

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de la Coopération

DÉTERMINATION DES CAUSES DES ANOMALIES DES CRUES DU NIGER (MALI)

Rapport de la première année d'études
sur les anomalies

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Service Hydrologique

Avec la collaboration du :

BUREAU POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION AGRICOLE

République Française

Ministère de la Coopération

DETERMINATION DES CAUSES DES ANOMALIES
DES CRUES DU NIGER (MALI)

RAPPORT DE LA PREMIERE ANNEE D'ETUDES
SUR LES ANOMALIES

O.R.S.T.O.M Service Hydrologique
Avec la collaboration du B.D.P.A

Paris, Juin 1976.

SOMMAIRE

1- Recherches des causes des anomalies des crues du NIGER	2
1-1 Situation du problème	2
1-2 Réseau spécifique à la recherche des anomalies (carte I)	3
1-3 Tracé des lignes d'eau	8
2- Utilisation des données des satellites	8
2-1 Objectif	8
2-2 Localisation des données satellites	8
2-3 Imagerie Landsat acquise	8
2-4 Utilisation des images Landsat	12
2-5 Premier essai d'interprétation	14
Conclusion	15
Annexe	16

Sur la demande de la Commission du Fleuve NIGER, le Ministère de la Coopération de la République Française a confié à l'ORSTOM - Service Hydrologique - la réalisation d'une étude de 2 ans devant conduire à la détermination des causes des anomalies de crue du Fleuve NIGER (anomalies se manifestant visiblement dès TOSSAYE au MALI et dans tout le parcours du fleuve à travers la République du NIGER), ces causes étant à rechercher dans le delta intérieur du fleuve en République du MALI. Conformément au marché n° 496/M/74 du 3/12/74 signé entre le Ministère de la Coopération et l'ORSTOM. L'ORSTOM s'est assuré par la signature d'un protocole particulier la collaboration du Bureau de Développement de la Production Agricole (BDPA) pour l'interprétation de l'imagerie provenant de satellites.

Il est en effet bon de préciser ici que ce contrat d'études est étroitement associé au projet appelé SAPHYR (Satellite Project Hydrologic Research) déposé par la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'énergie du MALI en association avec l'ORSTOM et le BDPA auprès de la NASA pour bénéficier de l'imagerie du satellite ERTS-B (devenu depuis LANDSAT).

Dans le cadre contractuel ainsi défini, le BDPA a élaboré un premier rapport sur l'ensemble des résultats acquis et les premières conclusions qui s'en dégagent à l'issue de la première année d'études (1^o avril 1976)- Rapport BDPA "Saphyr Etude par données Landsat" 43 pages dont de nombreuses illustrations des essais divers d'analyse de l'imagerie.

Le présent rapport concerne la première année d'études et à partir des éléments fournis par le BDPA dans le document mentionné ci-dessus et des propres observations, mesures et analyses hydrologiques réalisées par l'ORSTOM, ce rapport rend compte des résultats acquis, des premières conclusions et des orientations à donner à l'étude pour la 2^{ème} année.

Un rapport distinct de celui-ci traite de la remise en état du réseau hydrométrique malien (avancement des travaux et annuaire des données), qui est le second volet du marché d'études.

Sous la direction de P. DUBREUIL, le rapport ORSTOM a été rédigé par J. GRUETTE avec la collaboration de G. DUBEE et de J.P. LAMAGAT.

1-Recherches des causes des anomalies des crues du NIGER

1-1 Situation du problème

Dans la note de 1970 intitulée : "Modification du régime hydrologique du NIGER à NIAMEY depuis 1961", J. RODIER et P. CHAPERON mettaient en lumière la variation de l'amortissement de la crue du NIGER lors de son passage dans la cuvette lacustre.

Certaines des constatations faites lors de l'établissement de cette note sont confirmées par les observations les plus récentes :

-a- la corrélation des hauteurs maximales aux stations hydrométriques de MOPTI et de DIRE ne montre pas d'anomalie (graphique 1) entre les périodes antérieure et postérieure à 1961.

-b- par contre le graphique semblable établi pour les stations de DIRE et de TOSSAYE montre clairement un changement de régime à partir de 1961 ou 1962 (graphique 2).

Il est d'ores et déjà possible d'ajouter de nouvelles constatations grâce à quelques années supplémentaires d'observations :

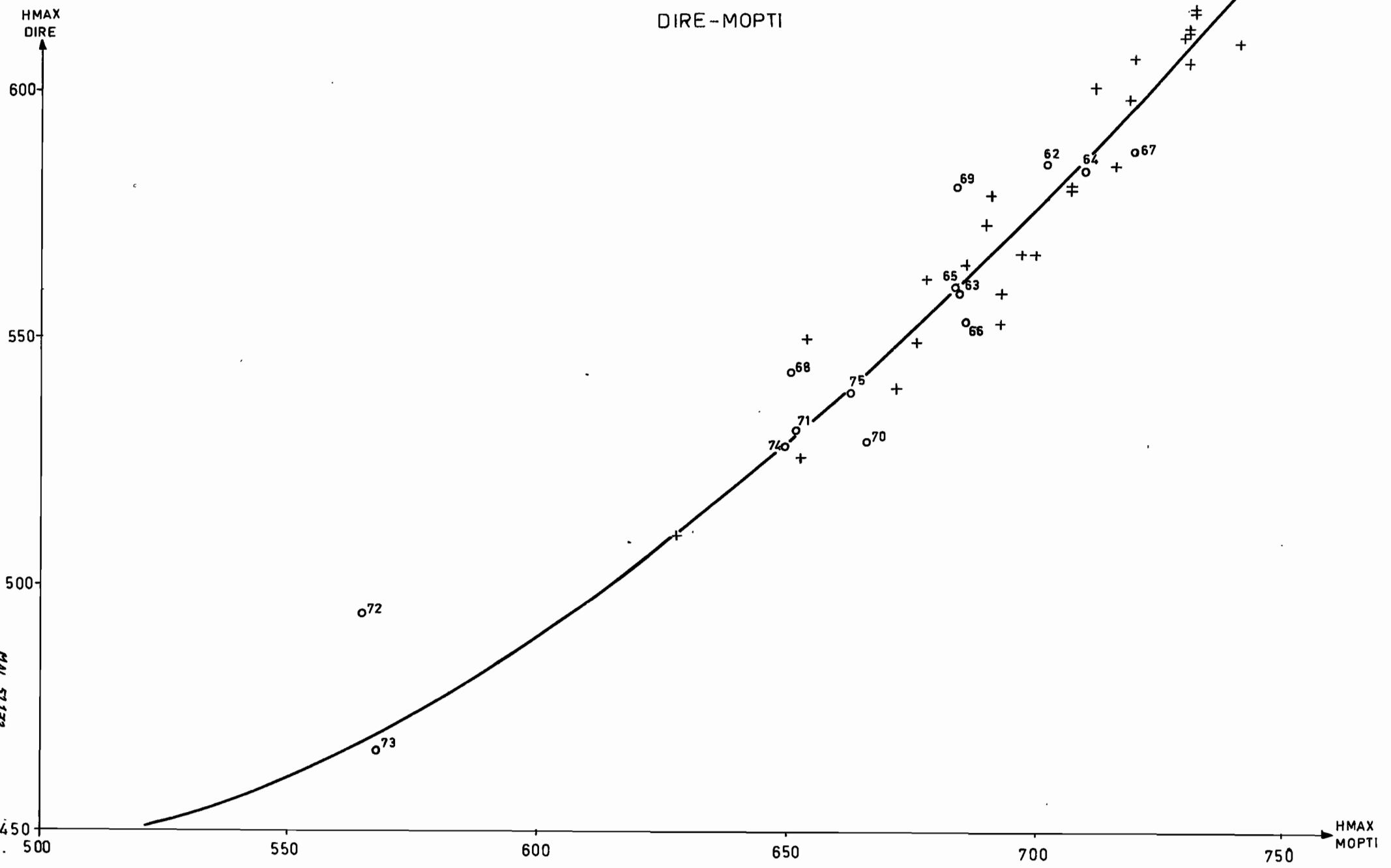
-c- le graphique 3, établit une corrélation semblable entre les hauteurs d'eau maximales annuelles de DIRE et GOURMA RHAROUS station situé entre DIRE et TOSSAYE. Aucune anomalie n'apparaît ce qui semblerait indiquer que l'anomalie doit être recherchée entre GOURMA RHAROUS et TOSSAYE, c'est à dire en aval du delta intérieur. On notera cependant que l'on dispose seulement de 3 années à RHAROUS antérieures à 1961 (1953, 57 et 60) jugées correctes et qu'en général les relevés à cette station purement limnimétriques ont souvent été dans le passé de mauvaise qualité (site inaccessible rarement visité pour contrôle, lit à bras multiples...). L'hypothèse de localisation de l'anomalie en aval de RHAROUS doit être considérée avec précaution.

-d- si on prend en compte les débits maximaux annuels et non plus les hauteurs maximales on constate que ces débits évoluent régulièrement de l'amont vers l'aval avant 1961 (graphique 4). Pour les mêmes stations, le graphique change complètement de forme après 1960 (graphique 5). En particulier, certaines années, le débit maximal à TOSSAYE est supérieur à celui de DIRE ce qui ne peut se concevoir que si un débit important passe dans les différents bras qui existent à l'est de DIRE et ceci depuis 1961 ou 1962.

-e- si maintenant on prend en compte le volume écoulé annuel ou le module annuel, la corrélation entre TOSSAYE et DIRE conduit à une constatation semblable (graphique 6). De 1954 à 1960 on obtient une corrélation parfaite à l'exception de l'année 1957-58. Ensuite les points représentatifs s'éloignent sensiblement de la corrélation initiale et passent presque tous de l'autre côté de la première bissectrice. Cela signifie que les volumes écoulés à TOSSAYE deviennent supérieurs à ceux écoulés à DIRE. Il semble bien que les mesures faites à DIRE ne sont plus représentatives du débit du NIGER à la sortie du delta intérieur.

CORRELATIONS DES HAUTEURS MAXIMALES

DIRE-MOPTI



MAL-57172

Gr. 1

CORRELATIONS DES HAUTEURS MAXIMALES TOSSAYE - DIRE

HMAX.
TOSSAYE

500

450

400

350

400

450

500

550

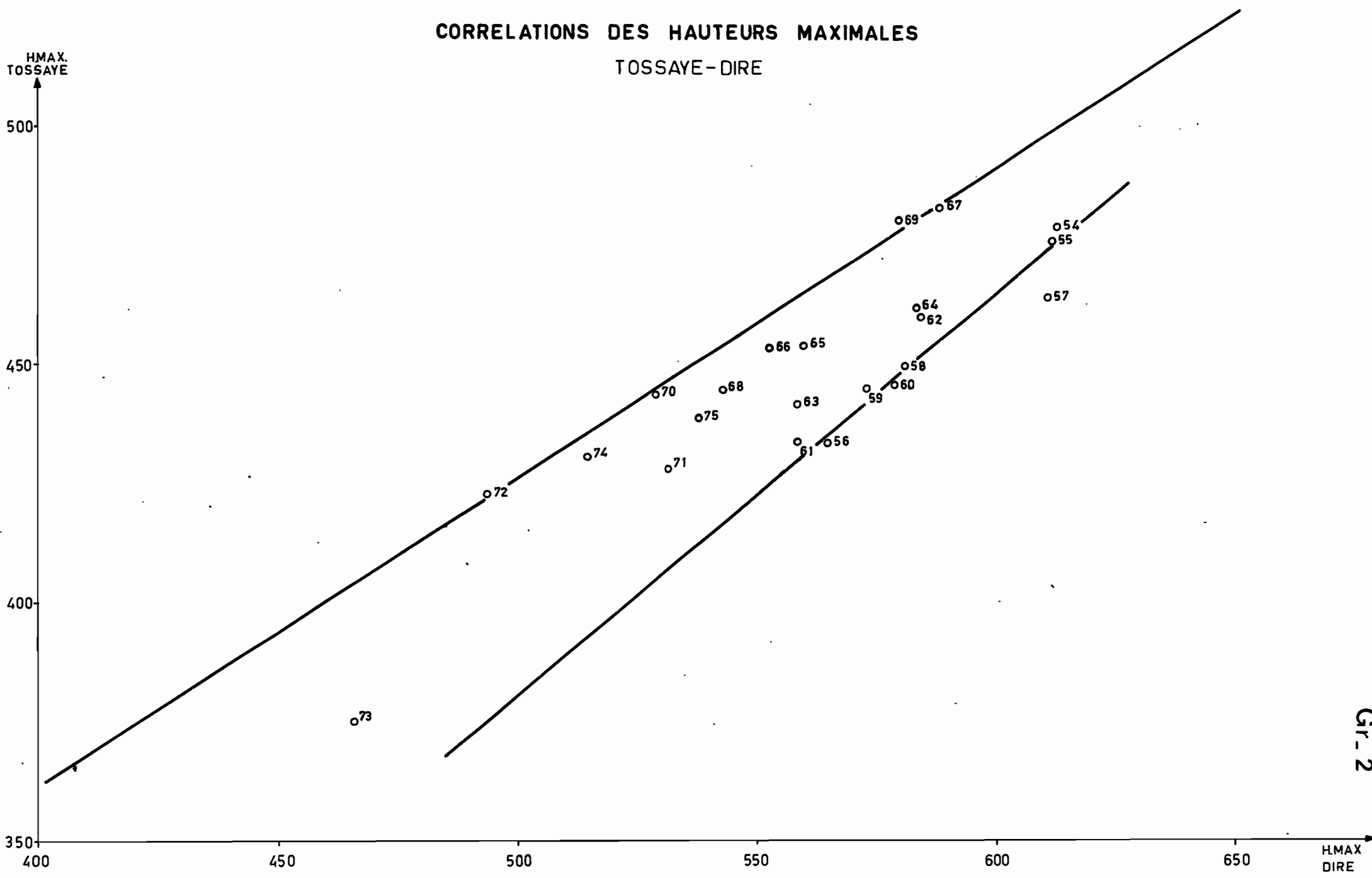
600

650

HMAX
DIRE

HAL-51733

Gr. 2



CORRELATIONS DES HAUTEURS MAXIMALES
GOURMA-RARHOUS-DIRE

H.MAX
G.RARHOUS

550

500

450

400

450

500

550

600

H.MAX.
DIRE

Gr. 3

MAL-51774

73

72

74

75

65

61

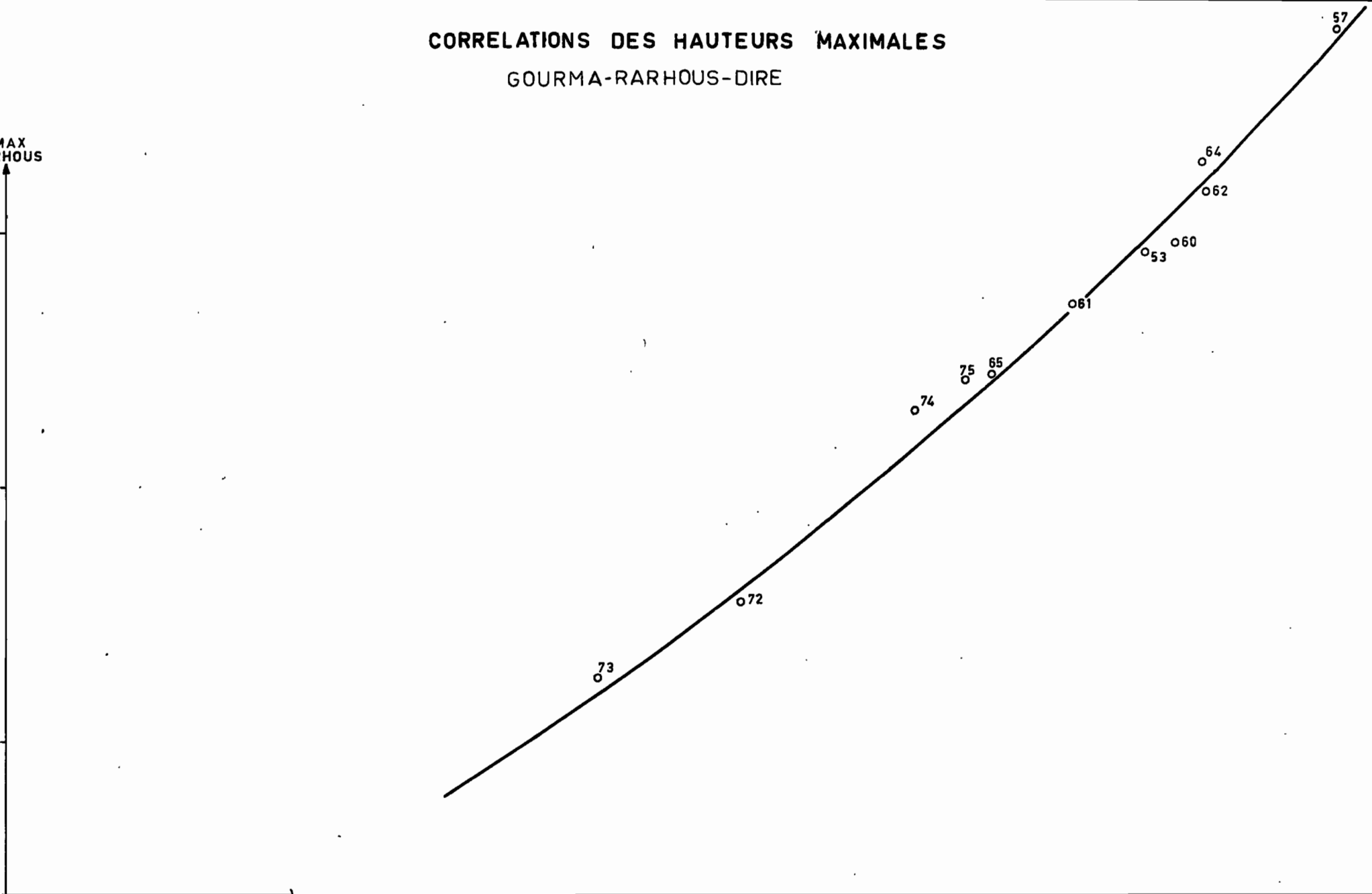
53

60

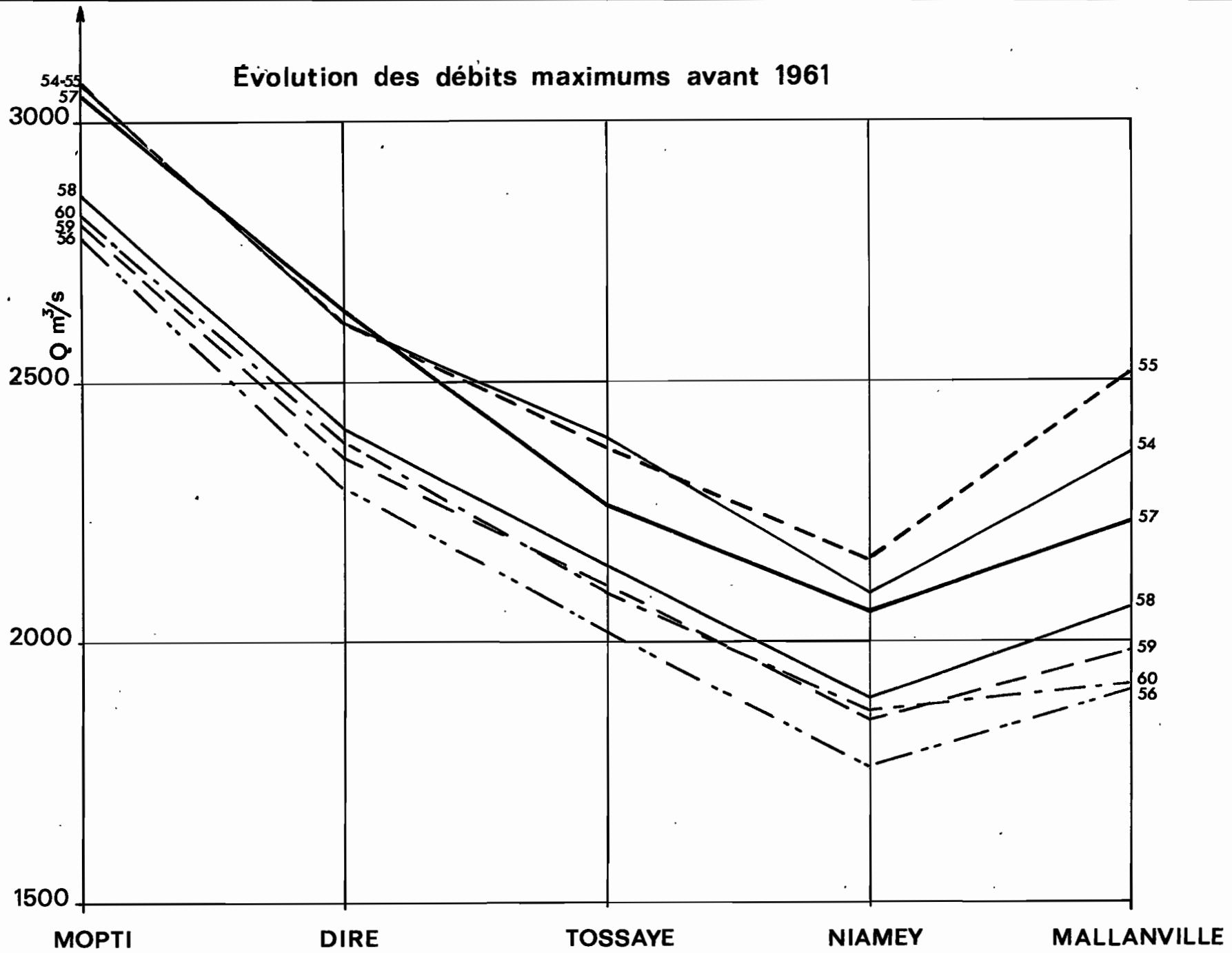
64

62

57

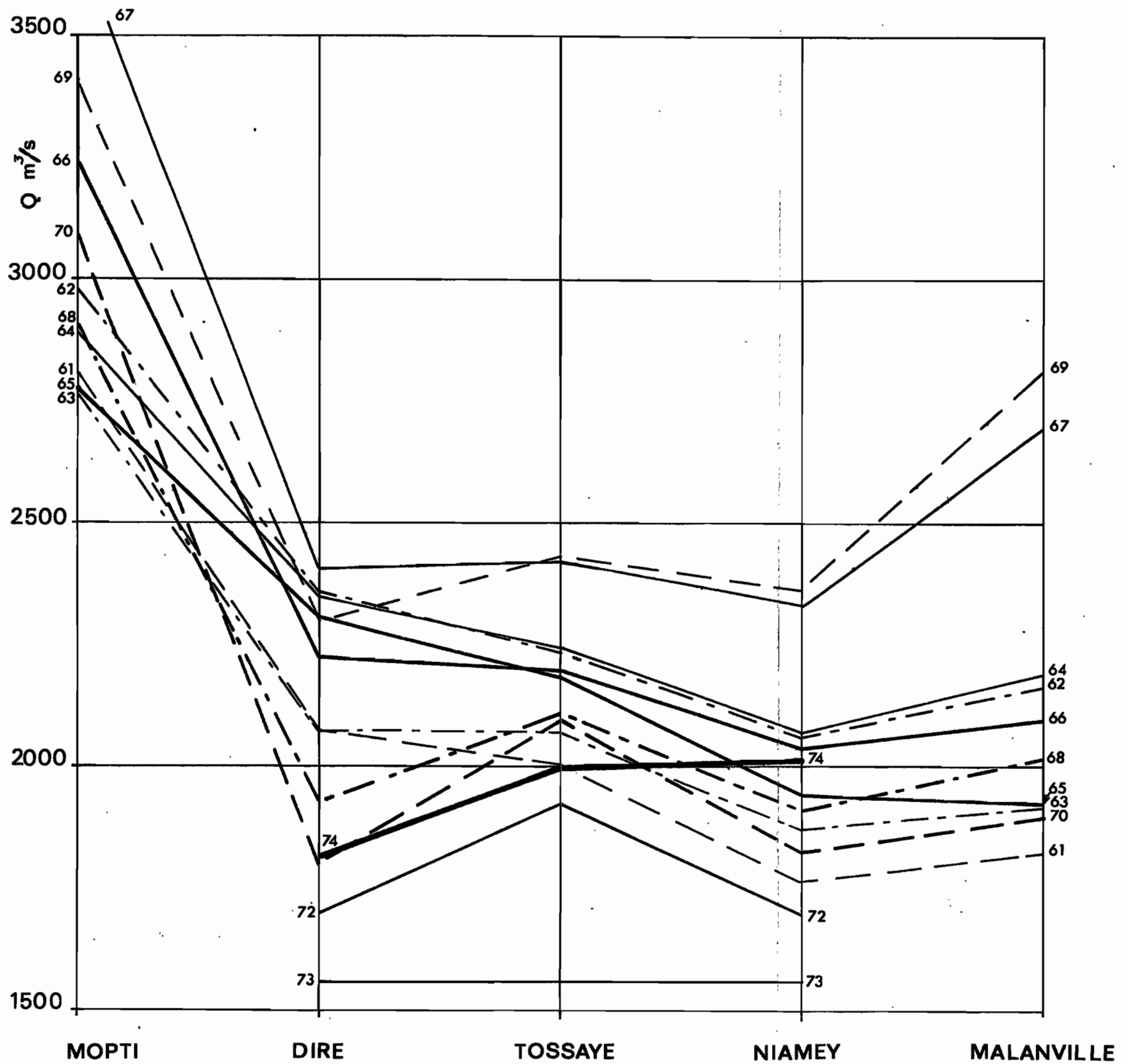


Évolution des débits maximums avant 1961



Gr.5

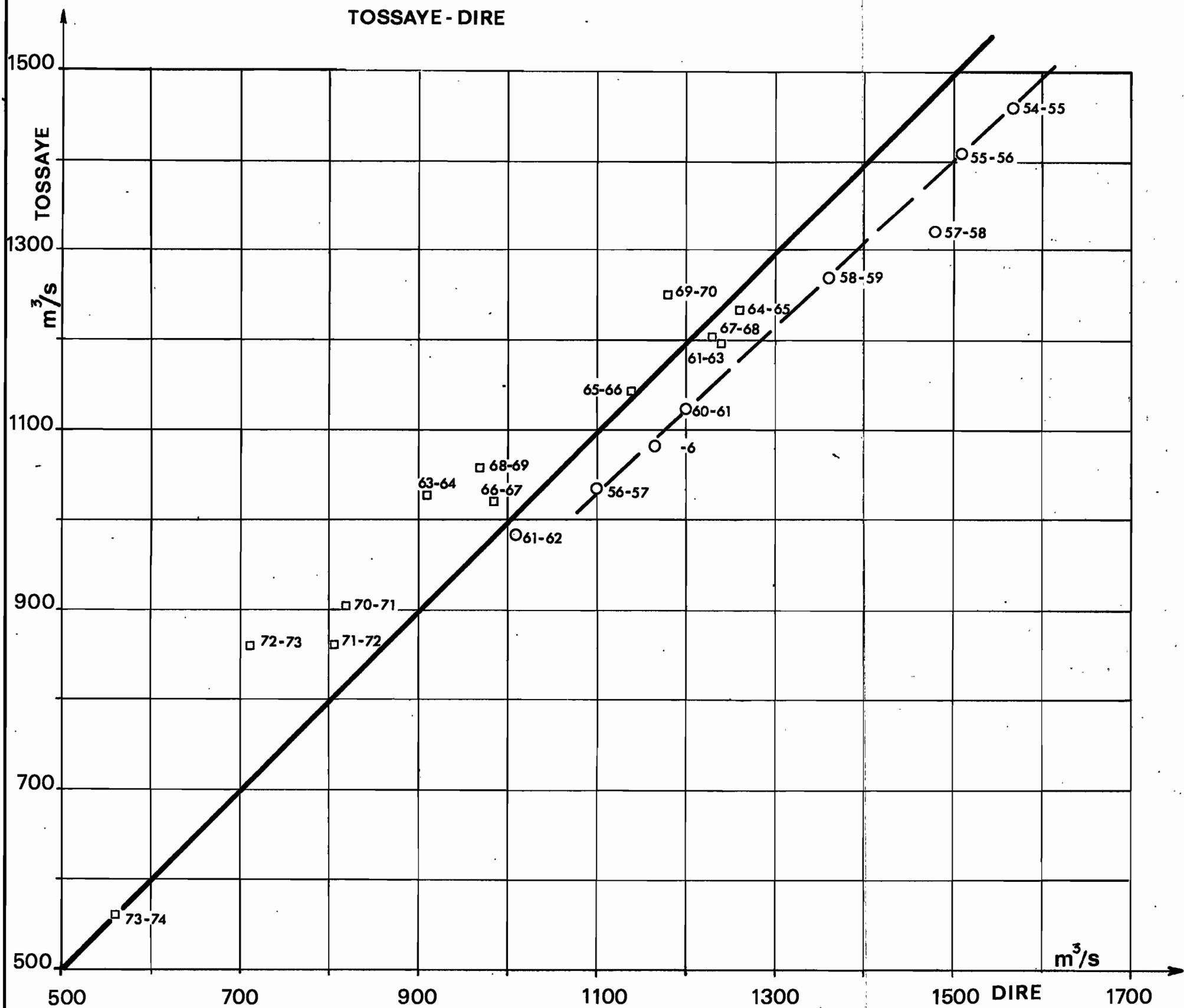
Evolution des débits maximums après 1960



Gr. 6

Correlation des modules annuels

TOSSAYE - DIRE



D'autres constatations semblables aux précédentes ont été faites, qui permettent de préciser le problème, mais il ne nous est pas encore possible de définir la cause des anomalies que nous constatons.

1-2 Réseau spécifique à la recherche des anomalies (carte I)

Pour poursuivre et compléter les observations relatives à la recherche des causes des anomalies, 13 stations hydrométriques déjà installées dans le cadre d'études hydrologiques liées à "l'opération riz" ont été remises en état et 11 stations supplémentaires ont été installées. Les stations limnimétriques du réseau de base figurent sur la carte II.

Le tableau I donne la liste de ces stations à l'exception de celles sur le lac HORO et sur le lac FAGUIBINE qui seront installées et mises en service en 1976. Il est prévu d'installer rapidement deux stations supplémentaires, une à SA sur le BARA ISSA et une autre à N'GORKOU sur le COLI COLI. Des mesures de débit ont été effectuées à KOKYOUNE sur le NIGER près de TOMBOUCTOU afin de compléter l'étalonnage de cette station.

Des mesures de transports solides en suspension ont été effectuées en aval du delta. Les résultats obtenus pour des débits de crue varient entre 20 et 25 gr/m³. Des résultats semblables avaient déjà été obtenus à l'occasion d'autres études en amont et en aval du delta intérieur.

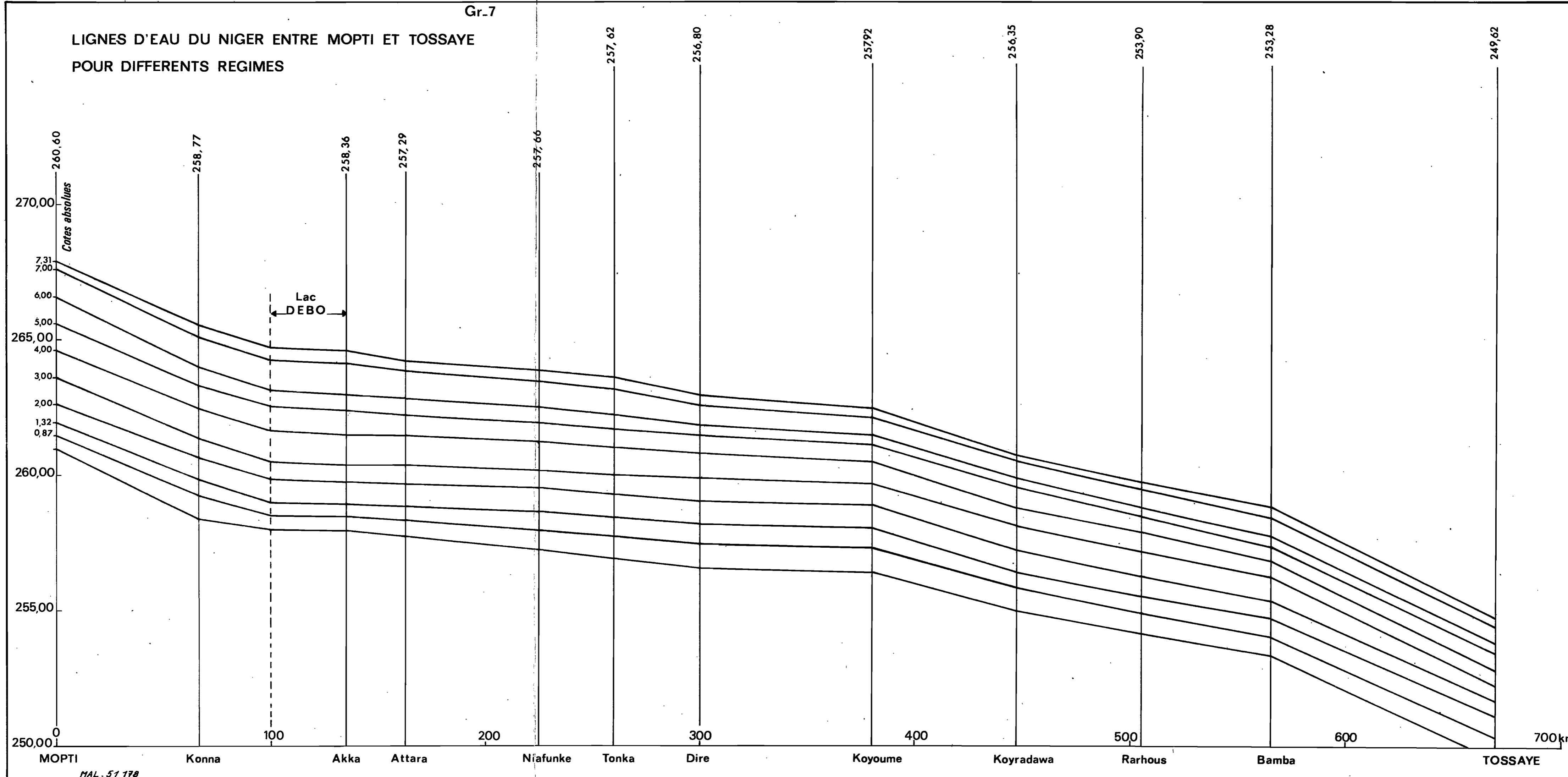
Les stations climatologiques de MOPTI-SEVARE et TOMBOUCTOU qui sont gérées depuis de nombreuses années par l'ASECNA ont été complétées par des bacs d'évaporation et l'équipement nécessaire pour la mesure des paramètres facteurs de l'évaporation.

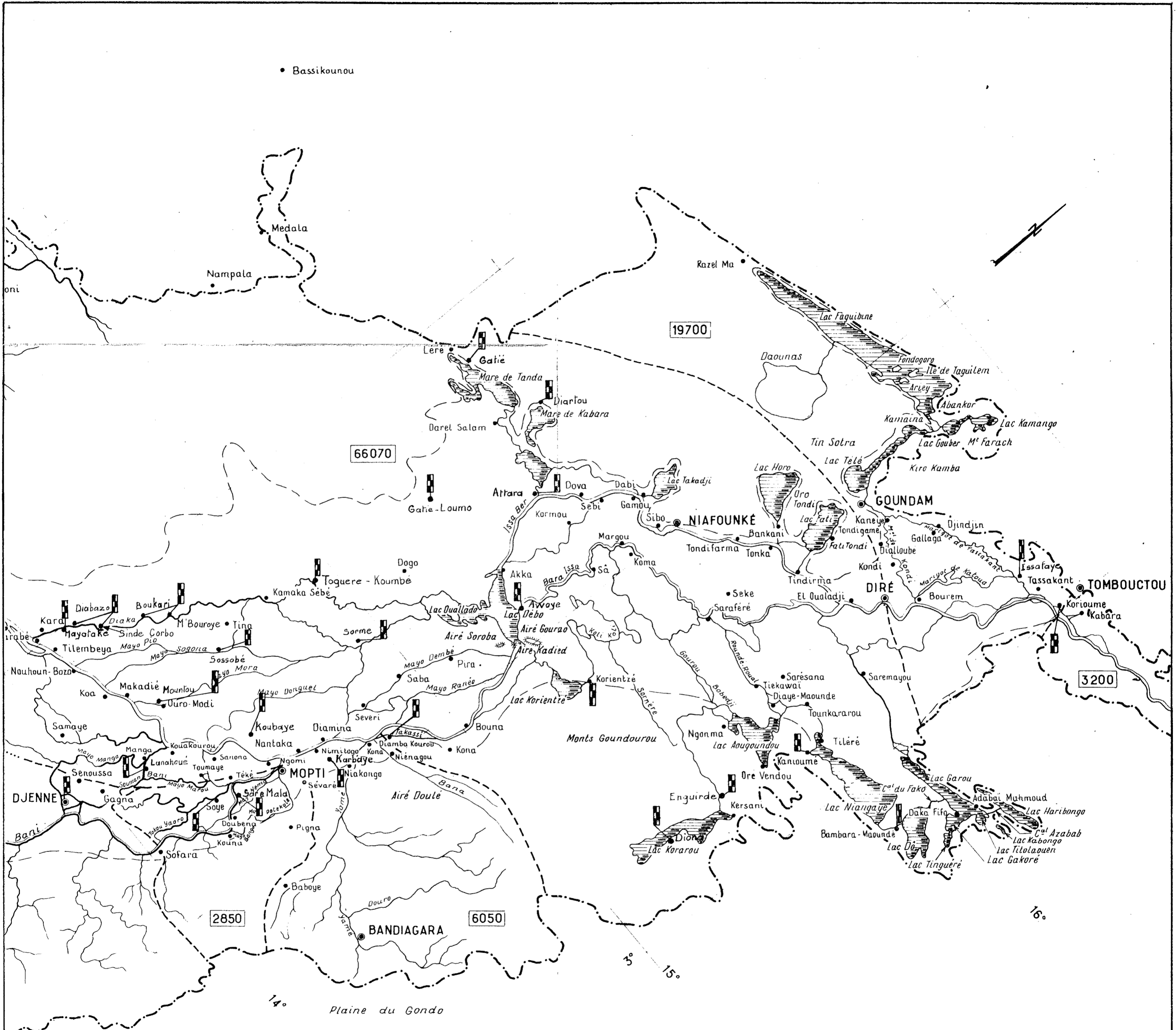
1-3 Tracé des lignes d'eau

Grace au rattachement des échelles de nombreuses stations du NIGER, il a été possible d'établir le graphique 7 donnant la pente de la ligne d'eau à partir de différentes cotes à MOPTI. Il s'agit d'un document de travail qui doit être considérablement amélioré grâce aux nouvelles stations maintenant en fonctionnement.

L'ensemble des renseignements collectés depuis 1975 dans le delta intérieur (relevés complémentaires de hauteurs d'eau, mesures de débit liquide et solide...) serviront à préciser les causes et les mécanismes de l'anomalie hydrologique détectée depuis 1961. Ceci sera pris en compte lors de l'analyse devant aboutir au rapport final prévu en 1977.

LIGNES D'EAU DU NIGER ENTRE MOPTI ET TOSSAYE
POUR DIFFERENTS REGIMES





• Bassikounou

Anomalie des crues du NIGER

Carte I

RÉSEAU LIMNIMÉTRIQUE COMPLÉMENTAIRE

Echelle: 1/1000 000

LÉGENDE

- Station limnimétrique
- Limite de la cuvette lacustre
- Limite de la zone inondable
- 6050** Limite de bassin et superficie (km²)

LISTE DES STATIONS LIMNIMETRIQUESSAPHYRTABLEAU I

STATION	COURS D'EAU	COORDONNEES	SUPERFICIE BAS. VERS. (Km ²)	MISE EN SERVICE	ECHELLE			
					NATURE	NOMBRE D'ELTS	ALTITUDE I.G.N.	DATE REMISE EN ETAT
DIAMBACOUROU	Plaine Rive Droite	14°50'N 3°58'W	/	1973	Tôle UPN 100	1	/	1975
KARBAYE	Mare NIEMOU	14°40'N 4°06'W	/	1973	Tôle UPN 100	1	/	1975
SOYE	TOUKOUYAORO	14°14'N 4°17'W	/	1970	Tôle UPN 140	3	/	1975
SARE MALA	BANI	14°19'N 4°14'W	/	1973	Tôle UPN 100	2	/	1975
LANAOUHE	SOUHAN BANI	14°07'N 4°29'W	/	1971	Tôle IPN 140	3	/	1975
KORIENTZE	COLI-COLI	15°23'N 3°47'W	/	1971	Tôle IPN 140	6		1975
GATIE	Lac TANDA	15°44'N 4°50'W	/	1971	Tôle IPN 140	2	/	1975
DIARTOU	Lac KABARA	15°47'N 4°35'W	/	1971	Tôle IPN 140	2	258,30	1975

LISTE DES STATIONS LIMNIMETRIQUES

SAPHYR

TABLEAU 1 (suite 1)

STATION	COURS D'EAU	COORDONNEES	SUPERFICIE BAS. VERS. (Km ²)	MISE EN SERVICE	ECHELLE			
					NATURE	NOMBRE D'ELTS	ALTITUDE I.G.N.	DATE REMISE EN ETAT
MAYATAKE	DLAKKA	14°21'N 4°54'W	/	1971	Tôle IPN 140	5	/	1975
DIABAZO	DLAKKA	14°18'N 4°57'W	/	1971	Tôle IPN 140	5	/	1975
SINDE CORBO	DLAKKA	14°30'N 4°49'W	/	1972	Tôle IPN 140	3	267,99	1975
BOUKARI	DLAKKA	14°36'N 4°48'W	/	1972	Tôle IPN 100	3	267,66	1975
M'BOUROYE	DLAKKA	14°39'N 4°46'W	/	1972	Tôle IPN 120	5	265,18	1975
MOUNTOU	MAYO MOURA	14°17'N 4°38'W	/	1971	IPN 160	3	267,36	1975
SOSSOBE	MAYEL TOGORO	14°34'N 4°41'W	/	1970	Tôle IPN 140	3	/	1975
KOUBAYE	MAYO KOTABA	14°25'N 4°26'W	/	1971	Tôle IPN 140	4	/	1975

LISTE DES STATIONS LIMNIMETRIQUES

SAPHYR

TABLEAU 1 (suite 2)

STATION	COURS D'EAU	COORDONNEES	SUPERFICIE BAS. VERS. (Km2)	MISE EN SERVICE	ECHELLE			DATE REMISE EN ETAT
					NATURE	NOMBRE D'ELTS	ALTITUDE I.G.N.	
ATTARA	ISSA-BER	15°40'N 4°21'W	/	1971	T81e IPN 140	4	257,29	1975
TOGUERE KOUMBLE	DIAKKA	14°55'N 4°36'W	/	1975	T81e UPN 100	3	/	1975
GATIE LOUMO	Mare GOMAGA	15°28'N 4°37'W	/	1975	T81e UPN 100	2	/	1975
AWOYE	BARA-ISSA	15°23'N 4°07'W	/	1975	T81e UPN 100	1	/	1975
DIONA	LAC KORAROU	15°20'N 3°14'W	/	1975	T81e UPN 100	1	/	1975
ENGURDE	KORAROU	15°31'N 3°18'W	/	1975	T81e UPN 100	2	/	1975
KANYOUME	Lac NIANGAYE	15°47'N 3°09'W	/	1975	T81e UPN 100	2	/	1975
BAMBARA	Lac DO	15°53'N 2°46'W	/	1975	T81e UPN 100	3	/	1975

LISTE DES STATIONS LIMNIMETRIQUES

SAPHYR

TABLEAU 1 (suite 3)

STATION	COURS D'EAU	COORDONNEES	SUPERFICIE BAS. VERS. (Km ²)	MISE EN SERVICE	ECHELLE			
					NATURE	NOMBRE D'ELTS	ALTITUDE I.G.N.	DATE REMISE EN ETAT
ISSAFAYE	TASSAKAN	16°38'N 3°11'W	/	1975	Tôle UPN 140	6	257,06	1975
KORYOUME	NIGER	16°40'N 3°02'W	/	1975	Fonte et tôle U 100	4	257,92	1975
DJENNE	BANI	12°53'N 4°32'W	/	1975	Tôle UPN 100	7	/	1975
SORNE	MAYEL KANA	14°53'N	/	1975	Tôle UPN 100	3	/	1975

2- Utilisation des données des satellites

2-1 Objectifs

L'utilisation des données de satellites a pour but principal d'élaborer une visualisation numérique ou cartographique utilisables en hydrologie. Le fait que les satellites fournissent, théoriquement, des vues répétitives laissait espérer la possibilité de cartographier les surfaces inondées à plusieurs stades du cycle hydrologique annuel.

Parallèlement les documents satellites devraient permettre d'étudier l'occupation des sols et plus particulièrement le couvert végétal et son évolution.

2-2 Localisation des données satellites

Les satellites Landsat fournissent des données par unité élémentaire appelés "images". D'un passage à l'autre du satellite, ces images recouvrent approximativement la même région terrestre constituée par un carré de 185 km de côté. Les centres de ces images sont représentés sur la carte II. Les images sont numérotées de 1 à 14 et un nom a été attribué à chacune d'elles.

2-3 Imagerie Landsat acquise

Sous la forme de clichés transparents et noir et blanc, 86 images ont été acquises. Le tableau II donne la liste de ces images. La première colonne du tableau indique le numéro d'identification de l'image, composé de trois chiffres. La deuxième colonne indique le pourcentage de la surface occupée par des nuages. Les quatorze colonnes suivantes indiquent la date de la prise de vue, chaque colonne correspondant à une localisation d'image.

Les 86 images acquises se divisent en deux groupes, la limite entre ces groupes étant l'image 1292 09540 05. Pour le groupe supérieur dans le tableau seules les vues sur les canaux 5 et 7 ont été acquises. Pour le groupe inférieur, les vues ont été acquises sur les 4 canaux (4,5, 6 et 7). A chaque image de satellites, il correspond quatre enregistrements spécifiques de quatre bandes spectrales du rayonnement lumineux que l'on appelle canaux :

Canal 4	longueur d'onde de	0,5 à 0,6	microns	
5	"	"	0,6 à 0,7	"
6	"	"	0,7 à 0,8	"
7	"	"	0,8 à 1,1	"

(ce canal 7 étant le proche infra-rouge).

Certaines images correspondant à des zones limitrophe et n'apportent pas d'information directement liée à l'étude contractuelle.

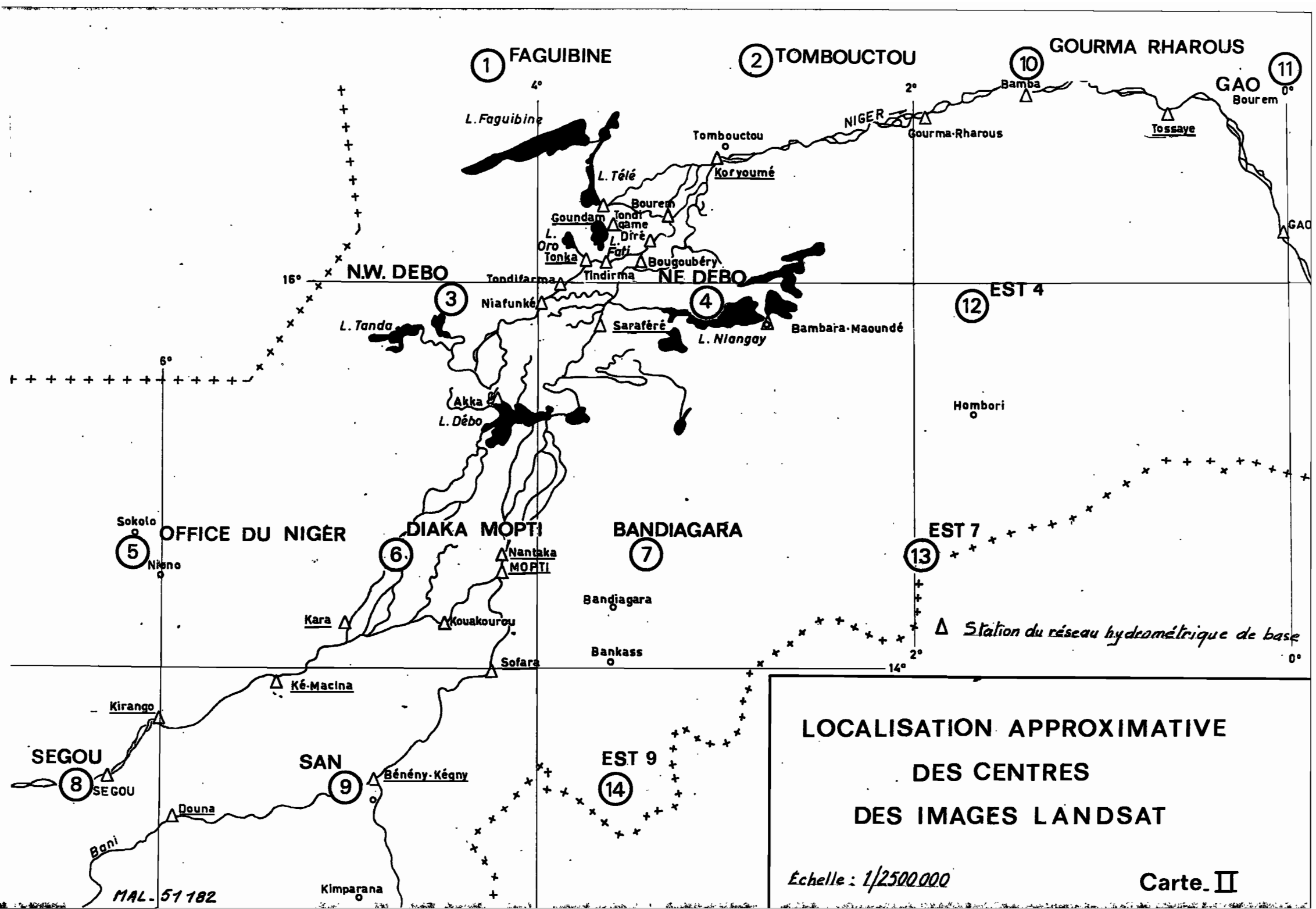


TABLEAU II

IMAGERIE LANDSAT ACQUISE

		Nuages	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NUMERO D'IDENTIFICATION	1972	%	FAGUINE	TOMBOUC- TOU	N W. DEBO	NE. DEBO	OFFICE DU NIGER	DIAKA MOPTI	BANDIA- GARA	SECOU	SAN	GOURMA- RHAROUS	GAO	EST 4	EST 7	EST 9
			11024	10042	22				16/8							
11024	10045	25							16/8							
11024	10051	30														16/8
11059	09582	07										20/9				
11059	09584	10												20/9		
11061	10101	39			22/9											
11061	10104	42						22/9								
11061	10110	45								22/9						
11062	10153	47														
11062	10162	53					23/9									
11078	10041	18		9/10												
11078	10053	31														9/10
11078	10050	26						9/10								
11079	10100	35		10/10												
11079	10102	38			10/10											
11080	10163	52					11/10									
11095	09585	08										26/10				
11095	09591	11											26/10			
11095	08594	15												26/10		
11096	10043	19		27/10												
11096	10052	27						27/10								
11096	10055	32								27/10						
11098	10161	48														
11098	10163	51														
11098	10170	54					29/10									
11098	10172	57							29/10							
11112	09532	02											11/12			
11113	09591	09										13/11				
11113	09593	12											13/11			
11113	10000	16												13/11		

TABLEAU II (Suite 2)

IMAGERIE LANDSAT ACQUISE

1384	10045	122	20							<u>18/8</u>									
1420	10032	101	30		<u>16/9</u>														
1420	10034	109	40				16/9												
1421	10092	104	50			19/9													
1421	10095	115	30						17/9										
1438	10025	102	0		<u>4/10</u>														
1438	10031	110	0				<u>4/10</u>												
1438	10034	123	0							<u>4/10</u>									
1512	10140	113	40					17/12											
		<u>1974</u>																	
1529	10073	105	0			<u>3/1</u>													
1529	10075	116	0						<u>3/1</u>										
1547	10072	117	0						<u>21/1</u>										
1565	10064	118	0						<u>8/2</u>										
		<u>1975</u>																	
2038	09533	111	50					1/3											
2038	09540	124	0							<u>1/3</u>									
2040	10053	114	0						<u>3/3</u>										
2056	09532	112	10					<u>19/3</u>											
2056	09535	125	0							<u>19/3</u>									
2057	09591	106	0			<u>20/3</u>													
2057	09593	119	10						<u>20/3</u>										
2075	09590	107	0			<u>7/4</u>													
2075	09593	120	0						<u>7/4</u>										
2039	09592	201	50			<u>2/3</u>													
2146	09533	202	50					17/6											
2147	09591	203	90			<u>18/6</u>													
2164	09532	204	90					5/7											
2165	09591	205	40			<u>6/7</u>													
2152	09530	206	10					<u>23/7</u>											
2286	09521	207	50					<u>15/9</u>											
2237	09575	208	50			<u>16/9</u>													
TOTAL			86	3	7	12	12	7	9	10	4	4	3	4	4	2	5		
TOTAL à moins de 30% de nuages			60	0	5	7	6	4	9	9	3	4	2	4	3	1	3		
Imagerie non acquise 30%			47	4	8	2	0	3	4	4	2	5	3	5	4	0	3		

Elles se distinguent des autres dans le tableau par le fait que le pourcentage de nuages n'en est pas mentionné. Pour chaque image ne présentant pas plus de 30% de couverture, la date de prise de vue a été soulignée. Au total, 60 images remplissent cette condition.

Depuis l'acquisition de ces images, l'annonce a été faite par la NASA de l'établissement d'autres vues sur la même zone. Parmi celles-ci, 47 présentent une couverture nuageuse égale ou inférieure à 30%. Sur 37 mois d'activité des satellites Landsat, 107 images sont donc utilisables.

Pour un seul satellite, repassant sur le même point tous les 18 jours, pour quatorze images, pendant 37 mois, en supposant que la couverture nuageuse n'est pas supérieure à 30% deux jours sur trois, on devrait avoir 583 vues utilisables. Avec les 107 vues, on constate un manque d'information de l'ordre de 82% par rapport à ce que l'on pouvait espérer. La situation est encore plus défavorable lorsque l'on sait qu'il existe deux satellites Landsat depuis le 22 janvier 1975 et que d'autre part au moment de ce travail on disposait de 60 images et non de 107.

Il faut enfin remarquer que les 14 vues de la carte précédente se placent sur cinq orbites et que la couverture complète de la zone s'effectue en cinq jours. En fait on ne trouve jamais dans les documents disponibles les quatorze vues en cinq jours, soit une couverture au même "moment".

Sous forme numérique (bande magnétique) une demi-vue de la partie Est de l'image 6 (DIAKA-MOPTI) a été acquise.

On doit donc constater en conclusion que la NASA n'a pas mis à la disposition des utilisateurs privilégiés que devaient être les investisseurs agréés (le projet SAPHYR fut agréé en son temps) l'imagerie promise. On est donc contraint d'acquérir de façon payante les rares images mises en vente par la librairie de la NASA. Comme on l'a noté ci-dessus les disponibilités sont très en-deçà des espérances et cette situation est très défavorable à l'étude contractuelle.

2-4 Utilisation des images Landsat

Dans cette première phase du travail, plusieurs opérations ont été effectuées à partir des images acquises.

Une mosaïque de la zone au 1/1000 000 a été réalisée couvrant la principale partie de la zone étudiée. Malheureusement cette mosaïque se compose de vues prises à des moments différents. Il a été contrôlé que l'agrandissement des transparents Landsat permet d'obtenir des documents à l'échelle 1/200 000 de très bonne qualité. Ces agrandissements ne sont pas exactement superposables aux cartes UTM pour l'ensemble de l'image mais la coïncidence est très correcte pour chaque quart d'image.

1'USGS

Une esquisse du réseau hydrographique au 1/200 000 a été dressée à partir de l'image 4 (Nord Est du DEBO) prise en décembre 1972. Une comparaison rapide avec les photos aériennes de 1952 et 1955 ne montre pas de modifications notoires du réseau hydrographique.

Des essais d'interprétation à partir des images ont été effectués en utilisant l'appareillage DIGICOL de la Société MATRA. Le DIGICOL établit, à partir de clichés en noir et blanc, des images en couleur sur écran cathodique. Il permet de faire correspondre un jeu de couleur choisi par l'opérateur aux différents niveaux de gris présents sur le cliché et par cet artifice il est possible d'en faire une analyse plus détaillée. Ils nous ont permis de donner des recommandations pour la prochaine campagne d'observations au sol. De même des essais de traitements numériques ont été effectués à partir de la bande magnétique acquise.

Une cartographie des zones inondées a été effectuée en utilisant les images 3 et 4. La carte III donne les limites des zones cartographiées sur ces deux images ; elle montre une bande relativement large de recouvrement. Pour chacune de ces images, on a retenue les prises de vue aux dates suivantes :

Image 3	20 mars 1975 7 avril 1975	Intervalle de 18 jours en décrue
Image 4	1 mars 1975 19 mars 1975	Intervalle de 18 jours en décrue
	11 août 1973 4 oct 1973	Intervalle de 54 jours en crue

Pour chacune de ces six vues, en utilisant la représentation du canal 7, les thèmes suivants ont été cartographiés :

- zones en eaux libres : chenaux et lacs, sans végétation et où la profondeur est vraisemblablement supérieure à 1 mètre.
- zones inondées : la profondeur de l'eau y est approximativement inférieure à 1 mètre
- zones humides : pas d'eau libre, mais une forte humidité du sol.

Cette cartographie est une interprétation des documents infra-rouge (canal 7 et de nombreuses sources d'erreur peuvent apparaître. En particulier, la présence de végétation aquatique est difficile à apercevoir.

Une cartographie de l'évolution des surfaces inondées a également été établie dans le but de suivre le mécanisme de la crue et de la décrue.

2-5 Premier essai d'interprétation

Les zones cartographiées sur les images 3 et 4 ont été découpées en secteurs hydrographiques, chaque secteur possédant une échelle limnimétrique. Ce découpage est arbitraire et doit être considéré comme une première tentative ; la carte donne le découpage ainsi que le nom de l'échelle limnimétrique de chaque secteur. (carte III).

Pour chaque secteur et pour chaque date on a effectué le planimètrage des zones inondées.

Les graphiques 8 et 9 reproduisent les résultats obtenus. En abscisses on a porté la lecture de l'échelle du secteur hydrographique au moment de la prise de vue. En ordonnée on a porté la superficie inondée.

Le graphique 8 correspond à l'image 3. Il montre deux types de relation distinctes entre la superficie inondée et la cote à l'échelle pour un intervalle de 18 jours en décrue.

Pour les secteurs de SARAFERE, TINDIRMA, TONDIFARMA, DIRE, BOUGOUBERI la surface inondée diminue alors que la cote à l'échelle diminue ce qui paraît logique.

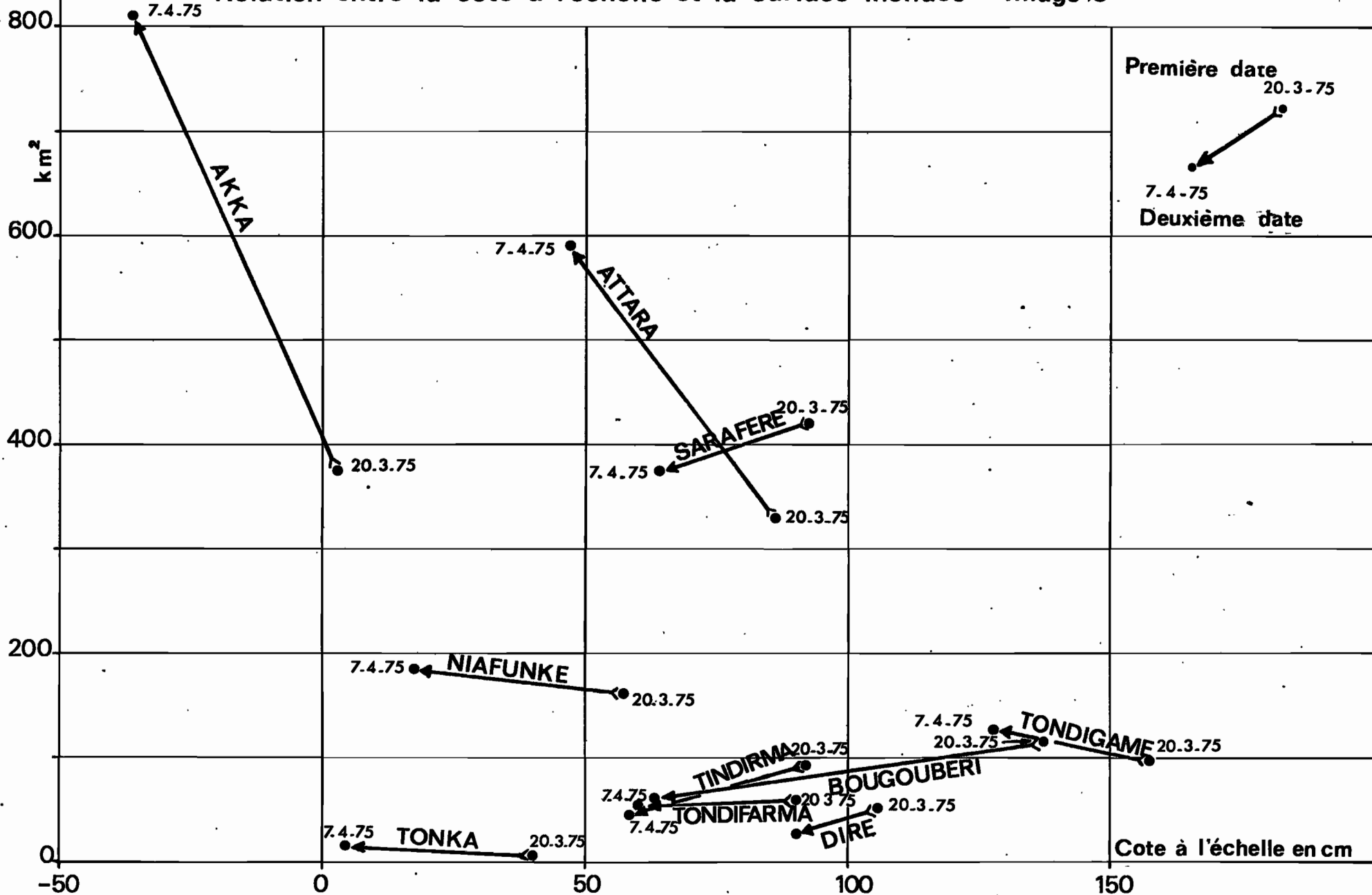
Par contre pour les secteurs de ATTARA, AKKA, NIAFUNKE, TONKA, TONDIGAME l'évolution est inverse. Cette évolution apparemment anormale pourrait s'expliquer par le fait que ces secteurs, sont situés en rive gauche du fleuve Niger, ont une alimentation en eau régie par des seuils de contrôle (propagation de l'inondation dans les plaines latérales retardée et se poursuivant alors même que le fleuve est en décrue). Il devra être tenu compte de l'emplacement exact de ces seuils de contrôle pour le découpage définitif des secteurs hydrographiques.

Le graphique 9 correspond à l'image 4. Pour chacun des 5 secteurs représentés, on dispose d'un intervalle de 18 jours en décrue et d'un intervalle de 54 jours en crue. Malheureusement en deux intervalles ne font pas partie du même cycle hydrologique.

Le graphique montre que pour tous ces secteurs, situés à l'est du fleuve ont a une surface inondée qui évolue dans le même sens que la cote à l'échelle. Il montre d'autre part un phénomène d'hystérésis très net. Lorsque les surfaces inondées ne sont pas très importantes les deux segments de droite sont approximativement parallèles. Cela n'est plus le cas pour les surfaces dépassant 400 km². (BOUGOUBERI - SARAFERE).

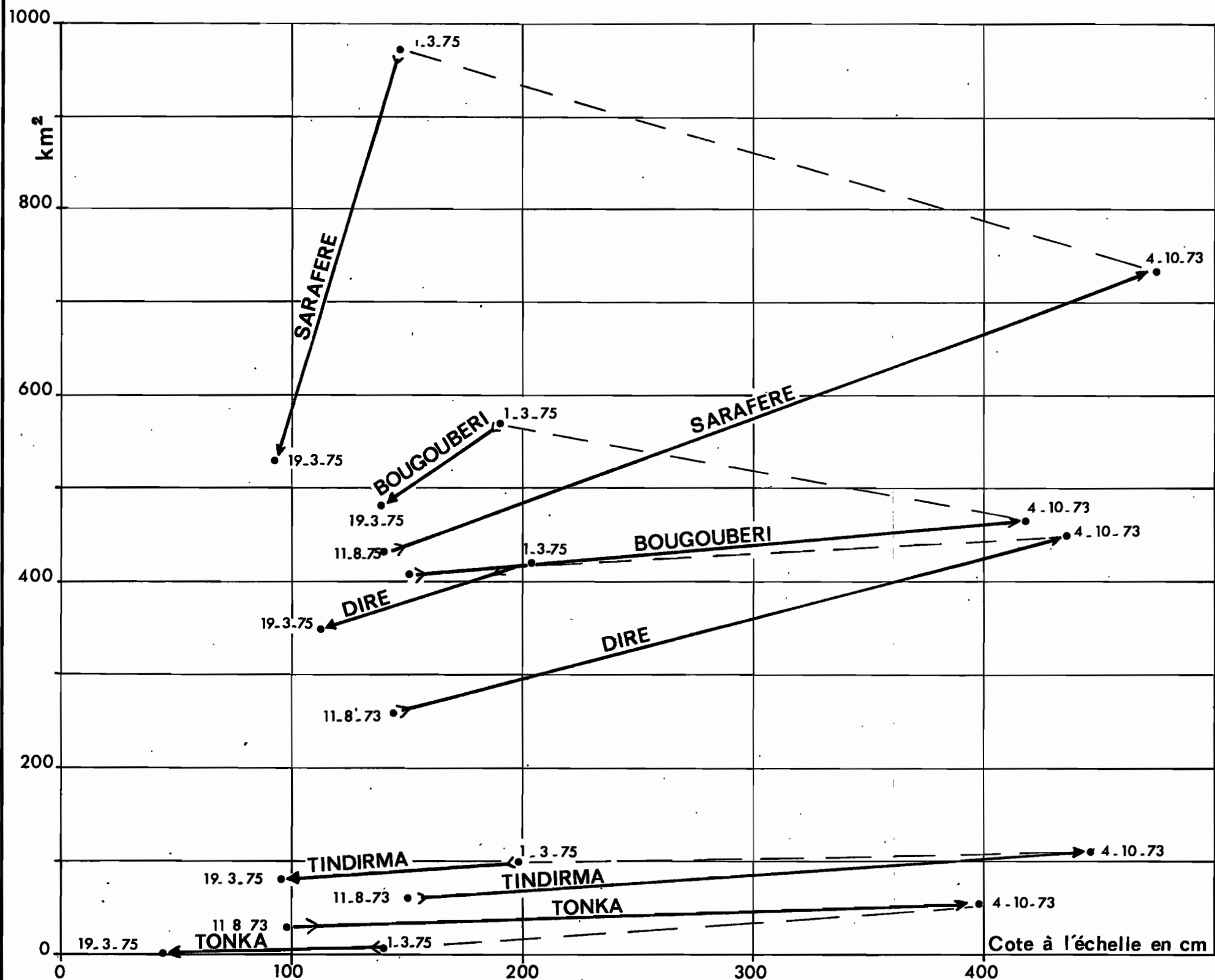
En général le graphique représente bien une hystérésis dans la relation entre cote à l'échelle et surface inondée puisque le segment de droite de décrue se situe au dessus du segment de droite de crue; seul le secteur de TOKA présente une hystérésis pour la relation réciproque. Il n'est pas possible de pousser plus loin l'interprétation de cette observation puisque les deux intervalles de temps utilisés n'appartiennent pas à la même crue.

Relation entre la cote à l'échelle et la surface inondée Image 3



Gr.9
Image 4

Relation entre la cote à l'échelle et la surface inondée



CONCLUSION

Au cours de cette première année d'étude sur la recherche des causes des anomalies du NIGER nous avons rencontré plus de difficultés que nous n'en avons résolues.

L'accès à l'imagerie de la NASA s'est effectuée dans des conditions très décevantes. Etant donné qu'il est absolument impossible d'obtenir une couverture complète de la zone d'étude à chaque passage de satellite d'une part, et que d'autre part il n'est pas possible d'intervenir auprès de la NASA pour obtenir une répétition régulière des prises de vue, la suite du travail devra être menée de la façon suivante:

-repère du découpage en secteurs hydrographiques à partir de l'expérience acquise en ce domaine.

-recherche, dans les listes publiées par la NASA, de toutes les vues pouvant apporter des renseignements sur les secteurs ainsi déterminés.

-achat des bandes magnétiques correspondant aux vues les plus intéressantes.

-tentative de cartographie automatique, par ordinateur, des zones inondées.

Chaque secteur sera traité indépendamment et la corrélation, zone inondée-côte à l'échelle sera reprise sans chercher à avoir des données pour des dates particulières. Ce travail sera certainement centré surtout sur les images 3 et 4.

Pour utiliser au mieux les données des satellites une campagne d'observations au sol doit commencer en juin 1976. A partir de ces observations, nous espérons mener à bien la cartographie des zones inondées mais également l'étude du couvert végétal et de son évolution. Une note sommaire sur l'organisation de cette campagne est donnée en annexe sous le titre "Opération Saphyr - Vérités Sol".

L'analyse des données hydrométriques, qui a été simplement abordée dans le présent, doit se poursuivre. Le programme de la campagne de mesures 1976-1977 a été établi pour contrôler la précision des mesures antérieures et pour déterminer, en particulier, pourquoi la station de DIRE n'est plus représentative du NIGER en aval du Delta intérieur.

ANNEXE

OPERATION SAPHYR VERITES SOL

Pour utiliser correctement les données des satellites dans le cadre de l'étude des ressources naturelles, il est actuellement indispensable de posséder des renseignements aussi précis que possible sur les objets au sol d'un certain nombre de points de références. Ces renseignements constituent un échantillonnage à partir duquel on essaye de faire une extrapolation : on les appelle les "Vérités Sol".

A notre connaissance, la méthodologie à mettre en oeuvre n'a pas encore été élaborée et nous proposons ici une organisation du travail provisoire qui tient compte d'une expérience très fragmentaire. Elle est basée sur quelques principes que nous voudrions très simples et qu'il faudra adapter aux conditions spécifiques de l'opération SAPHYR.

1) Choix des points d'observation

Il faut choisir des points fixes pour effectuer les observations. Le nombre ne doit pas en être trop élevé car il nous semble très important que chaque point soit observé aussi souvent et aussi régulièrement que possible.

Chaque point doit être parfaitement localisé sur le terrain pour que l'observation se place toujours exactement au même endroit. Chaque point doit recevoir un numéro et sa localisation précise se fera une seule fois sur cartes topographique ou sur photo aérienne.

Chaque point doit permettre la vue d'un paysage homogène dans un rayon d'environ 500 m. Cela ne signifie pas que le paysage se compose d'un seul type d'objet mais la répartition des différents objets est homogène.

Il faut chercher à définir les différents types de paysages possibles dans la zone étudiée (environ 20 ?). Il serait alors souhaitable que chaque paysage soit représenté par plusieurs points d'observation (5 à 10) aussi dispersés que possible dans la zone.

2) Nature de l'observation

Le point d'observation étant choisi dans un paysage homogène, on cherchera à décrire ce paysage en quelques mots, l'ensemble de l'opération devant prendre à l'observateur moins de 5 minutes.

La fiche ci-après peut servir de modèle pour mettre au point un imprimé à utiliser sur le terrain.

L'observateur aura à faire les opérations suivantes :

-Noter le numéro du point, la date, l'heure et son nom.

-Si une photo est prise, noter le numéro de la pellicule et le numéro de la photo.

-Indiquer l'état du ciel en portant une croix dans la case qui décrit le mieux la situation.

-Essayer de distinguer la nature de l'objet qui occupe la plus grande surface dans la zone homogène (objet principal) et porter une seule croix dans la partie supérieure de la colonne de gauche.

- Chercher dans la liste des qualificatifs de la partie inférieure de la même colonne tous ceux qui s'appliquent à l'objet précédent et porter autant de croix que cela est nécessaire.

-Si un autre objet couvre une surface non négligeable entre les objets primaires on remplira pour cet objet la colonne du milieu. Eventuellement un troisième objet sera décrit dans la troisième colonne de droite.

L'ensemble de ces observations doit pouvoir se faire très vite si la fiche est bien établie. Celle que nous donnons n'est qu'une illustration. On pourra la rendre plus précise en indiquant en plus des noms d'arbres, de graminées ou en donnant plus de qualificatifs.

3) Organisation générale du travail

Il nous paraît également absolument impossible de faire coïncider les dates des observations avec les dates des passages de satellites.

Il faut donc d'abord chercher quelles sont les personnes qui peuvent faire des observations régulières dans le temps par exemple tous les 15 jours ou tous les mois. Les personnes effectuant des tournées régulières sont particulièrement intéressantes et il ne faut pas rechercher uniquement parmi les hydrologues. Les personnes à poste fixe peuvent également rendre de grands services. Il est important de faire le point de toutes les possibilités humaines : service du génie rural, transporteurs, missionnaires, lecteurs d'échelles, autorités locales...

Dans toute la mesure du possible on confiera un appareil photo très simple aux observateurs capables de les utiliser. On n'oubliera pas qu'il faut essayer d'obtenir plusieurs points, aussi dispersés que possible dans la zone de travail, observés régulièrement, pour chaque type de paysage.

De nombreuses opérations doivent être faites lorsque les communications sont assez faciles : recherche des observateurs, repérage des points, remise des carnets d'observation et du matériel photographique.

Le système n'a comme limite que le niveau de compréhension de l'utilisateur et le temps nécessaire pour le mettre en oeuvre. Seule une personne connaissant bien la région étudiée peut établir la fiche la mieux adaptée. Dans toute la mesure du possible, il serait souhaitable d'accompagner chaque nom d'objet d'un petit dessin qui en faciliterait la reconnaissance. On peut s'inspirer des légendes de cartes topographiques pour établir ces dessins.

OPERATION SAPHYR — VERITE SOL — TELEDETECTION

Numéro du point. -Date. -Heure. -Observateur.

PHOTO: numéro de la pellicule. -Numéro de la vue.

ETAT DU CIEL

(Une seule croix)

Clair Brume Poussière Harmattan
 4/4 nuages 3/4 nuages 2/4 nuages 1/4 nuage
 Vent+Sable

OBJET PRINCIPAL

(Une seule croix)

- EAU
- ARBRES
 - Baobabs
 - Acacia
 - Tamarinier
- ARBUSTES
 -
 -
- BUISSONS
 -
 -
- PLANTES AQUATIQUES
 - Bourgou
 -
- CULTURES
 - Riz
 -
- SOL NU

OBJET SECONDAIRE

(Une seule croix)

- EAU
- ARBRES
 - Baobabs
 - Acacia
 - Tamarinier
- ARBUSTES
 -
 -
- BUISSONS
 -
 -
- PLANTES AQUATIQUES
 - Bourgou
 -
- CULTURES
 - Riz
 -
- SOL NU

OBJET TERTIAIRE

(Une seule croix)

- EAU
- ARBRES
 - Baobabs
 - Acacia
 - Tamarinier
- ARBUSTES
 -
 -
- BUISSONS
 -
 -
- PLANTES AQUATIQUES
 - Bourgou
 -
- CULTURES
 - Riz
 -
- SOL NU

QUALIFICATIF

(Une ou plusieurs croix)

- Coloré
- Clair
- Foncé
- Jaune
- Rouge
- Vert
- Noir
- Avec feuilles
- Sans feuille
- Très sec
- Sec
- Mouillé
- Détrempe
- Haut
- Bas
- Hauteur moyenne
- Dunaire
- Dense
- Clairsemé
- Granuleux
- Lisse
- Pierreux
- Rocheux
- Sableux
- Poudreux
- Latéritique
- Profond >1m
- Peu profond
- Stagnant
- Courant
- Local
- Fluvial

QUALIFICATIF

(Une ou plusieurs croix)

- Coloré
- Clair
- Fonce
- Jaune
- Rouge
- Vert
- Noir
- Avec feuilles
- Sans feuille
- Très sec
- Sec
- Mouillé
- Détrempé
- Haut
- Bas
- Hauteur moyenne
- Dunaire
- Dense
- Clairsemé
- Granuleux
- Lisse
- Pierreux
- Rocheux
- Sableux
- Poudreux
- Latéritique
- Profond >1m
- Peu profond
- Stagnant
- Courant
- Local
- Fluvial

QUALIFICATIF

(Une ou plusieurs croix)

- Coloré
- Clair
- Fonce
- Jaune
- Rouge
- Vert
- Noir
- Avec feuilles
- Sans feuille
- Très sec
- Sec
- Mouillé
- Détrempé
- Haut
- Bas
- Hauteur moyenne
- Dunaire
- Dense
- Clairsemé
- Granuleux
- Lisse
- Pierreux
- Rocheux
- Sableux
- Poudreux
- Latéritique
- Profond >1m
- Peu profond
- Stagnant
- Courant
- Local
- Fluvial