

10e SESSION D'ETUDE  
SUR  
LES TECHNIQUES DE SAUTAGE

OPTIMISATION DES VIBRATIONS DANS LES CHANTIERS  
DU BARRAGE DE SONG-LOULOU (CAMEROUN)

Yvan Siffre, Entreprise Razel, Orsay, France  
M. Allard, Centre d'Etude Technique de l'Equipement,  
Aix-en Provence, France

# République Unie du Cameroun

## Aménagements hydro-électriques en service



0 50 100 150 200 250 km

LAC TCHAD



Océan Atlantique

Ngoko

# AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE

## DE SONG LOULOU AU CAMEROUN

oOo

### OPTIMISATION DES VIBRATIONS LORS DES TERRASSEMENTS ROCHEUX

oOo

#### **Yvan SIFRE**

Ingenierie du Rocher  
Ingénieur Conseil du  
Groupement RAZEL-COGEFAR

#### **Théodore NSANGOU**

Chef du Bureau d'Etudes  
Génie Civil  
Société Nationale  
d'Electricité du Cameroun

#### **Pierre ALLARD**

Chef de la Section Géophysique  
Centre d'Etudes Techniques  
Techniques de l'Équipement

Le marché de cette extension a été notifié le 20 Janvier 1984 au groupement constitué par l'Entreprise RAZEL Frères, l'Entreprise italienne COGEFAR.

#### DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE DE L'AMENAGEMENT

Le site de SONG LOULOU se trouve sur la SANAGA, au Nord-Est d'Edéa, à 55 Km en amont.

#### IMPLANTATION

Les ouvrages de retenue ont été construits sur un seuil rocheux traversant en oblique le lit de la rivière SANAGA.

Le lit se divise en deux bras ; le canal de fuite a été creusé sur le tracé du bras rive gauche ; le bras principal, rive droite, reçoit les eaux empruntant l'évacuateur de crues.

#### GEOLOGIE

Le socle rocheux du lit mineur est constitué de gneiss à grenats, raides, fortement micacés avec intercalations de lentilles d'amphibolite.

#### HYDROLOGIE

Données hydrologiques générales :

- Bassin versant : 130 000 Km<sup>2</sup>
- Débit annuel moyen : 2 300 m<sup>3</sup>/s
- Crue décennale : 7 400 m<sup>3</sup>/s
- Débit régularisé par Mbakaou et Bamendjin : 700 m<sup>3</sup>/s

Une troisième retenue en amont sur la Mapé, en cours de réalisation portera le débit régularisé à 885 m<sup>3</sup>/s avec une réserve de 3,2 milliards de m<sup>3</sup>.

## RAPPEL DU SCHEMA GENERAL DE L'AMENAGEMENT

La retenue, de 10 millions de m<sup>3</sup>, dont 5 millions de m<sup>3</sup> exploitables en modulation journalière est constituée par :

- Le barrage à seuil déversant en béton, de 200 m de longueur et 8 m de hauteur,
- Le barrage en enrochements à noyau en terre, de 300 m de longueur et 27 m de hauteur,
- L'évacuateur de crues à vannes de surface, de 135 m de longueur et 20 m de hauteur,
- Le barrage de prise à contreforts de 225 m de longueur et 35 m de hauteur maximale.

L'usine abrite quatre groupes identiques dont les caractéristiques énergétiques sont les suivantes :

- Turbine : type Francis à axe vertical, puissance 49,5 MW, 120 tours/minute,
- Puissance du groupe mesurée aux bornes de l'alternateur : 48 MW,
- Hauteur de chute :
  - . Maximale : 41,5 m
  - . Minimale : 36,5 m
- Débit pour la puissance maximale :
  - . Sous la chute maximale : 130 m<sup>3</sup>/s
  - . Sous la chute minimale : 152 m<sup>3</sup>/s.

L'énergie est évacuée sur le réseau à la tension de 225 KV.

### BARRAGE DE PRISE

Le barrage de prise, de 35 m de hauteur maximale, est formé de 8 pertuis de 13,5 m de largeur séparés par des contreforts et de 5 m d'épaisseur.

Les bétons des 4 prises d'eau en attente sont entièrement réalisés.

Le barrage repose sur une fondation rocheuse constituée de dalles de gneiss, séparées par des joints stratigraphiques, parfois altérés, inclinés vers l'aval de 5 à 20 degrés.

### VOÛTE BATARDEAU RIVE DROITE

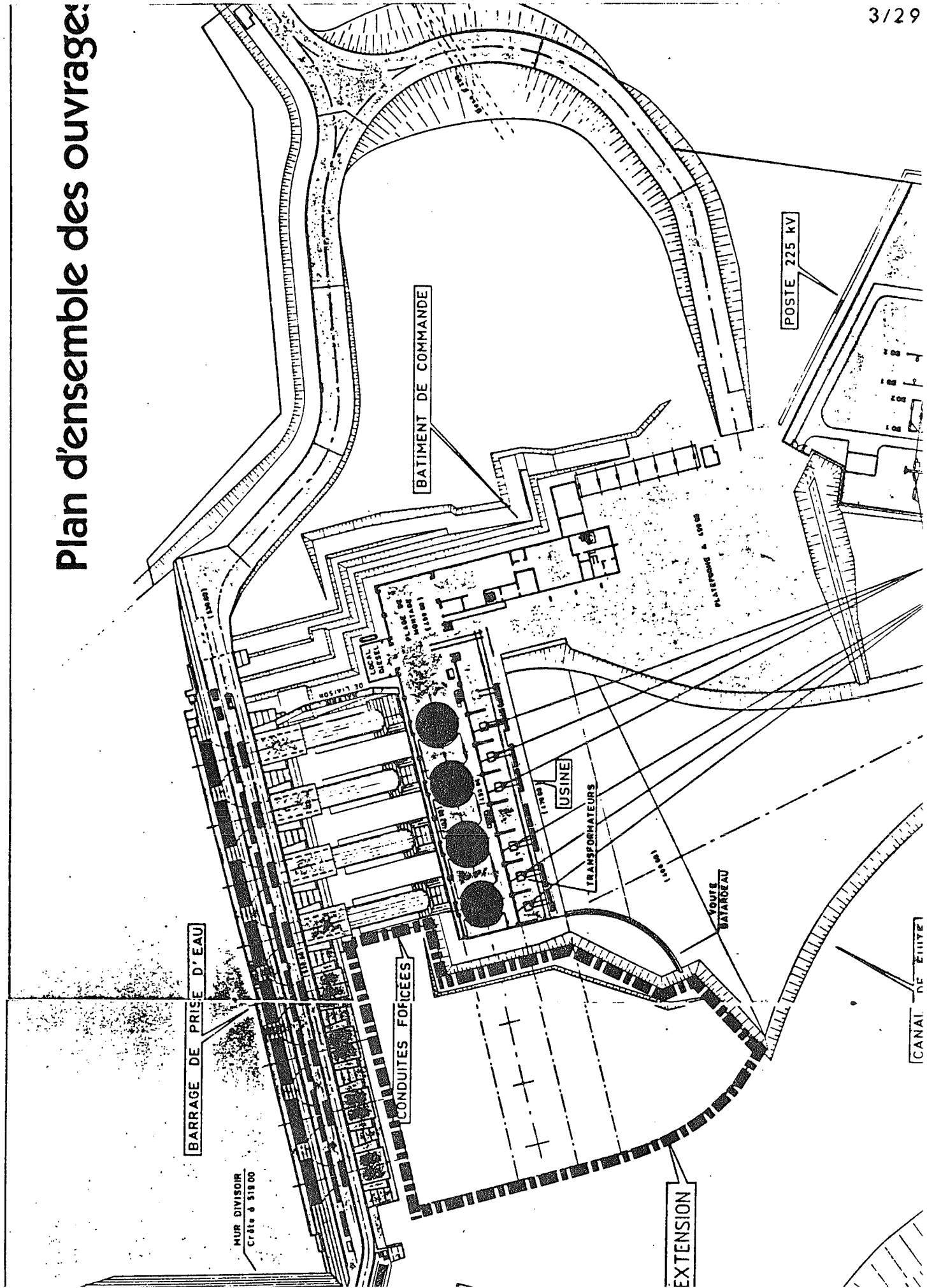
En rive droite de l'usine, une voûte batardeau en béton permet de protéger la fouille du chantier de l'extension, des eaux du canal de fuite en service.

Ses dimensions sont :

- rayon de courbure : 30 m
- longueur développée : 42,50 m
- hauteur : 15 à 17,5 m
- épaisseur en pied et en crête : 1,0 m.

La voûte est constituée de 5 arcs indépendants de 3 m de hauteur et devra être démolie en partie sous l'eau en fin de chantier de l'extension.

# Plan d'ensemble des ouvrages



## TERRASSEMENTS ROCHEUX DE L'EXTENSION

Les travaux d'extension de l'usine de Song Loulou consistant à doubler le génie civil existant, ont d'abord nécessité le creusement d'une fouille dans le rocher en rive droite du canal de fuite, en prolongement de l'usine existante maintenue en fonctionnement et directement en pied du barrage de prise d'eau.

Au démarrage, les travaux de terrassements rocheux ont subi un retard de 3 mois ½ du fait des nombreux aléas rencontrés dans l'exécution de 32 tirants précontraints.

La date clé du 20 Mai 1985 pour la fin de l'exécution de la fouille a pu être maintenue grâce à une technologie sophistiquée des tirs de mines.

Les principales données se résument comme suit :

- . volume excavé : 201 000 m<sup>3</sup>
- . foration pour déblais en masse : 50 500 ml
- . foration pour prédécoupage des talus : 13 900 ml
- . consommation d'explosif (bouillie, émulsion) : 0.617 kg/m<sup>3</sup>.

## PROBLEMES LIES A L'USAGE DES EXPLOSIFS

Les techniques traditionnelles même correctement contrôlées n'auraient pas permis de respecter à la fois le délai d'exécution comme les contraintes contractuelles relatives aux vibrations et aux projections de fragments de roche.

## METHODES PARTICULIERES

L'Entreprise a donc mis au point une technologie originale fondée sur une analyse fine in situ des conditions de transmission des phénomènes de vibrations développées dans le chapitre "Contrôle des vibrations" et une combinaison des méthodes modernes de tirs séquentiels impliquant une bonne connaissance des mécanismes de détonation et des comportements physico-chimiques des explosifs décrites ci-après.

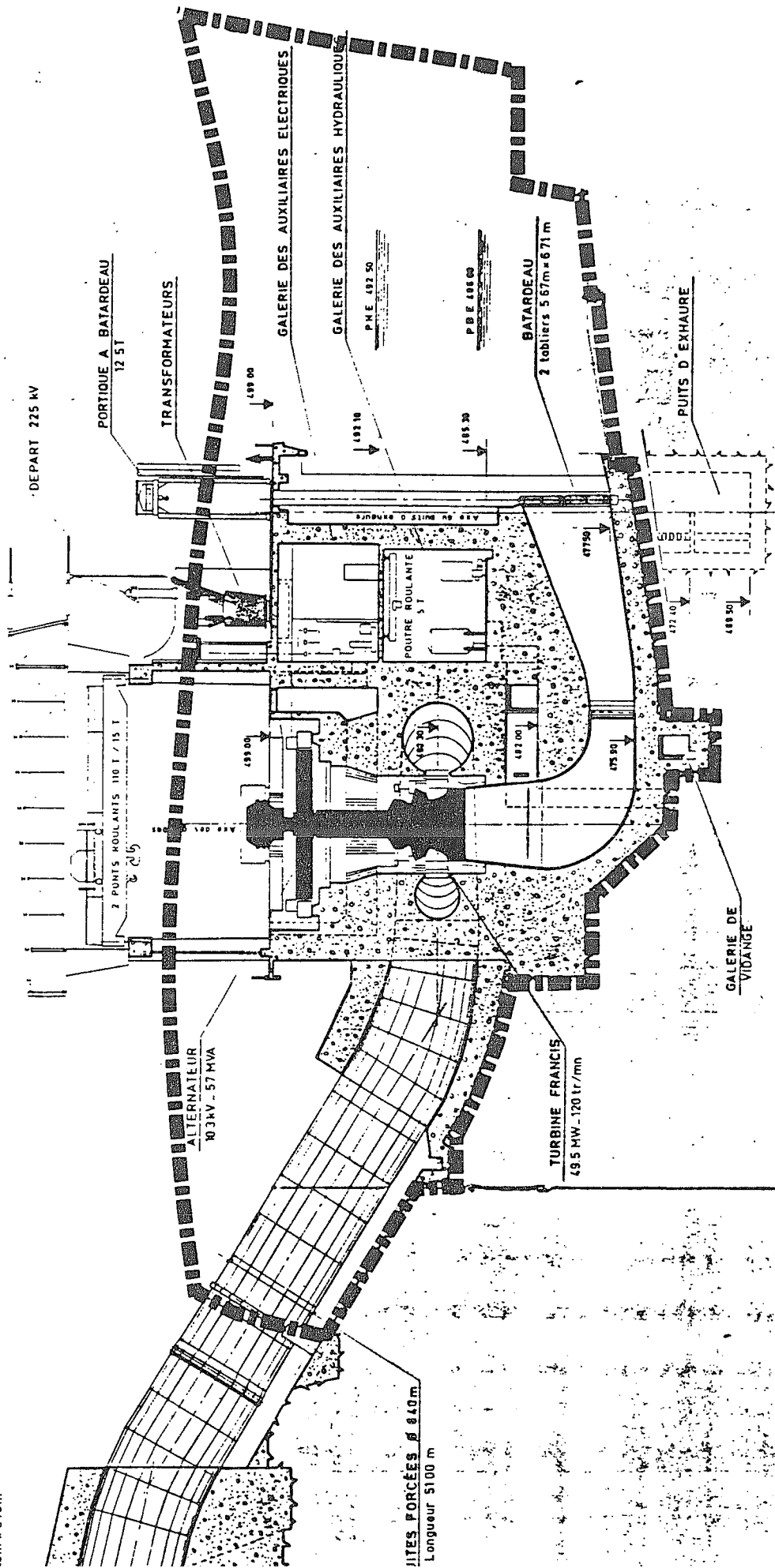
# Barrage de prise, conduite forcée et unique :

(coupe longitudinale).

DES CABLES

L. DE COMMANDE

UNE WAGON  
10m x 670m



## CARACTERISTIQUES SPECIFIQUES DES SAUTAGES

La caractéristique primordiale des tirs de mines à SONG LOULOU est la réduction de la charge instantanée à des valeurs aussi faibles que 3 voire 2 Kg par date de détonation.

Dans les cas extrêmes de charge unitaire réduite, il s'en suit une diminution des patrons de forage (de l'ordre de 2 à 3 m<sup>2</sup> par trou) [cf Annexe 1].

Le phénomène de désensibilisation d'une charge explosive sous l'effet de la pression statique provoquée par la détonation d'une charge voisine est confirmé par les essais en vraie grandeur (patrons de forage : 2 x 2 m environ).

Les seuils de pression statique à partir desquels les explosifs français sont désensibilisés sont donnés ci-après :

TYPE D'EXPLOSIF	PRESSION STATIQUE (BAR)
DYNAMITES	5
GELS	3 à 5
EMULSION	> 15
BOUILLIE A L'EXOLITE	> 100

### AMORCAGE EN FOND DE TROU : (FDT)

L'amorçage FDT est pratiqué avec deux systèmes non électriques -

NONEL et DETALINE disponibles sur le chantier sont compatibles lorsqu'ils sont mis en oeuvre comme ceci :

MODE DE RETARDS FDT	LIAISON DE SURFACE	DELAIS DES SURFACES
1 NONEL GT	NONEL GT <sup>1</sup> . SANS RETARD	EXPLOSEUR SEQUENTIEL
2* NONEL GT	STARTER + CORDEAU DETALINE	EXPLOSEUR SEQUENTIEL
3* NONEL GT	STARTER + CORDEAU DETALINE	DELAIS DETALINE
4* MS DETALINE	STARTER + CORDEAU DETALINE	DELAIS DETALINE
MS DETALINE	STARTER + CORDEAU DETALINE	EXPLOSEUR SEQUENTIEL



En plus de la possibilité de pratiquer des mises à feu en mode séquentiel, l'amorçage fond de trou a permis :

1. un meilleur cisaillement en pied de mines,
2. une fragmentation améliorée (plus grande surface de réflexion de l'onde de choc),
3. résultant des deux précédentes améliorations, un abaissement des niveaux de vibrations,
4. une réduction des projections verticales.

#### TIR EN MODE SEQUENTIEL

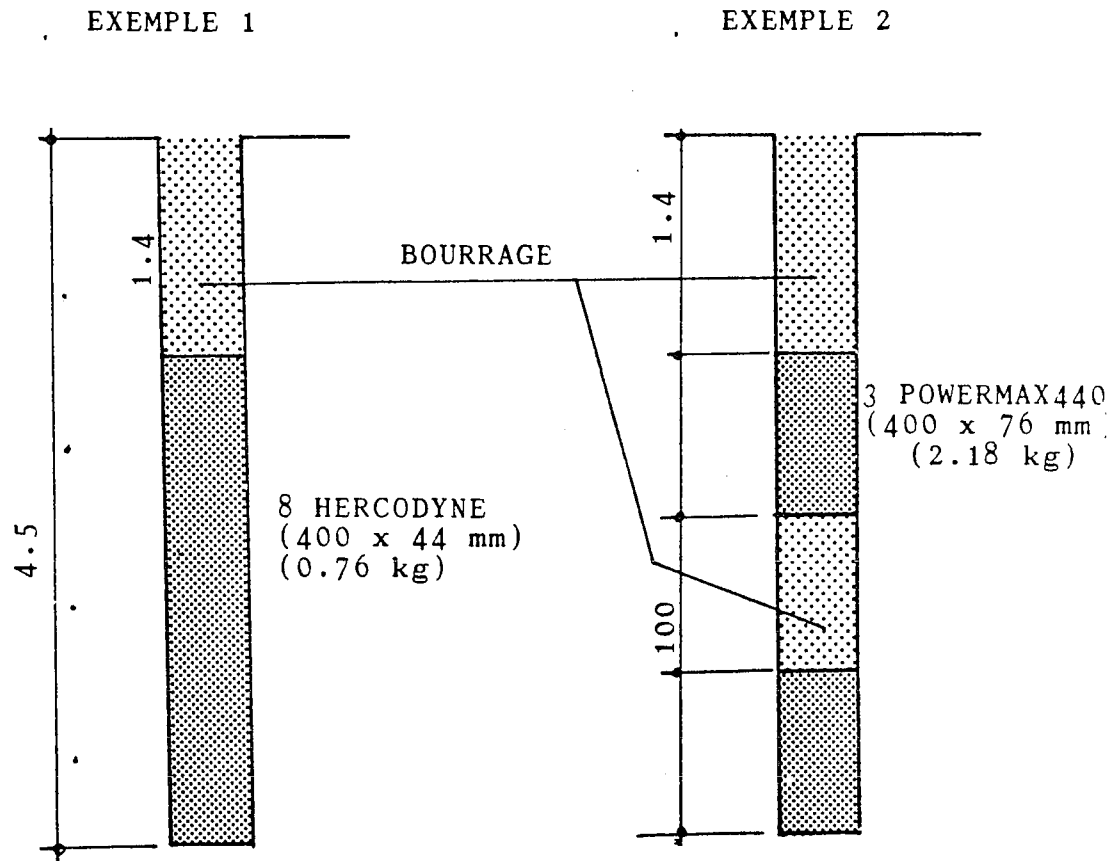
Le tir en mode séquentiel doit répondre aux règles suivantes (US BUREAU OF MINES) :

- . à un retard fond de trou est combiné un retard en surface,
- . l'initiation des retards FDT est terminée lorsque le premier trou du sautage détone,
- .  $X$  = temps entre 2 trous d'un même rang = 3 à 10 ms par mètre entre trous,
- .  $Y$  = temps entre rangs = 10 à 30 ms par mètre de banquette,
- . retard minimum entre deux trous voisins  $X_1 = 17 \text{ ms}^*$ ,
- . retard minimum entre deux trous quelconques  $X_0 = 8 \text{ ms}^*$  (cf Annexe 2).

2 - 5 GEOMETRIE DE LA CHARGE

2.5.1. Diamètre de foration :

L'impératif de réduire le poids unitaire par charge et par temps de détonation peut être réalisé selon deux méthodes illustrées par les 2 exemples ci-dessous (C.U. = 6 kg)



DIAMETRE	51	mm	89
LONGUEUR DE CHARGE	3.10	m	2.10
CHARGE PRATIQUE	$\frac{0.76}{0.4} \times 3.1 = 6$	kg	$\frac{21.8}{0.4} \times 2.10 = 12 = 2 \times 6$
DENSITE DE LA CHARGE	$\frac{6}{3.1 \times 3.14} = 0.616$	kg/dm <sup>3</sup>	$\frac{12}{2.1 \times 6.2} = 0.922$
CONSOMMATION SPECIFIQUE	0.7	kg/m <sup>3</sup>	0.7
VOLUME/TROU	$6 : 0.7 = 8.6$	m <sup>3</sup>	$12 : 0.7 = 17.1$
PRODUCTIVITE DE FORATION	$8.6 : 4.5 = 1.9$	m <sup>3</sup> /ml	$17.1 : 4.5 = 3.8$

CIRCUIT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DELAI / LIGNE #	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	
R6	500	620	740	860	980	1100	1220	1340	1460	1580
	560	680	800	920	1040	1160	1280	1400	1520	1640
R5	450	570	690	810	930	1050	1170	1290	1410	1530
	510	630	750	870	990	1110	1230	1350	1470	1590
R4	400	520	640	760	880	1000	1120	1240	1360	1480
	460	580	700	820	940	1060	1180	1300	1420	1540
R3	350	470	590	710	830	950	1070	1190	1310	1430
	410	530	650	770	890	1010	1130	1250	1370	1490
R2	300	420	540	660	780	900	1020	1140	1260	1380
	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440
R1	250	370	490	610	730	850	970	1090	1210	1330
	310	430	550	670	790	910	1030	1150	1270	1390

SAUTAGE SEQUENTIEL  
PROGRAMME DES  
DATES DE DETONATION

FRONT LIBRE

OMBRE DE CHARGES PAR TROU

: 2

URFACE DELAI INITIAL : 0 ms  
 DELAI ENTRE CHARGES D'UN TROU : 60 ms  
 DELAI ENTRE LIGNES : 120 ms

OND DE TROU RETARD CONSTANT PAR RANG : OUI  
 RETARD ENTRE RANGS : 50 ms  
 RETARD INITIAL : 250 ms

250 DATE CHARGE SUPERIEURE  
 310 DATE CHARGE INFERIEURE  
 SONG LOU LOU 2 NOV 1984  
 RAZEL-COGEFAR / Y.SIFRE

## PHENOMENES DE TRANSMISSION DES VIBRATIONS

L'Entreprise a proposé au Maître d'Oeuvre de faire un diagnostic sur le niveau des nuisances de sorte à :

- préserver une marge de sécurité pour la pérennité des ouvrages,
- optimiser les moyens de contrôle et permettre que les conditions d'exécution ne soient pas excessivement pénalisées.

Avec le concours du Centre Technique de l'Equipement d'Aix-en-Provence, les observations expérimentales ont porté sur :

- de l'amplitude de vitesses particulières en fonction du temps,
- du contenu spectral des vibrations (transformée de Fourier du signal temps) en fonction de la position des points de mesures,

en vue d'introduire le paramètre fréquence dans la définition de la nuisance :

- à courte distance, les niveaux de fréquences enregistrés sont élevés (supérieurs à 200 HZ),
- à quelques dizaines de mètres, les fréquences élevées de la vibration sont filtrées par le massif.

## ETUDE DES COMPOSITIONS SPECTRALES DES VIBRATIONS

L'exploitation de ces enregistrements a eu pour but de préciser les plages de fréquences des signaux à enregistrer lors de la surveillance des vitesses particulières et a permis de surveiller :

- . une restitution des signaux sur une bande passante de 0 - 1 500 HZ (à - 3 DB),
- . une analyse des fréquences par transformée de Fourier (FFT),
- . un filtrage à forte pente de coupure (48-96 DB),
- . un filtrage à pente d'intégrateur (6 DB).

On retiendra :

- . les fréquences caractéristiques de l'ensemble massif rocheux-barrage étaient comprises entre 35 et 110 HZ,
- . les fréquences de transmission du terrain étaient fortement atténuées au pied du barrage. Elles se situaient entre 25 et 100 HZ,
- . au sommet du barrage, les fréquences d'amplitude maximale se situaient entre 30 à 40 HZ,
- . les fréquences supérieures à 50 HZ, prédominantes dans le rocher de fondation étaient très fortement atténuées au sommet du barrage.

- . des fréquences de 15 à 30 HZ semblent correspondre aux fréquences principales de réaction dynamique du barrage,
- . au sommet de la culée du batardeau, les vibrations sont caractérisées par des fréquences de 25 à 70 HZ (contrairement à un large spectre de 30 à 400 HZ dans le rocher),
- . sur la turbine 4, les vibrations comportent (outre une fréquence parasite de 50 HZ), un spectre de fréquences (200 à 1 100 HZ) propres aux installations, enrichi par des fréquences de 25 à 72 HZ engendrées par les tirs.

Les limites de vitesse de vibration contractuelles étaient 50 mm/s sur le massif rocheux en place et le batardeau, 16 mm/s sur la structure béton des turbines.

### FILTRAGE DES SIGNAUX

Il a été proposé au Maître d'Oeuvre :

- . sur le massif rocheux : une fréquence de filtrage de 120 HZ (seuil à 50 mm/s),
- . sur le batardeau : une fréquence de filtrage de 65 HZ (mais un seuil abaissé à 25 mm/s -au lieu des 50 mm/s contractuels),
- . sur le massif des turbines : une fréquence de filtrage de 65 HZ.

Ces filtrages ont permis, pour les fréquences supérieures à la fréquence de coupure, de limiter la vitesse de vibration à un seuil correspondant à une élongation maximale. Le seul critère de vitesse eut imposé des élongations d'autant plus faibles que les fréquences augmentaient.

Ainsi, à une basse fréquence - 3 HZ par exemple - les élongations auraient pu atteindre une valeur notable de 2,5 mm tout en respectant la limite seuil de 50 mm/s.

### PRESENTATION GENERALE DES STATISTIQUES SUR 295 SAUTAGES

Les données relatives aux mesures de vibrations ont été analysées statistiquement au moyen du logiciel GCX (cf VI).

HISTOGRAMME DES DISTANCES ENTRE LES TIRS  
ET LE PIED DU BARRAGE EN SERVICE

EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

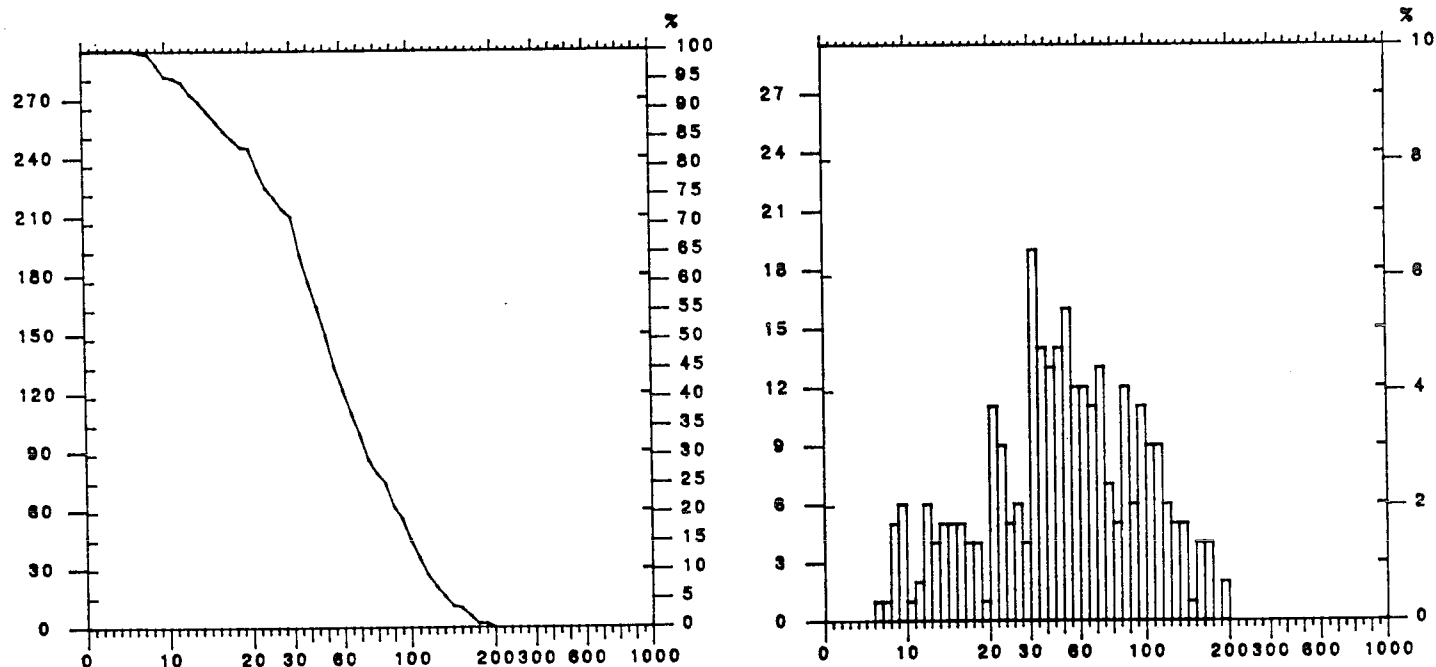
Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 13

Histogramme de Distance en m  
Clas. max. : 30 - 35

Population totale: 295  
Population: 19

Capt. : volume  
Filt. : 600 HZ 200 HZ

FIG. 1. : HISTOGRAMME DES  
DISTANCE TIRS-BARRAGE



Pour une fourchette de distances comprises entre 5 et 200 m on notera :

- . 90 % des tirs sont exécutés entre 10 et 150 mètres
- . 68 % des tirs sont exécutés entre 10 et 80 mètres.

EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

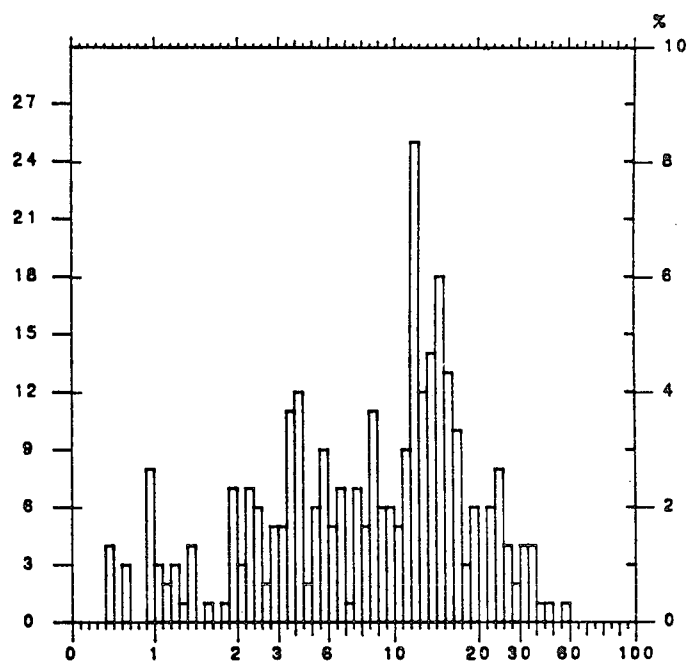
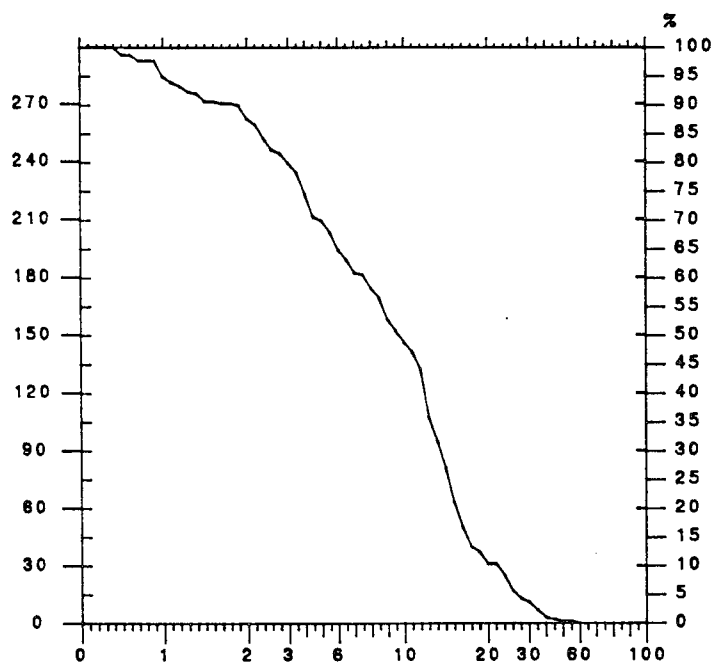
Date : 30/09/87 Fiche stat. no : 13

Histogramme de Charge max. en kg  
Clas. max.: 12 - 13

Population totale: 299  
Population: 25

Capt.: volume  
Filt.:

HISTOGRAMME DES CHARGES  
INSTANTANNEES PAR TIR



Les charges instantanées d'explosifs mises en oeuvre dans les plans de tirs à amorçage séquentiel sont comprises entre 0,4 kg et 60 kg.

89 % des tirs ont été exécutés avec des charges instantanées comprises entre 18 kg et 40 kg.

EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

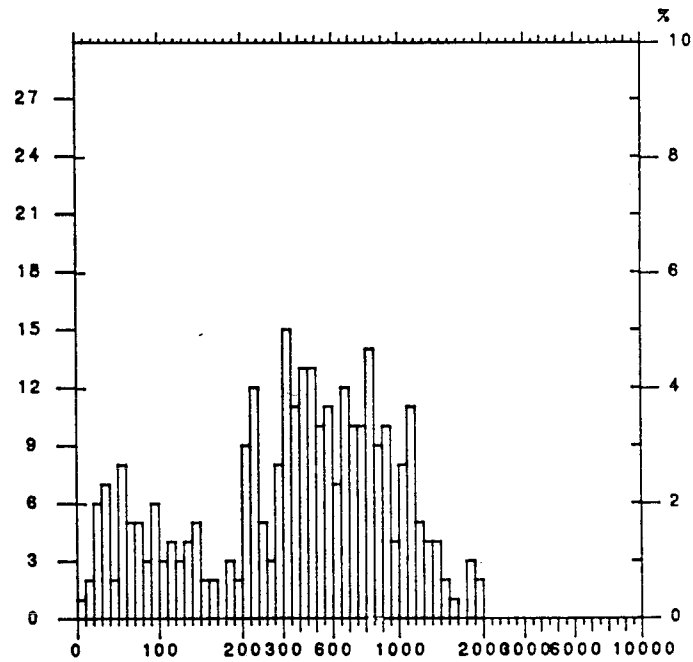
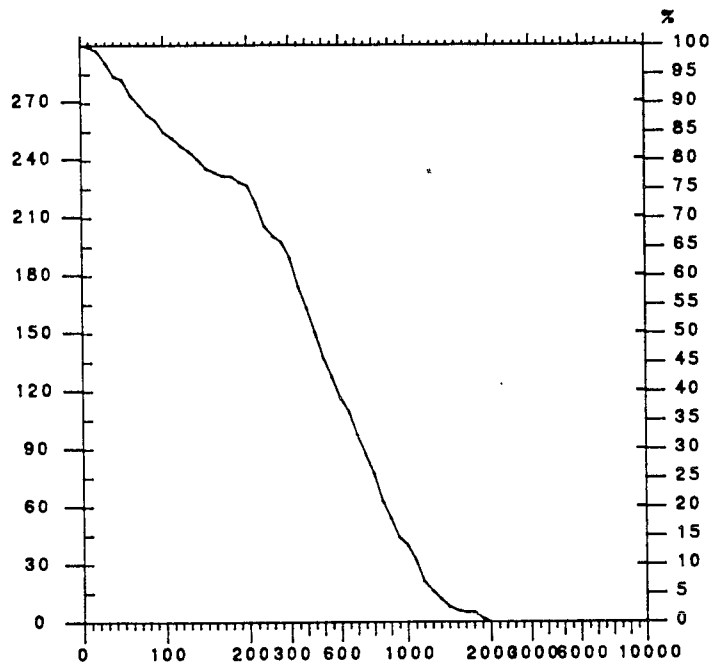
Date : 30/09/87 Fiche stat. no : 13

Histogramme de Dir.: R en m3  
Clas. max.:300 - 350

Population totale: 299  
Population: 15

Capt.:volume  
Filt.:

HISTOGRAMME DES VOLUMES  
D'ABATTAGE PAR TIR



Les volumes de rocher abattus par sautage sont compris entre 10 m3 et 1 977 m3.

On notera que 74 % des sautages sont été réalisés avec des volumes de rocher variant entre 200 et 1 200 m3.



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

Date : 30/09/87 Fiche stat. no : 13

Droites de regression : X: Dir.: R en m3

Y: Charge max. en kg

<Y>/<X> ——— :  $X=25.597*Y^{1.31}$   $Y=.083577*X^{.77}$

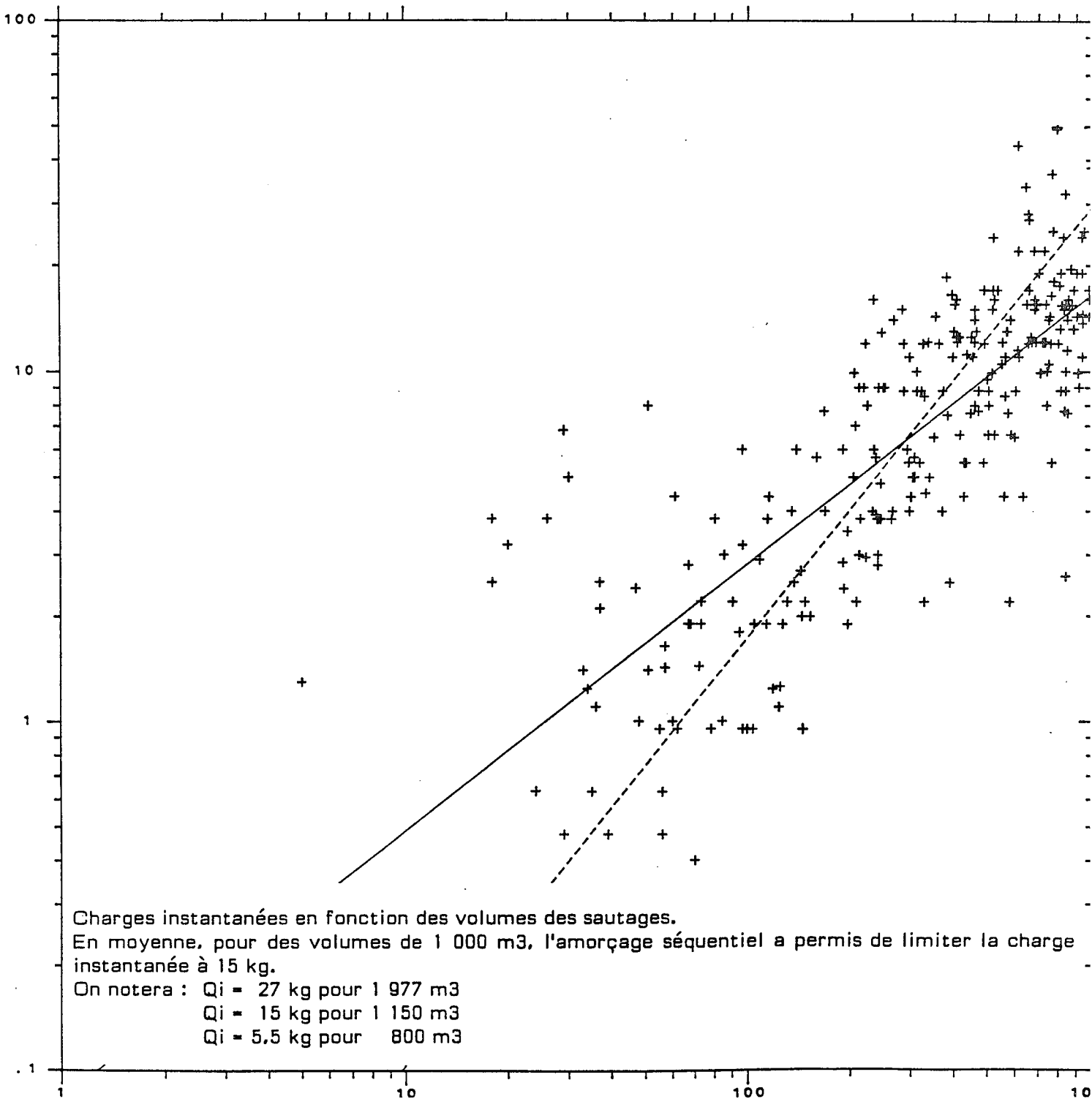
<X>/<Y> - - - - - :  $X=63.48*Y^{.82}$   $Y=.0061421*X^{1.23}$

Coefficient de corrélation : .79 Nombre de pts: 259

Capt.: volume

Filt.:

CHARGES INSTANTANÉES EN FONCT.  
DES VOLUMES PAR TIR D'ABATTAGE



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 13

Droites de regression : X: Distance en m

Y: Charge max. en kg

<Y>/<X> ——— :  $X=2.2302*Y^{1.5}$   $Y=.5851*X^{.67}$

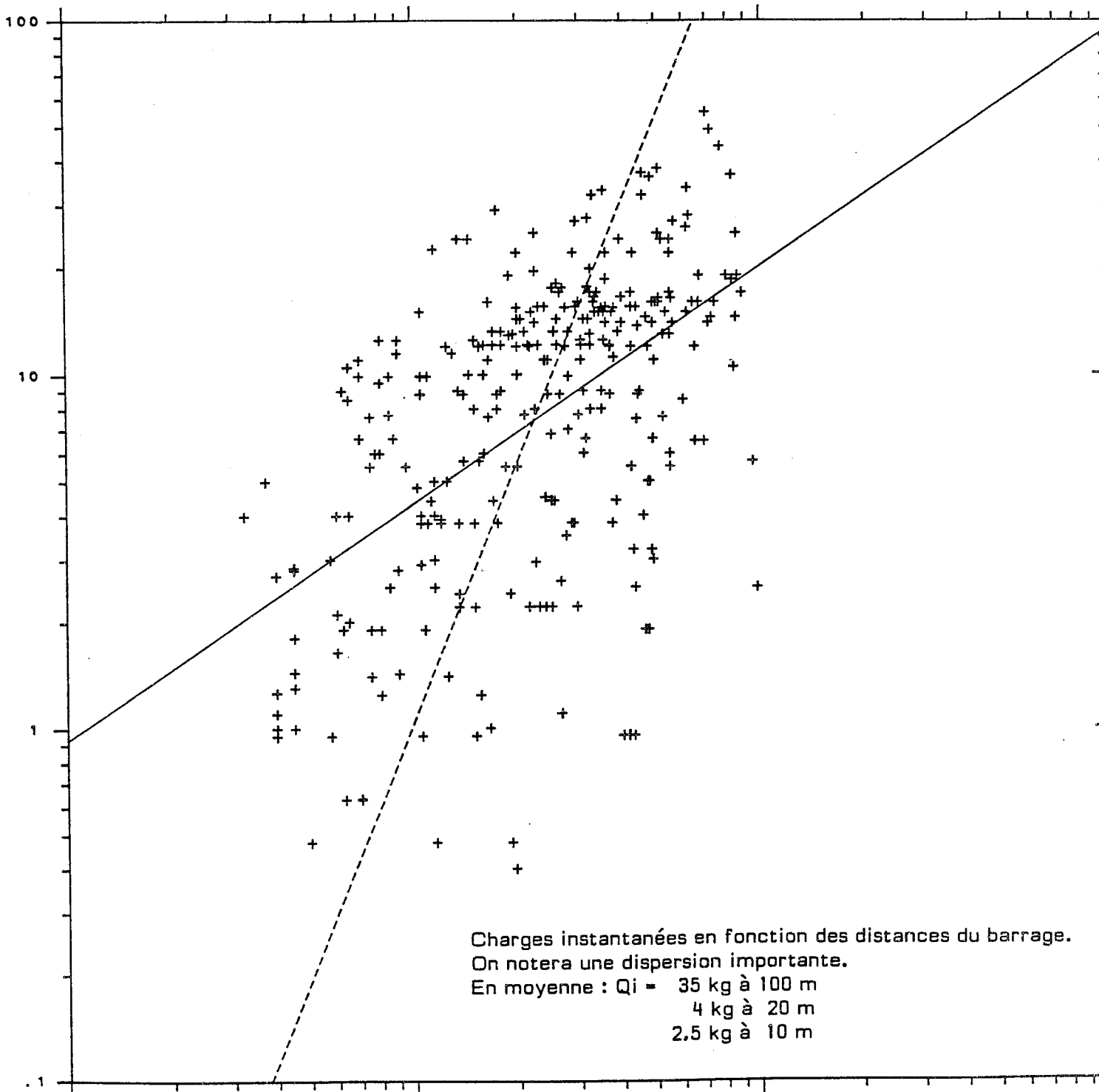
<X>/<Y> - - - - - :  $X=19.577*Y^{.41}$   $Y=7.2818E-04*X^{2.43}$

Coefficient de corrélation : .52 Nombre de pts: 295

Capt.: volume

Filt.: 600 HZ 200 HZ

FIG.6: CHARGES INSTANT. EN  
FONCTION DES DIST. TIRS-BARRAGE



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

Date : 30/09/87 Fiche stat. no : 5

Droites de regression : X: Dist. reduite en m/(kg<sup>0.50</sup>)

Y: Max.: H1 H2 V en mm/s

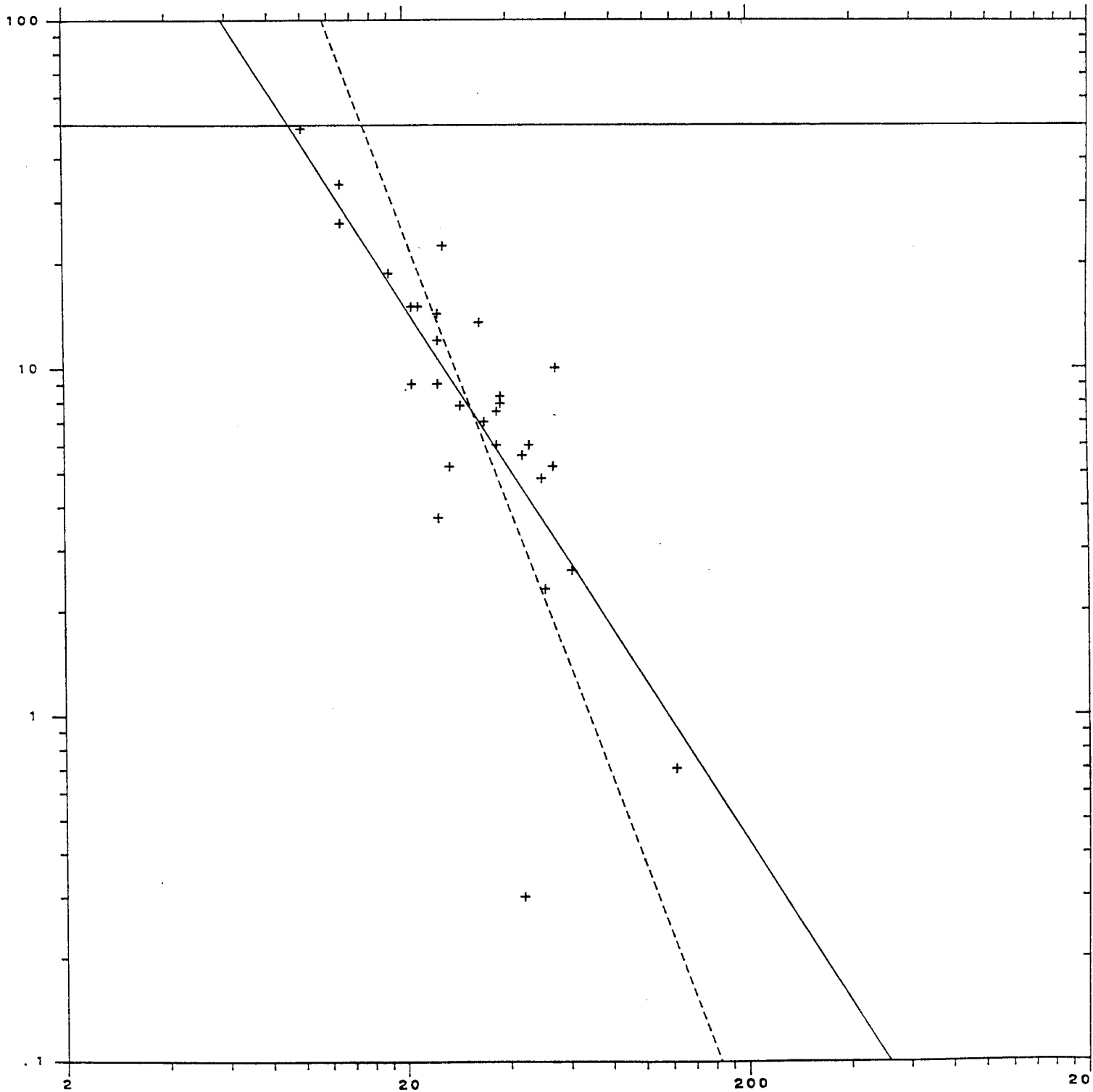
<Y>/<X> ——— : X=116.38\*Y<sup>-0.65</sup> Y=1515.9\*X<sup>-1.54</sup>

<X>/<Y> - - - - - : X=68.277\*Y<sup>-0.38</sup> Y=58204\*X<sup>-2.6</sup>

Coefficient de correlation : -.77 Nombre de pts: 29

Capt.:C1 Filt.:600 HZ

CORRELATION SUR TIRS D'ABATTAGE  
CAPTEUR AU PIED DU BARRAGE



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

Date : 30/09/87 Fiche stat. no : 15

Droites de regression : X: Dist. reduite en m/(kg<sup>0.50</sup>)  
Y: Max.: H1 H2 V en mm/s

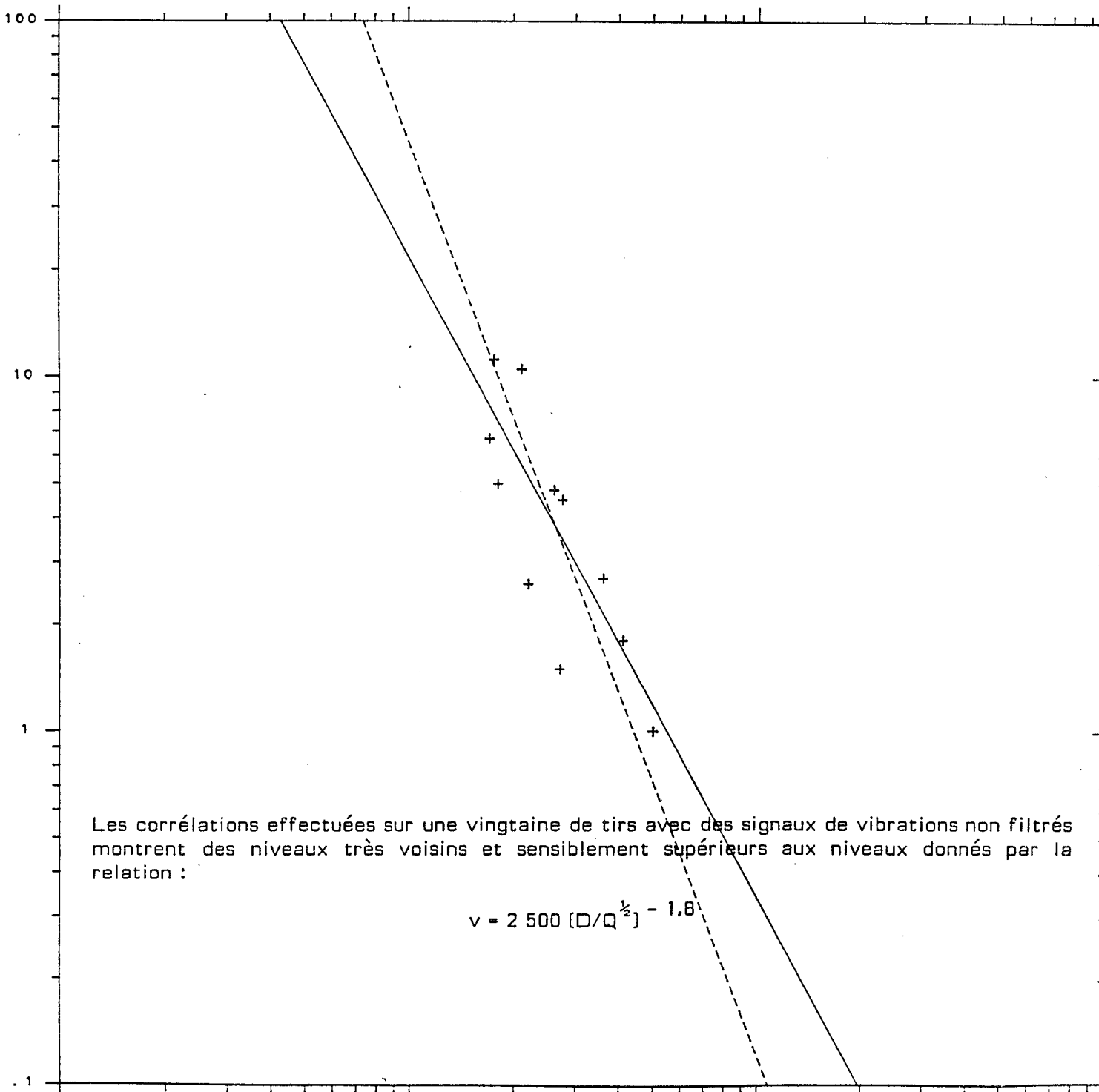
<Y>/<X> ————— : X=109.93\*Y<sup>-0.55</sup> Y=4827.5\*X<sup>-1.8</sup>

<X>/<Y> - - - - - : X=88.21\*Y<sup>-0.39</sup> Y=102127\*X<sup>-2.57</sup>

Coefficient de correlation : -.84 Nombre de pts: 20

Capt.:C1 Filt.:600 HZ

CORR. SUR TIRS DE PREDECOUPEGE  
CAPTEUR AU PIED DU BARRAGE



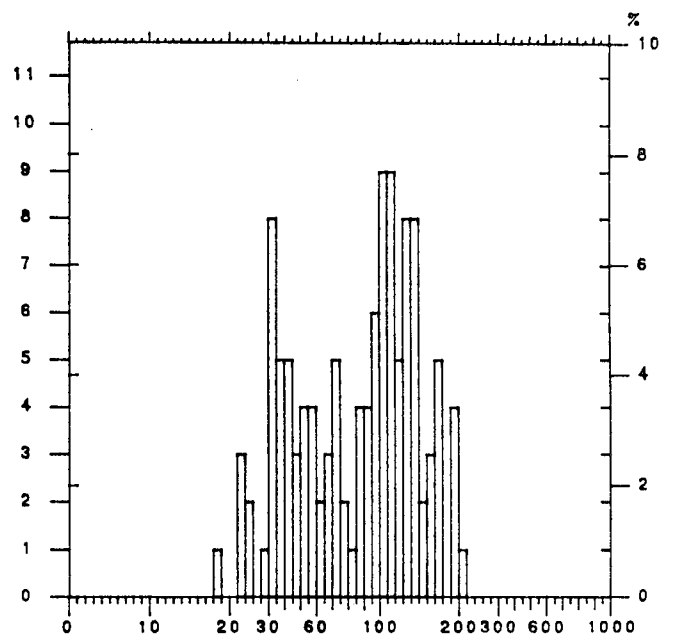
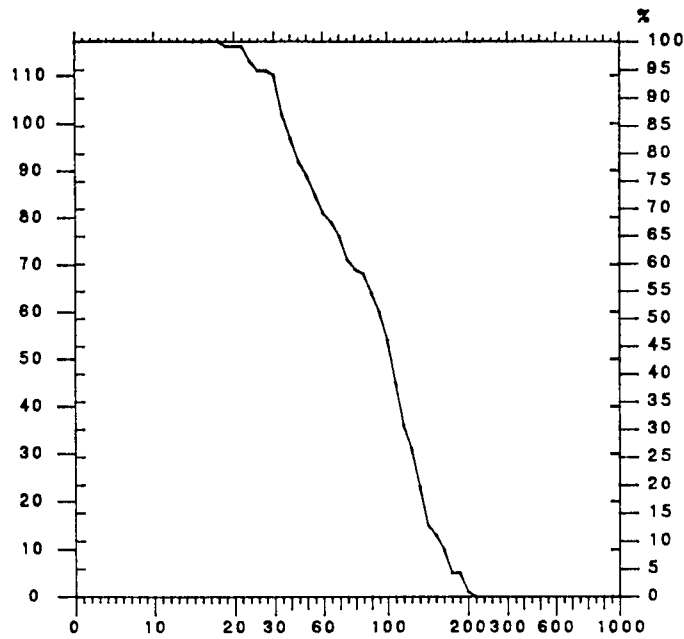
Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 18

Histogramme de Distance en m  
Clas. max.:100 - 110

Population totale: 117  
Population: 9

Capt.:C1 C1B C1C C1D  
Filt.:600 HZ

FIG.9:HIST.DES DIST. TIRS  
BARRAGE AVANT FLTRAGE



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

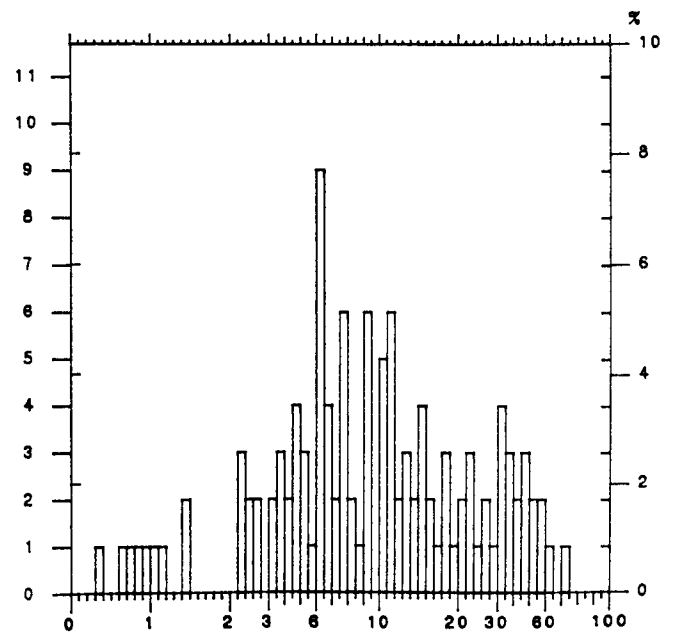
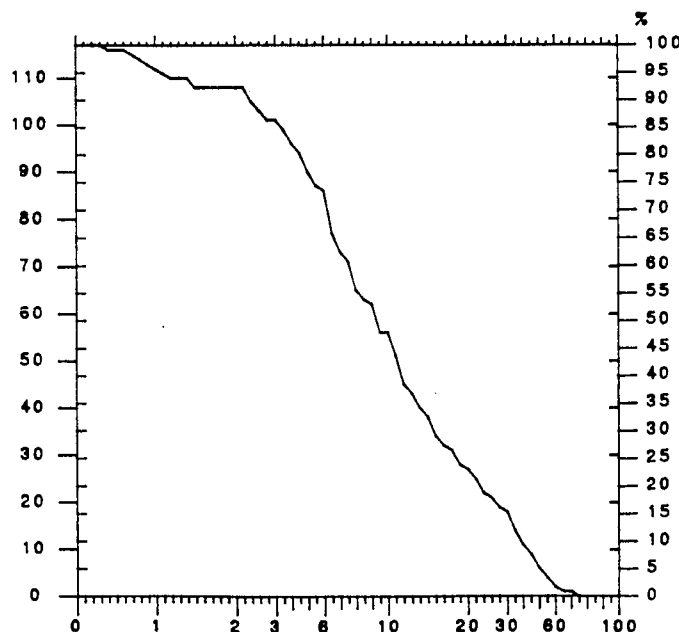
Date : 06/10/87 Fiche stat. no : 18

Histogramme de Max.: H1 H2 V en mm/s  
Clas. max.:6 - 6.5

Population totale: 117  
Population: 9

Capt.:C1 C1B C1C C1D  
Filt.:600 HZ

HISTOGRAMME DES VITESSES  
AU PIED DU BARRAGE

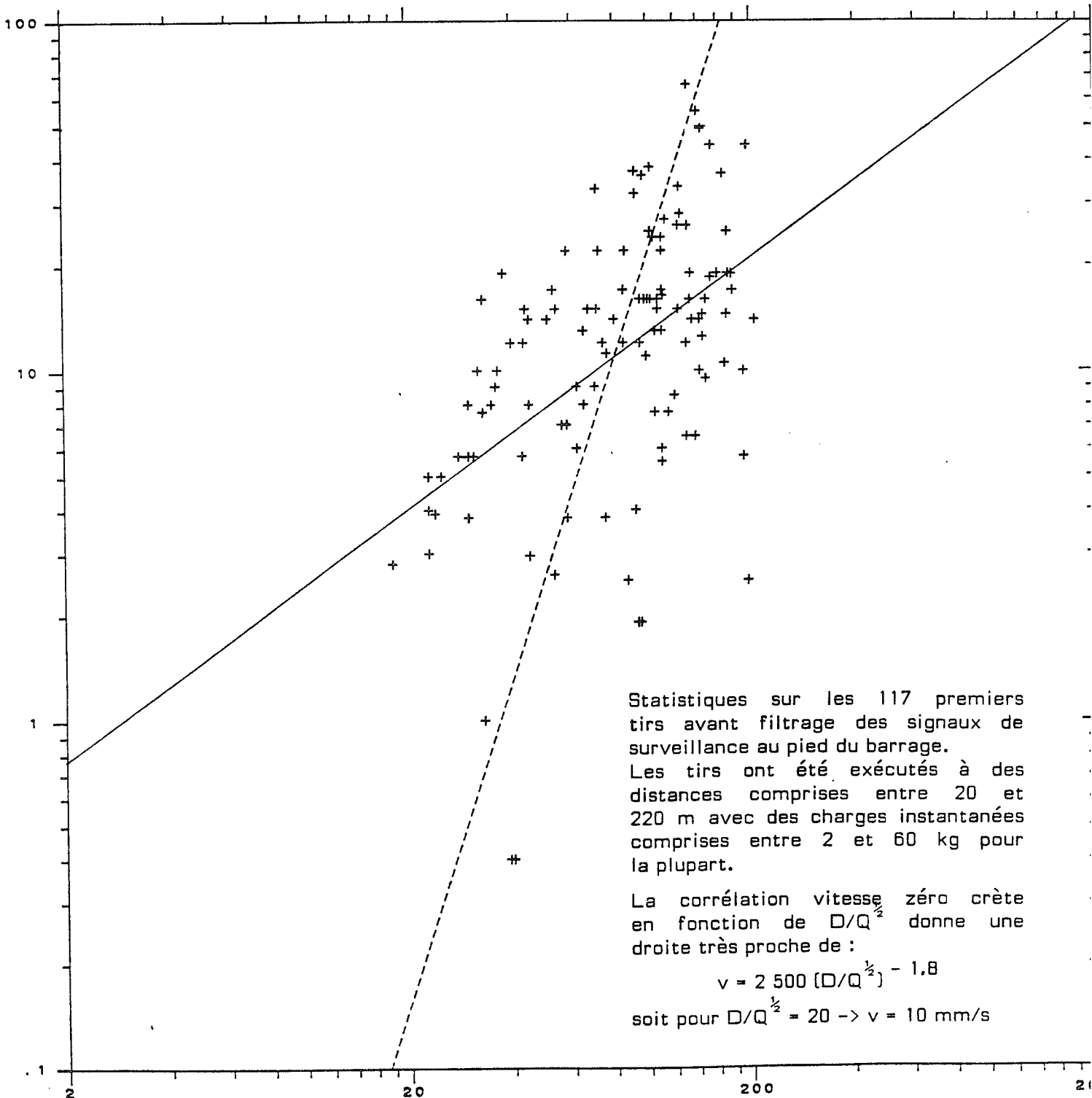


EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 18

Droites de regression : X: Distance en m  
Y: Charge max. en kg  
 $\langle Y \rangle / \langle X \rangle$  ——— :  $X = 2.8728 * Y^{1.39}$   $Y = .4689 * X^{.72}$   
 $\langle X \rangle / \langle Y \rangle$  - - - - - :  $X = 36.671 * Y^{.33}$   $Y = 1.6684E-05 * X^{3.05}$   
 Coefficient de corrélation : .48 Nombre de pts: 117  
 Capt.: C1 C1B C1C C1D Filt.: 600 HZ

FIG.9.2: CHARGES INSTANT. EN  
FONCT. DES DIST. DU BARRAGE



Statistiques sur les 117 premiers tirs avant filtrage des signaux de surveillance au pied du barrage. Les tirs ont été exécutés à des distances comprises entre 20 et 220 m avec des charges instantanées comprises entre 2 et 60 kg pour la plupart.

La corrélation vitesse zéro crête en fonction de  $D/Q^{1/2}$  donne une droite très proche de :

$$v = 2500 (D/Q^{1/2})^{-1.8}$$

soit pour  $D/Q^{1/2} = 20 \rightarrow v = 10 \text{ mm/s}$

EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 18

Droites de regression : X: Dist. reduite en m/(kg<sup>0.50</sup>)

Y: Max.: H1 H2 V en mm/s

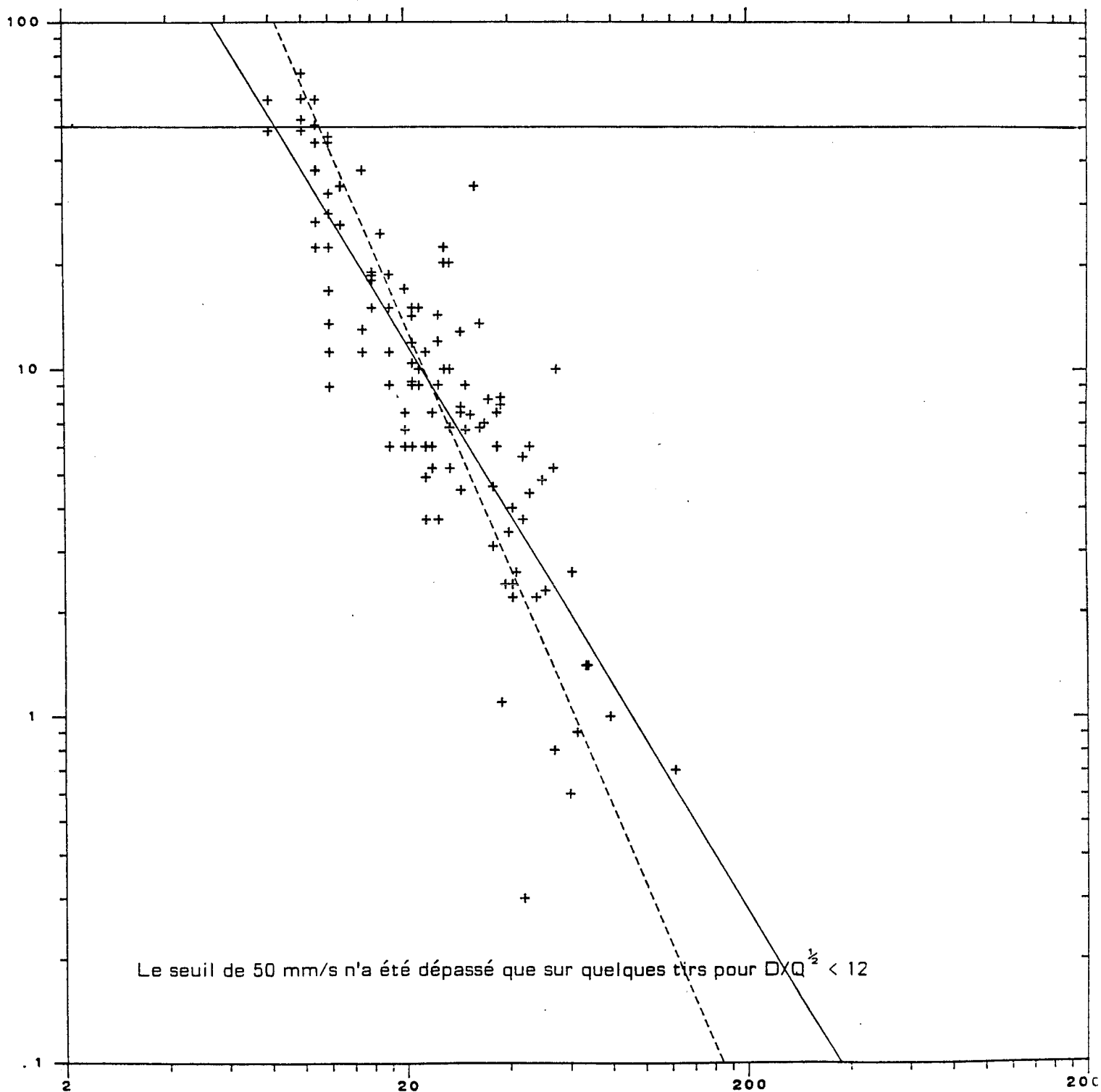
<Y>/<X> ——— : X=91.436\*Y<sup>-0.61</sup> Y=1614\*X<sup>-1.64</sup>

<X>/<Y> - - - - - : X=62.034\*Y<sup>-0.44</sup> Y=13086\*X<sup>-2.3</sup>

Coefficient de correlation : -.84 Nombre de pts: 117

Capt.: C1 C1B C1C C1D Filt.: 600 HZ

FIG.9.3: CORRELATION SUR  
SIGNAUX NON FILTRES



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 19

Droites de regression : X: Distance en m

Y: Charge max. en kg

<Y>/<X> ——— :  $X=2.3676*Y^{1.43}$   $Y=.5463*X^{.7}$

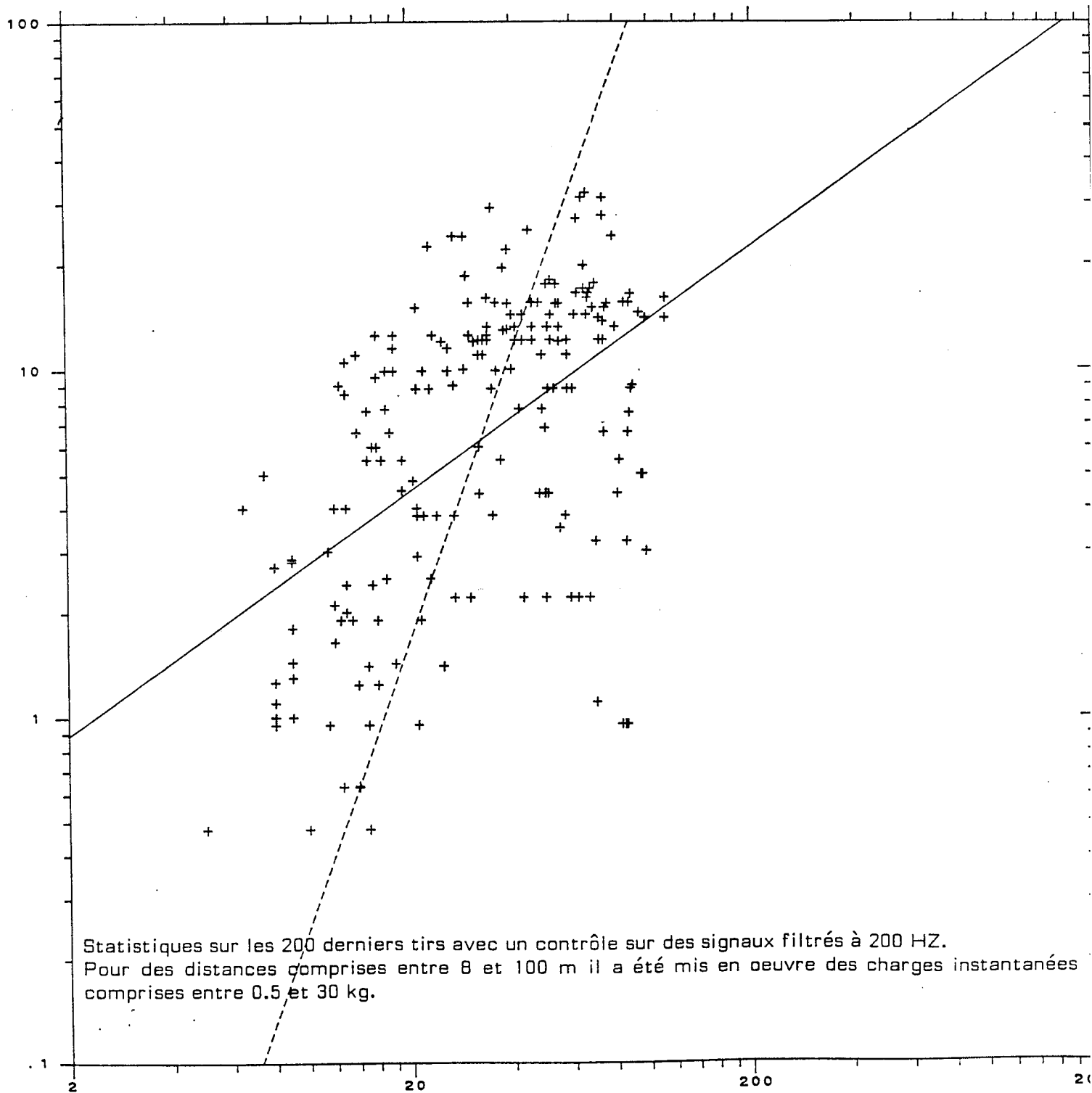
<X>/<Y> - - - - - :  $X=16.606*Y^{.36}$   $Y=4.5233E-04*X^{2.74}$

Coefficient de correlation : .51 Nombre de pts: 200

Capt.: B6 B8 B8B B6B

Filt.: 200 HZ

FIG.10.1: CHARGE INSTANT. EN  
FONCTION DE LA DIST. DU BARRAGE





EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

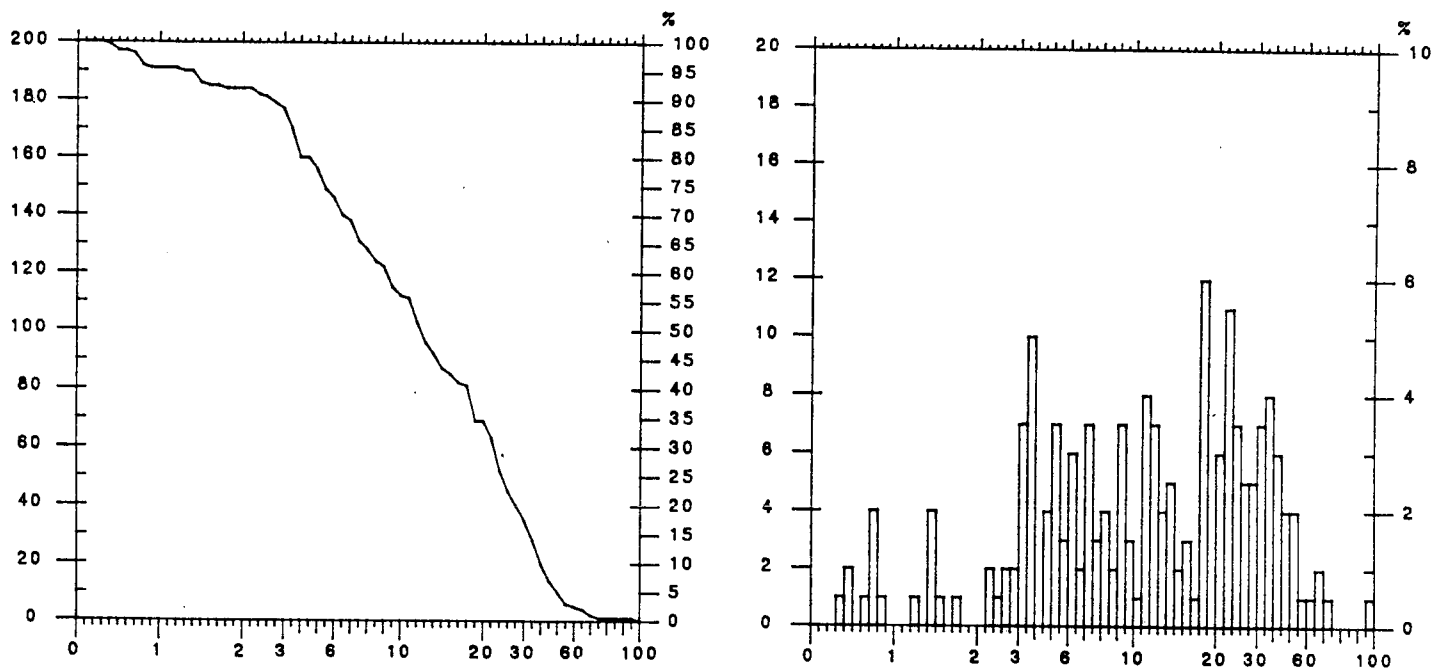
Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 19

Histogramme de Max.: H1 H2 V en mm/s  
Clas. max.: 18 - 19

Population totale: 200  
Population: 12

Capt.: B6 B8 B8B B6B  
Filt.: 200 HZ

FIG. 10.2: HISTOGRAMME DES  
VITESSES AU PIED DU BARR.



Les niveaux de vitesses sont compris entre 1 mm/s et 75 mm/s sur 95 % des tirs

EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 19

Droites de regression : X: Dist. reduite en m/(kg<sup>0.50</sup>)

Y: Max.: H1 H2 V en mm/s

<Y>/<X> ——— : X=65.584\*Y<sup>-0.69</sup> Y=438.77\*X<sup>-1.45</sup>

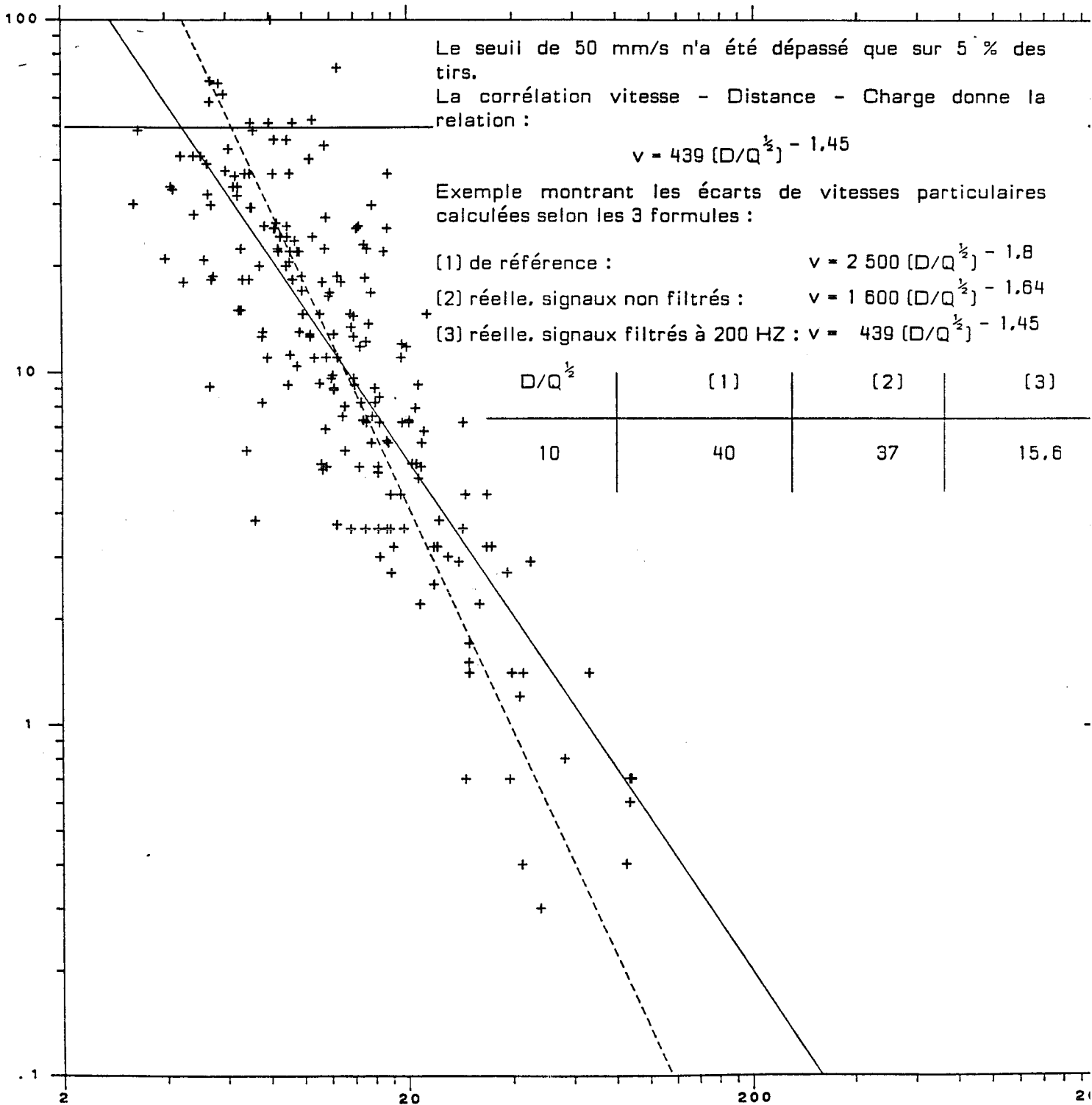
<X>/<Y> - - - - - : X=39.293\*Y<sup>-0.47</sup> Y=2437.9\*X<sup>-2.12</sup>

Coefficient de correlation : -.83 Nombre de pts: 200

Capt.: B6 B8 B8B B6B

Filt.: 200 HZ

FIG.10.3: CORREL.SUR SIGNAUX AU  
PIED DU BARRAGE APRES FILTRAGE



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

Date : 30/09/87 Fiche stat. no : 1

Droites de regression : X: Dist. reduite en m/(kg<sup>0.50</sup>)

Y: Max.: H1 H2 V en mm/s

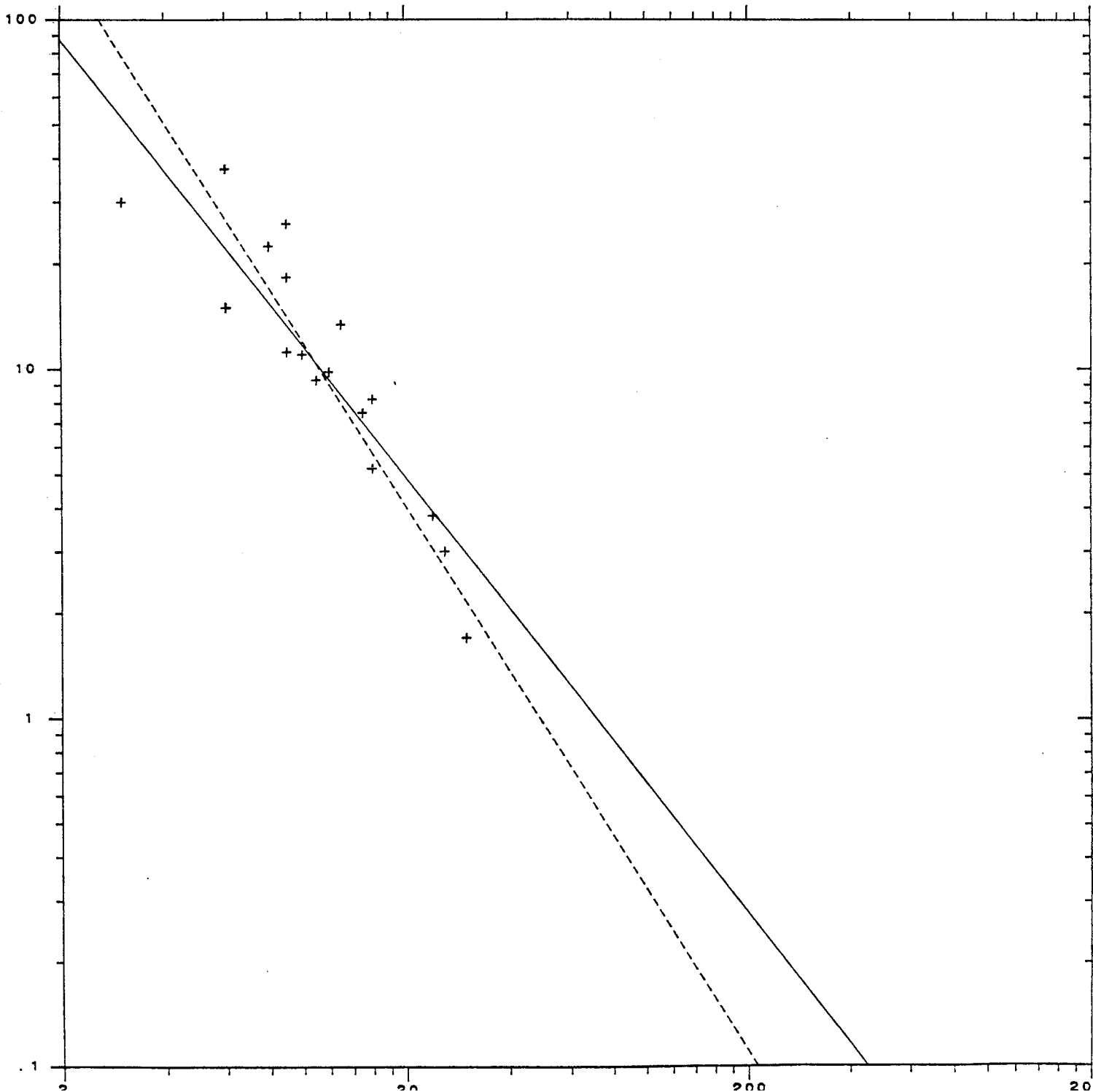
<Y>/<X> ——— : X=71.498\*Y<sup>-0.8</sup> Y=208.66\*X<sup>-1.25</sup>

<X>/<Y> - - - - - : X=48.945\*Y<sup>-0.64</sup> Y=443.23\*X<sup>-1.57</sup>

Coefficient de correlation : -.89 Nombre de pts: 18

Capt.:B6 Filt.:200 HZ

CORRELATION SUR TIRS D'ABATTAGE  
CAPTEUR AU PIED DU BARRAGE



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

Date : 30/09/87 Fiche stat. no : 2

Droites de regression : X: Dist. reduite en m/(kg<sup>0.50</sup>)

Y: Max.: H1 H2 V en mm/s

<Y>/<X> ————— : X=58.229\*Y<sup>-0.78</sup> Y=188.99\*X<sup>-1.29</sup>

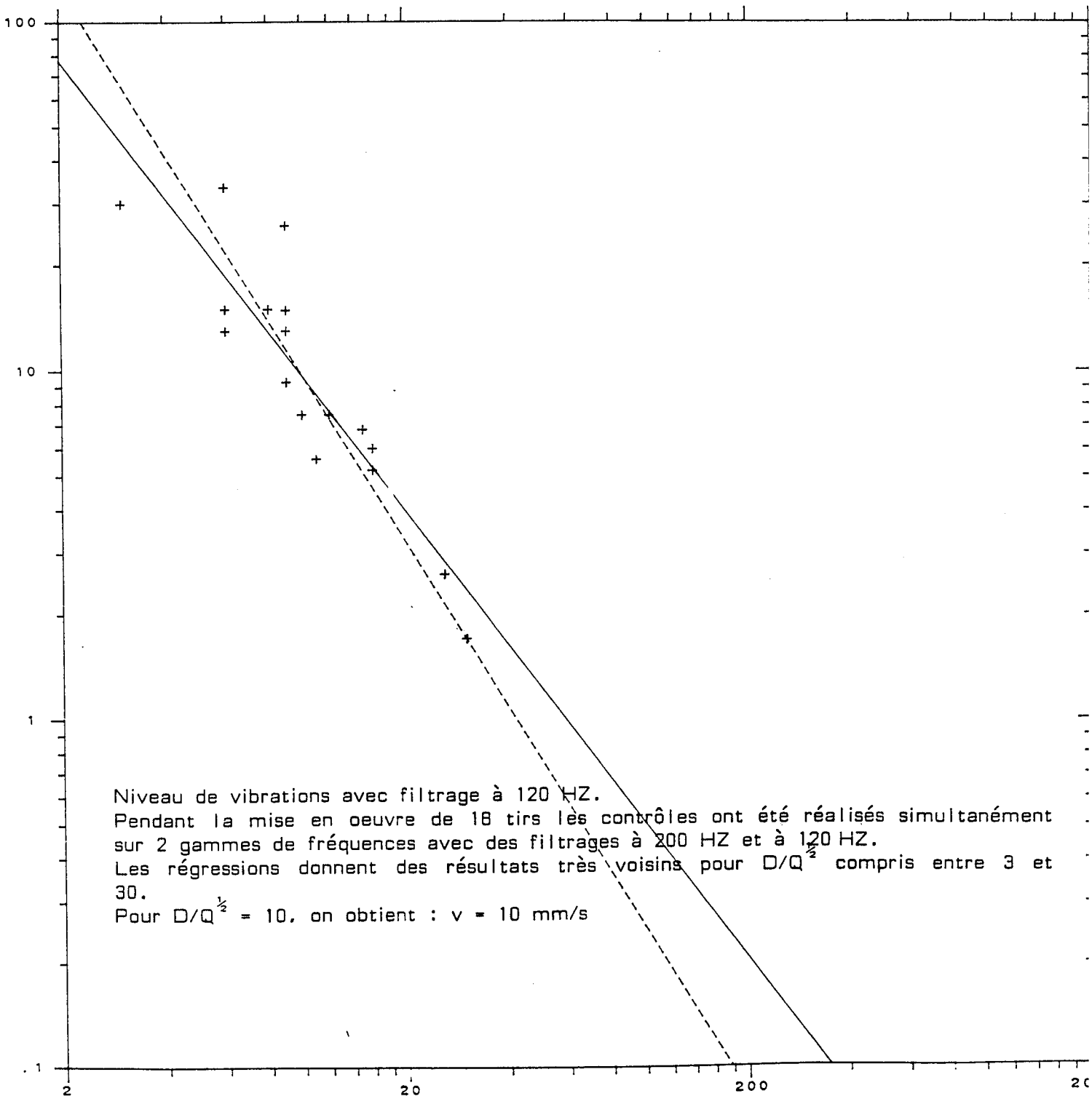
<X>/<Y> - - - - - : X=41.765\*Y<sup>-0.63</sup> Y=382.18\*X<sup>-1.59</sup>

Coefficient de corrélation : -.9 Nombre de pts: 17

Capt.:B6F

Filt.:120 HZ

CORRELATION SUR TIRS D'ABATTAGE  
CAPTEUR AU PIED DU BARRAGE



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN

Date : 01/10/87 Fiche stat. no : 12

Droites de regression : X: Dist. reduite en m/(kg<sup>0.50</sup>)

Y: Max.: H1 H2 V en mm/s

<Y>/<X> ——— : X=58.811\*Y<sup>-0.95</sup> Y=72.093\*X<sup>-1.05</sup>

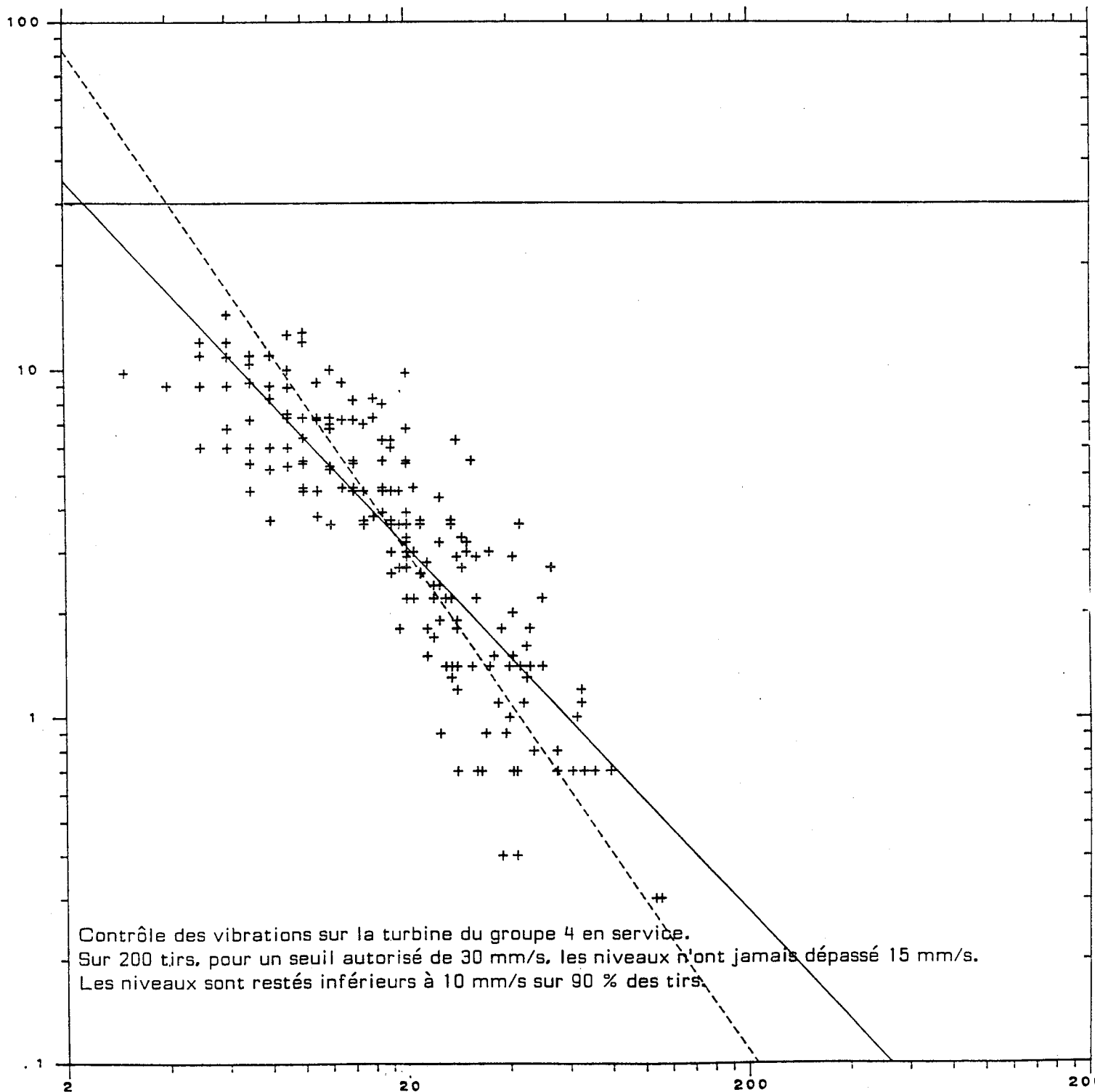
<X>/<Y> - - - - - : X=42.885\*Y<sup>-0.69</sup> Y=225.5\*X<sup>-1.44</sup>

Coefficient de corrélation : -.85 Nombre de pts: 200

Capt.: C2F

Filt.: 200 HZ

TIRS SEQUENTIEL D'ABATTAGE  
CAPTEUR SUR LA TURBINE 4



EXTENSION DE SONG LOULOU CAMEROUN  
SONEL CAMEROUN / RAZEL FRERES

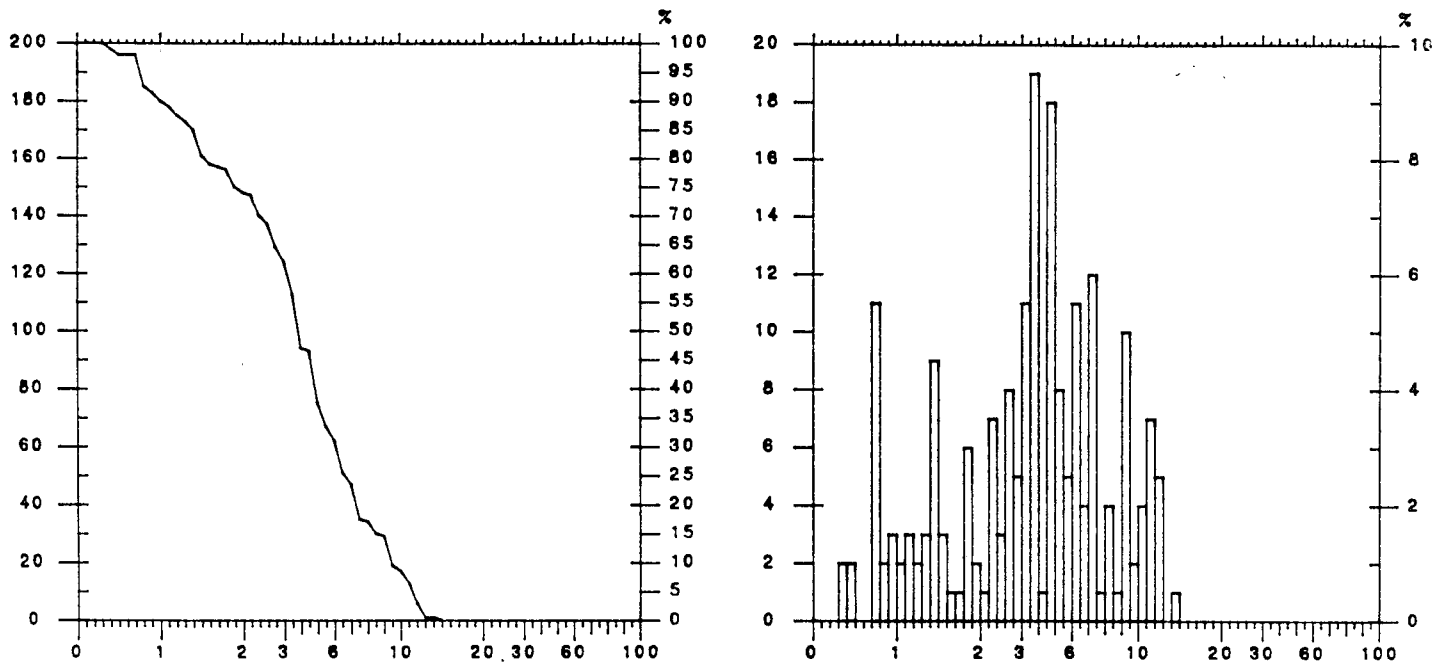
Date : 07/10/87 Fiche stat. no : 12

Histogramme de Max.: H1 H2 V en mm/s  
Clas. max.: 3.5 - 4

Population totale: 200  
Population: 19

Capt.: C2F  
Filt.: 200 HZ

FIG. 12.1: HISTOGRAMME DES  
VITESSES SUR LA TURBINE



Les mesures réalisées sur des signaux filtrés à 200 HZ permettent d'établir la loi de régression :

$$v = 70 (D/Q^{1/2})^{-1.05}$$

Ces niveaux sont relativement faibles en regard des résultats obtenus au pied du barrage sur le rocher.

Pour  $D/Q^{1/2} = 10$   $v = 6$  mm/s

pour 15 mm/s au pied du barrage.

## BIBLIOGRAPHIE

- I. SONEL - Aménagement hydro-électrique de SONG LOULOU  
Pièce N° 2 Juillet 82  
Pièce N° 4 Juillet 82
  
- II. CETE AIX-EN-PROVENCE - Etude des Vibrations  
Rapport PA/FA -GS 84/817 28 Novembre 84
  
- III. RAZEL/SIFRE  
Données pour la conception des plans de sautage  
Décembre 1984
  
- IV. Y. SIFRE/BLANCHIER - Congrès de l'Industrie Minérale  
DOUAI - 5 Juin 1986
  
- V. Y. SIFRE : Terrassements rocheux pour l'extension de l'usine.  
Revue Travaux - Novembre 1986
  
- IV. CETE AIX-EN-PROVENCE - GCX - Logiciel de gestion des données  
de chantiers de minage - Octobre 1987.