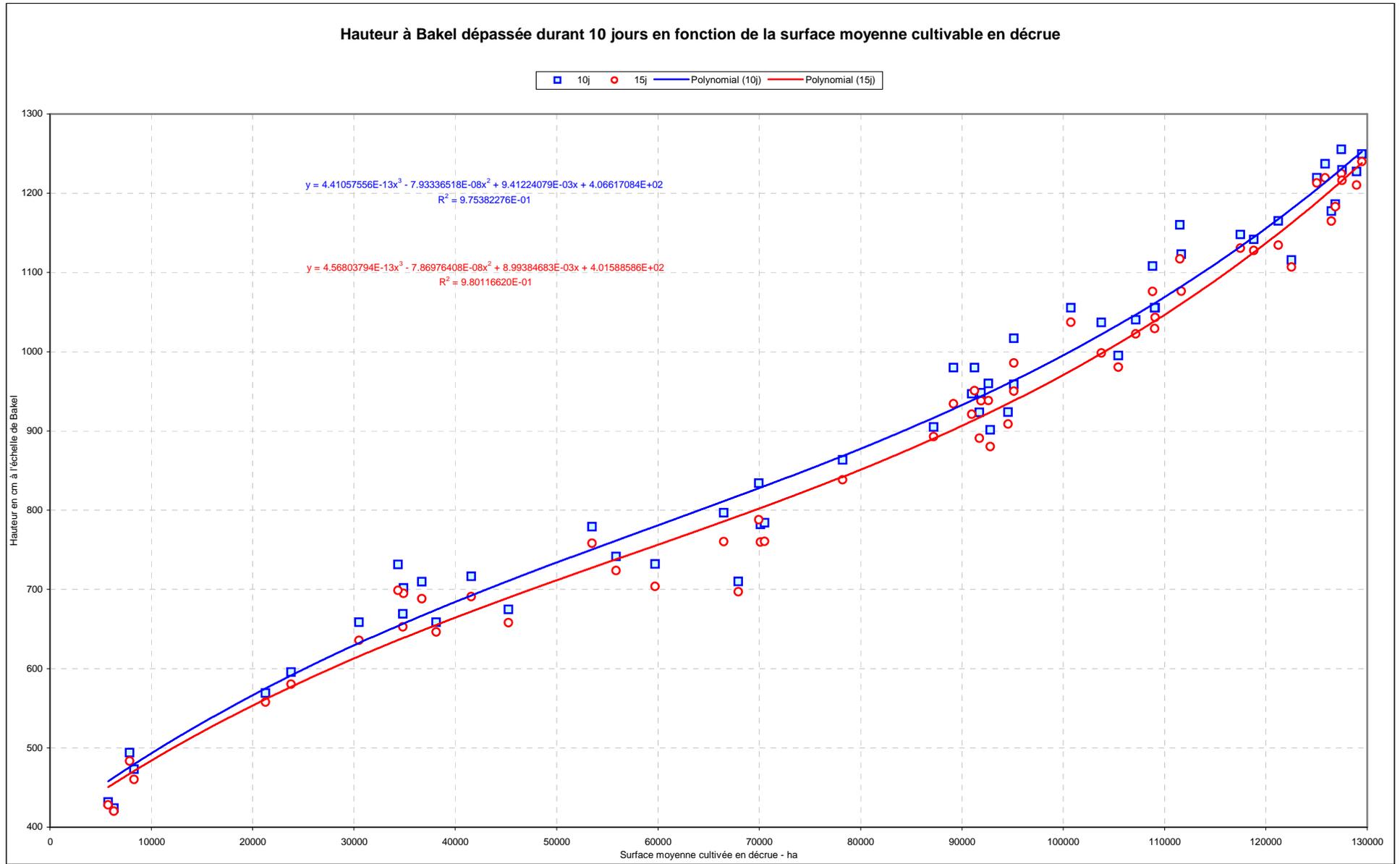
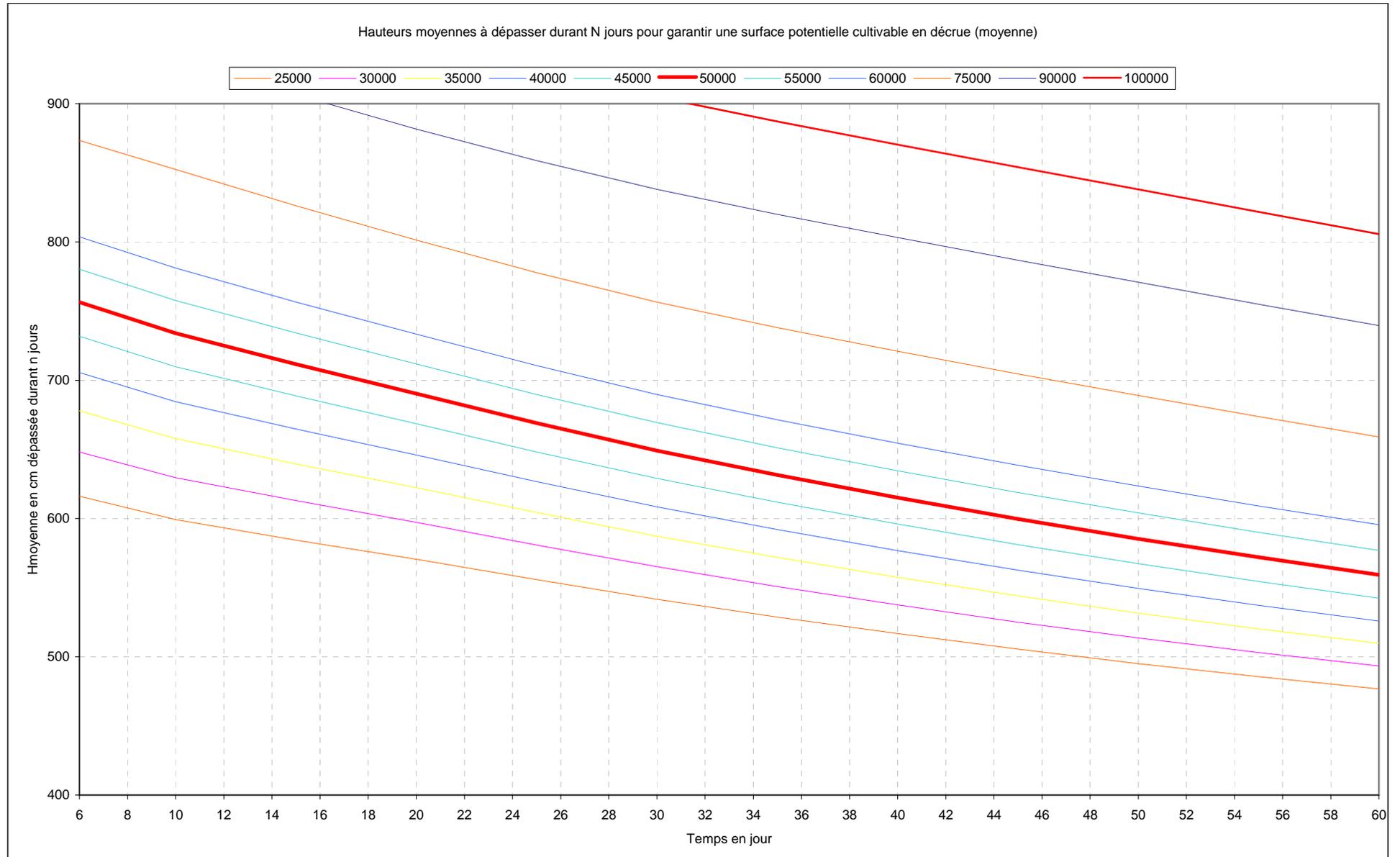


Figure n°19



#### 4.4. Optimisation finale du limnigramme

Compte tenu des analyses ci-dessus, et du fait que l'objectif reste l'économie de l'eau avec une réduction optimale des effets négatifs, il convient d'assurer une montée la plus rapide possible afin d'atteindre la hauteur correspondant aux 6 jours max, puis d'assurer le nombre de jours supérieurs à la cote correspondante du tableau 12.

Sur le plan du calendrier de crue qui semble donner les meilleurs résultats, le début du maximum fixé au 28 août est optimal, c'est le jour où l'on dispose des meilleures chances pour obtenir un débit maximum des affluents non contrôlés. En outre la date la plus avancée possible améliorera les rendements des cultures, du fait que la saison froide interviendra plus tard et aura un effet de ralentissement de la maturation moins important.

Trois cas ont été traités avec pour chacun une garantie de submersion de 25 ou 30 jours des potentiels objectifs de surfaces cultivables en décrue.

Des modifications ont été apportées à la fin de la décrue, lorsque la submersion a été assurée. Une accélération de la décrue qui arrive à la cote 30 (débit nul) le 17 octobre dans le cas IRD1, est ramenée au 12 octobre.

Le tracé est fait en utilisant la relation qui lie la moyenne à assure le jour J en fonction de la moyenne à assure le jour j-1 :

$$H_j = N * M_j - (N-1) * M_{j-1}$$

$M_j$  = hauteur moyenne dépassée durant N jours.

Les hauteurs moyennes sont connues (tableau 12), entre les valeurs remarquables (6-10-15-...-60), la variation est linéaire.

##### 4.4.1 Limnigramme garantissant un potentiel de 50 000 ha durant 25 et 30 jours

Deux cas sont donc envisagés, l'objectif correspondant à la moyenne des points observés ou reconstitués, et l'objectif qui correspond à l'enveloppe de 80% de ces mêmes points. Ce dernier cas semble davantage correspondre à la réalité d'une optimisation du potentiel cultivable dans les conditions calendaires les plus avantageuses (position optimale du sommet de la crue et décrue optimisée).

###### **1<sup>er</sup> cas : Moyenne des observations des surfaces cultivées**

Le tableau de la page suivante (tableau n°13) conti ent le détail de l'analyse.

Colonnes :

- 1 : n° des jours à partir du début de la crue artificielle
- 2 : date
- 3 : niveau avec garantie de culture 50 000 ha – submersion 30 jours
- 4 : idem avec submersion 25 jours
- 8 et 9 : niveaux classés et date pour submersion 30 jours
- 11 : moyenne des hauteurs avant le jour n dans le même cas
- 11 : moyenne des niveaux provenant du tableau 12 avec interpolations linéaires
- 12 à 14 : limnigramme IRD1 et CPE2000.

La figure 20 montre l'évolution des potentiels cultivables garantis, ici pour 50 000 ha en fonction du nombre de jours (de 1 à 60 jours).

La figure 21 représente les différents limnigrammes :

- Optimisé garanti de submersion 30 jours et 25 jours
- IRD1 et CPE2000

Potentiel cultivable : 50 000 ha – Moyenne des observations

Tableau n°13

1	2	3	4	8	9	11	12	13	14
		50000ha		Calcul gar. 25j_50000 ha					
N	date	gar30j	gar25j	date	opt.	Potentiel moy.	N	IRD1	CPE2000
1	22-août	30	30	28-août	757	757	1	30	30
2	23-août	203	173	29-août	757	757	2	149	162
3	24-août	376	315	30-août	757	757	3	268	294
4	25-août	550	458	31-août	757	757	4	386	425
5	26-août	601	601	01-sept	757	757	5	505	557
6	27-août	667	667	02-sept	757	757	6	624	689
7	28-août	757	757	03-sept	717	751	7	743	821
8	29-août	757	757	04-sept	706	745	8	743	821
9	30-août	757	757	05-sept	695	740	9	743	821
10	31-août	757	757	06-sept	683	734	10	743	821
11	01-sept	757	757	07-sept	685	730	11	743	821
12	02-sept	757	757	08-sept	676	725	12	743	821
13	03-sept	717	717	27-août	667	721	13	727	803
14	04-sept	706	706	09-sept	658	716	14	711	786
15	05-sept	695	695	10-sept	649	712	15	695	768
16	06-sept	683	683	11-sept	644	707	16	680	751
17	07-sept	685	685	12-sept	635	703	17	664	733
18	08-sept	676	676	13-sept	626	699	18	648	716
19	09-sept	658	658	14-sept	618	695	19	632	698
20	10-sept	649	649	15-sept	609	690	20	616	680
21	11-sept	644	644	26-août	601	686	21	600	663
22	12-sept	635	635	16-sept	592	682	22	585	645
23	13-sept	626	626	17-sept	584	678	23	569	628
24	14-sept	618	618	18-sept	575	673	24	553	610
25	15-sept	609	609	19-sept	567	669	25	537	592
26	16-sept	592	592	20-sept	565	665	26	521	575
27	17-sept	584	584	21-sept	558	661	27	505	557
28	18-sept	575	575	25-août	550	657	28	489	540
29	19-sept	567	567	22-sept	542	653	29	474	522
30	20-sept	565	543	23-sept	534	649	30	458	505
31	21-sept	558	520	24-sept	539	646	31	442	487
32	22-sept	542	497	25-sept	532	642	32	426	469
33	23-sept	534	473	26-sept	525	638	33	410	452
34	24-sept	507	450	27-sept	518	635	34	394	434
35	25-sept	481	427	28-sept	511	631	35	379	417
36	26-sept	454	403	24-août	514	628	36	363	399
37	27-sept	428	380	29-sept	508	625	37	347	382
38	28-sept	401	357	30-sept	501	622	38	331	364
39	29-sept	375	333	01-oct	495	618	39	315	346
40	30-sept	348	310	02-oct	488	615	40	299	329
41	01-oct	322	287	03-oct	489	612	41	284	311
42	02-oct	295	263	04-oct	483	609	42	268	294
43	03-oct	269	240	05-oct	477	606	43	252	276
44	04-oct	242	217	23-août	471	603	44	236	259
45	05-oct	216	193	06-oct	465	600	45	220	241
46	06-oct	189	170	07-oct	467	597	46	204	223
47	07-oct	163	147	08-oct	461	594	47	188	206
48	08-oct	136	123	09-oct	456	591	48	173	188
49	09-oct	110	100	10-oct	450	588	49	157	171
50	10-oct	83	77	11-oct	444	585	50	141	153
51	11-oct	57	53	22-août	449	583	51	125	135
52	12-oct	30	30	12-oct	443	580	52	109	118
53	13-oct	30	30	13-oct	438	577	53	93	100
54	14-oct	30	30	14-oct	433	575	54	78	83
55	15-oct	30	30	15-oct	427	572	55	62	65
56	16-oct	30	30	16-oct	431	569	56	46	48
57	17-oct	30	30	17-oct	426	567	57	30	30
58	18-oct	30	30	18-oct	421	564	58	30	30
59	19-oct	30	30	19-oct	416	562	59	30	30
60	20-oct	30	30	20-oct	411	559	60	30	30

Figure n°20

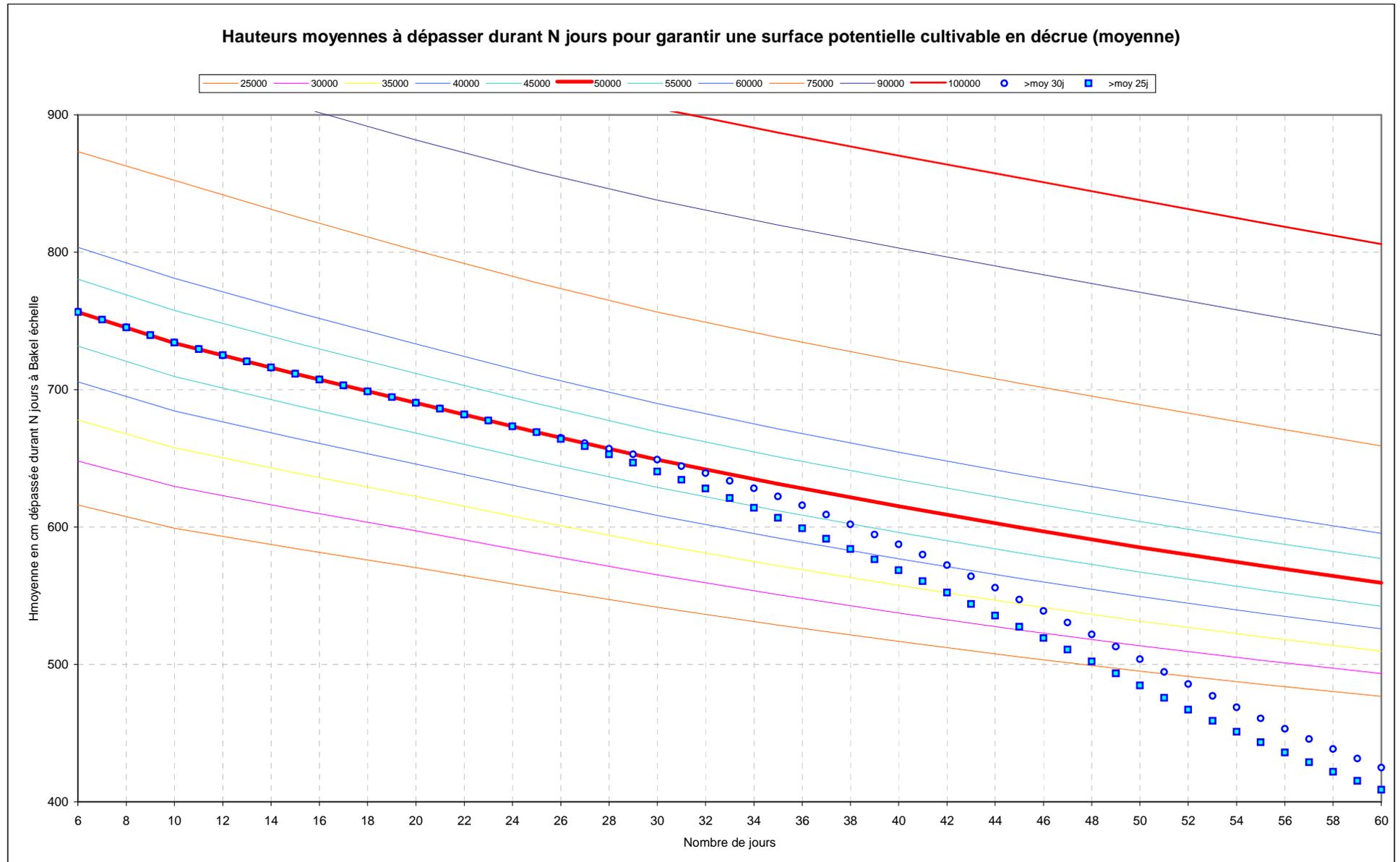
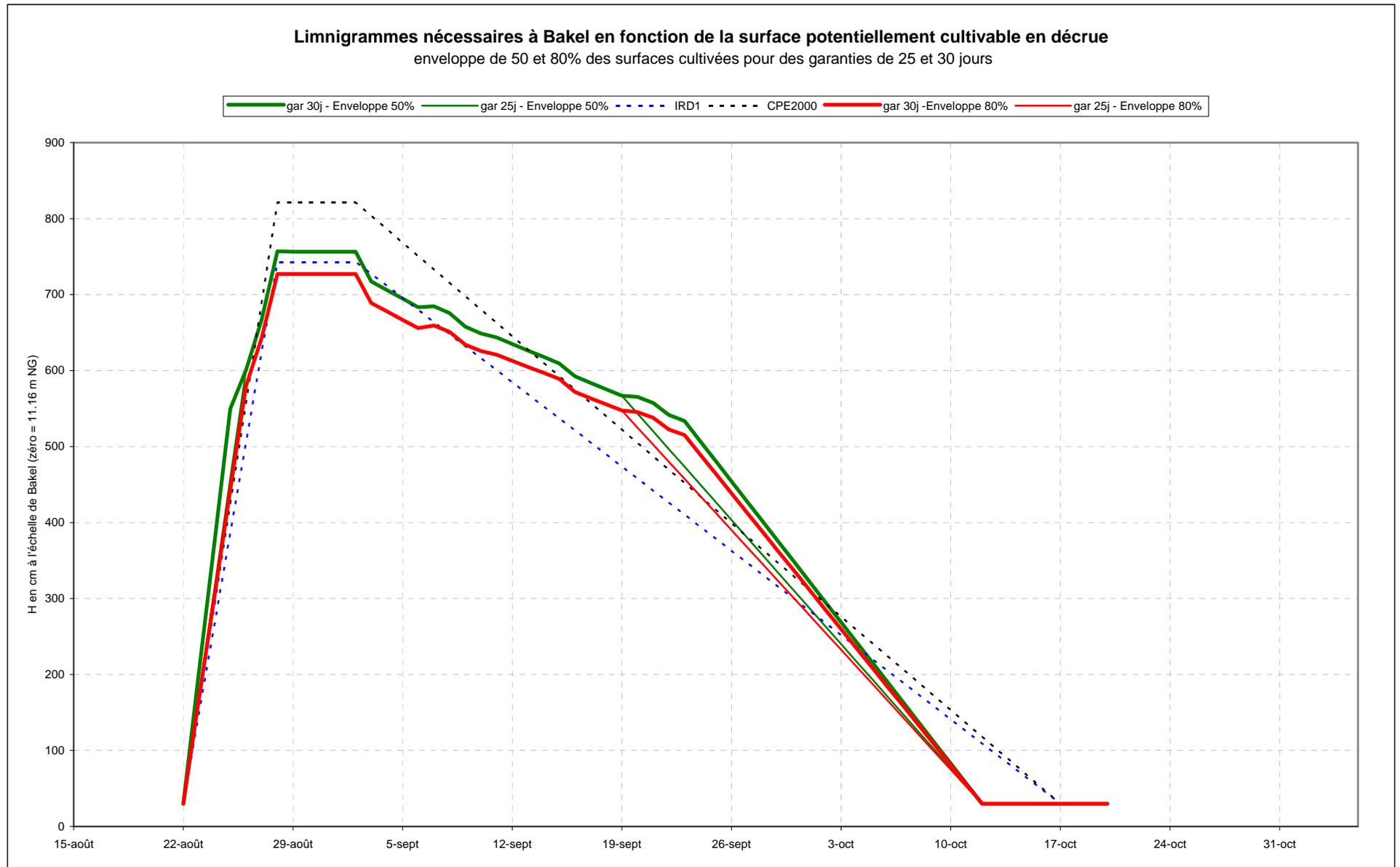


Figure n°21



## 2ème cas : Enveloppe de 80% des surfaces cultivées observées

La même analyse que dans le cas précédent a été effectuée en considérant les deux courbes situées au-dessus de 80% des observations de surfaces cultivées.

Le tableau 14 ci-dessous contient les hauteurs moyennes, en cm à l'échelle de Bakel, qui garantissent une surface potentielle en fonction du nombre de jours où cette moyenne est dépassée.

Tableau n°4

POTENTIEL SURFACE CULTIVABLE (80% des obs. 1946-2000)												
Nj	6j	10j	15j	20j	25j	30j	35j	40j	45j	50j	55j	60j
25000	575	561	548	536	524	512	501	491	481	472	464	457
30000	610	594	579	565	551	537	525	513	502	492	482	474
35000	643	624	608	593	576	561	547	534	522	510	500	490
40000	673	653	635	618	600	583	568	554	541	528	517	507
45000	701	680	660	642	623	605	588	573	559	546	534	523
50000	727	705	684	665	644	625	608	593	578	564	551	540
55000	752	730	708	686	665	646	628	612	596	582	569	556
60000	776	754	730	708	686	666	648	631	615	601	587	574
65000	799	777	753	729	707	686	668	651	635	620	606	592
70000	822	800	775	751	728	707	689	672	656	640	626	612
75000	846	824	798	774	750	729	711	693	677	662	647	632
80000	869	848	822	797	774	752	734	717	700	685	670	655
85000	893	873	847	822	798	777	759	742	725	709	694	679
90000	919	899	873	848	825	804	785	768	752	736	721	705
95000	946	927	901	876	853	833	815	798	781	765	750	734
100000	975	957	932	907	884	864	846	829	813	797	781	765

Le sommet du « limnigramme trapézoïdal » n'atteint plus que 727 cm à l'échelle pour 757 cm lorsque l'on utilise les droites représentant la moyenne des observations.

Le tableau n°15 est l'équivalent du tableau 13 pour les conditions précédentes.

Les figures n°22 et 23 représentent les variations des hauteurs moyennes supérieures à des cotes données, et les limnigrammes optimisés.

Potentiel cultivable 50 000 ha – Enveloppe 80% des Observations de surfaces cultivées

Tableau n°15

<b>50 000 ha</b>			
	date	Gar. 30j	Gar. 25j
1	22-août	30	30
2	23-août	167	167
3	24-août	305	305
4	25-août	442	442
5	26-août	580	580
6	27-août	643	643
7	28-août	727	727
8	29-août	727	727
9	30-août	727	727
10	31-août	727	727
11	01-sept	727	727
12	02-sept	727	727
13	03-sept	689	689
14	04-sept	678	678
15	05-sept	667	667
16	06-sept	656	656
17	07-sept	659	659
18	08-sept	651	651
19	09-sept	634	634
20	10-sept	626	626
21	11-sept	621	621
22	12-sept	613	613
23	13-sept	605	605
24	14-sept	597	597
25	15-sept	589	589
26	16-sept	572	572
27	17-sept	564	564
28	18-sept	556	556
29	19-sept	547	547
30	20-sept	545	525
31	21-sept	538	502
32	22-sept	523	480
33	23-sept	515	457
34	24-sept	490	435
35	25-sept	464	412
36	26-sept	438	390
37	27-sept	413	367
38	28-sept	387	345
39	29-sept	362	322
40	30-sept	336	300
41	01-oct	311	277
42	02-oct	285	255
43	03-oct	260	232
44	04-oct	234	210
45	05-oct	209	187
46	06-oct	183	165
47	07-oct	158	142
48	08-oct	132	120
49	09-oct	107	97
50	10-oct	81	75
51	11-oct	56	52
52	12-oct	30	30
53	13-oct	30	30
54	14-oct	30	30
55	15-oct	30	30
56	16-oct	30	30
57	17-oct	30	30
58	18-oct	30	30
59	19-oct	30	30
60	20-oct	30	30

Figure n°22

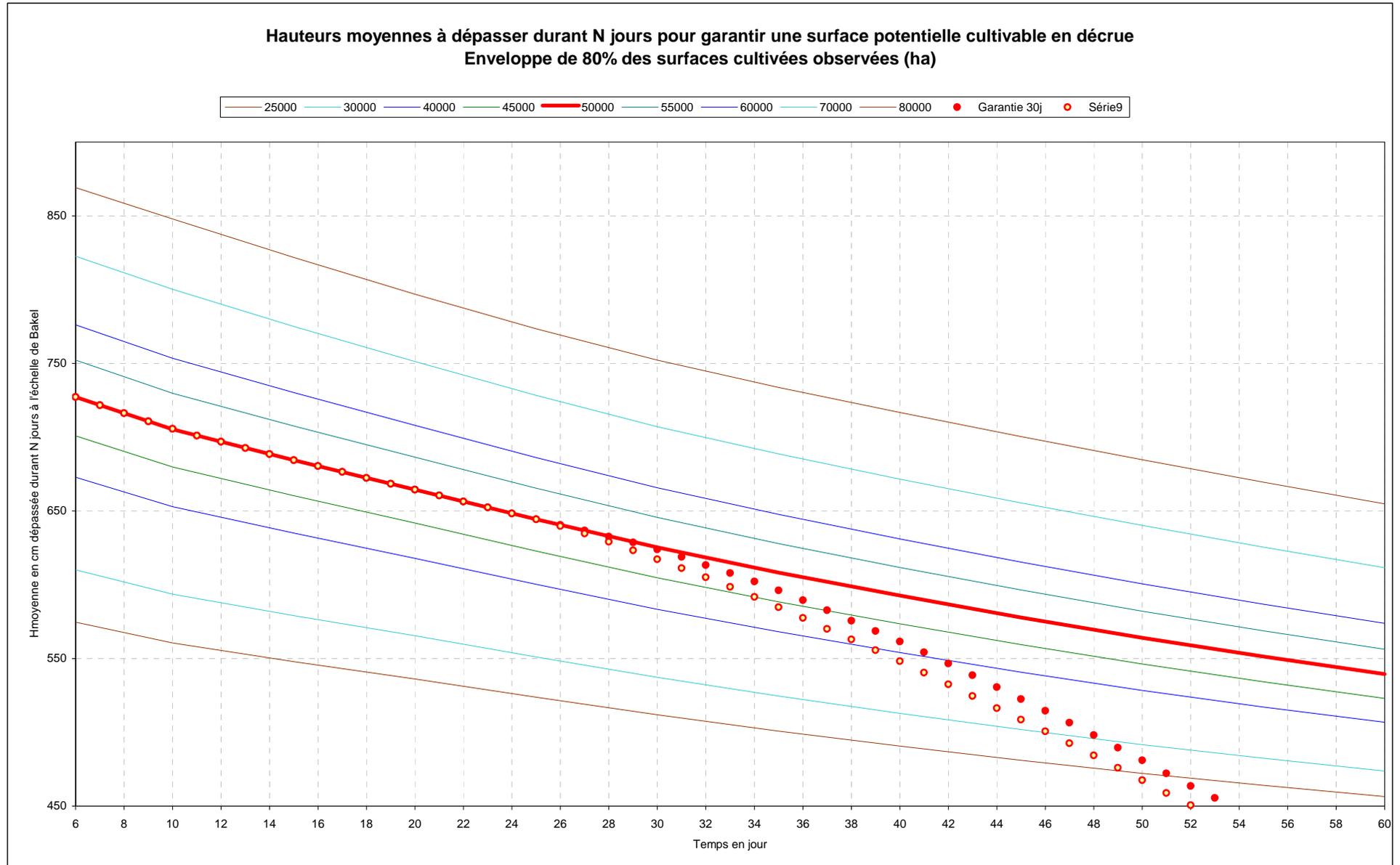
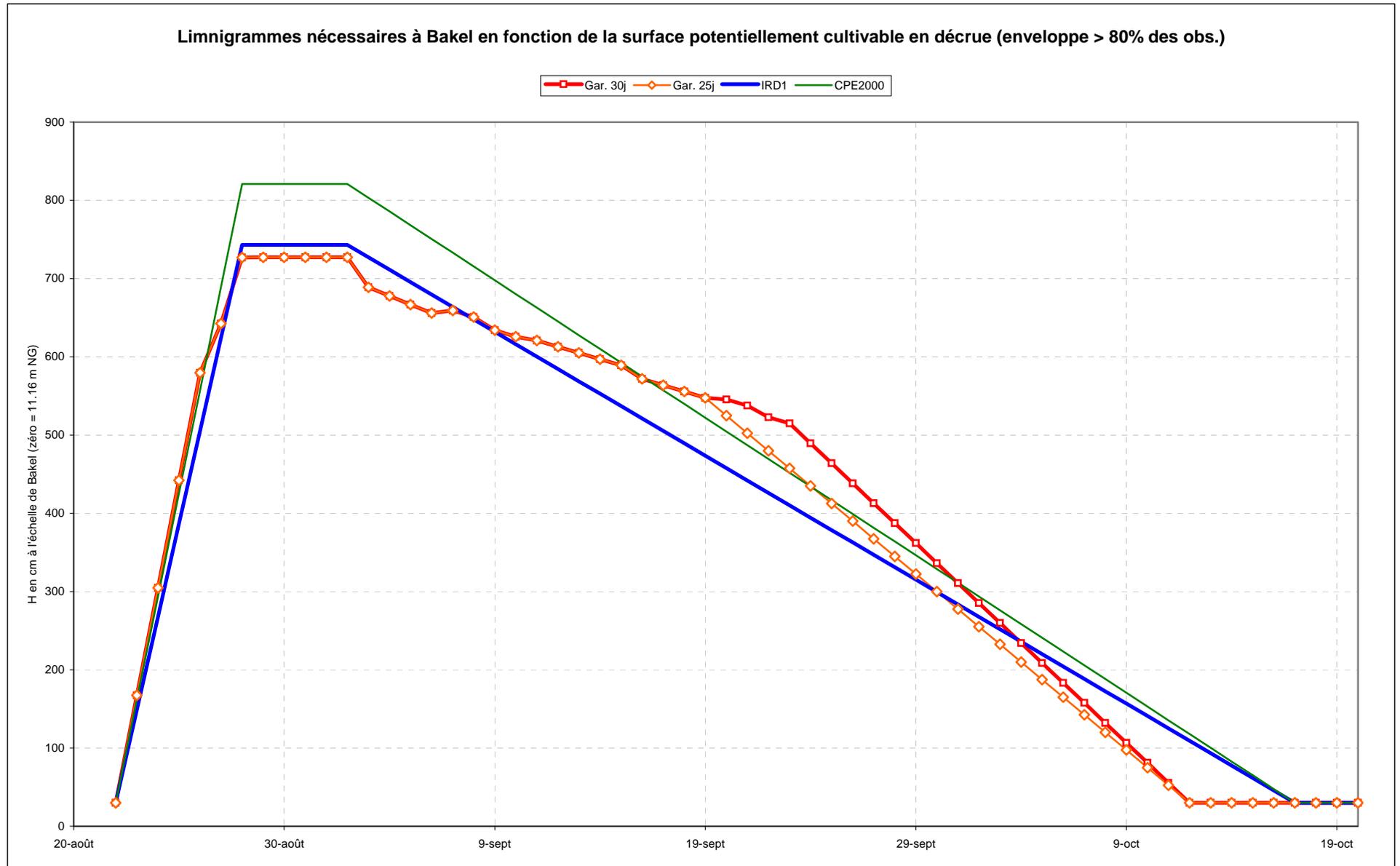


Figure n°23



#### 4.5. Hydrogrammes optimisés pour 50 000 ha garantis 30 jours

La traduction des hauteurs en débit a été réalisée à l'aide du dernier étalonnage de BAKEL, valable à compter du 1/05/1988. Afin de bien fixer la qualité de cette courbe, elle est reportée sur la figure n° 24 de la page suivante. Cette courbe est issue de l'analyse complexe dite de correspondance « non biunivoque », et il est relativement rare de trouver un ajustement aussi quasi parfait.

Les mesures reportées après correction de gradient, dont les cotes sont supérieures à 1093 cm, proviennent de la période antérieure au 1<sup>er</sup> mai 1974.

Après traduction, il apparaît que les deux crues optimisées à 50 et 80%, culminent en moyenne pour les 6 jours maxima :

Optimisation 50% : 2144 m<sup>3</sup>/s – Volume de la crue (22/08 au 12/10) = 4.88\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>

Optimisation 80% : 2004 m<sup>3</sup>/s – Volume de la crue (22/08 au 12/10) = 4.66\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>

Ces deux valeurs peuvent paraître faibles, en fait elles sont normales car issue d'une optimisation de niveaux.

Ce type d'optimisation est logique car l'inondation du lit majeur provient du dépassement de seuils ou de bourrelets de berges, il est donc normal de réaliser l'optimisation à partir des niveaux et non des débits lorsque la correspondance entre les deux n'est pas biunivoque.

Le régime devient non biunivoque à l'amont proche de Bakel, vers la confluence de la Falémé. Cette anomalie intervient lorsque la pente moyenne du radier du fleuve devient inférieure à 5 cm/km. A Bakel elle est de cet ordre, entre 3 et 4 cm/km, et probablement inférieure à 0.5 cm/Km à l'aval de SALDE.

En effet, à SALDE ou BOGHE le débit est quasiment le double en crue qu'en décrue, pour le même niveau, ce qui est aussi le cas à PODOR.

En outre les valeurs indiquées dans l'hydrogramme IRD1 ou GIBB correspondait à l'étalonnage antérieur à 1988. Dans le nouvel étalonnage, les débits du palier maximal atteindraient dans les deux cas :

Crue IRD1 : Hmax = 743 cm Q = 2015 m<sup>3</sup>/s (2 498 en 1998 et V = 6.59\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)

CPE2000 : Hmax = 821 cm Q = 2 399 m<sup>3</sup>/s (2999 en 1998 et V = 7.91\*10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>).

La figure 25 montre les hydrogrammes optimisés et anciens.

L'optimisation de la crue pour l'obtention d'un potentiel cultivable conduit à une économie importante en volume variant de **1.56 à 2.88 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>** pour la variante 50% et de **2.08 à 3.40 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>** pour la variante enveloppe 80% des surfaces cultivées.

Figure n°24

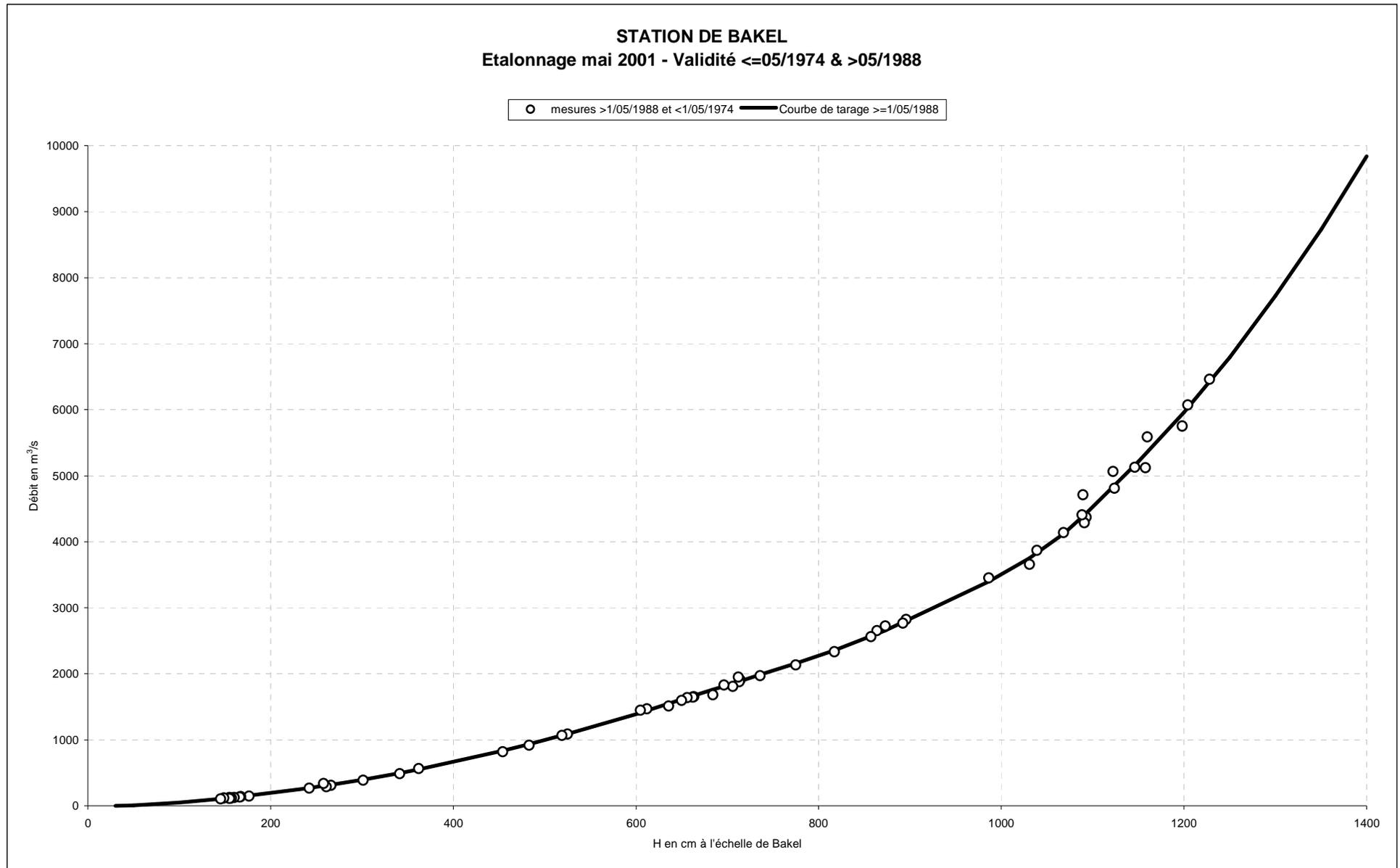
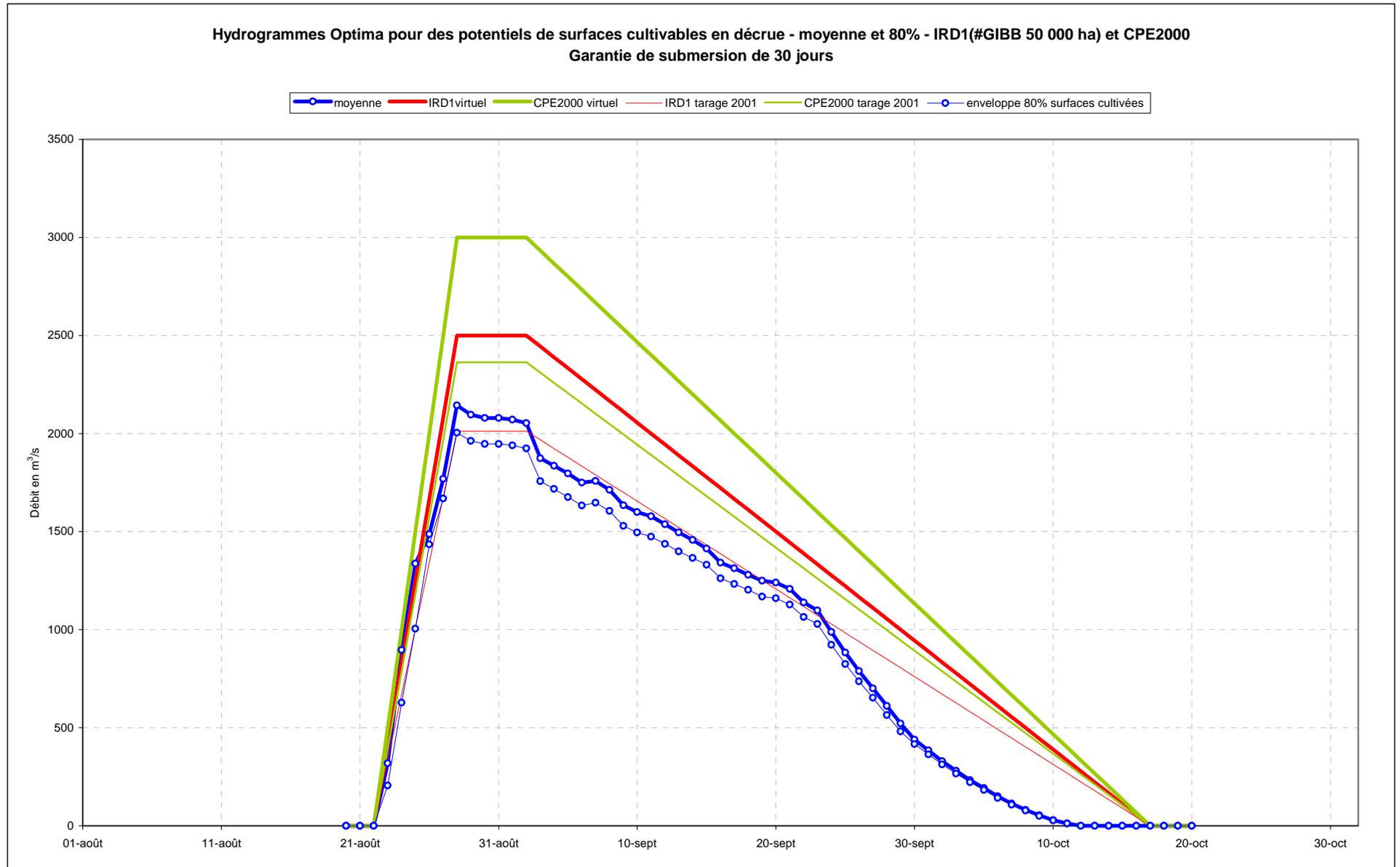


Figure n°25



## 5. CHOIX DES HYDROGRAMMES

L'optimisation est réalisée logiquement à partir du limnigramme de BAKEL, la gestion du barrage doit être réalisée à partir d'un hydrogramme scénario.

Les analyses présentées dans ce qui précède sont basées sur l'étude de la zone MATAM DAGANA. Or, nous avons vu que la partie amont présente un complément d'inondation du lit majeur de l'ordre de 19%. Ce complément a été évalué à partir des images des crues 98 et 99. Ces crues sont du type à « une pointe », comme la crue optimisée. Il est normal de penser que les crues de ce type donneront le même complément d'inondation, et par suite un potentiel de surface cultivable du même ordre, soit 15 à 20%.

Ce complément amont n'a pas été pris en compte par souci de prudence, des observations complémentaires de cultures avec crue optimisée devront être réalisées, avant de remettre en question l'optimisation élaborée dans le présent document.

Il faut considérer que la crue optimisée « 50 000 ha » correspond uniquement à un objectif à réaliser en cas de pénurie prolongée de ressource en eau (l'exemple type étant la période 1970 – 1993).

Nous proposons donc dans les pages qui suivent une série de limnigrammes et d'hydrogrammes optimisés pour des surface potentiellement cultivables variant de 45 000 ha à 70 000 ha et pour des garanties de 25 et 30 jours de submersion.

### 5.1 Cas d'une Submersion garantie 30 jours

Le tableau n°16 contient les résultats qui correspondent à l'optimisation en fonction du potentiel cultivable :

Tableau n°16

Nj	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000	65000	70000	75000	80000	85000	90000	95000	100000
6	616	648	678	706	732	757	780	804	827	850	873	898	924	951	980	1012
10	599	629	658	684	710	734	758	781	804	828	852	878	904	933	963	996
15	584	613	640	665	689	712	734	757	779	802	826	851	878	907	937	971
20	570	597	622	646	668	690	712	733	755	778	801	826	853	882	913	947
25	556	581	604	627	648	669	690	711	732	754	778	803	830	859	890	925
30	542	565	587	608	629	649	669	690	711	733	757	782	809	838	870	905
35	529	551	572	592	612	631	651	671	692	715	738	763	790	820	852	887
40	517	538	558	577	596	615	635	655	675	697	721	746	773	803	835	870
45	505	525	544	563	581	600	619	639	659	681	705	730	757	787	819	854
50	495	514	532	549	567	585	604	623	644	666	689	714	741	771	803	838
55	486	503	520	537	554	572	590	609	629	651	674	699	726	755	787	822
60	477	493	510	526	542	559	577	596	615	636	659	684	710	740	771	806

Les niveaux sont exprimés en cm à l'échelle de BAKEL.

Le tableau n°18 contient les limnigrammes pour les potentiels cultivables allant de 45000 ha à 70000 ha et ceci pour une garantie de submersion de 30 jours.

Tableau n°17 : Limnigrammes optimisés avec garantie de submersion de 30 jours.

45000 ha - 30j			50000 ha - 30j			55000 ha - 30j			60000 ha - 30j			65000 ha - 30j			70000 ha - 30j								
Date	45000 ha	moy>	Date	50000 ha	moy>	Date	55000	moy>	Date	60000ha	60000ha	Date	65000	65 000	Date	70000ha	70000ha						
1	22-août	30	732	1	22-août	30	757	1	22-août	30	780	1	22-août	30	804	1	22-août	30	850				
2	23-août	198	732	2	23-août	203	757	2	23-août	209	780	2	23-août	215	804	2	23-août	219	827	2	23-août	229	850
3	24-août	365	732	3	24-août	376	757	3	24-août	388	780	3	24-août	400	804	3	24-août	408	827	3	24-août	428	850
4	25-août	533	732	4	25-août	550	757	4	25-août	567	780	4	25-août	585	804	4	25-août	597	827	4	25-août	627	850
5	26-août	583	732	5	26-août	601	757	5	26-août	619	780	5	26-août	638	804	5	26-août	658	827	5	26-août	680	850
6	27-août	646	732	6	27-août	667	757	6	27-août	687	780	6	27-août	708	804	6	27-août	729	827	6	27-août	751	850
7	28-août	732	726	7	28-août	757	751	7	28-août	780	775	7	28-août	804	798	7	28-août	827	821	7	28-août	850	844
8	29-août	732	721	8	29-août	757	745	8	29-août	780	769	8	29-août	804	792	8	29-août	827	815	8	29-août	850	839
9	30-août	732	715	9	30-août	757	740	9	30-août	780	763	9	30-août	804	787	9	30-août	827	810	9	30-août	850	833
10	31-août	732	710	10	31-août	757	734	10	31-août	780	758	10	31-août	804	781	10	31-août	827	804	10	31-août	850	828
11	01-sept	732	705	11	01-sept	757	730	11	01-sept	780	753	11	01-sept	804	776	11	01-sept	827	799	11	01-sept	850	823
12	02-sept	732	701	12	02-sept	757	725	12	02-sept	780	748	12	02-sept	804	771	12	02-sept	827	794	12	02-sept	850	818
13	03-sept	693	697	13	03-sept	717	721	13	03-sept	741	744	13	03-sept	764	766	13	03-sept	788	789	13	03-sept	812	813
14	04-sept	682	693	14	04-sept	706	716	14	04-sept	729	739	14	04-sept	753	761	14	04-sept	777	784	14	04-sept	801	807
15	05-sept	671	689	15	05-sept	695	712	15	05-sept	718	734	15	05-sept	742	757	15	05-sept	765	779	15	05-sept	790	802
16	06-sept	660	685	16	06-sept	683	707	16	06-sept	707	730	16	06-sept	730	752	16	06-sept	754	774	16	06-sept	779	797
17	07-sept	663	681	17	07-sept	685	703	17	07-sept	706	725	17	07-sept	727	747	17	07-sept	749	770	17	07-sept	771	792
18	08-sept	655	677	18	08-sept	676	699	18	08-sept	697	721	18	08-sept	717	743	18	08-sept	739	765	18	08-sept	761	787
19	09-sept	638	673	19	09-sept	658	695	19	09-sept	678	716	19	09-sept	698	738	19	09-sept	719	760	19	09-sept	740	783
20	10-sept	629	668	20	10-sept	649	690	20	10-sept	668	712	20	10-sept	688	733	20	10-sept	709	755	20	10-sept	730	778
21	11-sept	624	664	21	11-sept	644	686	21	11-sept	663	707	21	11-sept	682	729	21	11-sept	702	751	21	11-sept	724	773
22	12-sept	616	660	22	12-sept	635	682	22	12-sept	654	703	22	12-sept	673	724	22	12-sept	693	746	22	12-sept	714	768
23	13-sept	608	656	23	13-sept	626	678	23	13-sept	645	699	23	13-sept	664	720	23	13-sept	683	741	23	13-sept	704	764
24	14-sept	600	652	24	14-sept	618	673	24	14-sept	636	694	24	14-sept	654	715	24	14-sept	674	737	24	14-sept	694	759
25	15-sept	592	648	25	15-sept	609	669	25	15-sept	627	690	25	15-sept	645	711	25	15-sept	664	732	25	15-sept	684	754
26	16-sept	575	644	26	16-sept	592	665	26	16-sept	610	686	26	16-sept	629	707	26	16-sept	649	728	26	16-sept	670	750
27	17-sept	567	640	27	17-sept	584	661	27	17-sept	602	682	27	17-sept	620	702	27	17-sept	640	724	27	17-sept	661	746
28	18-sept	559	637	28	18-sept	575	657	28	18-sept	593	677	28	18-sept	611	698	28	18-sept	631	719	28	18-sept	652	742
29	19-sept	550	633	29	19-sept	567	653	29	19-sept	584	673	29	19-sept	602	694	29	19-sept	621	715	29	19-sept	642	737
30	20-sept	548	629	30	20-sept	565	649	30	20-sept	583	669	30	20-sept	602	690	30	20-sept	622	711	30	20-sept	644	733
31	21-sept	541	626	31	21-sept	558	646	31	21-sept	575	666	31	21-sept	594	686	31	21-sept	614	707	31	21-sept	635	729
32	22-sept	525	622	32	22-sept	542	642	32	22-sept	559	662	32	22-sept	577	682	32	22-sept	605	704	32	22-sept	618	726
33	23-sept	518	619	33	23-sept	534	638	33	23-sept	550	658	33	23-sept	569	679	33	23-sept	588	700	33	23-sept	610	722
34	24-sept	492	615	34	24-sept	507	635	34	24-sept	523	655	34	24-sept	540	675	34	24-sept	559	696	34	24-sept	579	718
35	25-sept	466	612	35	25-sept	481	631	35	25-sept	496	651	35	25-sept	512	671	35	25-sept	530	692	35	25-sept	549	715
36	26-sept	441	609	36	26-sept	454	628	36	26-sept	468	648	36	26-sept	484	668	36	26-sept	500	689	36	26-sept	518	711
37	27-sept	415	605	37	27-sept	428	625	37	27-sept	441	645	37	27-sept	455	665	37	27-sept	471	686	37	27-sept	488	708
38	28-sept	389	602	38	28-sept	401	622	38	28-sept	414	641	38	28-sept	427	661	38	28-sept	441	682	38	28-sept	457	704
39	29-sept	364	599	39	29-sept	375	618	39	29-sept	386	638	39	29-sept	399	658	39	29-sept	412	679	39	29-sept	427	701
40	30-sept	338	596	40	30-sept	348	615	40	30-sept	359	635	40	30-sept	370	655	40	30-sept	383	675	40	30-sept	396	697
41	01-oct	312	593	41	01-oct	322	612	41	01-oct	331	631	41	01-oct	342	651	41	01-oct	353	672	41	01-oct	366	694
42	02-oct	287	590	42	02-oct	295	609	42	02-oct	304	628	42	02-oct	313	648	42	02-oct	324	669	42	02-oct	335	691
43	03-oct	261	587	43	03-oct	269	606	43	03-oct	277	625	43	03-oct	285	645	43	03-oct	294	666	43	03-oct	305	688
44	04-oct	235	584	44	04-oct	242	603	44	04-oct	249	622	44	04-oct	257	642	44	04-oct	265	663	44	04-oct	274	684
45	05-oct	210	581	45	05-oct	216	600	45	05-oct	222	619	45	05-oct	228	639	45	05-oct	236	659	45	05-oct	244	681
46	06-oct	184	578	46	06-oct	189	597	46	06-oct	194	616	46	06-oct	200	636	46	06-oct	206	656	46	06-oct	213	678
47	07-oct	158	576	47	07-oct	163	594	47	07-oct	167	613	47	07-oct	172	633	47	07-oct	177	653	47	07-oct	183	675
48	08-oct	133	573	48	08-oct	136	591	48	08-oct	140	610	48	08-oct	143	629	48	08-oct	148	650	48	08-oct	152	672
49	09-oct	107	570	49	09-oct	110	588	49	09-oct	112	607	49	09-oct	115	626	49	09-oct	118	647	49	09-oct	122	669
50	10-oct	81	567	50	10-oct	83	585	50	10-oct	85	604	50	10-oct	87	623	50	10-oct	89	644	50	10-oct	91	666
51	11-oct	56	565	51	11-oct	57	583	51	11-oct	57	601	51	11-oct	58	621	51	11-oct	59	641	51	11-oct	61	663
52	12-oct	30	562	52	12-oct	30	580	52	12-oct	30	598	52	12-oct	30	618	52	12-oct	30	638	52	12-oct	30	660
53	13-oct	30	560	53	13-oct	30	577	53	13-oct	30	596	53	13-oct	30	615	53	13-oct	30	635	53	13-oct	30	657
54	14-oct	30	557	54	14-oct	30	575	54	14-oct	30	593	54	14-oct	30	612	54	14-oct	30	632	54	14-oct	30	654
55	15-oct	30	554	55	15-oct	30	572	55	15-oct	30	590	55	15-oct	30	609	55	15-oct	30	629	55	15-oct	30	651
56	16-oct	30	552	56	16-oct	30	569	56	16-oct	30	587	56	16-oct	30	606	56	16-oct	30	626	56	16-oct	30	648
57	17-oct	30	550	57	17-oct	30	567	57	17-oct	30	585	57	17-oct	30	604	57	17-oct	30	624	57	17-oct	30	645
58	18-oct	30	547	58	18-oct	30	564	58	18-oct	30	582	58	18-oct	30	601	58	18-oct	30	621	58	18-oct	30	642
59	19-oct	30	545	59	19-oct	30	562	59	19-oct	30	580	59	19-oct	30	598	59	19-oct	30	618	59	19-oct	30	639
60	20-oct	30	542	60	20-oct	30	559	60	20-oct	30	577	60	20-oct	30	596	60	20-oct	30	615	60	20-oct	30	636

Figure n°26

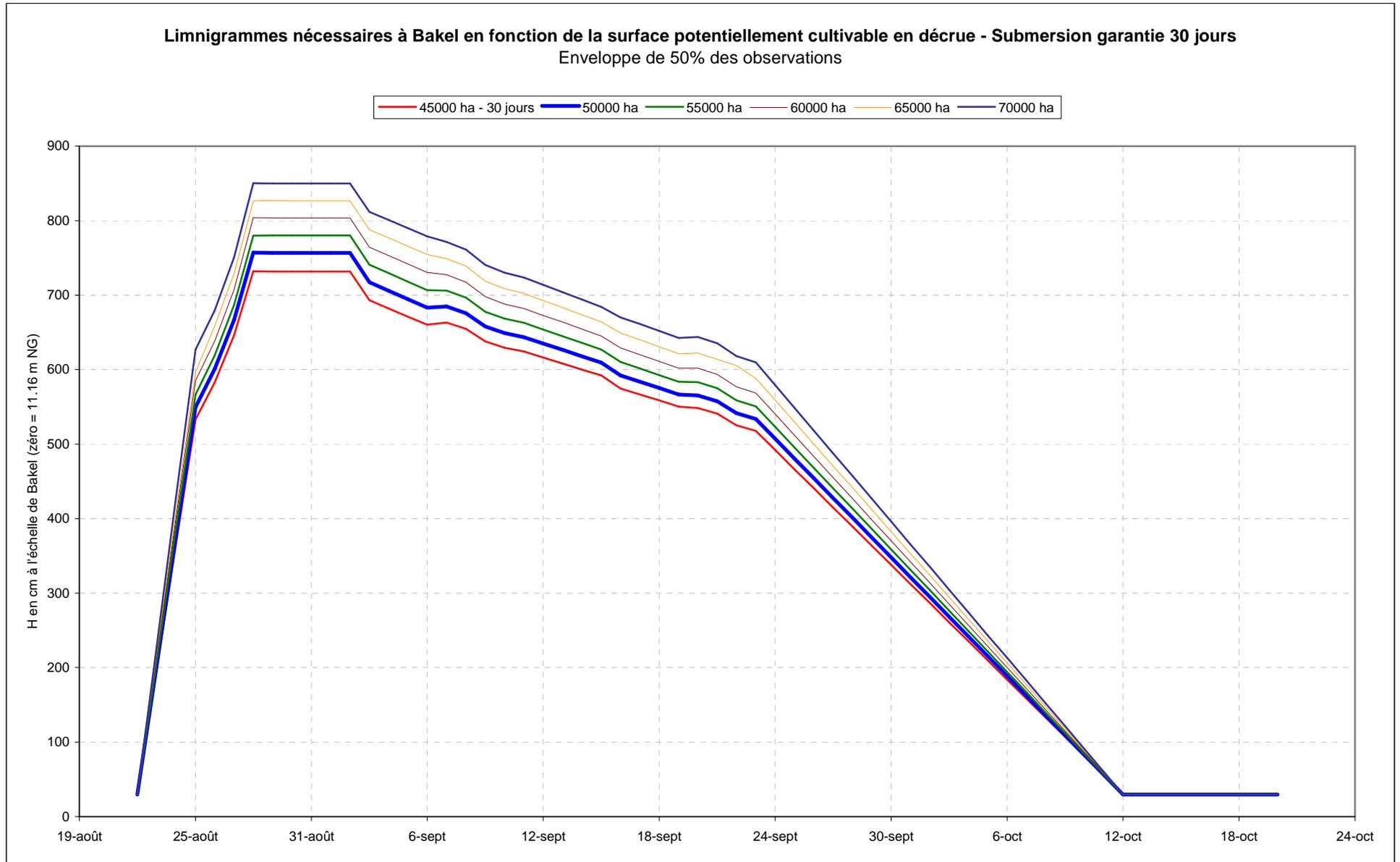


Tableau n°18 – Hydrogrammes optimisés pour 30 jours de submersion – Enveloppe 50%

Date	45000 ha	50000 ha	55000 ha	60000 ha	65000 ha	70000 ha
22-août	0	0	0	0	0	0
23-août	301	318	339	360	374	410
24-août	859	897	932	964	992	1050
25-août	1268	1337	1400	1476	1529	1663
26-août	1413	1487	1570	1658	1751	1851
27-août	1670	1769	1862	1959	2057	2158
28-août	2027	2144	2253	2372	2491	2615
29-août	1985	2097	2202	2317	2432	2553
30-août	1969	2079	2183	2296	2410	2530
31-août	1969	2079	2183	2296	2410	2530
01-sept	1962	2071	2175	2288	2401	2521
02-sept	1945	2053	2156	2268	2381	2500
03-sept	1774	1874	1977	2078	2187	2299
04-sept	1734	1836	1934	2038	2144	2257
05-sept	1694	1796	1894	1997	2098	2212
06-sept	1651	1749	1851	1948	2052	2162
07-sept	1664	1758	1847	1934	2029	2124
08-sept	1623	1713	1802	1886	1980	2075
09-sept	1547	1634	1719	1805	1893	1983
10-sept	1509	1599	1681	1767	1856	1946
11-sept	1488	1578	1661	1743	1828	1922
12-sept	1451	1537	1621	1703	1789	1877
13-sept	1413	1495	1581	1664	1745	1834
14-sept	1377	1457	1540	1619	1705	1791
15-sept	1342	1413	1496	1577	1661	1747
16-sept	1274	1342	1418	1505	1596	1687
17-sept	1245	1313	1385	1466	1558	1650
18-sept	1215	1279	1351	1427	1519	1613
19-sept	1181	1250	1317	1390	1476	1572
20-sept	1172	1241	1313	1389	1482	1580
21-sept	1139	1208	1276	1352	1441	1534
22-sept	1071	1138	1207	1279	1391	1451
23-sept	1040	1099	1163	1240	1313	1406
24-sept	931	988	1046	1112	1188	1269
25-sept	832	883	940	1001	1066	1142
26-sept	747	789	836	891	953	1021
27-sept	659	701	744	790	843	903
28-sept	572	611	652	694	740	793
29-sept	487	521	556	600	641	689
30-sept	420	440	466	499	541	584
01-oct	366	385	401	421	444	480
02-oct	317	330	346	361	381	401
03-oct	267	281	294	307	322	340
04-oct	223	232	243	256	268	282
05-oct	184	192	200	208	219	229
06-oct	143	150	157	165	173	182
07-oct	107	113	118	123	129	137
08-oct	79	81	85	88	92	96
09-oct	51	53	55	58	61	64
10-oct	28	29	30	32	33	35
11-oct	12	12	12	13	13	14
12-oct	0	0	0	0	0	0
<b>V(10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>4.613</b>	<b>4.876</b>	<b>5.138</b>	<b>5.416</b>	<b>5.709</b>	<b>6.028</b>

Tableau n°18bis

Hydrogrammes optimisés pour 30 jours de submersion – Enveloppe 80% des surfaces cultivées observées

Date	45000 ha	50000 ha	55000 ha	60000 ha	65000 ha	70000 ha
22-août	0	0	0	0	0	0
23-août	271	205	308	325	346	370
24-août	805	628	874	911	946	982
25-août	1172	1005	1297	1363	1433	1513
26-août	1328	1435	1478	1559	1647	1737
27-août	1555	1669	1751	1849	1942	2038
28-août	1886	2004	2120	2232	2347	2463
29-août	1849	1962	2074	2182	2293	2406
30-août	1836	1947	2057	2164	2273	2384
31-août	1836	1947	2057	2164	2273	2384
01-sept	1829	1940	2049	2156	2264	2375
02-sept	1814	1924	2032	2137	2245	2355
03-sept	1651	1757	1858	1960	2060	2163
04-sept	1610	1717	1820	1917	2021	2122
05-sept	1572	1677	1779	1877	1975	2081
06-sept	1528	1633	1732	1834	1931	2035
07-sept	1551	1647	1741	1829	1918	2011
08-sept	1509	1606	1696	1785	1873	1962
09-sept	1438	1529	1617	1703	1788	1876
10-sept	1404	1496	1581	1668	1754	1839
11-sept	1385	1475	1561	1644	1730	1815
12-sept	1356	1437	1524	1604	1686	1771
13-sept	1324	1399	1482	1568	1647	1732
14-sept	1294	1365	1444	1526	1606	1688
15-sept	1263	1330	1399	1482	1564	1648
16-sept	1190	1262	1330	1403	1492	1578
17-sept	1165	1233	1301	1369	1452	1540
18-sept	1135	1203	1267	1339	1413	1501
19-sept	1105	1169	1237	1306	1378	1463
20-sept	1097	1160	1230	1302	1378	1463
21-sept	1069	1128	1194	1266	1338	1422
22-sept	1037	1064	1159	1227	1299	1379
23-sept	969	1029	1084	1148	1221	1301
24-sept	868	923	975	1035	1099	1175
25-sept	783	825	873	929	990	1050
26-sept	698	737	783	829	881	942
27-sept	615	653	691	734	783	834
28-sept	530	565	605	643	684	733
29-sept	455	481	515	551	590	634
30-sept	400	417	436	462	494	531
01-oct	347	364	381	399	418	439
02-oct	300	313	328	341	360	378
03-oct	255	266	277	291	305	320
04-oct	213	221	231	242	252	266
05-oct	174	183	189	199	207	216
06-oct	135	142	149	156	164	172
07-oct	103	107	112	117	122	128
08-oct	75	78	80	84	88	91
09-oct	48	51	52	55	58	61
10-oct	26	28	29	30	31	32
11-oct	11	12	11	12	13	13
12-oct	0	0	0	0	0	0
<b>V(10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>4.308</b>	<b>4.523</b>	<b>4.826</b>	<b>5.090</b>	<b>5.363</b>	<b>5.652</b>

Figure n°27

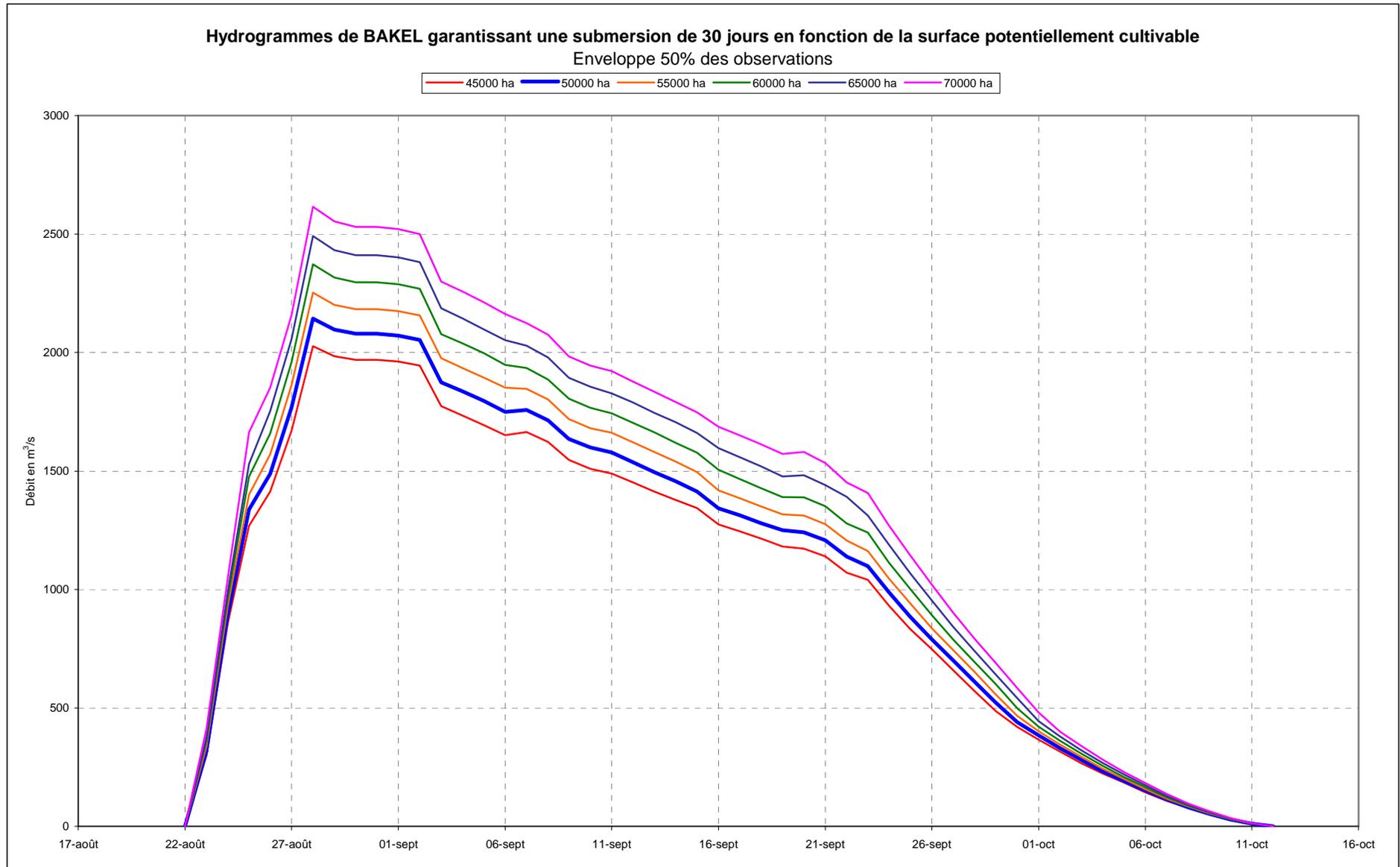
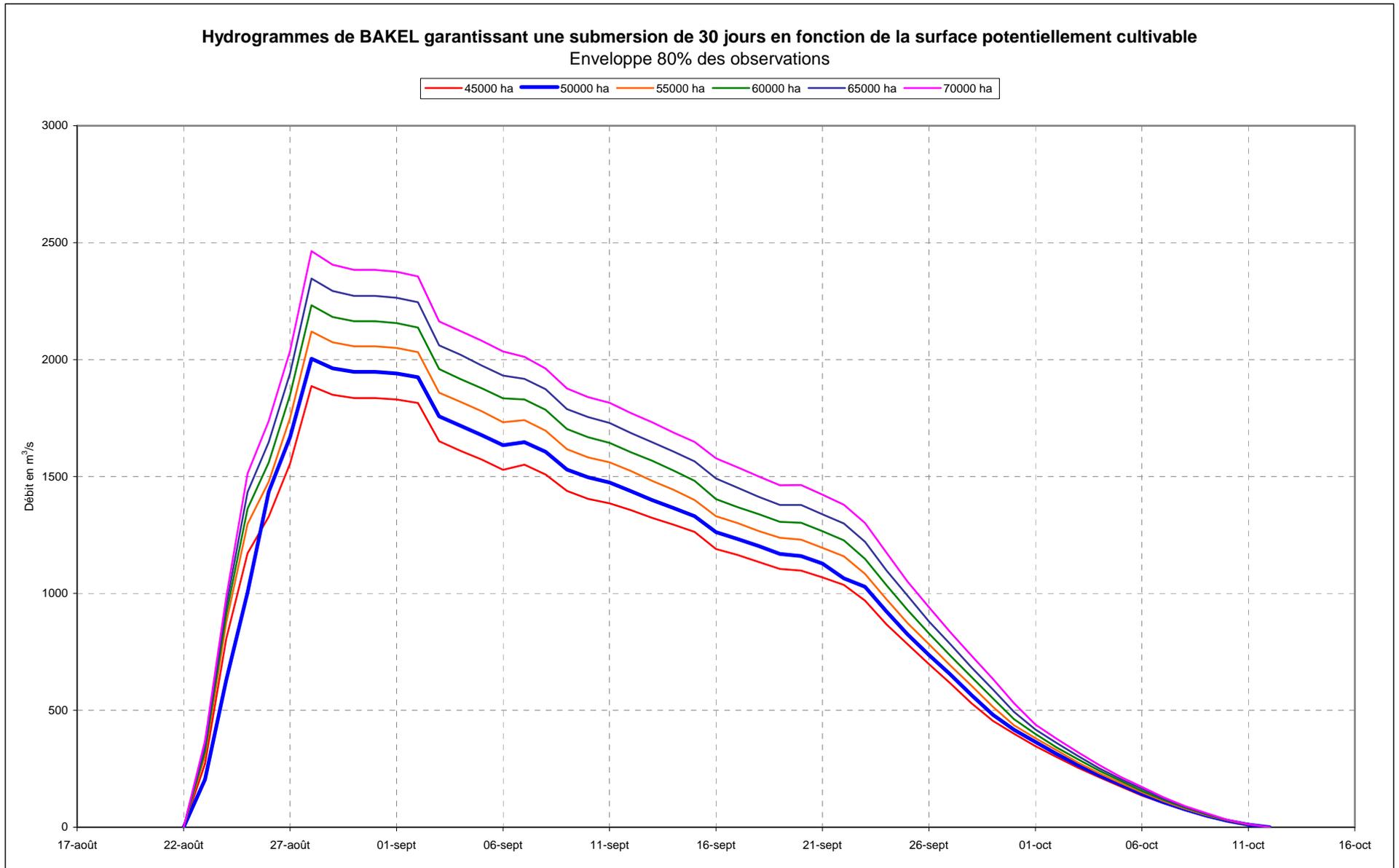


Figure 27bis



## 5.2 Cas d'une Submersion garantie 25 jours

Les opérations d'analyses sont les mêmes que ci-dessus, la submersion garantie est ramenée à 25 jours, soutien diminué à compter du 19 au lieu du 24 septembre.

Il s'agit d'un cas de gestion qui correspond à une période très déficitaire, avec une série d'années dites de « sécheresse ». L'économie en ressource doit être maximale tout en gardant une garantie suffisante pour réaliser une crue correspondant à un potentiel cultivable de 50 000 ha. Aussitôt après le soutien, il est procédé à la diminution rapide des lâchers. La date de mise à zéro, prévue au 12 octobre dans le cas précédent est ramenée au 1<sup>er</sup> octobre.

Le tableau n°18 de la page suivante contient les résultats de l'analyse et le calendrier des limnigrammes à appliquer en fonction de la surface objectif.

La figure n°28 représente ces limnigrammes.

Le tableau n°19 contient les hydrogrammes correspondants aux limnigrammes ci-dessus, une économie substantielle est réalisée dans chaque cas de potentiel de surface cultivable par rapport à la garantie 30 jours.

Le tableau ci-dessous compare ces économies pour une enveloppe de 50% des cultures:

Surface cultivable			45 000 ha	50 000 ha	55 000 ha	60 000 ha	65 000 ha	70 000 ha
Submersion 30 jours	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	env.50%	4.613	4.876	5.138	5.416	5.709	6.028
Submersion 25 jours	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	env.50%	4.184	4.428	4.661	4.904	5.166	5.444
Submersion 30 jours	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	env.80%	4.308	4.523	4.826	5.090	5.363	5.652
Submersion 25 jours(12/10)	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	env.80%	4.116	4.346	4.605	4.854	5.124	5.382
Submersion 25 jours(1/10)	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	env.80%	3.909	4.131	4.377	4.613	4.866	5.115
Economie	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )			1.712				
ORSTOM1	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )			6.588				
CPE 2000	V(10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )			7.910				

Tableau n°19 : Limnigrammes optimisés avec garantie de submersion de 25 jours – Enveloppe de 50% des surfaces cultivées observées

45000 ha - 25 jours			50000 ha - 25j			55000 ha - 25j			60000 ha 25j			65000 ha 25j			70000 ha 25jj								
Date	optim30	moypot	Date	50000ha	60000ha	Date	55000	70000ha	Date	60000ha	60000ha	Date	65000	65 000	Date	70000ha	70000ha						
1	22-août	30	732	1	22-août	30	757	1	22-août	30	780	1	22-août	30	804	1	22-août	30	827	1	22-août	30	850
2	23-août	168	732	2	23-août	173	757	2	23-août	177	780	2	23-août	182	804	2	23-août	187	827	2	23-août	192	850
3	24-août	306	732	3	24-août	315	757	3	24-août	325	780	3	24-août	334	804	3	24-août	344	827	3	24-août	355	850
4	25-août	445	732	4	25-août	458	757	4	25-août	472	780	4	25-août	486	804	4	25-août	501	827	4	25-août	517	850
5	26-août	583	732	5	26-août	601	757	5	26-août	620	780	5	26-août	638	804	5	26-août	658	827	5	26-août	680	850
6	27-août	646	732	6	27-août	667	757	6	27-août	686	780	6	27-août	708	804	6	27-août	729	827	6	27-août	751	850
7	28-août	732	726	7	28-août	757	751	7	28-août	780	775	7	28-août	804	798	7	28-août	827	821	7	28-août	850	844
8	29-août	732	721	8	29-août	757	745	8	29-août	780	769	8	29-août	804	792	8	29-août	827	815	8	29-août	850	839
9	30-août	732	715	9	30-août	757	740	9	30-août	780	764	9	30-août	804	787	9	30-août	827	810	9	30-août	850	833
10	31-août	732	710	10	31-août	757	734	10	31-août	780	758	10	31-août	804	781	10	31-août	827	804	10	31-août	850	828
11	01-sept	732	705	11	01-sept	757	730	11	01-sept	780	753	11	01-sept	804	776	11	01-sept	827	799	11	01-sept	850	823
12	02-sept	732	701	12	02-sept	757	725	12	02-sept	780	748	12	02-sept	804	771	12	02-sept	827	794	12	02-sept	850	818
13	03-sept	693	697	13	03-sept	717	721	13	03-sept	742	744	13	03-sept	764	766	13	03-sept	788	789	13	03-sept	812	813
14	04-sept	682	693	14	04-sept	706	716	14	04-sept	731	739	14	04-sept	753	761	14	04-sept	777	784	14	04-sept	801	807
15	05-sept	671	689	15	05-sept	695	712	15	05-sept	720	734	15	05-sept	742	757	15	05-sept	765	779	15	05-sept	790	802
16	06-sept	660	685	16	06-sept	683	707	16	06-sept	709	730	16	06-sept	730	752	16	06-sept	754	774	16	06-sept	779	797
17	07-sept	663	681	17	07-sept	685	703	17	07-sept	705	725	17	07-sept	727	747	17	07-sept	749	770	17	07-sept	771	792
18	08-sept	655	677	18	08-sept	676	699	18	08-sept	696	721	18	08-sept	717	743	18	08-sept	739	765	18	08-sept	761	787
19	09-sept	638	673	19	09-sept	658	695	19	09-sept	676	716	19	09-sept	698	738	19	09-sept	719	760	19	09-sept	740	783
20	10-sept	629	668	20	10-sept	649	690	20	10-sept	667	712	20	10-sept	688	733	20	10-sept	709	755	20	10-sept	730	778
21	11-sept	624	664	21	11-sept	644	686	21	11-sept	664	708	21	11-sept	682	729	21	11-sept	702	751	21	11-sept	724	773
22	12-sept	616	660	22	12-sept	635	682	22	12-sept	655	703	22	12-sept	673	724	22	12-sept	693	746	22	12-sept	714	768
23	13-sept	608	656	23	13-sept	626	678	23	13-sept	646	699	23	13-sept	664	720	23	13-sept	683	741	23	13-sept	704	764
24	14-sept	600	652	24	14-sept	618	673	24	14-sept	637	694	24	14-sept	654	715	24	14-sept	674	737	24	14-sept	694	759
25	15-sept	592	648	25	15-sept	609	669	25	15-sept	628	690	25	15-sept	645	711	25	15-sept	664	732	25	15-sept	684	754
26	16-sept	575		26	16-sept	592		26	16-sept	611		26	16-sept	629		26	16-sept	649		26	16-sept	670	
27	17-sept	567		27	17-sept	584		27	17-sept	602		27	17-sept	620		27	17-sept	640		27	17-sept	661	
28	18-sept	559		28	18-sept	575		28	18-sept	593		28	18-sept	611		28	18-sept	631		28	18-sept	652	
29	19-sept	550		29	19-sept	567		29	19-sept	584		29	19-sept	602		29	19-sept	621		29	19-sept	642	
30	20-sept	528	629	30	20-sept	543	649	30	20-sept	560	669	30	20-sept	577	690	30	20-sept	596	711	30	20-sept	616	733
31	21-sept	505		31	21-sept	520		31	21-sept	536		31	21-sept	552		31	21-sept	570		31	21-sept	589	
32	22-sept	482		32	22-sept	497		32	22-sept	512		32	22-sept	527		32	22-sept	544		32	22-sept	563	
33	23-sept	460		33	23-sept	473		33	23-sept	488		33	23-sept	503		33	23-sept	519		33	23-sept	536	
34	24-sept	437		34	24-sept	450		34	24-sept	464		34	24-sept	478		34	24-sept	493		34	24-sept	509	
35	25-sept	415	612	35	25-sept	427	631	35	25-sept	440	651	35	25-sept	453	671	35	25-sept	467	692	35	25-sept	483	715
36	26-sept	392		36	26-sept	403		36	26-sept	416		36	26-sept	428		36	26-sept	441		36	26-sept	456	
37	27-sept	369		37	27-sept	380		37	27-sept	392		37	27-sept	403		37	27-sept	416		37	27-sept	429	
38	28-sept	347		38	28-sept	357		38	28-sept	367		38	28-sept	378		38	28-sept	390		38	28-sept	403	
39	29-sept	324		39	29-sept	333		39	29-sept	343		39	29-sept	353		39	29-sept	364		39	29-sept	376	
40	30-sept	301	596	40	30-sept	310	615	40	30-sept	319	635	40	30-sept	328	655	40	30-sept	339	675	40	30-sept	350	697
41	01-oct	279		41	01-oct	287		41	01-oct	295		41	01-oct	304		41	01-oct	313		41	01-oct	323	
42	02-oct	256		42	02-oct	263		42	02-oct	271		42	02-oct	279		42	02-oct	287		42	02-oct	296	
43	03-oct	234		43	03-oct	240		43	03-oct	247		43	03-oct	254		43	03-oct	261		43	03-oct	270	
44	04-oct	211		44	04-oct	217		44	04-oct	223		44	04-oct	229		44	04-oct	236		44	04-oct	243	
45	05-oct	188	581	45	05-oct	193	600	45	05-oct	199	619	45	05-oct	204	639	45	05-oct	210	659	45	05-oct	216	681
46	06-oct	166		46	06-oct	170		46	06-oct	175		46	06-oct	179		46	06-oct	184		46	06-oct	190	
47	07-oct	143		47	07-oct	147		47	07-oct	151		47	07-oct	154		47	07-oct	159		47	07-oct	163	
48	08-oct	120		48	08-oct	123		48	08-oct	126		48	08-oct	129		48	08-oct	133		48	08-oct	137	
49	09-oct	98		49	09-oct	100		49	09-oct	102		49	09-oct	105		49	09-oct	107		49	09-oct	110	
50	10-oct	75	567	50	10-oct	77	585	50	10-oct	78	604	50	10-oct	80	623	50	10-oct	81	644	50	10-oct	83	666
51	11-oct	53		51	11-oct	53		51	11-oct	54		51	11-oct	55		51	11-oct	56		51	11-oct	57	
52	12-oct	30		52	12-oct	30		52	12-oct	30		52	12-oct	30		52	12-oct	30		52	12-oct	30	
53	13-oct	30		53	13-oct	30		53	13-oct	30		53	13-oct	30		53	13-oct	30		53	13-oct	30	
54	14-oct	30		54	14-oct	30		54	14-oct	30		54	14-oct	30		54	14-oct	30		54	14-oct	30	
55	15-oct	30	554	55	15-oct	30	572	55	15-oct	30	590	55	15-oct	30	609	55	15-oct	30	629	55	15-oct	30	651
56	16-oct	30		56	16-oct	30		56	16-oct	30		56	16-oct	30		56	16-oct	30		56	16-oct	30	
57	17-oct	30		57	17-oct	30		57	17-oct	30		57	17-oct	30		57	17-oct	30		57	17-oct	30	
58	18-oct	30		58	18-oct	30		58	18-oct	30		58	18-oct	30		58	18-oct	30		58	18-oct	30	
59	19-oct	30		59	19-oct	30		59	19-oct	30		59	19-oct	30		59	19-oct	30		59	19-oct	30	
60	20-oct	30	542	60	20-oct	30	559	60	20-oct	30	577	60	20-oct	30	596	60	20-oct	30	615	60	20-oct	30	636

Figure n°28 – Enveloppe 50%

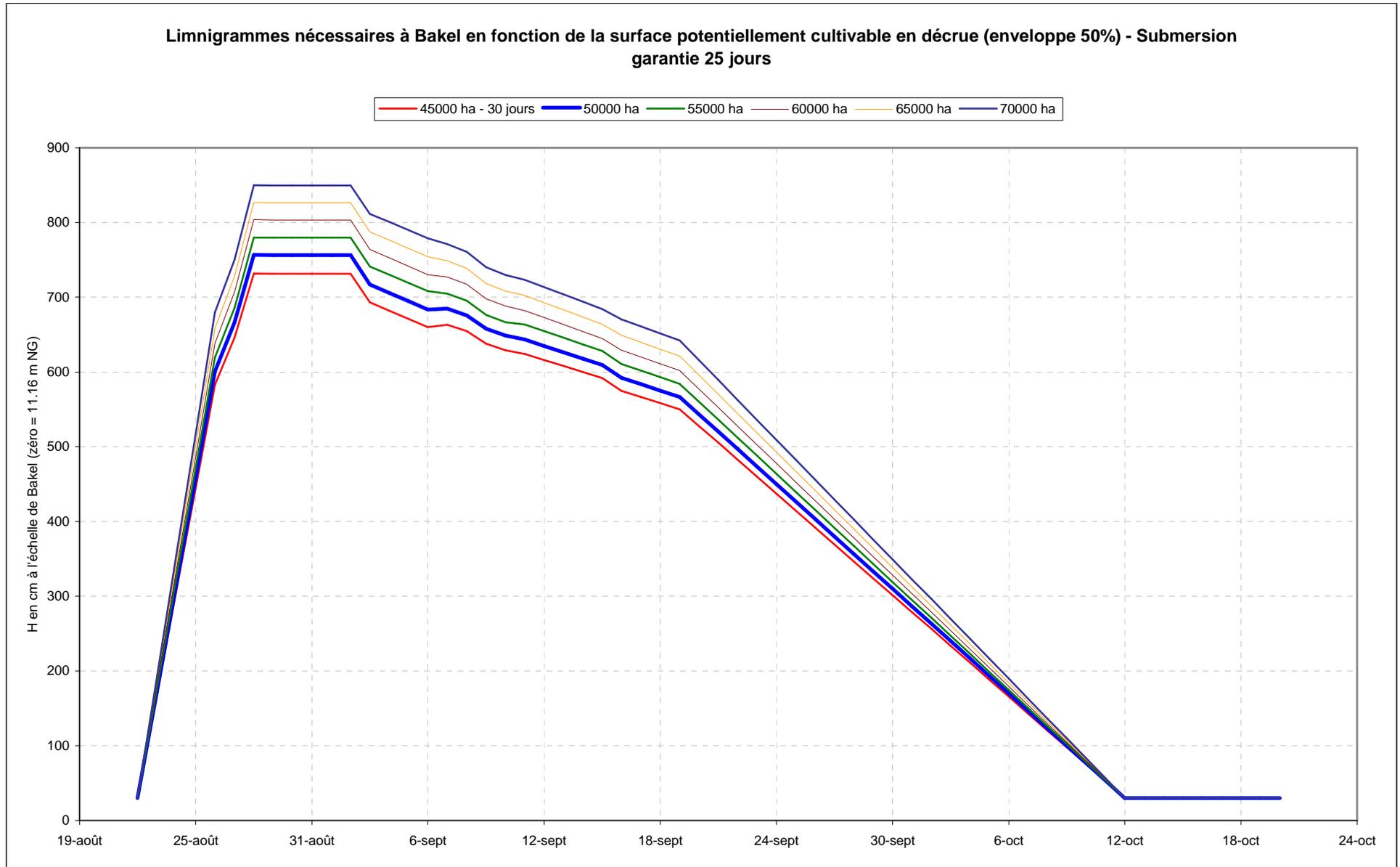
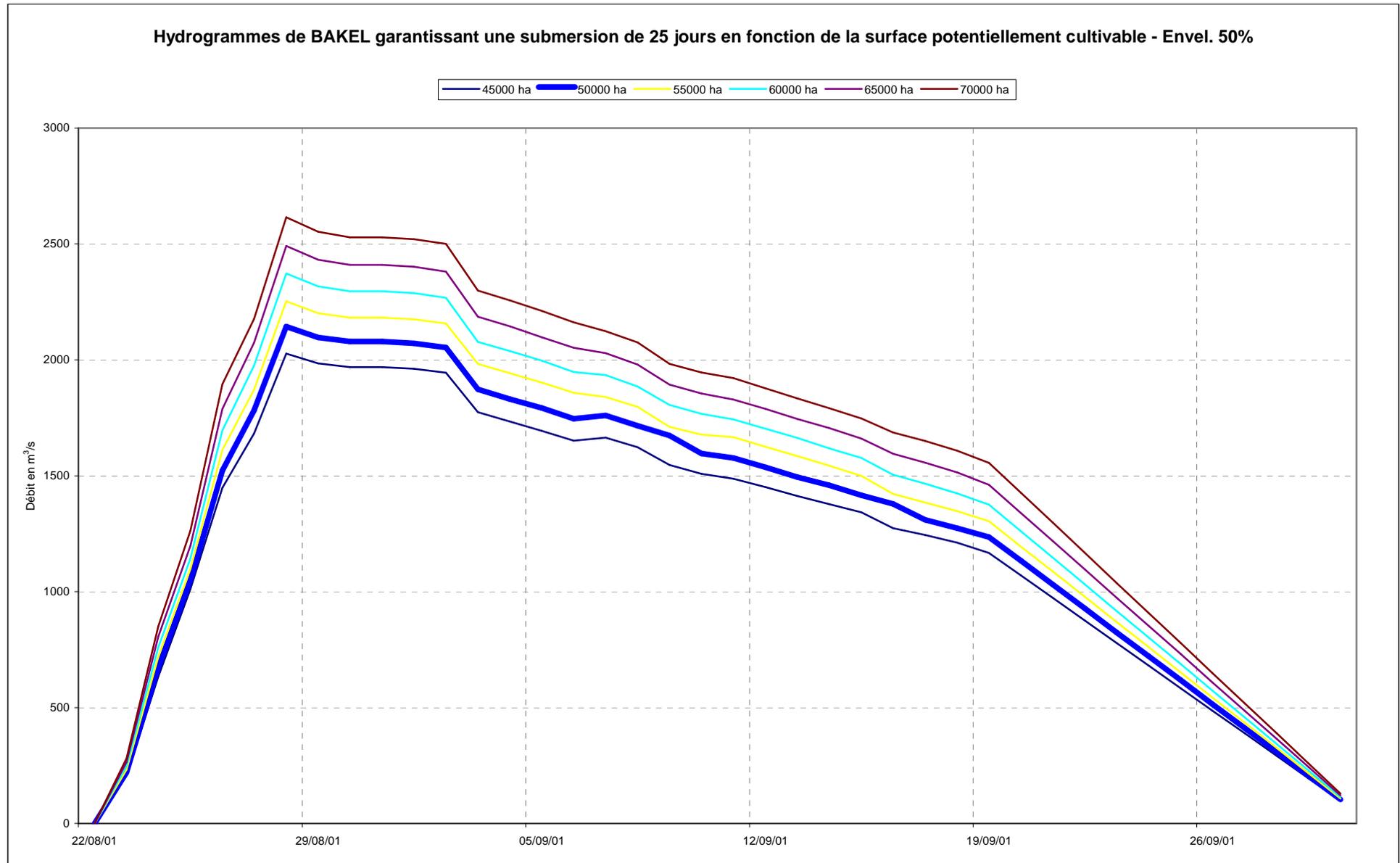


Tableau n°20 – Hydrogrammes garantissant 25 jours de submersion

Date	45000 ha	50000 ha	55000 ha	60000 ha	65000 ha	70000 ha
22/8	0	0	0	0	0	0
23/8	207	221	233	249	265	281
24/8	633	673	718	759	806	851
25/8	1012	1051	1098	1145	1199	1264
26/8	1447	1523	1611	1696	1788	1896
27/8	1683	1782	1872	1976	2074	2178
28/8	2027	2144	2253	2372	2491	2615
29/8	1985	2097	2202	2317	2432	2553
30/8	1969	2079	2183	2296	2410	2530
31/8	1969	2079	2183	2296	2410	2530
1/9	1962	2071	2175	2288	2401	2521
2/9	1945	2053	2157	2268	2381	2500
3/9	1774	1874	1983	2078	2187	2299
4/9	1734	1832	1943	2038	2144	2257
5/9	1694	1792	1902	1997	2098	2212
6/9	1651	1746	1858	1948	2052	2162
7/9	1664	1760	1841	1934	2029	2124
8/9	1623	1716	1797	1886	1980	2075
9/9	1547	1673	1711	1805	1893	1983
10/9	1509	1596	1678	1767	1856	1946
11/9	1488	1577	1667	1743	1828	1922
12/9	1451	1537	1626	1703	1789	1877
13/9	1413	1495	1585	1664	1745	1834
14/9	1377	1459	1544	1619	1705	1791
15/9	1342	1416	1500	1577	1661	1747
16/9	1274	1378	1422	1505	1596	1687
17/9	1245	1310	1384	1466	1558	1650
18/9	1212	1274	1347	1423	1515	1609
19/9	1168	1236	1304	1375	1461	1556
20/9	1070	1133	1195	1261	1339	1427
21/9	973	1030	1086	1146	1218	1297
22/9	876	927	978	1031	1096	1167
23/9	778	824	869	917	974	1038
24/9	681	721	761	802	852	908
25/9	584	618	652	688	731	778
26/9	486	515	543	573	609	648
27/9	389	412	435	458	487	519
28/9	292	309	326	344	365	389
29/9	195	206	217	229	244	259
30/9	97	103	109	115	122	130
1/10	0	0	0	0	0	0
2/10	0	0	0	0	0	0
3/10	0	0	0	0	0	0
4/10	0	0	0	0	0	0
5/10	0	0	0	0	0	0
6/10	0	0	0	0	0	0
7/10	0	0	0	0	0	0
8/10	0	0	0	0	0	0
9/10	0	0	0	0	0	0
10/10	0	0	0	0	0	0
11/10	0	0	0	0	0	0
12/10	0	0	0	0	0	0
13/10	0	0	0	0	0	0
14/10	0	0	0	0	0	0
<b>V(10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>4.184</b>	<b>4.428</b>	<b>4.661</b>	<b>4.904</b>	<b>5.166</b>	<b>5.444</b>

Figure n°29



### 5.3 **Vérification des potentiels avec le transfert des limnigrammes à PODOR**

Le transfert par propagation est réalisé à l'aide du modèle de propagation BAKEL – PODOR calibré avec une amortissement analogique des hauteurs à BAKEL.

Les limnigrammes sont transformés en remplaçant la cote du jour par la moyenne mobile de période 15 jours ( $H_{j-15}$  à  $H_{j+15}$ ).

Pour le limnigramme **garantie 25j**, la cote maximale à BAKEL après amortissement est de 635 cm à l'échelle, ce qui conduit par ce modèle à une cote de 407 à PODOR, soit un potentiel de surface cultivable de **49715 ha**.

Pour le limnigramme **garanti 30j**, la cote maximale du limnigramme amorti est de 656.5 cm, ce qui correspond à PODOR à une cote maximale de 417 cm à l'échelle de PODOR, soit un potentiel cultivable de **54 182 ha**.

Rappelons que toutes les analyses sont effectuées pour un potentiel cultivable compris entre MATAM et la confluence du KOUNDI. D'où une sécurité de l'ordre de 15 à 20% en ce qui concerne les valeurs indiquées pour les potentiels cultivables dans les analyses.

Il ressort de cela qu'il est possible de diminuer les débits lâchés de MANANTALI plus rapidement que prévu, si au 24 septembre les apports dans la retenue sont faibles. Ceci afin de stocker pour le soutien d'étiage et la crue de l'année à venir.

## 6. STATISTIQUES DES INONDATIONS

La station de Podor est observée depuis le début du siècle, les hauteurs maximales sont connues depuis 1903. Il a été montré dans ce qui précède que la liaison entre cette hauteur et la surface maximale inondée était stable avec un coefficient de régression de l'ordre de 0,998. Le tableau n°21 contient les valeurs des hauteurs maximales à Podor et les surfaces correspondantes inondées et cultivées (extensions à partir des liaisons établies – tableau n°7bis et n°10), la figure n°30 présente ces liaisons.

L'étude statistique menée sur la cote maximale de Podor nécessite l'utilisation d'une loi exponentielle tronquée double, avec 5 paramètres (1 de troncature commune – 2 de forme et 2 d'échelle) – Figure n°31.

Tableau n°21

Année	Maximum cm échelle	Smax ha	culivable ha
1903	545	183825	93989
1904	565	204173	99999
1905	540	178955	92531
1906	675	342236	143314
1907	495	139010	79803
1908	575	214984	103171
1909	620	267645	118914
1910	570	209587	101588
1911	530	169565	89681
1912	515	155531	85290
1913	320	42503	20541
1914	420	86724	55882
1915	540	179052	92560
1916	570	209373	101525
1917	572	211735	102218
1918	650	306958	131389
1919	508	149542	83349
1920	615	261424	117008
1921	482	128607	76086
1922	677	345323	144394
1923	584	224925	106092
1924	660	320692	135944
1925	578	218265	104134
1926	442	100267	64197
1927	634	285563	124503
1928	640	293471	127020
1929	624	272181	120315
1930	595	237473	109802
1931	550	188881	95493
1932	584	225374	106224
1933	614	260068	116594
1934	590	231486	108028
1935	664	325782	137660
1936	679	348279	145433
1937	555	193926	96985
1938	589	230574	107758
1939	527	166786	88826
1940	415	83847	53396
1941	474	122600	73814
1942	489	134177	78107
1943	569	208518	101274
1944	403	75195	47777
1945	625	280510	120827
1946	573	210663	102376
1947	545	187944	93989
1948	530	168752	89795
1949	515	155757	85374
1950	668	335911	139851
1951	585	227755	106423
1952	580	216871	104717
1953	533	168700	90540
1954	640	291519	126977
1955	639	276783	126510
1956	650	304834	131389
1957	627	269892	121581
1958	647	309726	130011
1959	604	258067	112966
1960	527	160914	88826
1961	640	297133	127020
1962	580	217855	104782
1963	537	160345	91691
1964	654	310483	133201
1965	663	326522	137419
1966	608	251953	114412
1967	647	301650	130143
1968	438	99196	62930
1969	558	204459	97889
1970	532	166805	90253
1971	558	198510	97889
1972	320	44597	20518
1973	442	99356	64322
1974	589	227206	107758
1975	515	148844	85430
1976	385	62270	40223
1977	381	65076	38642
1978	413	84745	52426
1979	341	47779	25835
1980	438	95742	62930
1981	442	97180	64165
1982	371	61255	35100
1983	233	27142	7859
1984	233	24314	7782
1985	397	73183	45146
1986	402	82520	47509
1987	289	37000	14542
1988	482	148700	76229
1989	400	82213	46403
1990	248	23479	9202
1991	373	63446	35772
1992	380	60725	38265
1993	393	69047	43580
1994	504	142489	82449
1995	519	157843	86530
1996	370	60675	34611
1997	429	92000	60016
1998	504	146000	82309
1999	565	221000	99876
2000	448	107323	66188

Figure n°30

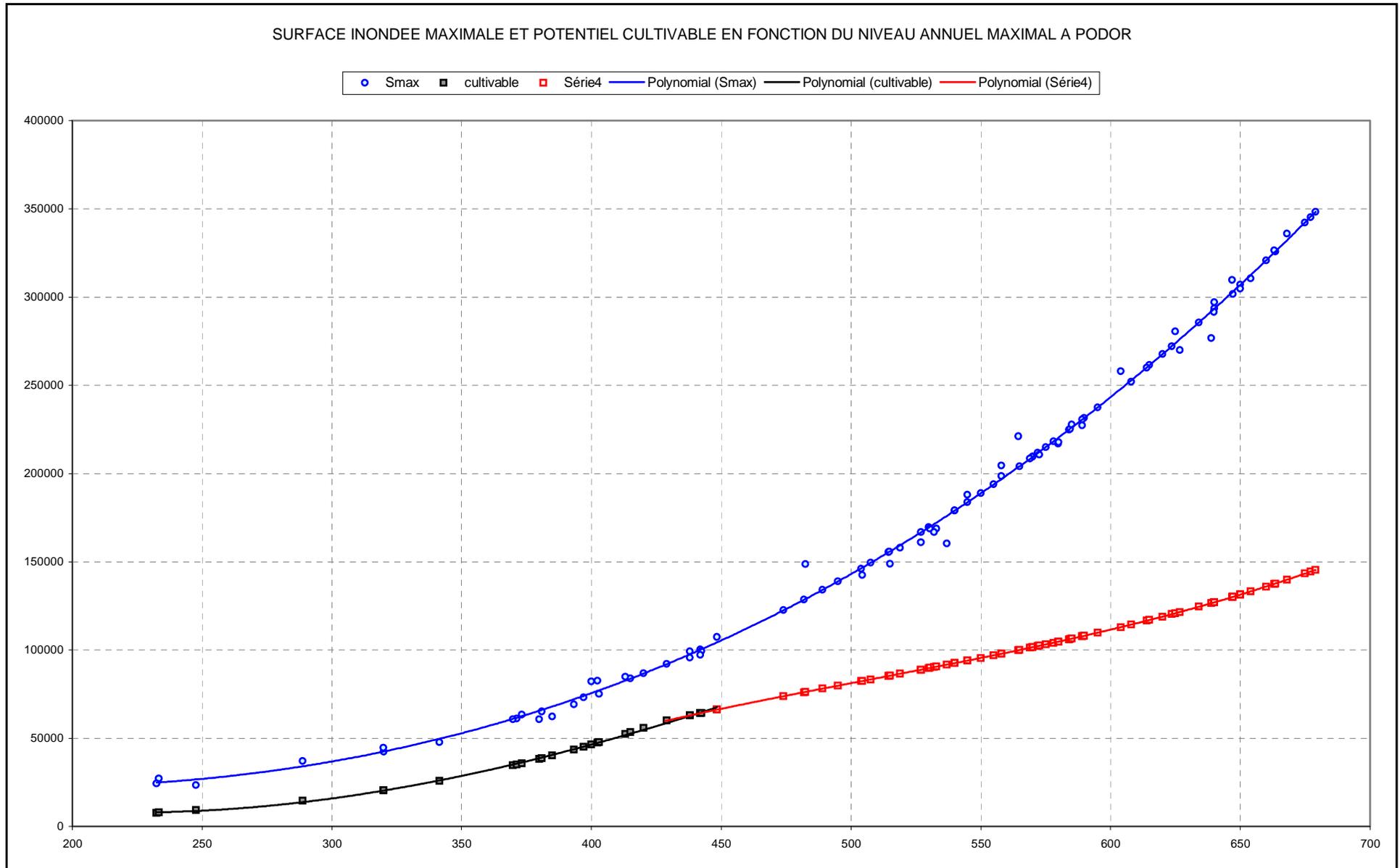


Figure n°31

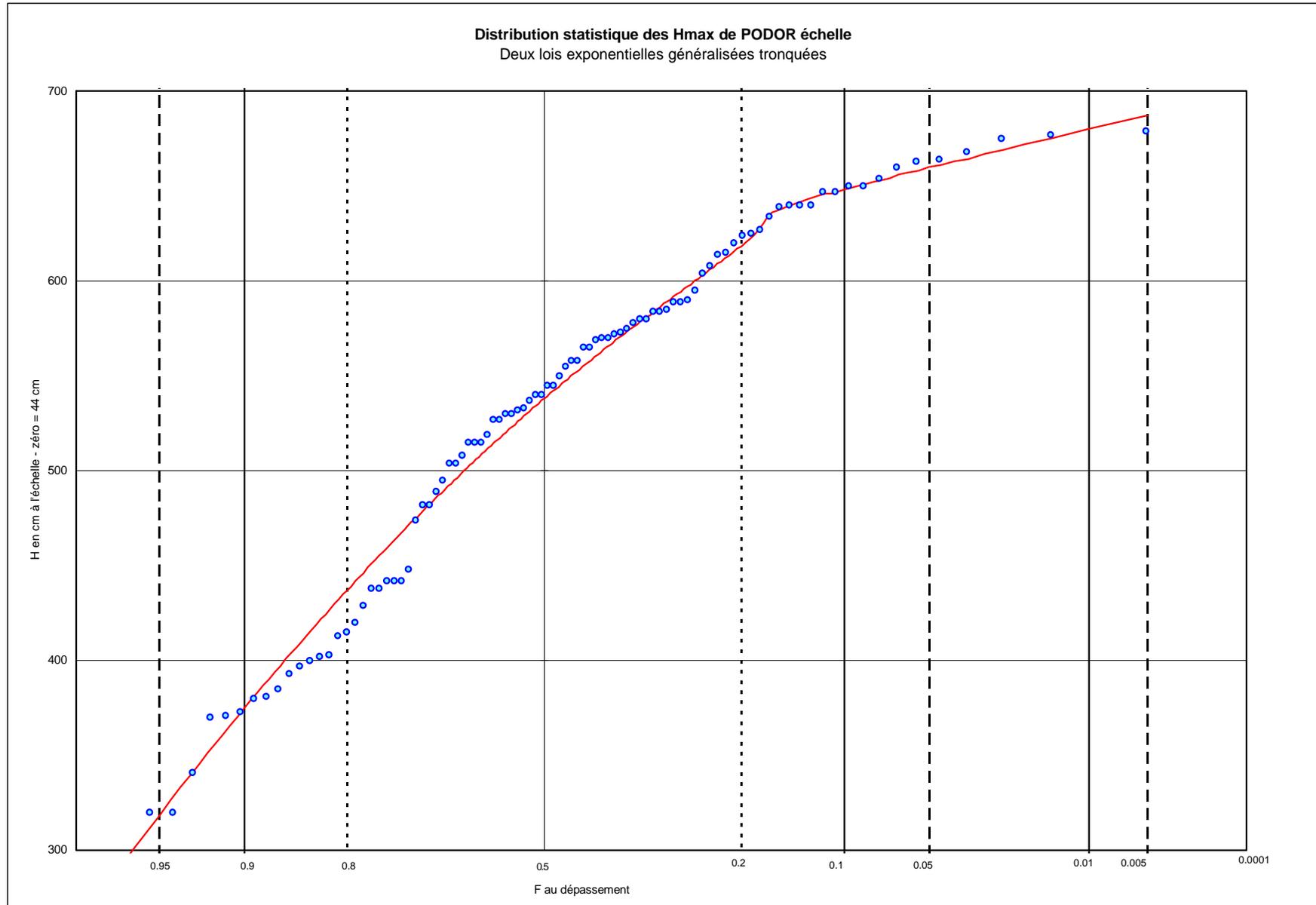


Tableau n°22 :

var. réduite	non dép.	cm	ha	ha
u	F	H échelle	S inondation	S pot. Cultivable
-2.57624	0.005	155	23177	3116
-2.32679	0.010	201	22661	5516
-2.17053	0.015	229	24453	7489
-2.05419	0.020	250	26911	9439
-1.96040	0.025	266	29449	11282
-1.88121	0.030	279	31949	13048
-1.81232	0.035	291	34612	14919
-1.75108	0.040	301	37098	16673
-1.69577	0.045	310	39545	18414
-1.64521	0.050	318	41891	20098
-1.59853	0.055	326	44399	21920
-1.55510	0.060	333	46728	23630
-1.51441	0.065	339	48825	25188
-1.47608	0.070	345	51017	26832
-1.43980	0.075	351	53304	28565
-1.40532	0.080	356	55283	30081
-1.37244	0.085	361	57329	31662
-1.34097	0.090	366	59443	33311
-1.31078	0.095	370	61183	34680
-1.28173	0.100	375	63420	36455
-1.25372	0.105	379	65259	37927
-1.22667	0.110	383	67143	39446
-1.20048	0.115	387	69072	41013
-1.17509	0.120	390	70548	42220
-1.15044	0.125	394	72555	43873
-1.12646	0.130	397	74091	45146
-1.10311	0.135	401	76178	46887
-1.08035	0.140	404	77774	48227
-1.05814	0.145	407	79395	49597
-1.03643	0.150	410	81043	50997
-1.01520	0.155	413	82716	52426
-0.99442	0.160	416	84417	53887
-0.97406	0.165	419	86143	55378
-0.95410	0.170	422	87896	56900
-0.93450	0.175	424	89079	57933
-0.91526	0.180	427	90876	59508
-0.89636	0.185	430	92700	60344
-0.87776	0.190	432	93931	60998
-0.85947	0.195	435	95800	61969
-0.84146	0.200	437	97061	62611
-0.82371	0.205	439	98334	63249
-0.80623	0.210	442	100267	64197
-0.78898	0.215	444	101570	64823
-0.77197	0.220	446	102886	65446
-0.75518	0.225	449	104882	66373
-0.73860	0.230	451	106228	66986
-0.72222	0.235	453	107586	67596
-0.70603	0.240	455	108957	68202
-0.69002	0.245	457	110340	68805
-0.67419	0.250	459	111736	69405

var. réduite	non dép.	cm	ha	ha
u	F	H échelle	S inondation	S pot. Cultivable
-0.65853	0.255	461	113144	70001
-0.64302	0.260	463	114564	70595
-0.62767	0.265	465	115997	71186
-0.61247	0.270	467	117442	71774
-0.59741	0.275	469	118900	72360
-0.58248	0.280	471	120371	72944
-0.56768	0.285	473	121854	73525
-0.55300	0.290	474	122600	73814
-0.53845	0.295	476	124102	74392
-0.52400	0.300	478	125617	74968
-0.50967	0.305	480	127144	75542
-0.49544	0.310	482	128685	76115
-0.48131	0.315	483	129460	76400
-0.46728	0.320	485	131019	76970
-0.45333	0.325	487	132592	77539
-0.43948	0.330	488	133383	77823
-0.42571	0.335	490	134974	78390
-0.41202	0.340	492	136579	78956
-0.39841	0.345	493	137386	79239
-0.38488	0.350	495	139010	79803
-0.37141	0.355	496	139827	80085
-0.35802	0.360	498	141471	80649
-0.34468	0.365	500	143127	81212
-0.33141	0.370	501	143960	81493
-0.31820	0.375	503	145637	82055
-0.30505	0.380	504	146480	82337
-0.29194	0.385	506	148176	82899
-0.27889	0.390	507	149029	83180
-0.26589	0.395	509	150744	83742
-0.25293	0.400	510	151607	84023
-0.24002	0.405	512	153343	84586
-0.22715	0.410	513	154216	84867
-0.21432	0.415	515	155971	85430
-0.20152	0.420	516	156854	85712
-0.18876	0.425	517	157740	85994
-0.17603	0.430	519	159523	86558
-0.16333	0.435	520	160419	86841
-0.15065	0.440	522	162221	87407
-0.13801	0.445	523	163127	87690
-0.12538	0.450	524	164037	87973
-0.11278	0.455	526	165866	88541
-0.10020	0.460	527	166786	88826
-0.08763	0.465	529	168636	89396
-0.07508	0.470	530	169565	89681
-0.06255	0.475	531	170499	89967
-0.05002	0.480	533	172375	90540
-0.03751	0.485	534	173319	90827
-0.02500	0.490	535	174266	91114
-0.01250	0.495	537	176170	91691
0.00000	0.500	538	177127	91980

Le tableau 22 contient les résultats de l'analyse statistique développée sur les hauteurs maximales de Podor, résultats étendus aux surfaces maximales de l'inondation et aux surfaces potentiellement cultivables.

On constate que la crue optimisée pour 50 000 ha de culture de décrue, avec garantie de submersion de 30 jours a une période de retour comprise entre 6 et 7ans et pour 70 000 ha la période est 4 ans.

Il s'agit donc bien là de fréquences qui correspondent à des crues faibles et à un choix de « survie » !