

DIRECTION DE L'EQUIPEMENT

G.E.G.D.P.

~

CELLULE HYDROLOGIE

ORSTOM

Centre de TAHITI

~

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE

MARCHE PUBLIC D'ETUDE N° 960072

**ETUDE DE L'ALEA PLUVIOMETRIQUE
A TAHITI**

GEOFFROY WOTLING

MARS 1998

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: *Ax 15379* Ex: *1*

SOMMAIRE



SOMMAIRE.....	1
PREAMBULE.....	2
INTRODUCTION.....	2
1. LA BANQUE DE DONNÉES.....	3
2. AJUSTEMENTS AUX LOIS DE PROBABILITÉ.....	6
2.1 ECHANTILLONNAGE.....	6
2.2 RÉSULTATS DES AJUSTEMENTS ET TABLEAUX DES INTENSITÉS-DURÉES-PRÉQUENCES.....	8
3. ORGANISATION SPATIALE DE L'ALÉA PLUVIOMÉTRIQUE.....	14
3.1 MÉTHODE ET PRINCIPE DE LA MODÉLISATION.....	14
3.2 CALAGE DES MODÈLES.....	18
3.3 VALIDATION DES MODÈLES.....	26
3.4 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS.....	27
4. CARACTÉRISTIQUES DES AVERSES D'INTENSITÉS EXTRÊMES.....	35
4.1 FRÉQUENCES MENSUELLES D'APPARITION DES FORTES INTENSITÉS.....	35
4.2 CONCOMITANCE DES INTENSITÉS EXTRÊMES.....	37
4.3 TYPOLOGIE DES FORMES D'AVERSES.....	44
CONCLUSION.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	50
ANNEXES.....	52

PT
HYD.WOT

PT. d 21321

PREAMBULE

L'étude présentée dans ce rapport a été financé par la Direction de l'Equipement de Polynésie Française dans le cadre du Marché public d'étude N°960072. Ce travail résulte de la coopération entre l'ORSTOM et la cellule Hydrologie du GEGDP (Groupement Etudes et Gestion du Domaine Public) dirigé par Monsieur R. VILLOT.

Les résultats obtenus sont le produit d'un travail collectif auquel a participé l'ensemble de la cellule hydrologie du GEGDP et plus particulièrement Monsieur C. SCHMIDT, chargé du traitement des données pluviographiques. A titre ORSTOM, Monsieur N. MAIHOTA a également participé au dépouillement de la donnée et Messieurs J. DANLOUX et Ch. BOUVIER, chargés de recherche, ont été de précieux conseils pour l'analyse et l'interprétation des résultats.

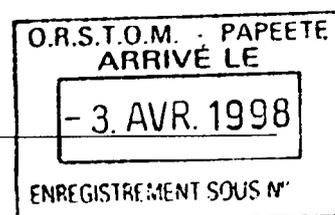
Enfin, nous remercions METEO France pour la mise à disposition des données de FAAA.

INTRODUCTION

L'évaluation des risques hydrologiques nécessite avant tout la caractérisation de l'aléa pluviographique. Si dans certaines régions du monde, les données d'un seul poste pluviographique peuvent être raisonnablement étendues à plusieurs centaines de kilomètres carrés, ce n'est certainement pas le cas à Tahiti où l'hétérogénéité des précipitations est flagrante. Or, jusqu'à présent, seules les données de Faaa étaient utilisées pour la détermination des pluies de projets.

Depuis de nombreuses années, les efforts ont été essentiellement consacrés à la mise en place des réseaux pluviométriques et hydrométriques, à leur suivi et à la formation des équipes territoriales chargées de leur gestion. Aujourd'hui, la masse de données recueillies paraît suffisante pour être soumise à un premier traitement statistique.

Ainsi, le premier objectif consiste à traiter dans sa globalité l'information pluviographique ainsi recueillie afin d'en fournir une synthèse et une analyse qui devrait permettre de mieux maîtriser le risque pluviométrique et en particulier de caractériser sa distribution spatiale.



1. La banque de données.

Les limites de toute analyse statistique étant fixées par le volume et la qualité de la banque de données disponible, il convient de commencer par une présentation sommaire de celle-ci.

La majorité des informations provient des stations pluviographiques Oedipe à enregistrement numérique mises en fonction sur le territoire à partir de 1985. Certaines séries chronologiques ont pu être étendues par le dépouillement de données anciennes, à enregistreur mécanique (Précis Mécanique, Siap), mis en fonction dès les années 70. Enfin, Météo-France a gracieusement mis à notre disposition les données prétraitées du poste de FAAA, constituant la série pluviographique la plus ancienne avec 34 années d'observations. Seuls les observations de FAAA et OROFERO P4 proviennent exclusivement d'enregistreurs mécaniques.

Les données brutes ont dû être mises à jour et critiquées sur la base de la pluviométrie journalière, au moyen des doubles cumuls et des régressions linéaires entre postes voisins.

En totalité, nous disposons à l'heure actuelle de 22 postes avec plus de 2 années d'observations dont les caractéristiques et la répartition géographique sont représentées sur la figure 1.1.

Les graphiques (figure 1.2) présentent les périodes d'observations sur chacune des stations et la décroissance du nombre de postes disponibles en fonction du nombre d'années d'observations. Les années d'observations désignent ici la période durant laquelle le poste a effectivement fonctionné et non la période d'installation des équipements.

On remarque sur ces figures que le quart Sud-Ouest de Tahiti est quasiment dépourvu d'informations pluviographiques. De même, la moyenne de la durée d'observations n'atteint que 8 années, et seuls 6 postes disposent de plus de 10 années d'observations.

Ceci conduit à attirer, dès à présent, l'attention du lecteur sur l'incertitude inéluctable de l'ensemble des résultats relatifs au **quart sud-ouest** de Tahiti ainsi que sur toute extrapolation au delà d'une **période de retour de 10 à 20 années**.

STATION	Numéro	Coordonnées			Durée des Observations
		X	Y	Altitude	
FAAA	5757900300	222931	8056990	2	34.08
FAUTAUA P4	5750080400	232041	8055819	650	4.21
HITIAA P1	5758700200	249545	8049139	700	10.24
HITIAA P3	5758700300	253340	8048743	385	5.24
HITIAA P4	5758700400	254935	8051457	6	6.70
HITIAA P5	5750600500	251515	8047958	550	7.07
HITIAA P7	5750600700	248168	8046040	1000	4.70
OROFERO P4	5754900600	228516	8043285	70	10.01
PAPEARI P1	5755300100	249058	8034725	1	6.10
PAPENOO P2	5751700200	241241	8053377	210	13.89
PAPENOO P5	5751700500	242479	8050954	130	2.86
PAPENOO P8	5751700800	240864	8048088	260	2.96
PAPENOO P9	5751700900	239351	8046908	350	2.91
PUNARUU P0	5750200500	230814	8051291	1420	17.54
PUNARUU P1	5750200100	229477	8048300	600	18.36
TARAVAO P1	5754500100	261014	8032335	630	19.76
TUAURU P0	5753000500	236982	8058870	520	4.00
VAIAMI P0	5750810000	226941	8058458	30	7.90
VAIAMI P1	5750810100	228199	8056718	170	5.95
VAIAMI P2	5750810200	228380	8054808	470	8.56
VAIAMI P5	5750810500	228708	8056610	145	2.45
VAHIRIA P2	5753300200	243037	8040315	460	7.82

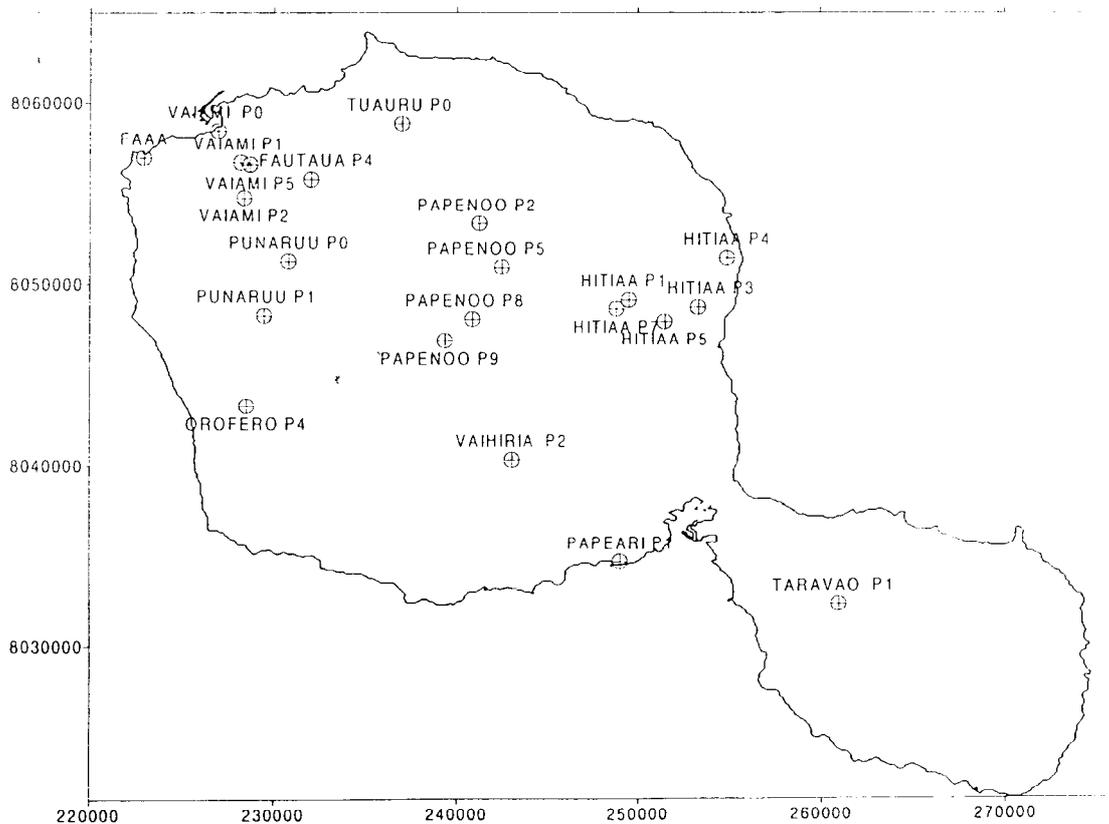


FIGURE 1.1 : Caractéristiques et localisation des 22 stations pluviographiques. (cf également FIGURE 3.1).

(cf également FIGURE 3.1).

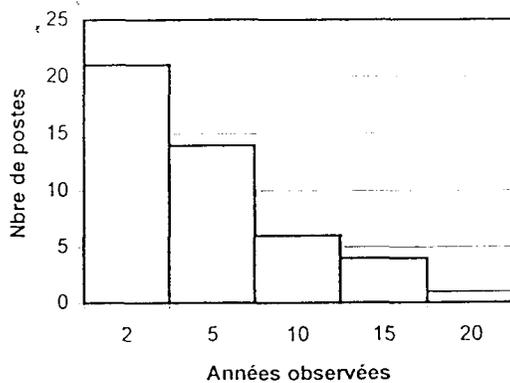
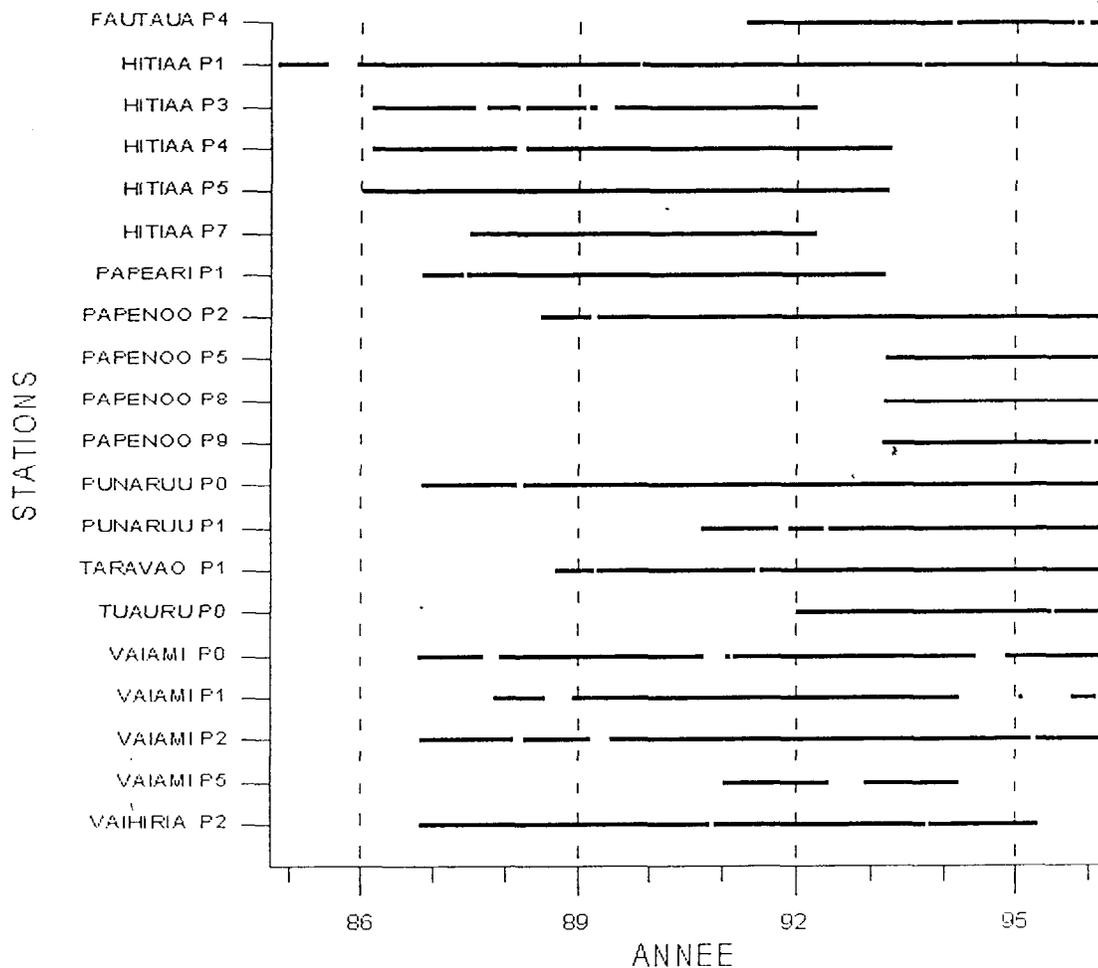
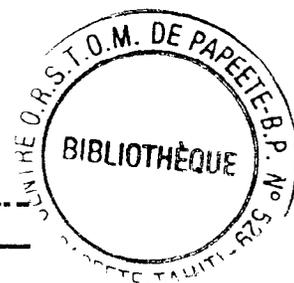


FIGURE 1.2 : Périodes d'observations pour chacune des stations (enregistrement numérique) et nombre de postes disponibles en fonction de la durée d'observation.

2. Ajustements aux lois de probabilité

2.1 Echantillonnage

La détermination des I-D-F (Intensités-Durées-Fréquences) se fait classiquement sur des échantillons dits « maximum », une valeur maximale par année. Les séries chronologiques étant dans l'ensemble trop courtes pour procéder à ce type d'échantillonnage, nous avons utilisé l'échantillonnage dit « sup-seuil », qui correspond à toutes les valeurs supérieures à un seuil donné.

Un échantillonnage de ce type ne peut être réalisé que si le critère d'indépendance entre les individus est bien respecté. Après plusieurs essais, nous avons choisi les règles suivantes comme critère d'indépendance :

- Pour les intensités sur des périodes inférieures à 24h :
« Deux événements sont considérés indépendants lorsqu'ils sont séparés par une période sans pluie d'une durée minimale de 2 heures. »
- Pour les intensités sur 24h :
« Deux événements sont considérés indépendants lorsqu'ils sont séparés par une période de 24 heures ayant un cumul inférieur ou égal à 5 mm. »

Nous avons choisi la valeur de 2 heures, car celle-ci dépasse certainement le temps de concentration des plus grands bassins de Tahiti.

L'intensité maximale de chaque événement pluvieux indépendant a été déterminée à partir d'un fichier pas de temps fixe 1 minute, au moyen d'une « fenêtre glissante », c'est-à-dire que pour chaque événement indépendant, l'intensité maximale au pas de temps déterminé est recherchée en décalant par incrément de 1 minute la période de scrutation fixée. De la sorte, nous évitons les biais dus à un découpage arbitraire en pas de temps de fixe.

Pour simplifier les calculs, les intensités sont exprimées en dixième de millimètre (dmm) précipités sur la période fixée et non en mm/h. Nous avons choisi de travailler sur les intensités de 5mn, 15mn, 30mn, 1h, 2h et 24h.

Enfin, les seuils au-dessus desquels les intensités sont extraites pour créer l'échantillon statistique ont été fixés arbitrairement de sorte à obtenir un nombre suffisant d'individus même pour des séries chronologiques de 2 années.

Durée	seuil (dmm)
5 mn	70
15 mn	100
30 mn	150
1 h	150
2 h	170
24 h	200

TABLEAU 2.1 : Seuil d'intensité utilisé pour la construction des échantillons statistiques

Un ensemble de routine Fortran a été élaboré pour réaliser ce type d'échantillonnage à partir des données pluviographiques au format Pluviom ou Excel (cf. figure 2.1)

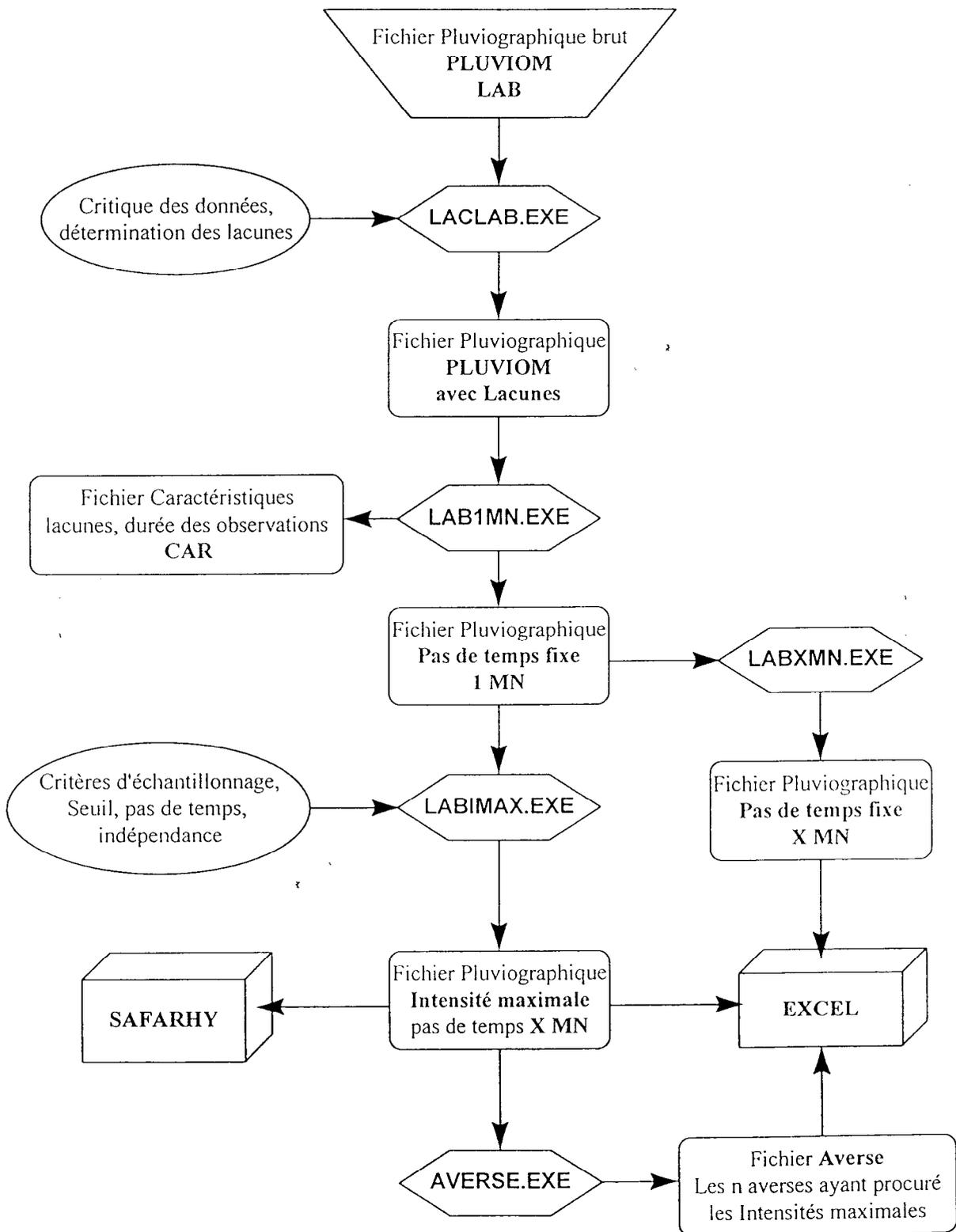


FIGURE 2.1 : Présentation de la chaîne de traitement de l'information pluviographique élaborée sous forme d'exécutables DOS (programmation FORTRAN).

2.2 Résultats des ajustements et Tableaux des Intensités-Durées-Fréquences



Les échantillons ainsi constitués ont été importés dans le logiciel SAFARHY (Lubes et al. 1994) spécialement conçu pour l'ajustement des données hydropluviométriques aux lois de probabilité les plus connus.

D'une manière générale, la loi de Gumbel, classiquement employée pour ce type d'étude (Desurosne et al. 1991 et 1996, Michel, Oberlin 1987, Lebel 1984), est celle qui s'ajuste le mieux aux échantillons. Elle est systématiquement sélectionnée pour les périodes de 5mn à 1 heure. Au delà, il s'avère que la loi Log-Gumbel ou Log Gamma à trois paramètres soit préférable pour certaines stations.

Pour la loi de Gumbel, l'ajustement est réalisé par la méthode des moments. Pour les loi Log-Gumbel et Log Gamma, la méthode du maximum de vraisemblance est employée.

Les graphiques d'ajustements pour chacune des stations sont présentés en annexe, afin de laisser au lecteur la possibilité de juger par lui-même de la qualité de l'ajustement.

Les Tableaux 2.2 à 2.4 présentent les quantiles (en dmm) de période de retour 1, 2, 5, 10, 20 et 50 ans, ainsi que les paramètres d'ajustement pour chacune des stations et les différentes intensités.

Nous rappelons que la loi de Gumbel est une loi à deux paramètres, le **Gradex (Gd)** et le **paramètre de position (P0)** (Gumbel 1954, Masson 1983). Les quantiles se déduisent de la relation :

$$X_p(T) = -Gd \ln(-\ln(T)) + P0 \quad (X_p(T) \text{ est le quantile de période de retour } T) \quad (1)$$

ce qui tend très rapidement vers ;

$$X_p(T) = Gd \ln(T) + P0 \quad (2)$$

L'intensité de période de retour T est celle qui survient en moyenne seulement une fois sur une période de T années. Cela n'exclue pas la possibilité que cette intensité puisse survenir plusieurs fois sur cette même période T, voire plusieurs fois une même année.

Les paramètres fournis par Safarhy (p_1 , p_2), lors des ajustements Gumbel ne sont pas directement Gd et P0. En effet, dans le cas d'échantillons de type Sup-seuil, l'ajustement doit tenir compte de la fréquence d'apparition du seuil choisi, il s'agit en quelque sorte d'un troisième paramètre. Cependant, les quantiles ainsi obtenus s'ajustent de manière largement satisfaisante sur une relation à 2 paramètres de type $X_p(T) = Gd \ln(T) + P0$.

Les paramètres Gd et P0 sont également indiqués dans les tableaux 2.2 à 2.4.

INTENSITE SUR 5 MINUTES

STATION	Période de Retour T (année)							Loi	Paramètres ajustement			Valeurs		Nbre Observat	Durée Observat	Paramètres de Gumbel	
	1	2	5	10	20	50	100		p1	p2	p3	Min	Max			Gd	P0
FAUTAUA P4	98	103	111	116	122	129	135	Gumbel	80.615	7.911		70	110	39	4.21	7.99	98
HITIAA P1	130	139	152	162	172	184	194	Gumbel	80.137	13.957		70	165	358	10.24	14.00	130
HITIAA P3	128	138	151	161	171	184	193	Gumbel	81.293	14.047		70	150	153	5.24	14.09	129
HITIAA P4	123	133	146	155	165	178	187	Gumbel	79.536	13.879		70	165	158	6.70	13.94	123
HITIAA P5	125	135	147	157	167	179	189	Gumbel	78.933	13.832		70	180	201	7.07	13.88	125
HITIAA P7	112	121	133	142	151	163	172	Gumbel	77.087	12.83		70	160	76	4.70	12.91	113
PAPEARI P1	99	106	116	123	130	139	146	Gumbel	78.899	10.208		70	120	45	6.10	10.35	99
PAPENOO P2	116	127	140	150	159	172	182	Gumbel	78.732	14.189		70	170	111	7.49	14.28	117
PAPENOO P5	103	109	118	124	131	140	146	Gumbel	75.416	9.366		70	120	54	2.86	9.41	103
PAPENOO P8	108	118	130	140	149	162	171	Gumbel	76.107	13.451		70	130	34	2.96	13.56	109
PAPENOO P9	105	112	122	128	135	144	151	Gumbel	80.562	9.89		70	125	37	2.91	9.97	105
PUNARUU P0	96	104	114	121	128	138	145	Gumbel	75.658	10.37		70	130	71	9.04	10.50	97
PUNARUU P1	108	118	130	139	149	161	170	Gumbel	80.904	13.139		70	130	43	4.96	13.29	109
TARAVAO P1	112	120	131	139	147	157	165	Gumbel	79.512	11.545		70	140	119	7.06	11.61	112
TUAURU P0	118	128	140	150	159	171	181	Gumbel	78.681	13.498		70	150	77	4.00	13.57	118
VAIAMI P0	88	94	101	107	112	119	125	Gumbel	76.393	7.723		70	105	41	7.90	7.87	89
VAIAMI P1	99	107	116	123	131	140	147	Gumbel	77.809	10.251		70	115	51	5.95	10.37	99
VAIAMI P2	104	112	124	132	140	151	160	Gumbel	77.978	12.051		70	145	76	8.56	12.18	104
VAIAMI P5	101	108	118	125	132	141	148	Gumbel	76.976	10.236		70	120	26	2.45	10.33	101
VAHIRIA P2	116	125	137	145	154	166	175	Gumbel	80.172	12.663		70	145	135	7.82	12.73	116

INTENSITE SUR 15 MINUTES

STATION	Période de Retour T (année)							Loi	Paramètres ajustement			Valeurs		Nbre Observat	Durée Observat	Paramètres de Gumbel	
	1	2	5	10	20	50	100		p1	p2	p3	Min	Max			Gd	P0
FAAA	253	294	346	386	425	476	515	Gumbel	144.860	56.100		100	650	251	34.08	56.86	254
FAUTAUA P4	207	227	253	272	292	317	337	Gumbel	130.293	27.951		100	255	68	4.21	28.12	207
HITIAA P1	284	311	346	373	400	435	462	Gumbel	130.474	38.494		100	375	561	10.24	38.56	284
HITIAA P3	298	329	369	399	429	469	499	Gumbel	130.143	43.440		100	370	255	5.24	43.52	299
HITIAA P4	290	320	360	390	420	460	490	Gumbel	132.429	43.362		100	425	257	6.70	43.47	290
HITIAA P5	277	303	338	364	391	426	452	Gumbel	128.191	37.927		100	410	359	7.07	38.00	277
HITIAA P7	246	270	300	324	347	378	401	Gumbel	123.678	33.524		100	315	184	4.70	33.61	246
OROFERO P4	231	258	294	320	347	382	409	Gumbel	128.790	38.384		100	315	148	10.01	38.63	231
PAPEARI P1	207	227	253	273	293	319	338	Gumbel	124.734	28.363		100	295	114	6.10	28.51	207
PAPENOO P2	247	273	307	332	358	391	417	Gumbel	125.515	36.746		100	356	386	13.89	36.87	247
PAPENOO P5	225	244	270	289	308	334	353	Gumbel	125.548	27.699		100	267	105	2.86	27.77	225
PAPENOO P8	245	269	301	325	349	381	405	Gumbel	121.856	34.647		100	305	105	2.96	34.74	245
PAPENOO P9	243	267	298	321	345	375	399	Gumbel	134.045	33.644		100	262	76	2.91	33.77	243
PUNARUU P0	234	265	306	336	366	406	436	Gumbel	116.764	43.529		100	766	270	17.54	43.80	235
PUNARUU P1	235	264	302	330	358	396	424	Gumbel	129.956	40.748		100	400	250	18.36	41.04	235
TARAVAO P1	249	276	311	337	363	398	424	Gumbel	126.422	37.851		100	500	517	19.76	37.99	249
TUAURU P0	264	291	326	352	379	414	440	Gumbel	126.925	38.163		100	350	147	4.00	38.26	264
VAIAMI P0	185	203	227	245	263	287	305	Gumbel	120.336	25.836		100	245	100	7.90	26.03	185
VAIAMI P1	199	216	239	256	274	296	313	Gumbel	127.523	24.748		100	225	109	5.95	24.88	199
VAIAMI P2	213	233	260	280	300	327	347	Gumbel	126.338	28.973		100	250	173	8.56	29.11	213
VAIAMI P5	205	223	248	266	284	308	327	Gumbel	123.157	26.296		100	260	56	2.45	26.41	205
VAHIRIA P2	268	295	331	358	385	420	447	Gumbel	129.363	38.810		100	410	282	7.82	38.91	268

TABLEAU 2.2: Paramètres d'ajustements aux lois statistiques et évaluation des quantiles de période de retour fixée pour les intensités sur 5 et 15 minutes

ETUDE HYDROLOGIQUE ORSTOM / GEGDP

Ajustements aux lois de probabilité

INTENSITE SUR 30 MINUTES

STATION	Période de Retour T (année)							Loi	Paramètres ajustement			Valeurs		Nbre Observat	Durée Observat	Paramètres de Gumbel	
	1	2	5	10	20	50	100		p1	p2	p3	Min	Max			Gd	P0
FAAA	339	393	463	514	566	633	685	Gumbel	207.110	73.690		150	830	222	34.08	74.82	341
FAUTAUA P4	322	357	403	438	472	518	552	Gumbel	189.808	49.532		150	410	63	4.21	49.85	323
HITIAA P1	446	492	552	597	642	702	747	Gumbel	202.162	65.237		150	585	437	10.24	65.38	446
HITIAA P3	472	524	593	645	697	765	817	Gumbel	204.962	74.866		150	630	187	5.24	75.07	472
HITIAA P4	452	504	572	623	674	742	793	Gumbel	203.626	73.860		150	690	196	6.70	74.10	452
HITIAA P5	445	493	555	602	649	711	758	Gumbel	198.511	67.832		150	735	272	7.07	68.00	445
HITIAA P7	394	436	490	531	572	626	667	Gumbel	193.614	59.005		150	533	143	4.70	59.19	394
OROFERO P4	300	334	378	411	444	488	521	Gumbel	189.248	47.502		150	385	108	10.01	47.93	301
PAPEARI P1	319	355	402	437	472	518	553	Gumbel	183.821	50.415		150	482	93	6.10	50.73	320
PAPENOO P2	368	409	463	503	543	596	636	Gumbel	192.500	57.901		150	588	296	13.89	58.16	369
PAPENOO P5	355	390	435	470	505	550	585	Gumbel	186.907	49.734		150	463	85	2.86	49.89	355
PAPENOO P8	388	429	482	523	563	617	657	Gumbel	192.183	58.344		150	535	86	2.96	58.54	388
PAPENOO P9	376	414	464	502	539	589	627	Gumbel	202.420	54.334		150	415	72	2.91	54.54	376
PUNARUU P0	323	364	417	458	498	551	591	Gumbel	162.851	57.802		150	766	288	17.54	58.14	323
PUNARUU P1	321	359	409	446	484	533	570	Gumbel	192.857	53.498		150	470	211	18.36	53.95	322
TARAVAO P1	370	412	468	510	551	607	648	Gumbel	189.049	60.169		150	750	408	19.76	60.45	370
TUAURU P0	412	456	515	560	604	663	707	Gumbel	195.554	63.974		150	515	119	4.00	64.18	412
VAIAMI P0	278	311	352	384	415	456	487	Gumbel	182.819	44.685		150	410	71	7.90	45.17	279
VAIAMI P1	296	324	361	388	416	452	479	Gumbel	190.242	39.427		150	370	91	5.95	39.68	297
VAIAMI P2	324	358	403	437	470	514	548	Gumbel	190.149	48.234		150	400	142	8.56	48.51	325
VAIAMI P5	340	380	431	470	509	560	599	Gumbel	184.445	55.844		150	478	41	2.45	56.17	341
VAIHIRIA P2	423	469	529	574	620	680	725	Gumbel	198.193	65.345		150	620	248	7.82	65.54	423

INTENSITE SUR 60 MINUTES

STATION	Période de Retour T (année)							Loi	Paramètres ajustement			Valeurs		Nbre Observat	Durée Observat	Paramètres de Gumbel	
	1	2	5	10	20	50	100		p1	p2	p3	Min	Max			Gd	P0
FAAA	433	505	598	667	736	827	896	Gumbel	236.020	99.060		150	1020	267	34.25	100.32	435
FAUTAUA P4	445	501	574	629	684	756	811	Gumbel	207.492	79.045		150	745	87	4.21	79.41	446
HITIAA P1	659	734	832	907	981	1079	1154	Gumbel	226.002	107.147		150	1090	589	10.24	107.32	660
HITIAA P3	676	758	865	946	1027	1134	1215	Gumbel	222.652	116.751		150	1050	258	5.24	116.98	677
HITIAA P4	642	723	830	911	992	1098	1179	Gumbel	220.111	116.143		150	1130	257	6.70	116.43	643
HITIAA P5	668	748	853	932	1011	1116	1195	Gumbel	215.513	114.024		150	1295	379	7.07	114.23	669
HITIAA P7	573	638	724	788	853	939	1004	Gumbel	211.780	93.399		150	815	226	4.70	93.58	573
OROFERO P4	402	452	518	567	616	682	731	Gumbel	210.913	70.964		150	630	152	10.01	71.41	402
PAPEARI P1	453	508	581	636	691	763	818	Gumbel	199.040	78.906		150	790	155	6.10	79.20	453
PAPENOO P2	514	575	655	715	776	855	916	Gumbel	213.241	87.031		150	932	445	13.89	87.29	514
PAPENOO P5	523	582	658	716	774	850	908	Gumbel	204.918	83.321		150	702	132	2.86	83.49	524
PAPENOO P8	543	602	680	739	798	876	935	Gumbel	222.160	84.869		150	664	131	2.96	85.05	543
PAPENOO P9	548	611	695	758	821	904	967	Gumbel	217.940	90.745		150	725	112	2.91	90.97	548
PUNARUU P0	427	480	548	600	652	720	772	Gumbel	200.977	74.438		150	690	375	17.54	74.77	428
PUNARUU P1	448	508	588	647	706	785	844	Gumbel	212.225	85.493		150	810	298	18.36	86.00	449
TARAVAO P1	516	580	664	727	790	873	936	Gumbel	206.631	91.000		150	950	601	19.76	91.29	516
TUAURU P0	570	637	725	792	858	946	1012	Gumbel	222.007	95.815		150	750	153	4.00	96.05	570
VAIAMI P0	358	401	457	499	541	597	639	Gumbel	191.262	60.648		150	555	127	7.90	61.01	358
VAIAMI P1	404	448	507	551	596	654	698	Gumbel	209.822	63.624		150	535	128	5.95	63.91	404
VAIAMI P2	440	491	558	609	659	726	776	Gumbel	214.220	72.602		150	558	197	8.56	72.90	441
VAIAMI P5	477	537	615	675	734	812	871	Gumbel	209.874	85.034		150	647	58	2.45	85.38	478
VAIHIRIA P2	610	680	772	842	911	1003	1073	Gumbel	223.710	100.173		150	878	375	7.82	100.37	611

TABLEAU 2.3: Paramètres d'ajustements aux lois statistiques et évaluation des quantiles de période de retour fixée pour les intensités sur 30 et 60 minutes

INTENSITE SUR 2 HEURES

STATION	Période de Retour T (année)								Loi	Paramètres ajustement			Valeurs		Nbre Observat	Durée Observat	Paramètres de Gumbel	
	1	2	5	10	20	50	100	p1		p2	p3	Min	Max	Gd			P0	
FAAA	563	664	794	891	988	1115	1211	Gumbel	279.480	138.790		170	1120	281	34.08	140.45	566	
FAUTAUA P4	576	653	754	830	906	1006	1082	Gumbel	236.311	109.391		170	985	96	4.21	109.85	577	
HITIAA P1	930	1042	1190	1302	1413	1560	1672	Gumbel	264.223	160.761		170	1827	650	10.24	161.00	931	
HITIAA P3	892	1003	1150	1260	1371	1517	1627	Gumbel	269.914	159.314		170	1490	263	5.24	159.62	893	
HITIAA P4	873	991	1145	1262	1378	1532	1648	Gumbel	257.270	167.757		170	2110	267	6.70	168.16	874	
HITIAA P5	1023	1306	1804	2301	2935	4049	5165	Log Gumbel	5.515	0.351		170	2515	402	7.07			
HITIAA P7	817	916	1045	1143	1241	1370	1468	Gumbel	256.378	141.013		170	1260	253	4.70	141.26	818	
OROFERO P4	517	586	675	742	809	897	964	Gumbel	239.527	96.484		170	860	183	10.01	96.99	518	
PAPEARI P1	606	737	954	1159	1408	1820	2210	Log Gumbel	5.473	0.280		170	1370	174	6.10			
PAPENOO P2	700	788	904	991	1078	1193	1281	Gumbel	252.132	125.763		170	1202	495	13.89	126.10	700	
PAPENOO P5	743	831	946	1034	1121	1236	1324	Gumbel	254.412	125.848		170	1035	140	2.86	126.09	743	
PAPENOO P8	757	846	962	1049	1137	1253	1340	Gumbel	266.368	126.279		170	1125	146	2.96	126.52	758	
PAPENOO P9	791	890	1021	1119	1218	1348	1446	Gumbel	259.098	141.931		170	1140	125	2.91	142.25	792	
PUNARUU P0	574	649	747	822	896	994	1068	Gumbel	234.609	106.816		170	960	428	17.54	107.23	574	
PUNARUU P1	628	720	841	932	1023	1143	1233	Gumbel	257.856	130.567		170	1170	322	18.36	131.28	629	
TARAVAO P1	710	802	924	1016	1108	1229	1321	Gumbel	243.256	132.285		170	1290	682	19.76	132.65	710	
TUAURU P0	743	834	953	1044	1134	1253	1343	Gumbel	261.034	129.840		170	976	166	4.00	130.14	744	
VAIAMI P0	463	521	596	652	709	783	839	Gumbel	239.099	81.004		170	700	130	7.90	81.48	464	
VAIAMI P1	531	595	680	743	807	890	954	Gumbel	244.875	91.406		170	713	139	5.95	91.78	532	
VAIAMI P2	587	661	757	830	902	998	1071	Gumbel	252.875	104.510		170	830	214	8.56	104.91	588	
VAIAMI P5	631	713	821	903	984	1092	1173	Gumbel	246.767	117.265		170	875	66	2.45	117.68	631	
VAIHIRIA P2	832	930	1060	1158	1256	1386	1484	Gumbel	267.549	141.322		170	1090	428	7.82	141.57	832	

INTENSITE SUR 24 HEURES

STATION	Période de Retour T (année)								Loi	Paramètres ajustement			Valeurs		Nbre Observat	Durée Observat	Paramètres de Gumbel	
	1	2	5	10	20	50	100	p1		p2	p3	Min	Max	Gd			P0	
FAAA	1315	1578	1918	2173	2427	2762	3015	Gumbel	501.570	364.940		200	2310	352	35.91	368.59	1321	
FAUTAUA P4	1175	1363	1608	1793	1978	2221	2406	Gumbel	361.566	265.830		200	1700	92	4.21	267.00	1177	
HITIAA P1	3160	3667	4333	4836	5338	6002	6504	Gumbel	493.274	724.256		200	7585	412	10.24	725.97	3163	
HITIAA P3	2421	3038	3987	4816	5752	7172	8399	Log Gamma	665.288	0.029	-13.318	200	4258	200	5.24			
HITIAA P4	2085	2673	3618	4481	5494	7102	8554	Log Gamma	39.636	0.112	1.796	200	5530	220	6.70			
HITIAA P5	2788	3246	3849	4304	4758	5358	5812	Gumbel	413.571	654.874		200	8638	269	7.07	656.51	2790	
HITIAA P7	2507	2895	3406	3791	4176	4684	5069	Gumbel	476.941	554.748		200	5283	185	4.70	556.09	2509	
OROFERO P4	1144	1518	2199	2906	3839	5545	7323	Log Gumbel	5.841	0.401		200	2350	205	10.01			
PAPEARI P1	1475	1857	2459	3003	3635	4627	5517	Log Gamma	22.606	0.127	3.23	200	3407	173	6.10			
PAPENOO P2	2148	2737	3672	4516	5496	7033	8406	Log Gamma	59.954	0.092	0.729	200	5282	469	13.89			
PAPENOO P5	2344	2710	3192	3656	3919	4399	4762	Gumbel	444.637	523.587		200	4200	109	2.86	524.89	2346	
PAPENOO P8	2459	2837	3333	3708	4083	4577	4951	Gumbel	510.426	539.643		200	4160	111	2.96	541.01	2461	
PAPENOO P9	2528	3239	4885	5435	6671	8639	10425	Log Gamma	34.539	0.119	2.282	200	4873	104	2.91			
PUNARUU P0	1545	1997	2729	3402	4197	5470	6631	Log Gamma	24.816	0.134	2.793	200	4124	405	17.54			
PUNARUU P1	1424	1678	2009	2259	2509	2838	3087	Gumbel	373.182	359.019		200	2655	352	18.36	360.82	1427	
TARAVAO P1	1716	2144	2813	3410	4096	5159	6100	Log Gamma	39.159	0.101	2.189	200	4292	681	19.76			
TUAURU P0	1943	2252	2658	2965	3270	3675	3980	Gumbel	402.118	440.832		200	4835	134	4.00	442.09	1945	
VAIAMI P0	968	1117	1312	1458	1605	1798	1944	Gumbel	371.238	210.660		200	1518	138	7.90	211.82	969	
VAIAMI P1	1364	1591	1889	2114	2338	2634	2858	Gumbel	385.487	322.909		200	3089	126	5.95	324.37	1366	
VAIAMI P2	1529	1935	2571	3140	3795	4815	5720	Log Gamma	34.102	0.107	2.574	200	3350	183	8.56			
VAIAMI P5	1563	1826	2170	2429	2688	3029	3288	Gumbel	411.642	372.752		200	2839	55	2.45	374.34	1565	
VAIHIRIA P2	2692	3111	3662	4078	4494	5043	5459	Gumbel	488.799	599.185		200	5382	313	7.82			

TABLEAU 2.4: Paramètres d'ajustements aux lois statistiques et évaluation des quantiles de période de retour fixée pour les intensités sur 2 et 24 heures

Le bien fondé d'un ajustement Gumbel sur des échantillons de type sup-seuil a pu être vérifié en comparant nos résultats avec ceux obtenus en utilisant un échantillon de type maximum, a priori mieux adapté à la loi de Gumbel.

L'expérience effectuée sur 3 longues séries (Punaruu P0, Punaruu P1 et FAAA) n'a révélé aucune différence notable entre les résultats des ajustements pour les 2 types d'échantillonnages. Il est apparu que l'échantillonnage sup-seuil conduit à des résultats robustes dès lors que le nombre d'observation est suffisamment important. Ceci a également motivé le choix d'un seuil unique pour les différentes stations, et relativement bas pour garantir un nombre minimal d'observations sur les plus courtes séries.

Sur les tableaux, on peut remarquer que les gradex de FAAA sont curieusement élevés, notamment par rapport à la station Vaiami P0 située elle aussi en plaine littorale et à quelques kilomètres de FAAA. Cette différence pourrait provenir de l'écart existant au niveau des périodes d'observations entre FAAA et les autres stations. Cependant, des ajustements effectués uniquement sur les 15 dernières années d'observation de FAAA conduisent au même résultat. Ceci exclut l'hypothèse d'une rupture dans les séries chronologiques.

Nous pensons que cette différence est essentiellement due à un biais engendré par le dépouillement manuel des pluviogrammes. En effet, les observations de FAAA proviennent exclusivement d'un enregistreur mécanique. Or, nous avons pu constater que l'extension des séries chronologiques, par un dépouillement manuel de pluviogramme ancien sur papier, se traduisait systématiquement par une augmentation du gradex (jusqu'à 38%). Nous avons également remarqué une fréquence d'apparition du seuil d'échantillonnage (cf: tableau 2.1), très nettement inférieure pour le dépouillement manuel par rapport aux fréquences obtenues automatiquement. Ceci peut s'expliquer par le manque de précision lié à une horlogerie et à un enregistrement mécanique, mais surtout par la difficulté que représente l'échantillonnage manuel.

En effet, inévitablement, l'opérateur du dépouillement aura tendance à privilégier les événements d'occurrence très exceptionnelle (qui sont facilement repérables) par rapport à ceux d'occurrence plus fréquente proche du seuil fixé. Ceci aura pour conséquence un écart réduit en terme de fréquence entre les événements d'occurrence très exceptionnelle par rapport aux autres, d'où un gradex plus important. Ce biais est d'autant plus marqué que la période sur laquelle les intensités sont recherchées est petite.

Ces observations démontrent l'importance qu'il faut accorder à la constitution de l'échantillon statistique. L'incertitude résultante sur le gradex est difficile à quantifier, elle doit se situer autour de 30% pour les intensités sur 5mn et décroître jusqu'à 10% pour les intensités sur 24h.

Les quantiles de 50 et 100 ans ne sont donnés qu'à titre indicatif. Rien ne permet à l'heure actuelle d'affirmer que la loi de Gumbel reste valable pour des extrapolations au delà de la période d'observations. Nous avons constaté pour les intensités sur 2h et 24h que les lois de Log Gumbel et Log Gamma sont parfois les mieux adaptées. Ceci a pour conséquence des quantiles très nettement supérieurs à ceux qu'aurait fourni un ajustement Gumbel pour les périodes de retour de 50 et 100 ans.

Ainsi, il est nécessaire de maintenir en activité, dans le cadre d'un réseau permanent d'observations, un certain nombre de stations de longue durée (notamment FAAA,

PUNARUU P1 et P0, PAPENOO P2, HITIAA P1, TARAVALO P1), si on souhaite pouvoir un jour quantifier de manière fiable le risque à 50 ans et au delà.

Entre certains postes, les gradex et paramètres de position estimés par les ajustements diffèrent quasiment du simple au double. Etant donné l'importance que peut avoir cette variance sur la détermination d'une éventuelle crue de projet, il est important de chercher à expliquer au mieux cette variabilité spatiale.



3. Organisation spatiale de l'aléa pluviométrique

Les rôles indéniables du relief et de l'exposition au vent, associés à une densité trop restreinte du réseau d'observations, ne permettent pas une interpolation spatiale classique (eg. par krigeage) des données caractérisant l'aléa pluviométrique.

Par conséquent, nous avons cherché à élaborer un modèle statistique permettant d'expliquer au mieux la variabilité des données en fonction des critères géographiques et topographiques relatifs aux postes d'observations.

3.1 Méthode et principe de la modélisation.

Les paramètres G_d et P_0 permettant de déterminer le quantile d'une période de retour quelconque (cf. équation 2), nous avons choisi de nous intéresser à la distribution spatiale de ces valeurs plutôt qu'à celle des quantiles.

L'objectif est d'aboutir à 2 modèles permettant d'estimer G_d et P_0 en fonction de variables géographiques et topographiques définissables en tout point de l'île.

Les variables géographiques sont les coordonnées métriques longitudinales et latitudinales (X,Y) du positionnement universel (UTM), ainsi que l'altitude (Z) du poste.

Concernant la caractérisation de l'environnement topographique, on trouve dans la littérature (Desurosne et al. 1996, Humbert et Perrin 1993, Giambelluca et al. 1984, Laborde 1984) une multitude de descripteurs tels que la pente et la distance à la mer dans différentes directions, distance à la première crête, distance à la première vallée, altitude moyenne sur n km²...etc. Pour Tahiti, nous disposons d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 100m (cf figure 3.1), ce qui nous a permis une approche plus automatisée et plus objective.

Inspirés par le principe de la méthode AURELHY (Benichou et Lebreton 1987, Humbert et al. 1994) utilisée par Météo-France, nous avons opéré une Analyse en Composante Principale (ACP) du MNT, de sorte à obtenir les **Vecteurs Propres (VP)** du relief tahitien, nous permettant de caractériser la topographie environnant un point par une série limitée de variables : les **Composantes Principales (CP)**.

Sans rentrer dans les détails du principe des ACP, à présent suffisamment détaillé dans la littérature (Fenelon 1981, par exemple), la méthode peut se comprendre aisément (cf. figure 3.2.a). L'ACP permet de déterminer un certain nombre de variables synthétiques, les **vecteurs propres, constituant ici les faciès élémentaires du relief**. L'ACP est réalisée sur un échantillon de 300 individus, représentant 300 grilles mises en colonne, extraites autour de 300 points de référence répartis régulièrement sur l'ensemble de l'île. La taille des grilles (dans le cas présent, 50x50) dépend de l'échelle d'espace considéré (10x10 km²) et du facteur d'échantillonnage sélectionné (pas de 200m). Les dix premiers vecteurs propres obtenus sont présentés figure 3.2.b. Il apparaît que le premier vecteur propre VP 1, représente les pentes de direction Nord-Sud, VP 2 les pentes Est-Ouest, VP3 les crêtes (ou les vallées) orientées NE-SO, etc...

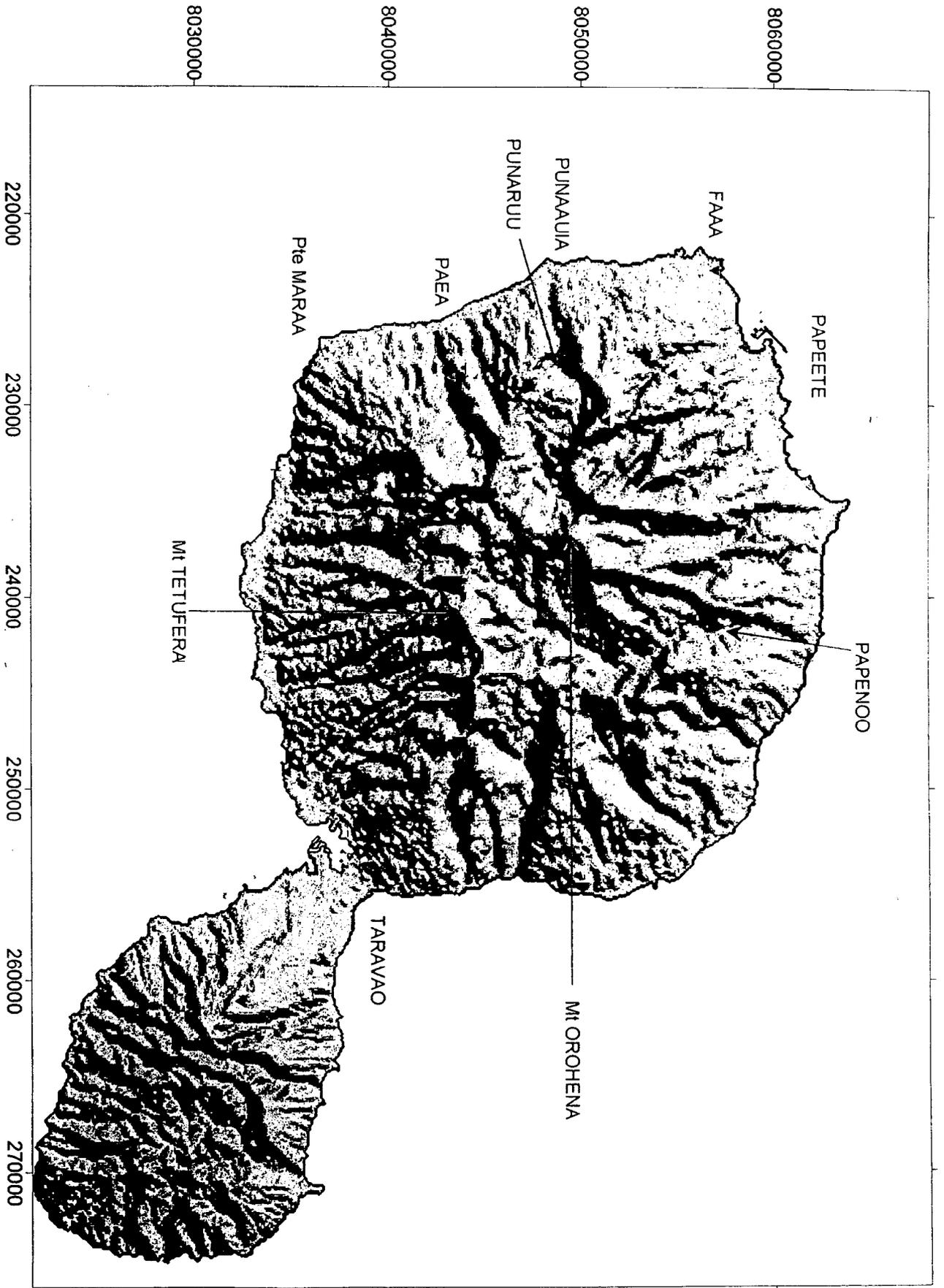


FIGURE 3.1 : Illustration du MNT de Tahiti au pas de 100m

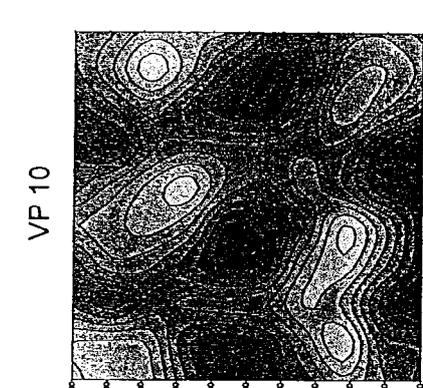
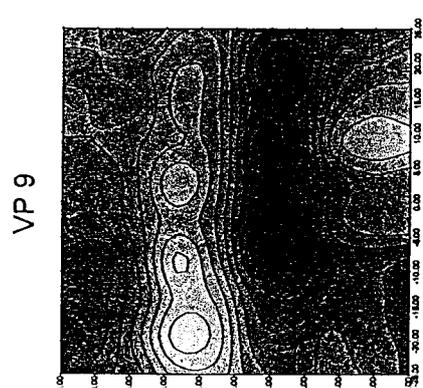
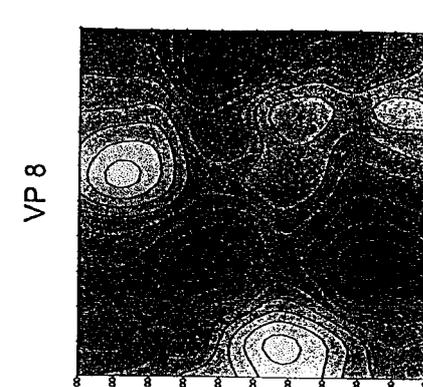
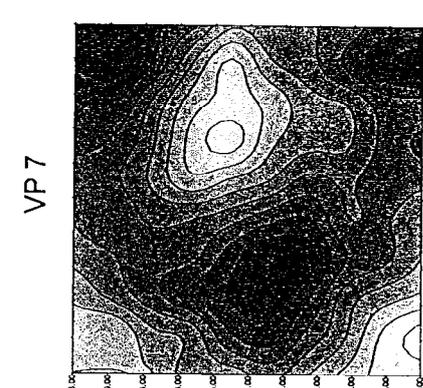
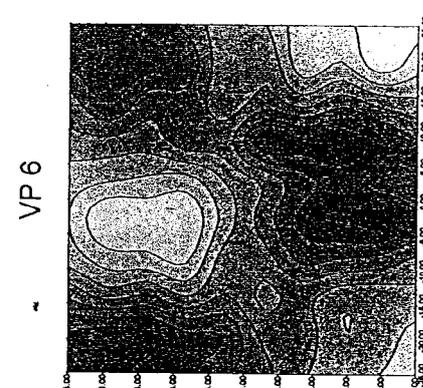
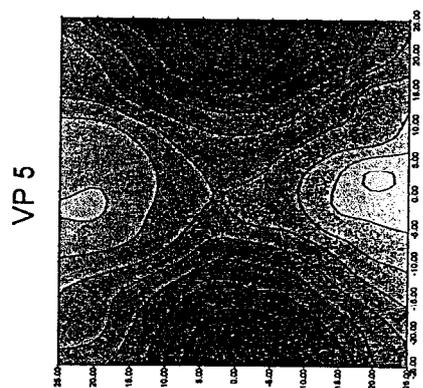
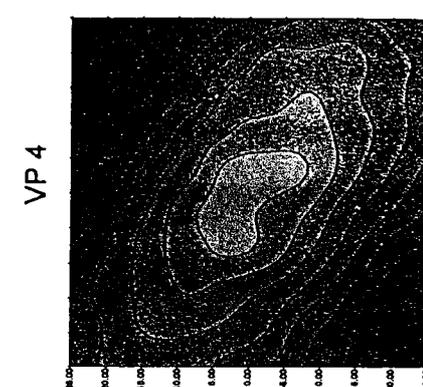
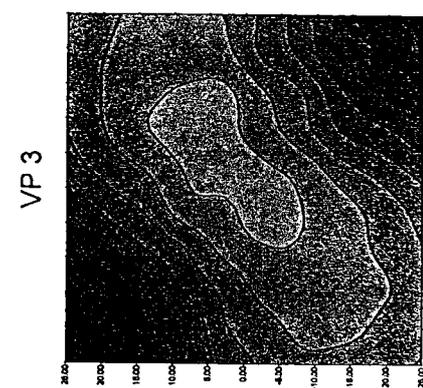
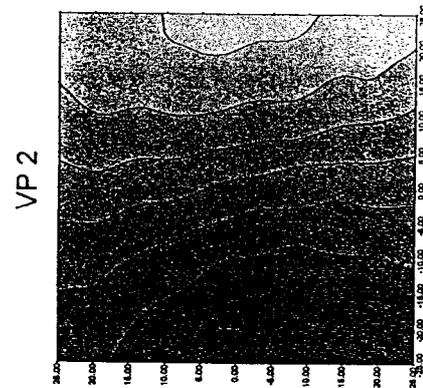
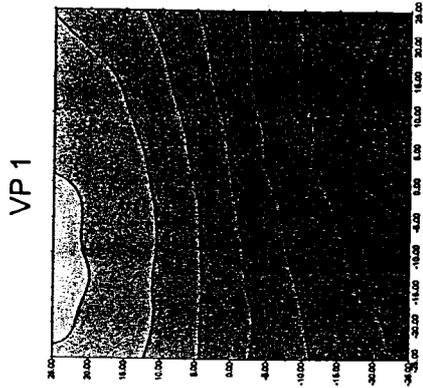


FIGURE 3.2(b):
Vecteurs propres 1 à 10 du MNT de Tahiti, au pas de 200m,
représentant un environnement topographique de 10km*10km.

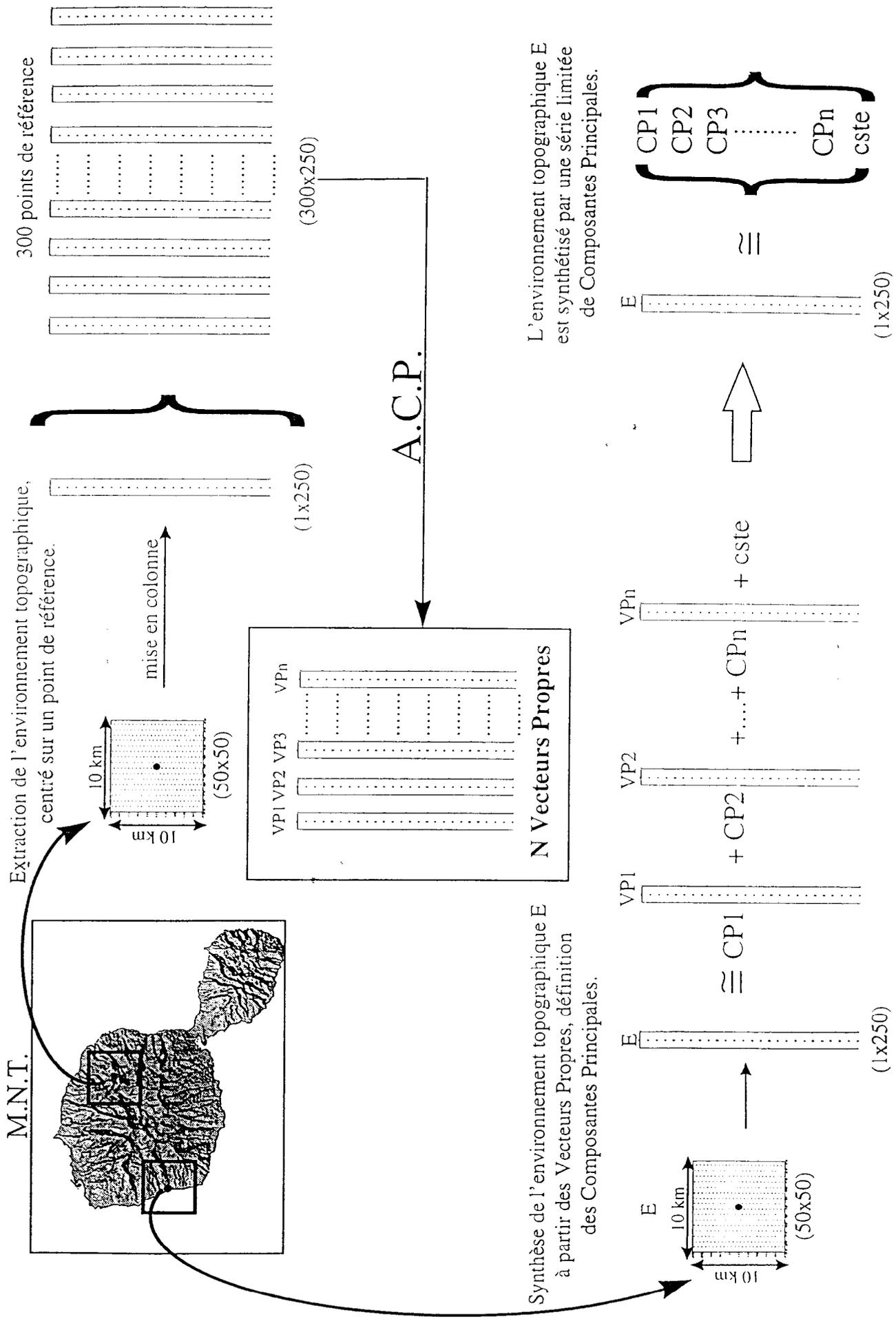


FIGURE 3.2(a): Principe de la caractérisation de l'environnement topographique à partir des Composantes Principales.

L'environnement topographique (E) de tout point de l'île peut être représenté par une combinaison linéaire de ces vecteurs propres (VP_x), avec une précision d'autant plus fine que le nombre de vecteurs propres utilisés augmente ; les coefficients appliqués aux vecteurs propres sont les Composantes Principales (CP_x) ;

$$E = CP1*VP1 + CP2*VP2 + CP3*VP3 + \dots + cste \quad (3)$$

On remarque, par exemple, qu'une CP1 négative, indique une structure de pente Sud-Nord incluse dans l'environnement ; de même, une CP3 négative signifie la présence d'un encaissement dans une vallée orientée NE-SO.

Ainsi, la série des Composantes Principales affectée à un point donné permet de retrouver au moins partiellement le relief avoisinant ce point et de ce fait, elle constitue un ensemble de descripteurs synthétiques de la topographie.

Ces composantes principales étant déterminées en chaque point d'observations pluviographiques, nous pouvons étudier les relations existantes entre ces variables et les paramètres de Gumbel Gd et P0.

3.2 Calage des modèles

En premier lieu, il est nécessaire de déterminer l'étendue de l'espace à considérer pour la définition des composantes principales. Nous avons expérimenté 3 échelles différentes, 25, 100 et 400 km², en utilisant respectivement le MNT au pas de 100, 200 et 400 mètres.

A chaque fois, nous avons calculé les vecteurs propres associé au MNT et déterminé les 10 premières composantes principales correspondant aux postes pluviographiques et représentant en général près de 70% de la variance de la topographie. En plus des composantes principales, une onzième variable est à considérer, il s'agit de la constante issue de la régression multiple des vecteurs propres (cf. équation 3), appelé Int (Intercep). Celle-ci représente en fait l'altitude moyenne sur l'espace considéré.

Ces variables déterminées, nous avons utilisé la procédure dite de « stepwise regression » qui permet de sélectionner automatiquement parmi différentes variables celles permettant d'expliquer au mieux la variance de la variable dépendante choisie.

Cette procédure a révélé que l'environnement topographique sur 100 km², au pas de 200 m était le plus explicatif de la variance des paramètres Gd et P0. La combinaison des composantes principales issues de différentes échelles fournit dans certain cas des résultats un peu supérieurs mais au prix d'une complication des calculs et d'une interprétation des résultats moins aisée. Par conséquent, nous avons sélectionné une échelle d'observation unique (100 km², pas de 200m) dont les vecteurs propres sont illustrés figure 3.2.

La loi de Gumbel n'étant pas toujours adaptée pour les intensités sur 2 et 24 heures, nous avons utilisé les intensités pour les périodes de retour 1 et 10 ans.

Par souci d'homogénéité dans notre série de données et pour éviter les biais probables liés à l'origine de la donnée (enregistrement, dépouillement numérique / mécanique), les postes FAAA et OROFERO P4 n'ont pas été utilisés pour le calage des modèles.

Les ajustements finalement adoptés pour les différents pas de temps d'observations sont présentés figure 3.3 à 3.8. Sur les tableaux apparaissent notamment, le coefficient de détermination (R-SQ. (ADJ.)), l'erreur standard d'estimation (SE) et les coefficients de régression. Les graphiques associés, valeurs observées par rapport aux valeurs estimées, illustrent la qualité des ajustements.

MODELE GD5 ET P05

Model fitting results for: Gd5				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	10.131264	0.691309	14.6552	0.0000
CP2	-0.023051	0.003584	-6.4323	0.0000
CP3	0.028956	0.005268	5.4963	0.0002
CP5	0.017846	0.00587	3.0401	0.0112
CP6	-0.046733	0.012463	-3.7496	0.0032
CP7	-0.031575	0.008634	-3.6570	0.0038
CP8	-0.02862	0.010229	-2.7978	0.0173
CP9	-0.016528	0.009491	-1.7414	0.1095
int	0.003083	0.001355	2.2742	0.0440
R-SQ. (ADJ.) = 0.7126 SE= 1.119872 MAE= 0.690343 DurWat= 1.579				
Model fitting results for: P05				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	109.223799	1.389406	78.6119	0.0000
CP2	-0.094953	0.01238	-7.6697	0.0000
CP3	0.105117	0.020643	5.0921	0.0002
CP4	0.06988	0.028793	2.4270	0.0293
CP6	-0.087634	0.045113	-1.9425	0.0725
CP9	-0.111246	0.042614	-2.6106	0.0205
R-SQ. (ADJ.) = 0.7888 SE= 5.282491 MAE= 3.335481 DurWat= 2.139				

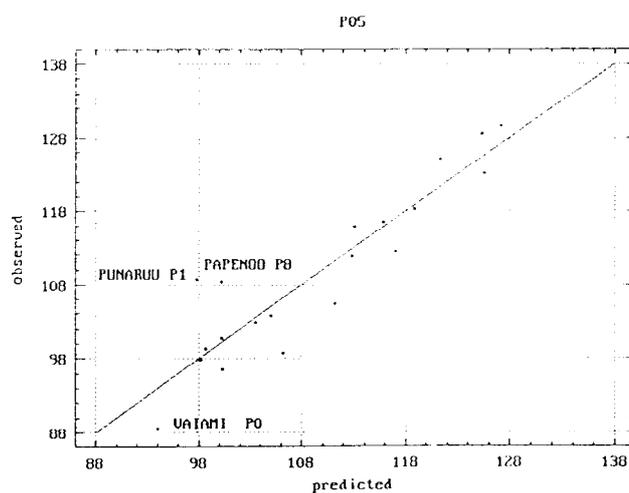
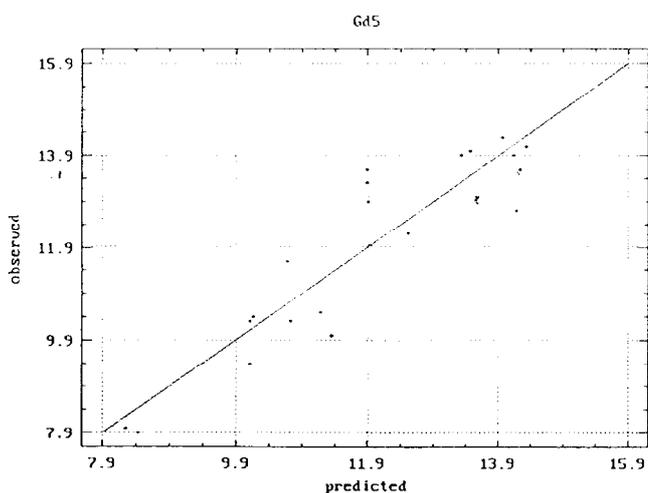


FIGURE 3.3 : Ajustements des modèles Gradex (Gd) et Paramètre de position (P0) en fonction des composantes principales de l'environnement topographique, pour les intensités sur 5 mn.

MODELE GD15 ET P015

Model fitting results for: Gd15				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	29.40493	2.102511	13.9856	0.0000
CP2	-0.039995	0.008715	-4.5894	0.0004
CP3	0.068917	0.013394	5.1453	0.0001
CP4	0.06915	0.021524	3.2127	0.0063
CP7	-0.064267	0.021614	-2.9734	0.0101
int	0.009565	0.003918	2.4412	0.0285
R-SQ. (ADJ.) = 0.6425 SE= 3.765069 MAE= 2.757883 DurWat= 1.707				
Model fitting results for: P015				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	219.809972	8.075549	27.2192	0.0000
CP2	-0.263419	0.033472	-7.8698	0.0000
CP3	0.273743	0.051446	5.3210	0.0001
CP4	0.32557	0.082672	3.9381	0.0015
CP7	-0.190971	0.083018	-2.3004	0.0373
int	0.030703	0.015049	2.0402	0.0607
R-SQ. (ADJ.) = 0.8002 SE= 14.461280 MAE= 10.107772 DurWat= 2.808				

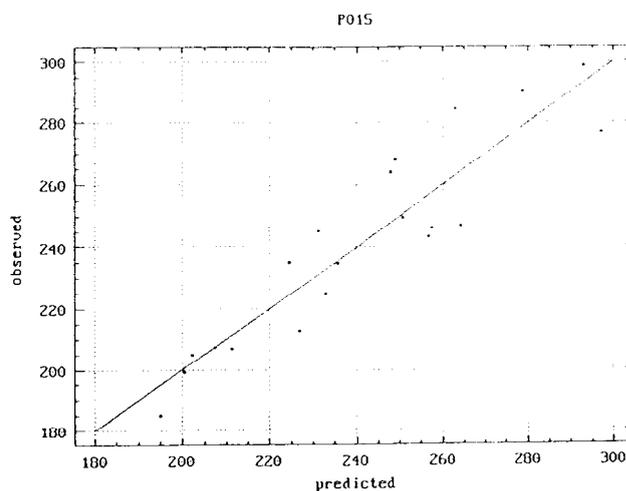
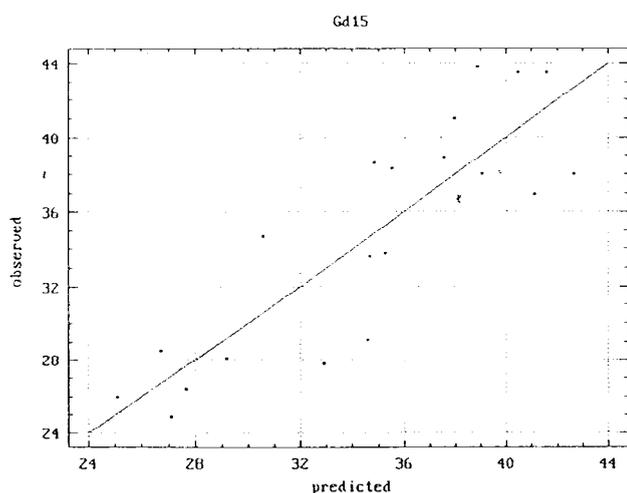


FIGURE 3.4 : Ajustements des modèles Gradex (Gd) et Paramètre de position (P0) en fonction des composantes principales de l'environnement topographique, pour les intensités sur 15 mn.

MODELE GD30 ET P030

Model fitting results for: Gd30				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	55.497592	1.329677	41.7376	0.0000
CP2	-0.074467	0.012143	-6.1326	0.0000
CP3	0.080094	0.01784	4.4896	0.0005
CP4	0.090276	0.029595	3.0503	0.0086
CP7	-0.074701	0.031912	-2.3408	0.0346
CP10	-0.049442	0.035496	-1.3929	0.1854

R-SQ. (ADJ.) = 0.7003	SE= 5.043420	MAE= 3.457262	DurbWat= 2.362	
Model fitting results for: P030				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	359.86209	6.326467	56.8820	0.0000
CP2	-0.410498	0.049444	-8.3023	0.0000
CP3	0.307102	0.088166	3.4832	0.0031
CP4	0.375137	0.139192	2.6951	0.0159

R-SQ. (ADJ.) = 0.7890	SE= 25.847128	MAE= 19.158406	DurbWat= 2.750	

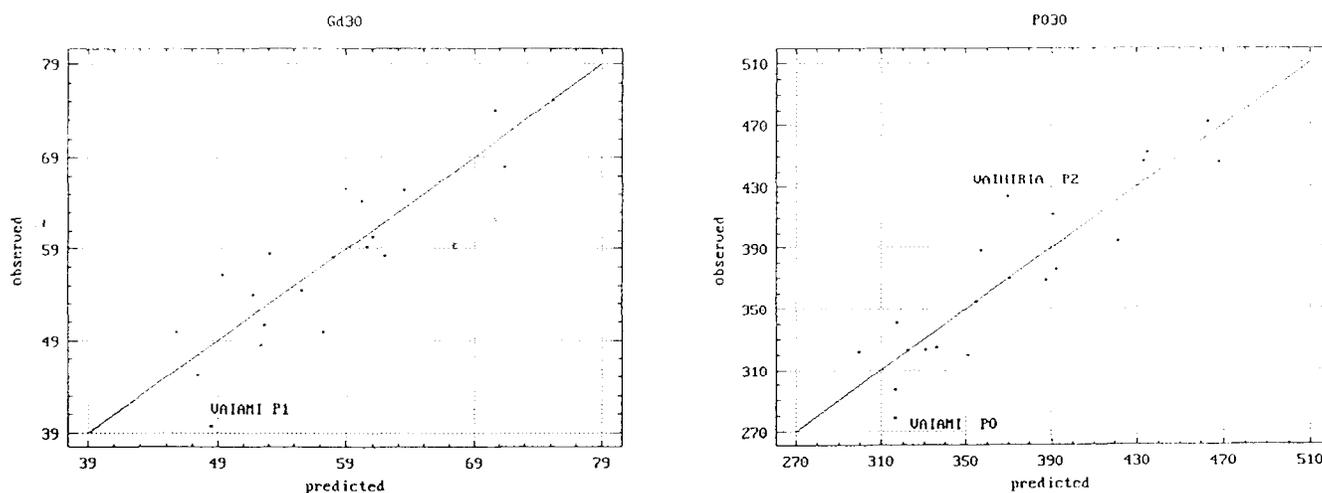


FIGURE 3.5 : Ajustements des modèles Gradex (Gd) et Paramètre de position (P0) en fonction des composantes principales de l'environnement topographique, pour les intensités sur 30 mn.

MODELE GD60 ET P060

Model fitting results for: Gd60				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	85.719648	1.961644	43.6979	0.0000
CP2	-0.12828	0.018251	-7.0286	0.0000
CP3	0.114511	0.027884	4.1067	0.0009
CP4	0.143811	0.044327	3.2443	0.0054
CP7	-0.075862	0.045331	-1.6735	0.1150
R-SQ. (ADJ.) = 0.7555 SE= 7.898042 MAE= 5.704494 DurWat= 2.342				
Model fitting results for: P060				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	504.198404	10.180014	49.5283	0.0000
CP2	-0.694932	0.079561	-8.7346	0.0000
CP3	0.457553	0.141869	3.2252	0.0053
CP4	0.624691	0.223976	2.7891	0.0131
R-SQ. (ADJ.) = 0.8031 SE= 41.591009 MAE= 30.171955 DurWat= 2.542				

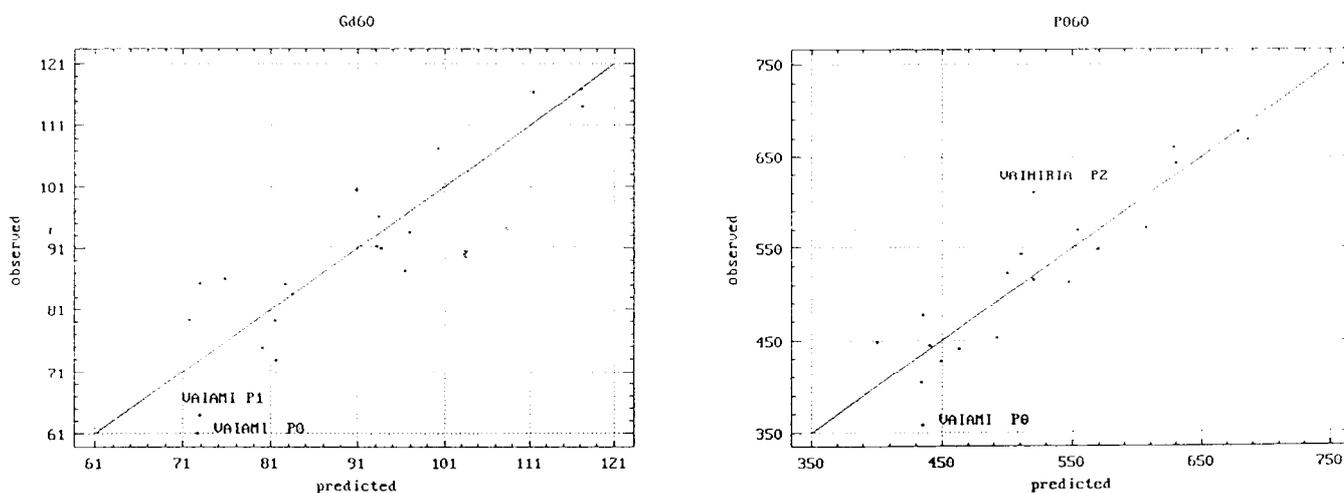


FIGURE 3.6 : Ajustements des modèles Gradex (Gd) et Paramètre de position (P0) en fonction des composantes principales de l'environnement topographique, pour les intensités sur 60 mn.

MODELE INTENSITE SUR 2H T=1 et T=10 ANS

Model fitting results for: I2h_T1				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	619.486762	32.956404	18.7972	0.0000
CP2	-1.111945	0.113564	-9.7914	0.0000
CP3	0.701367	0.203712	3.4429	0.0036
CP4	1.220058	0.325279	3.7508	0.0019
int	0.136697	0.061672	2.2165	0.0425
R-SQ. (ADJ.) = 0.8371 SE= 59.273965 MAE= 44.214011 DurbWat= 2.047				
Model fitting results for: I2h_T10				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	973.06979	59.291147	16.4117	0.0000
CP2	-1.713182	0.528314	-3.2427	0.0059
CP3	1.022253	0.880929	1.1604	0.2653
CP4	2.97219	1.228703	2.4190	0.0298
CP6	2.21342	1.925154	1.1497	0.2695
CP9	2.813828	1.818489	1.5473	0.1441
R-SQ. (ADJ.) = 0.5574 SE= 225.423620 MAE= 140.184279 DurbWat= 2.081				

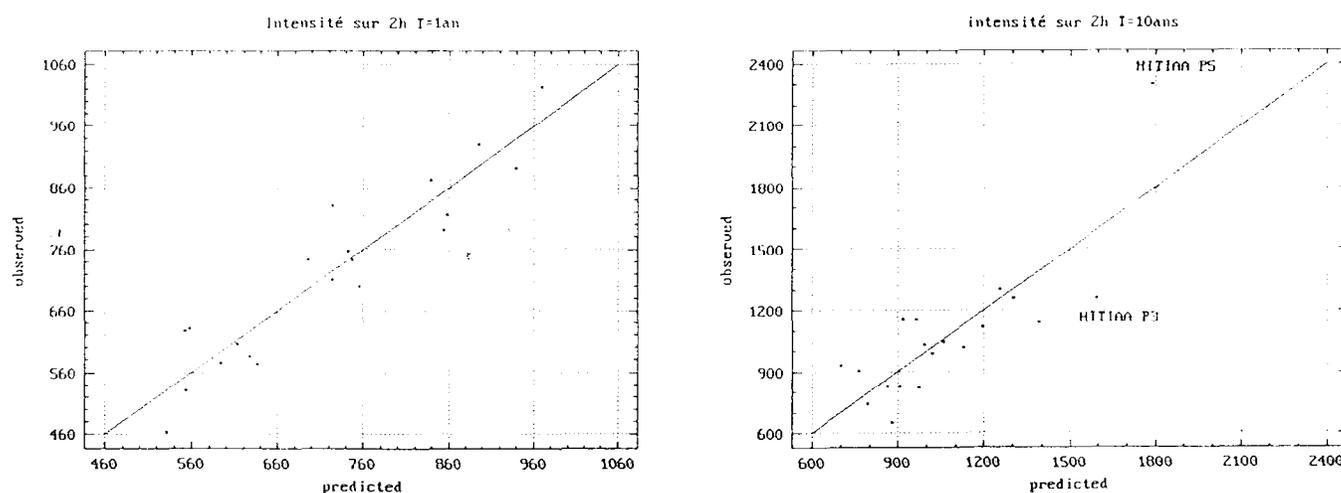


FIGURE 3.7 : Ajustements des modèles quantiles de période de retour 1 et 10 ans en fonction des composantes principales de l'environnement topographique, pour les intensités sur 2 h.



MODELE INTENSITE SUR 24H T=1 et T=10 ANS

Model fitting results for: I24h_T1				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	1323.096385	155.688675	8.4983	0.0000
CP2	-4.070972	0.536483	-7.5883	0.0000
CP3	1.428207	0.962349	1.4841	0.1585
CP4	3.227654	1.536645	2.1005	0.0530
int	1.109569	0.291344	3.8085	0.0017
R-SQ. (ADJ.) = 0.7865 SE= 280.014927 MAE= 174.259485 DurbWat= 1.884				
Model fitting results for: I24h_T10				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	2331.802524	304.224166	7.6648	0.0000
CP2	-7.473697	1.048318	-7.1292	0.0000
CP3	3.578065	1.880483	1.9027	0.0764
CP4	7.717679	3.002689	2.5703	0.0213
int	1.863116	0.569302	3.2726	0.0051
R-SQ. (ADJ.) = 0.7497 SE= 547.164448 MAE= 403.196057 DurbWat= 2.016				

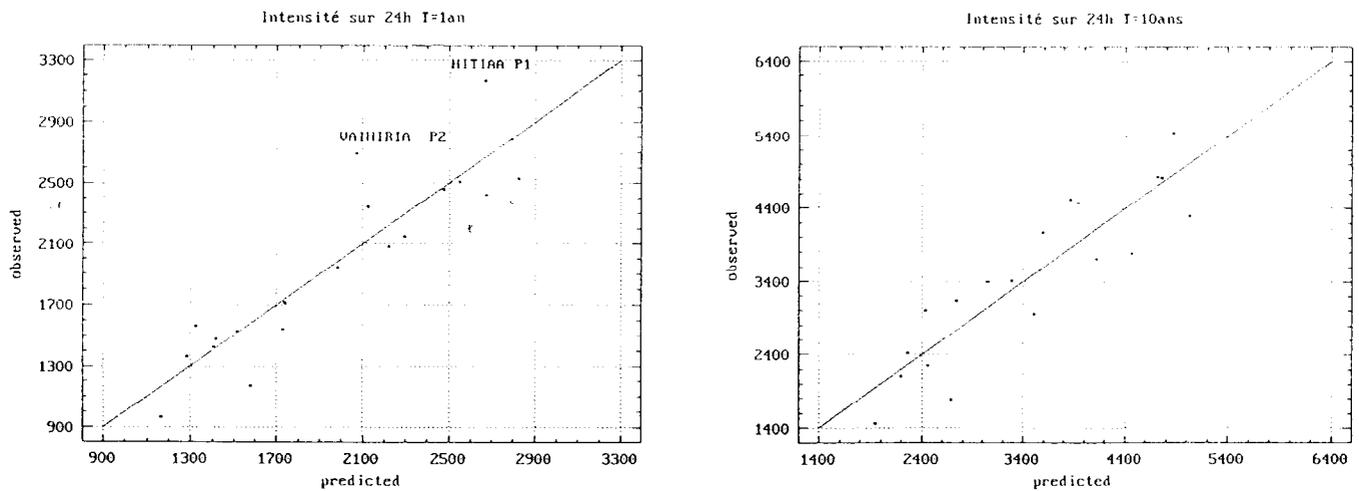


FIGURE 3.8 : Ajustements des modèles quantiles de période de retour 1 et 10 ans en fonction des composantes principales de l'environnement topographique, pour les intensités sur 24 h.

Dans l'ensemble, on note que ces modèles permettent d'expliquer au moins 70% de la variance des paramètres de Gumbel. Ceci est satisfaisant, étant donné que près de 30% de leur variance peut provenir de biais liés à l'échantillonnage ou à l'ajustement.

3.3 Validation des modèles

La première expérience, visant à la validation des modèles proposés, a été de vérifier que l'échantillon des 20 postes pluviométriques est raisonnablement représentatif des différents faciès de Tahiti. Il paraît évident qu'une vingtaine d'observations ne peuvent parfaitement rendre compte d'un paysage aussi montagneux et varié que celui de Tahiti. Aussi, nous avons comparé l'échantillon des 10 composantes principales obtenues sur nos sites de référence à celui obtenu par un échantillonnage régulier (tous les kilomètres) du relief tahitien.

L'analyse s'est portée essentiellement sur les paramètres de statistiques descriptives (moyenne, médiane, mode, quartile, variance). Les tests classiques de comparaison de deux échantillons n'ont que peu de valeur en raison d'un nombre d'observations trop restreint.

L'expérience montre que malgré le nombre limité d'individus, l'échantillon ne présente pas de dissemblance flagrante par rapport à la population de référence. Dans l'ensemble, la variance est conservée et les distributions restent assez semblables. Nous avons notamment remarqué que les différents quartiles sont en général convenablement représentés.

La quantité d'informations existante ne nous permettait pas d'en conserver une partie pour la validation. Cependant, sur 3 postes situés l'un sur la côte Est (HITIAA P2), l'autre côte Ouest (MATATIA P2) et le dernier au Nord (NAHOATA P0), nous disposons de quelques mois d'observations (de 10 à 20) suffisants pour effectuer un ajustement grossier aux lois statistiques. Ces valeurs manquent certes de fiabilité, (c'est la raison pour laquelle elles n'ont pas été utilisées pour le calage), mais permettent au moins de valider l'ordre de grandeur des valeurs estimées.

Le tableau ci-dessous présente les résultats de cette validation.

STATION	Gd5			P05			Gd15			P015		
	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur
NAHOATA P0	8.8	8.9	1.0	101.9	99.5	-2.3	26.7	25.6	-4.0	223.9	197.5	-11.8
HITIAA P2	13.0	13.4	3.0	124.6	120.6	-3.2	46.2	39.0	-15.6	307.6	280.2	-8.9
MATATIA P2	10.8	5.9	-45.2	103.2	100.5	-2.6	29.1	28.3	-3.0	220.7	195.4	-11.5

STATION	Gd30			P030			Gd60			P060		
	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur
NAHOATA P0	40.5	46.0	13.5	324.6	325.1	0.2	58.5	71.2	21.7	418.5	443.2	5.9
HITIAA P2	74.8	64.8	-13.4	471.1	449.8	-4.5	120.2	108.5	-9.7	702.1	656.4	-6.5
MATATIA P2	52.3	45.4	-13.3	345.4	309.9	-10.3	70.9	68.0	-4.1	444.8	407.9	-8.3

STATION	Intensité sur 2h T=1an			Intensité sur 2h T=10ans			Intensité sur 24h T=1an			Intensité sur 24h T=10ans		
	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur	Obs.	Est.	% erreur
NAHOATA P0	579	567	-2.1	807	824	2.1	1497	1368	-8.6	2187	2324	6.3
HITIAA P2	982	932	-5.1	2071	1626	-21.5	2704	2721	0.6	5729	4861	-15.2
MATATIA P2	531	527	-0.7	728	743	2.1	1325	1038	-21.7	1996	1937	-3.0

TABLEAU 3.1 : Résultats de validation des modèles pour 3 stations.

(Obs. : valeurs estimées par ajustements sur les observations, Est : valeurs estimées par le modèle.)

Les résultats obtenus sont des plus encourageants avec **une erreur moyenne de l'ordre de 9% et un intervalle de confiance à 99% de l'ordre de 30%**. On retrouve ainsi les 70% de variance expliquées déterminées lors du calage. Cependant, il faut savoir que les postes utilisés pour la validation sont relativement proches de ceux utilisés pour le calage. Ainsi, pour une validation effective des modèles, il faudrait disposer d'une série de données de meilleure qualité tant au niveau de la durée que de la dispersion spatiale. L'idéal aurait été de pouvoir réserver 3 postes de longue durée, positionnés dans des endroits suffisamment éloignés des observations ayant servi au calage.

Si on s'intéresse aux estimations obtenues par le modèle pour les postes de FAAA et OROFERO P4, les écarts sont beaucoup plus importants (de l'ordre de 30% en moyenne). Cependant, le biais lié à l'origine de la donnée et au mode de dépouillement a été estimé au même ordre de grandeur (§ 2.2). Il est donc difficile de tirer des conclusions à partir de ces observations.

Les modèles sélectionnés sont de type linéaire, or il n'est pas du tout certain que cette linéarité soit valable pour les valeurs extrêmes que peuvent atteindre les variables explicatives (notamment CP2, CP3, CP4), celles-ci n'étant pas représentées par notre échantillon. Par exemple, la CP2 peut atteindre la valeur de 350 alors que la valeur maximum présente dans l'échantillon de calage est de 191. La possibilité d'un effet de palier ou d'une allure logarithmique des relations non mis en évidence par notre échantillon est à considérer. Comme tout modèle de régression, la validité des relations n'est assurée que dans la gamme des observations de calage.

Malgré tout, on peut penser que ces modèles permettent une bonne approximation de l'aléa pluviométrique, au moins dans les zones aux caractéristiques topographiques et géographiques pas trop éloignées de celles représentées par l'échantillon des observations.

3.4 Résultats et Interprétations.

D'une manière générale, trois variables ont une influence prononcée sur l'aléa pluviométrique, il s'agit respectivement de CP2, CP3 et CP4. Dans une moindre mesure se démarquent également CP7 et Int.

CP2, la première variable explicative, présente en général un coefficient négatif pour l'estimation de GD et P0. Cela signifie que l'orientation des pentes dans la direction Est-Ouest est le facteur prépondérant dans la caractérisation de l'aléa pluviométrique. Celui-ci sera d'autant plus important que l'exposition Est (pente Ouest-Est) sera marquée et inversement, d'autant plus amoindri par une exposition Ouest (pente Est-Ouest).

Les coefficients positifs de CP3 et CP4 indiquent que l'aléa sera d'autant plus important que l'effet de crête est marqué, et inversement, d'autant plus amoindri par un effet d'encaissement (vallée). On remarque également, d'une manière générale, que le coefficient de CP4 est supérieur à celui de CP3. Cela indique qu'une crête orientée NO-SE (faisant directement front au flux dominant de NE) présentera un risque plus élevé qu'une crête orientée NE-SO. Inversement, une vallée orientée NE-SO sera plus exposée qu'une vallée orientée NO-SE.

L'interprétation du coefficient négatif de la CP7 (essentiellement pour la détermination du Gradex) est comparable à celle énoncée pour la CP2, mais s'adresse à des structures topographiques à plus petite échelle. Cette variable permet de décrire des expositions Est/Ouest sur des espaces plus restreints (un sommet par exemple) et notamment les situations intermédiaires à celles décrites par CP3 et CP4, c'est-à-dire les versants entre crêtes et vallées. Le coefficient négatif indique là encore qu'une exposition Est, même à petite échelle, présentera un risque accru par rapport à une exposition Ouest, et inversement.

Int. ou plutôt l'altitude moyenne, présente en général un coefficient positif; d'où un risque qui augmente avec l'altitude.

Ainsi, il apparaît que **l'aléa pluviométrique est essentiellement conditionné par le sens et la direction des pentes, des crêtes et des vallées, beaucoup plus que par l'altitude.**

Afin de rendre compte, à partir de ces modèles, de la répartition spatiale de l'aléa pluviométrique sur l'ensemble de Tahiti, nous avons effectué un échantillonnage systématique et régulier par maillage de 2 km² du relief tahitien. Sur 300 points ainsi obtenus, nous avons déterminé les composantes principales et par application des modèles, estimé les valeurs caractéristiques du risque pluviométrique. Une interpolation de type « spline » (Creutin, 1979) a ensuite permis de tracer automatiquement les cartes présentées figure 3.9 à 3.15.

On remarque que ces cartes sont dans l'ensemble très ressemblantes. Cela correspond aux observations précédentes, à savoir des modèles de structure assez semblable avec en général les mêmes variables explicatives. Cependant, les coefficients de variations étant différents, l'intérêt de chacune des cartes est conservé.

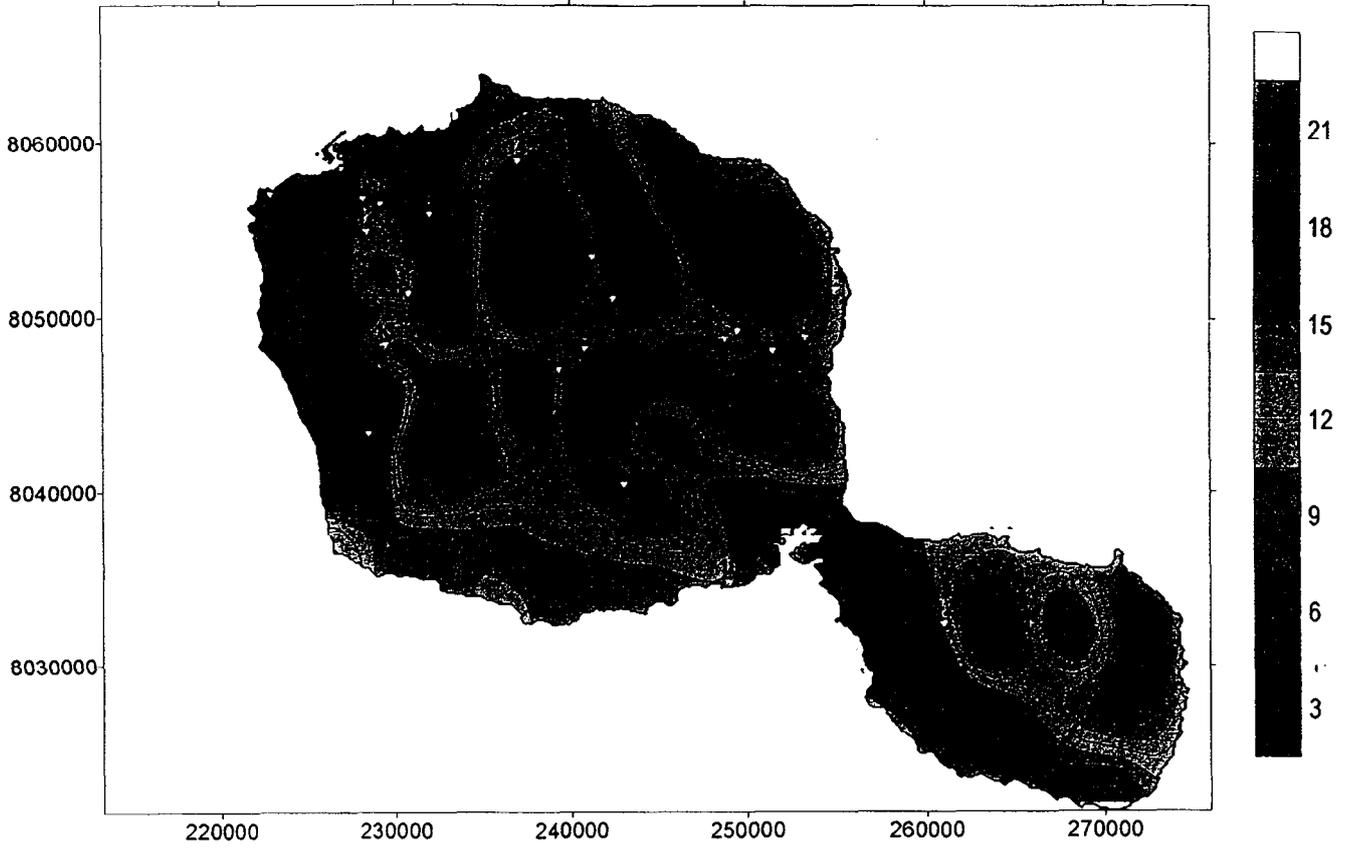
D'une manière générale, il apparaît que **les régions les plus exposées sont celles faisant directement front aux vents dominants d'Est ou Nord-Est**, telles que les versants Est de la presqu'île et de la côte Est, ainsi que les versants Est des monts Orohena, Aorai, Tetufera et Ivirairai. A l'inverse, les régions les plus protégées sont celles les mieux abritées des vents Est, à savoir la côte Ouest de Punaauia à la pointe Maraa ainsi que les fonds de vallée de la Papanoo et de la Punaruu. Entre ces extrêmes, les cartes font apparaître toutes les nuances.

Ainsi, ces cartes apparaissent cohérentes au regard des connaissances subjectives que l'on avait sur la pluviogénèse à Tahiti. Elles constituent l'extrapolation la plus objective et la plus précise (puisque tenant compte des faciès orographiques) qu'il était possible de produire à partir des quelques 22 observations ponctuelles. Si une relative fiabilité (de l'ordre de 30%) peut être accordée aux valeurs indiquées par les cartes sur la majeure partie de l'île, il faut inciter à la plus grande prudence concernant les informations présentées pour les zones dépourvues d'observations, notamment pour les valeurs extrêmes. Ainsi, nous ne pouvons garantir aucunement la fiabilité des résultats exposés pour le quart Sud-Ouest de Tahiti ainsi que pour les extrêmes atteints à Paea et sur les hauteurs de l'Orohena.

Ceci nous conduit aux recommandations suivantes dans le cas d'une application de ces résultats pour l'élaboration d'une pluie de projet :

- ▶ **Considérer une marge de sécurité d'environ 30% pour les estimations.**
- ▶ **Ne jamais utiliser des paramètres inférieurs aux minimales obtenues par les ajustements sur des valeurs observées.**

Gd (Intensité sur 5 minutes)



P0 (Intensité sur 5 minutes)

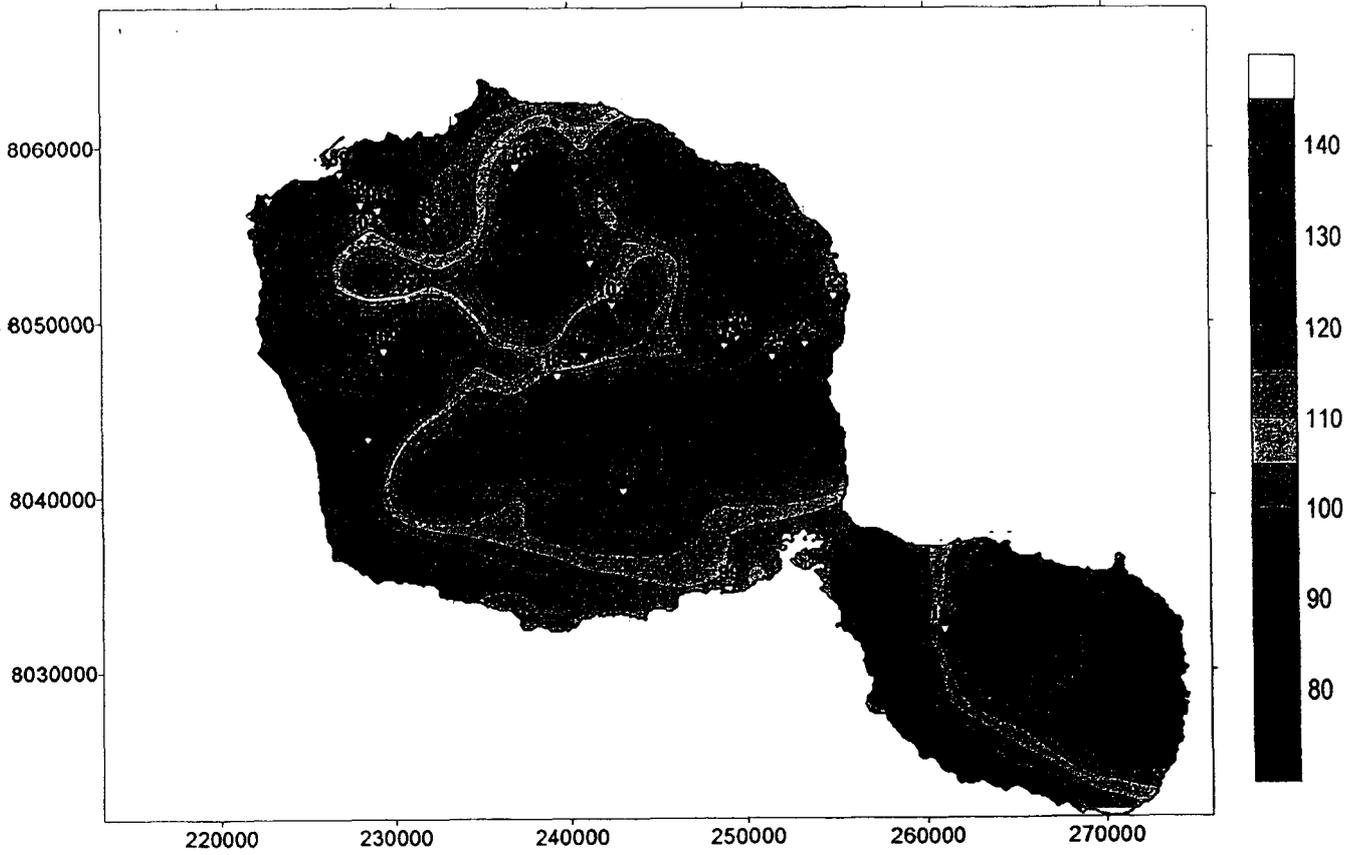
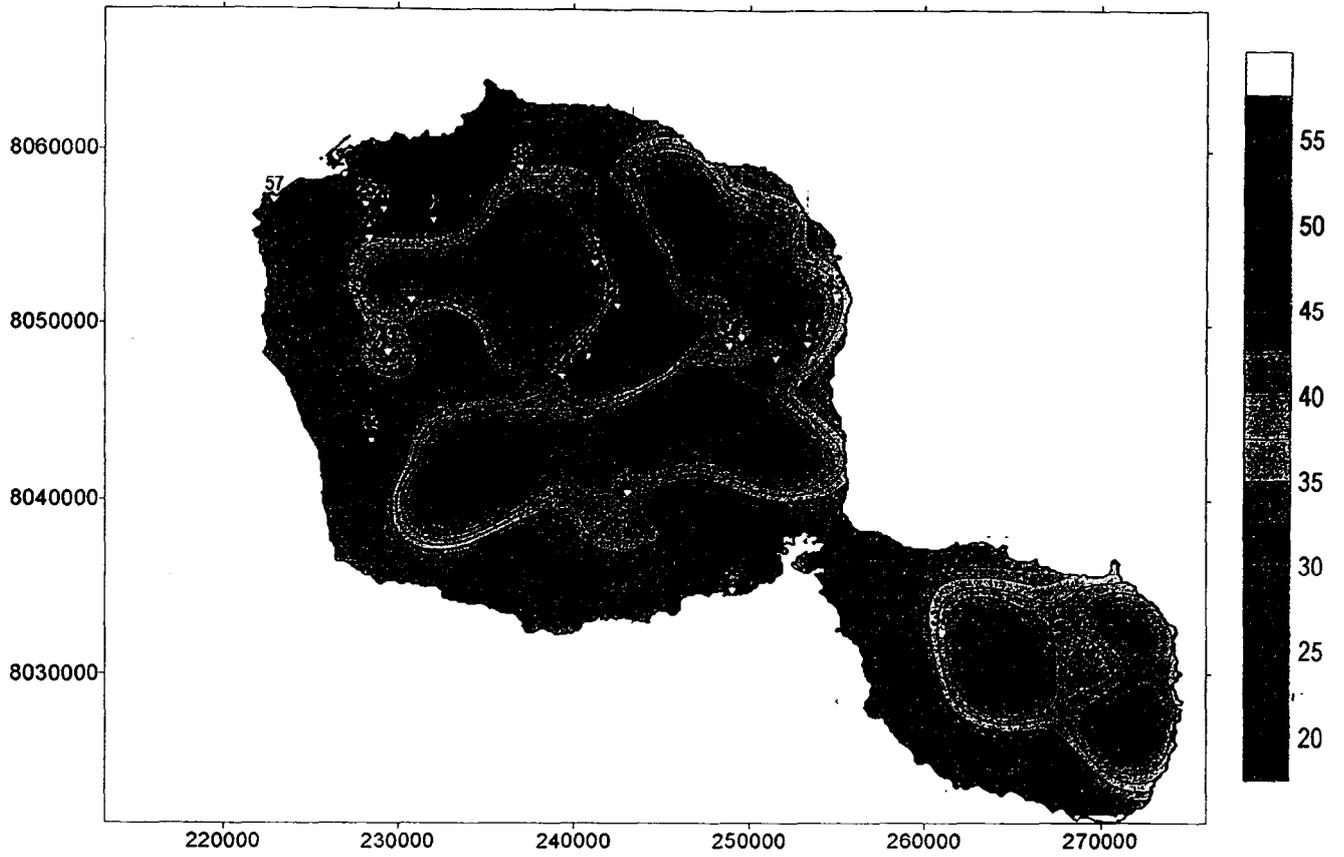


FIGURE 3.9: Evaluation de la variabilité spatiale des paramètres de Gumbel (Gd et P0) pour les intensités sur 5 mn, d'après les modèles figure 3.3.

Gd (Intensité sur 15 minutes)



P0 (Intensité sur 15 minutes)

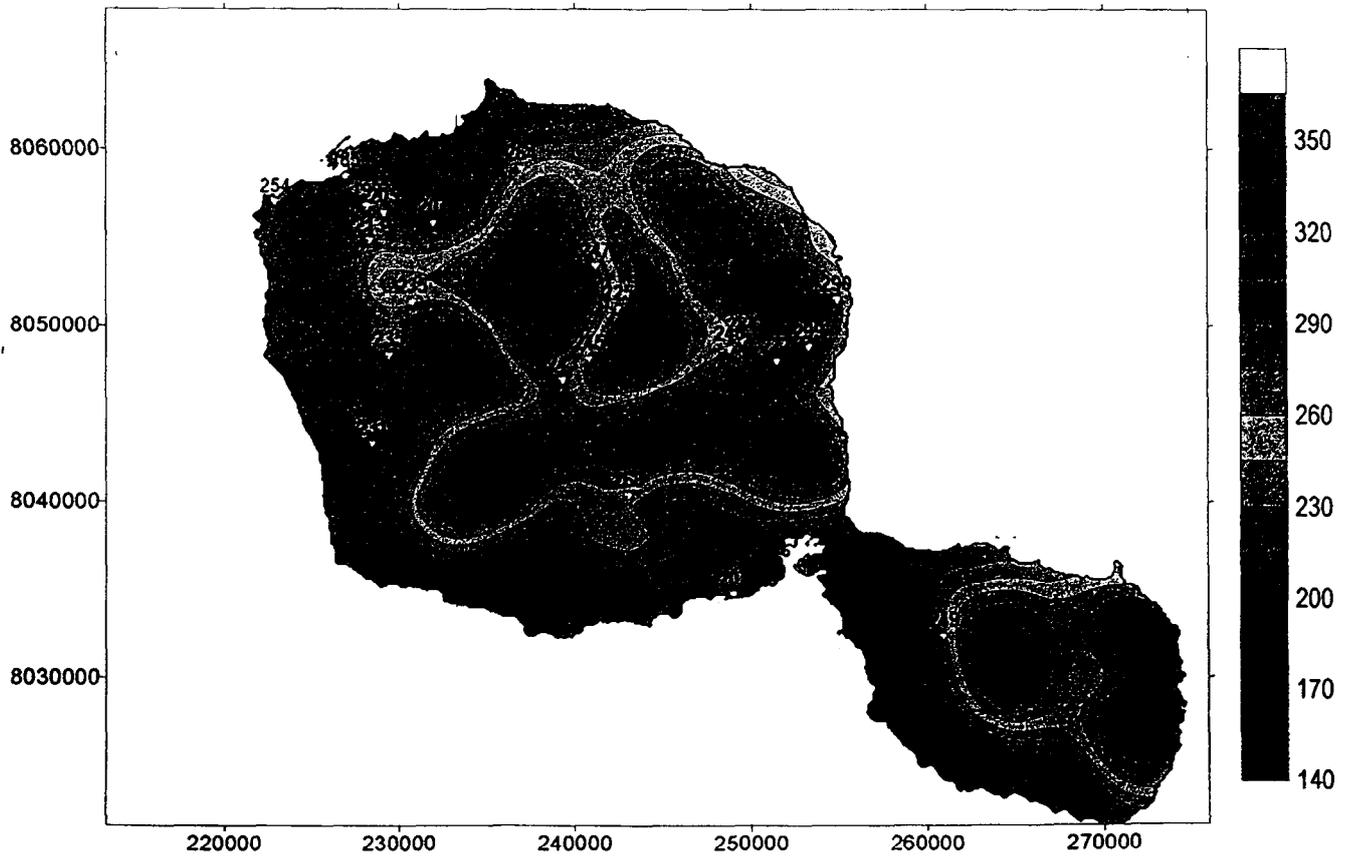
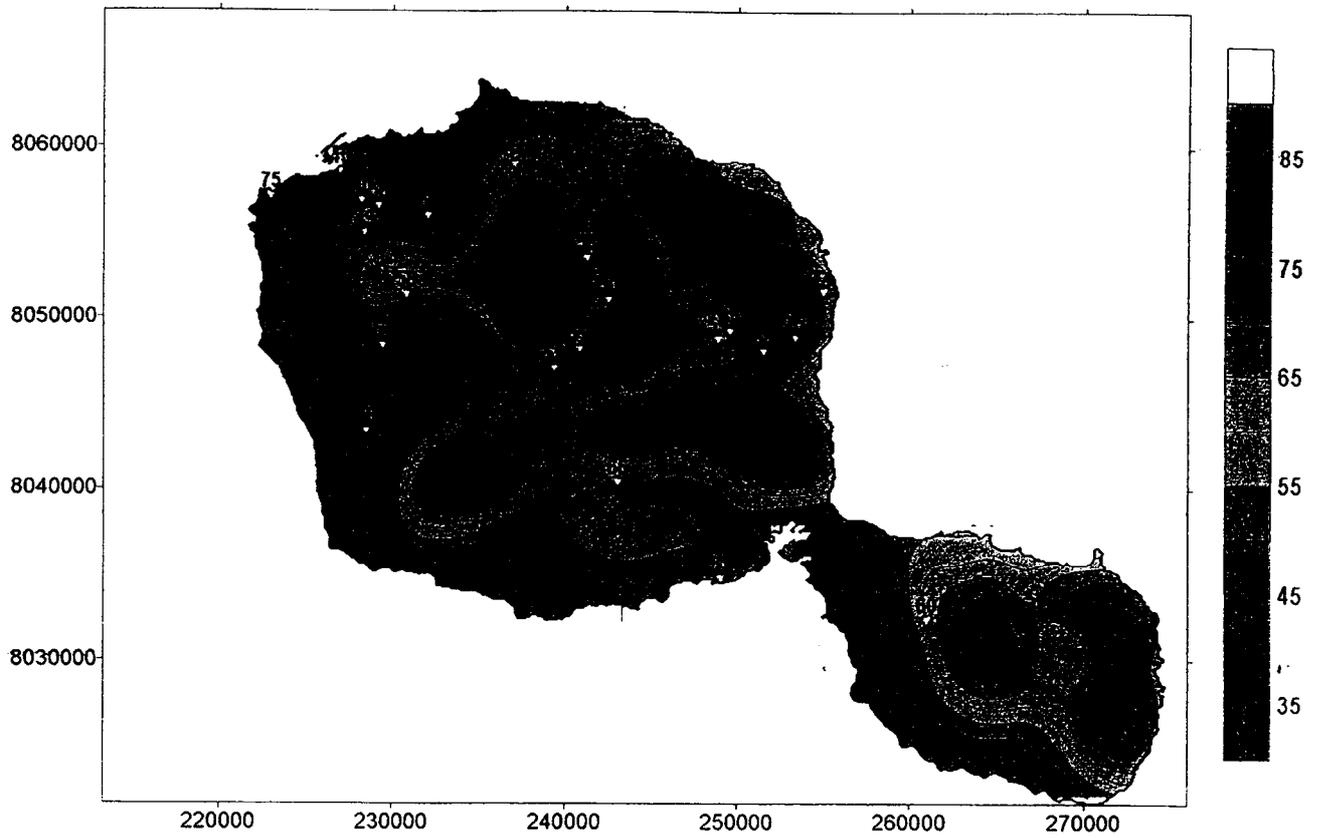


FIGURE 3.10: Evaluation de la variabilité spatiale des paramètres de Gumbel (Gd et P0) pour les intensités sur 15 mn, d'après les modèles figure 3.4.

Gd (Intensité sur 30 minutes)



P0 (Intensité sur 30 minutes)

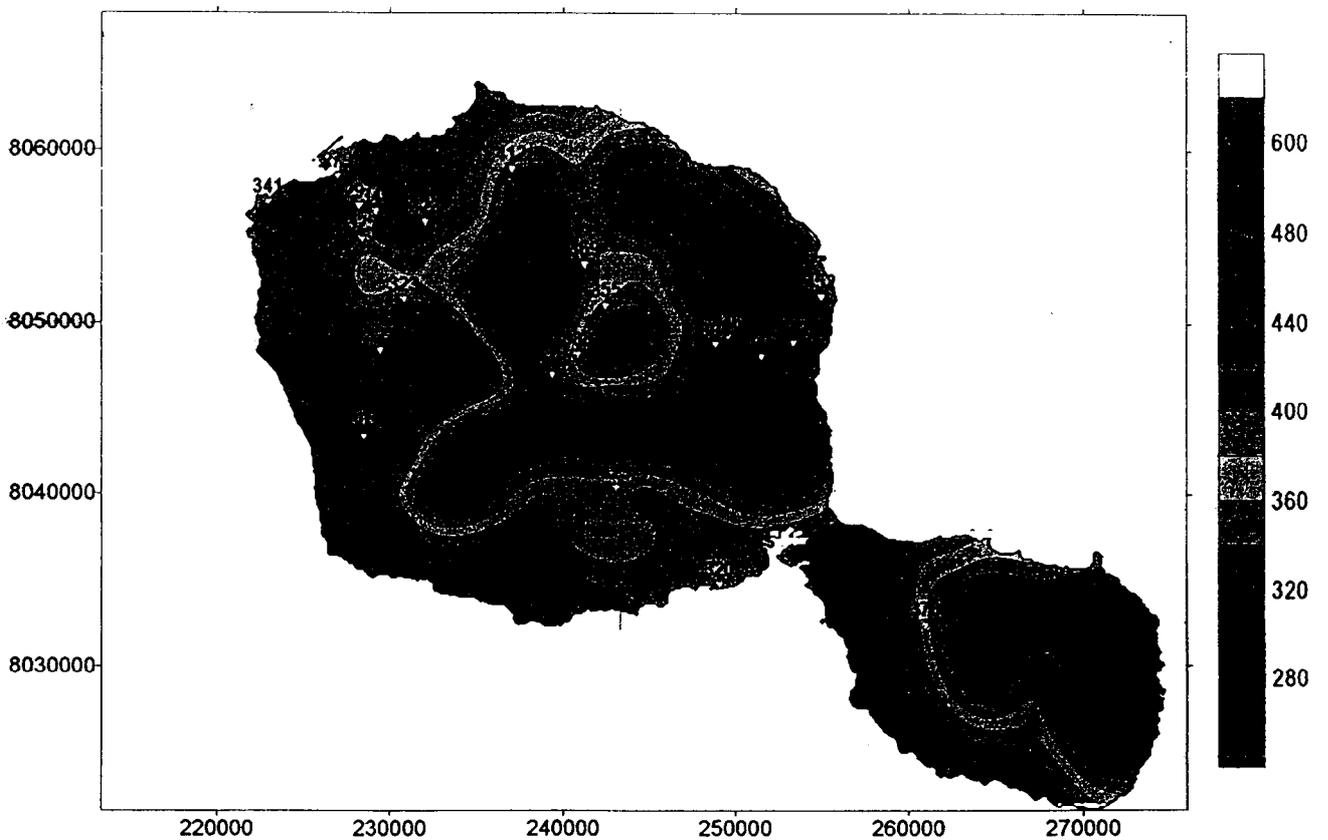
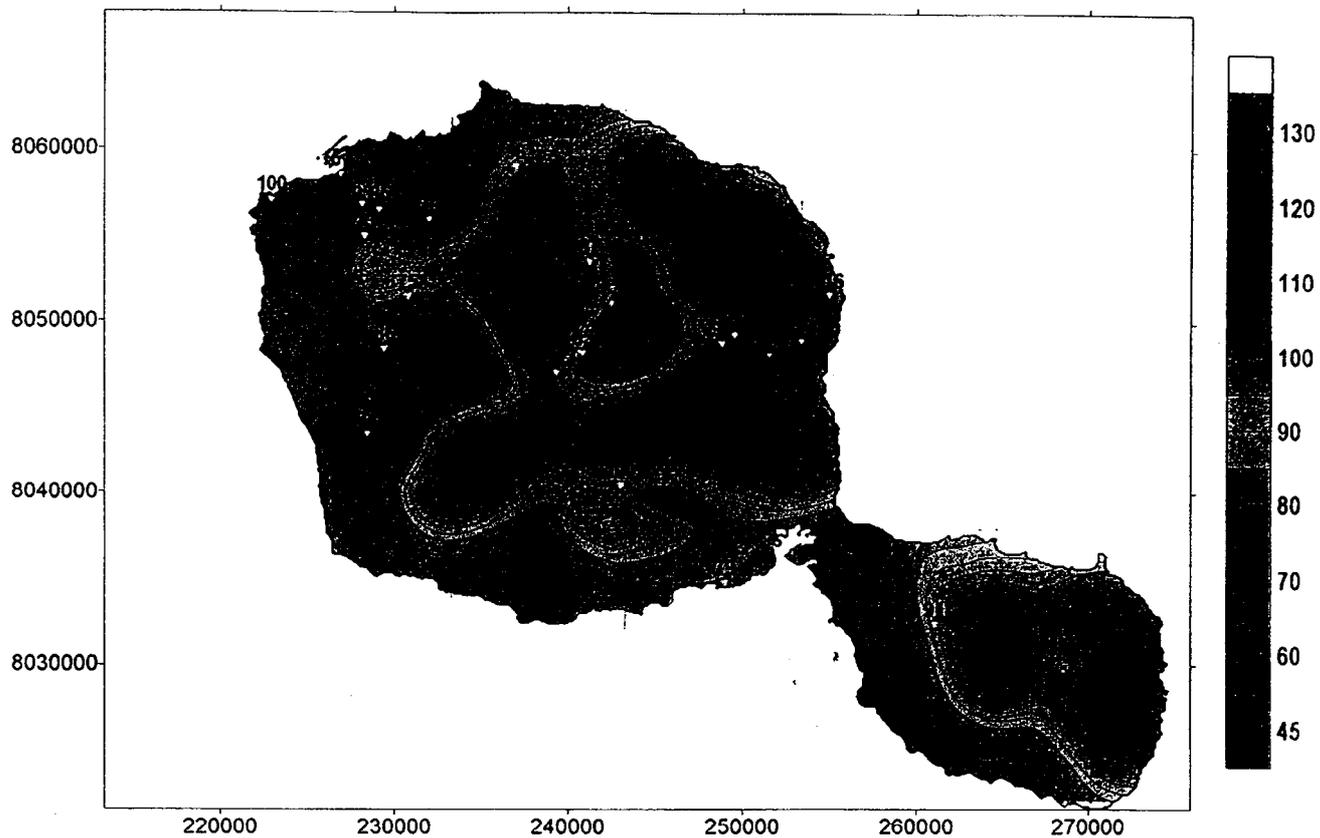


FIGURE 3.11: Evaluation de la variabilité spatiale des paramètres de Gumbel (Gd et P0) pour les intensités sur 30 mn, d'après les modèles figure 3.5.

Gd (Intensité sur 60 minutes)



P0 (Intensité sur 60 minutes)

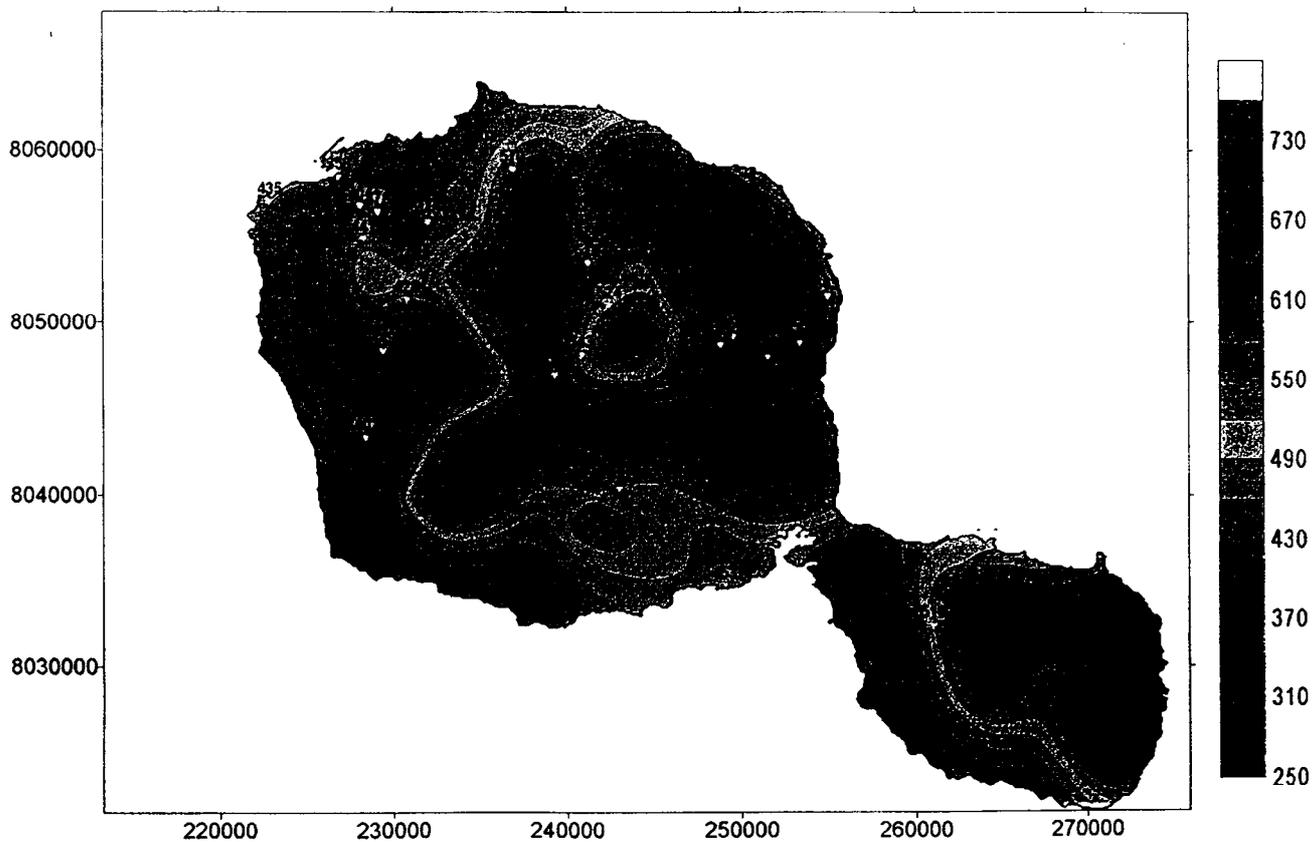
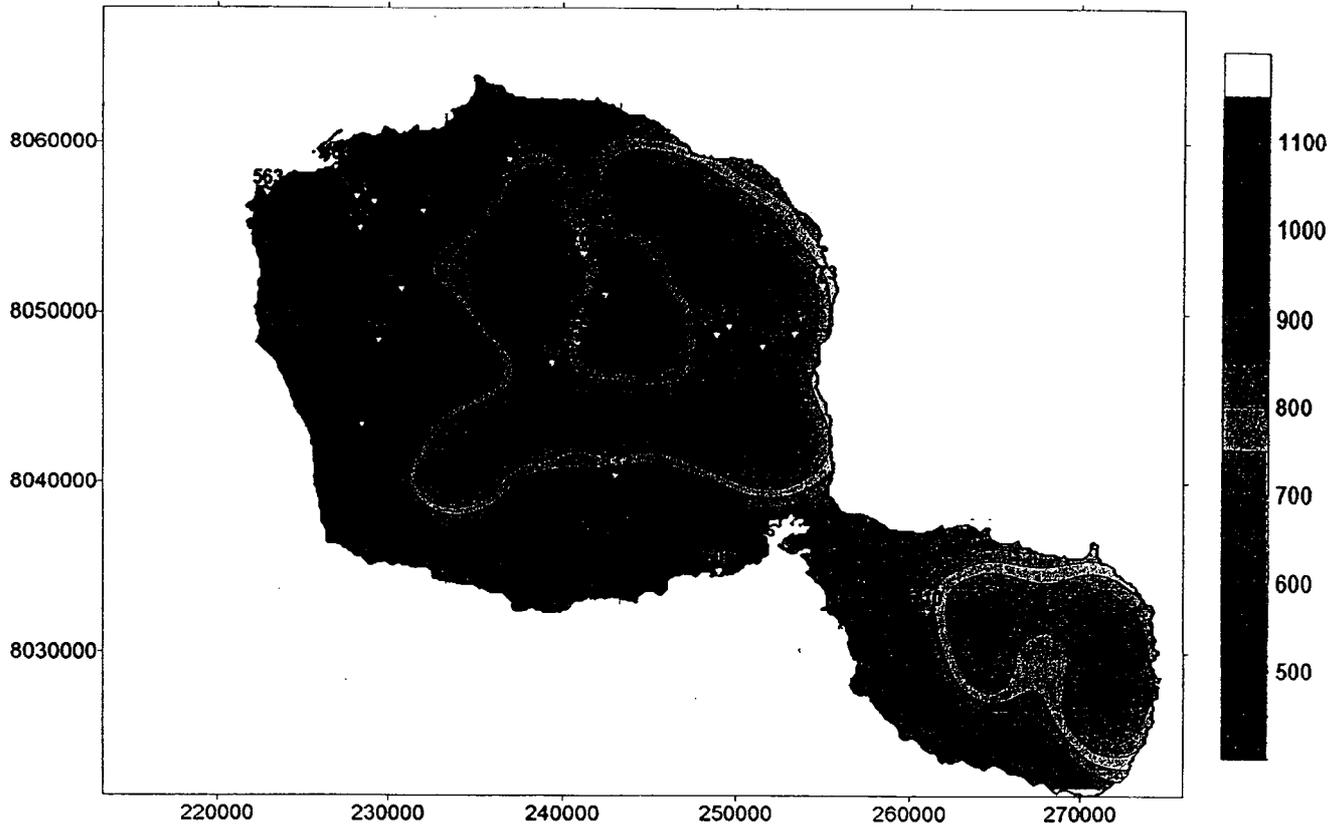


FIGURE 3.11: Evaluation de la variabilité spatiale des paramètres de Gumbel (Gd et P0) pour les intensités sur 60 mn, d'après les modèles figure 3.6.

Intensité sur 2 h T= 1 an



Intensité sur 2 h T= 10 ans

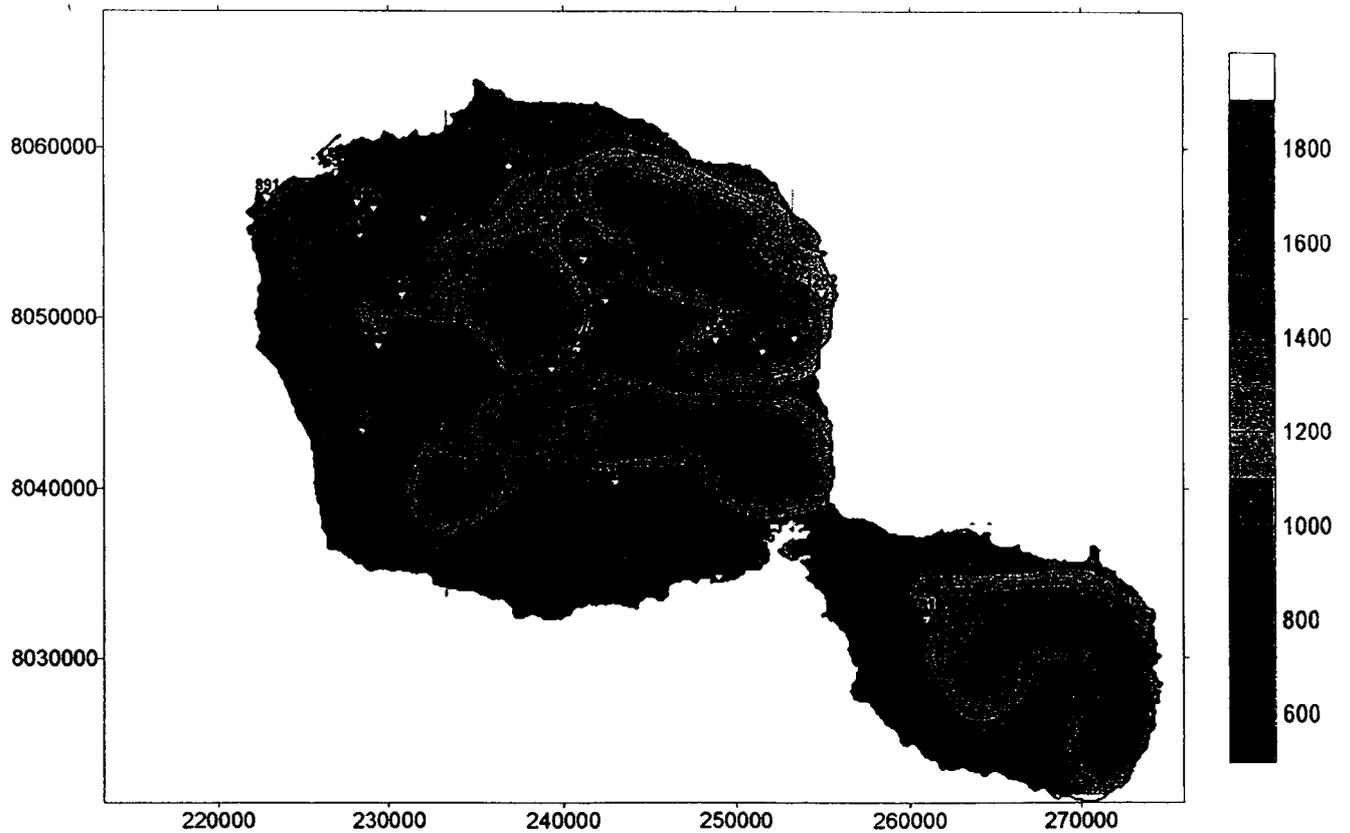
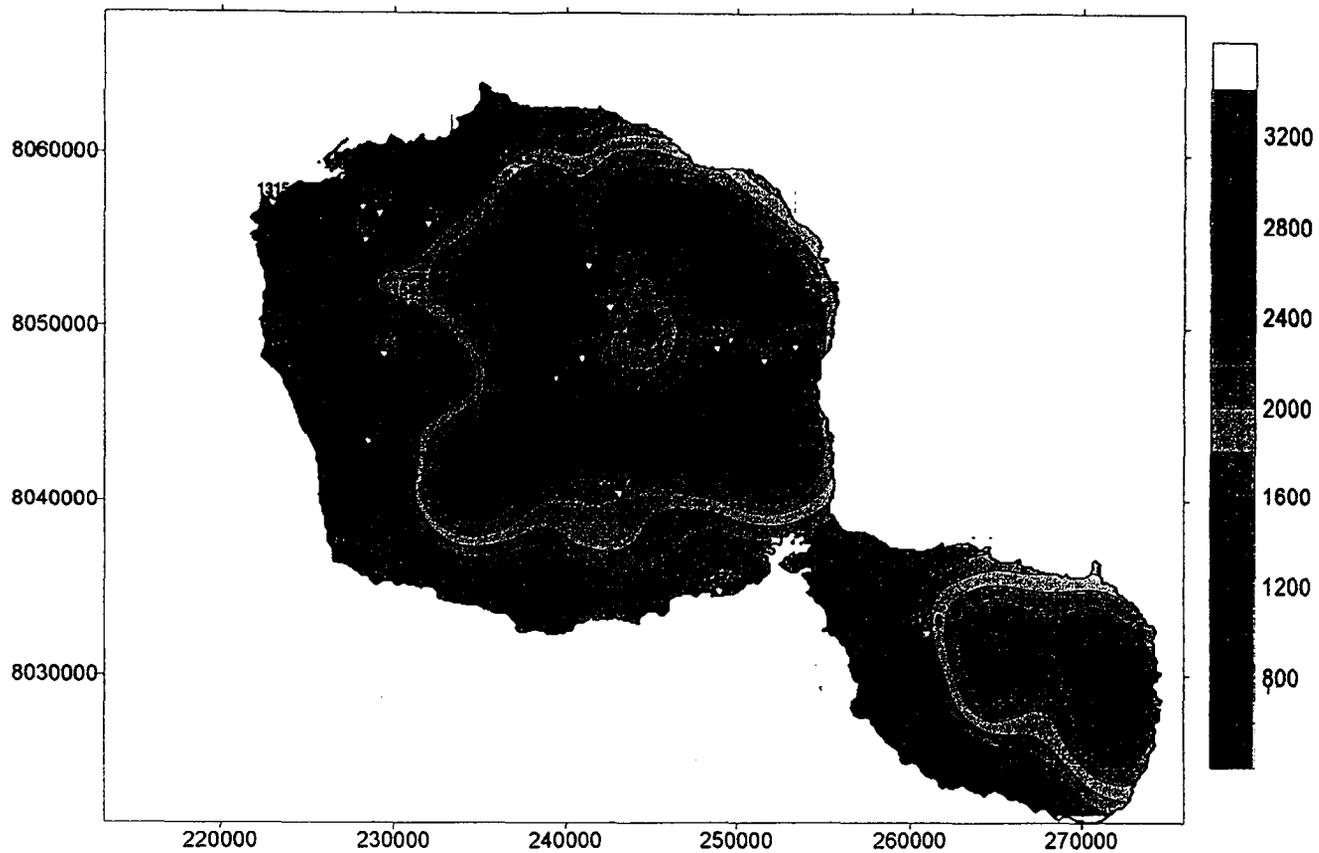


FIGURE 3.12: Evaluation de la variabilité spatiale des quantiles de période de retour 1 et 10ans pour les intensités sur 2 h, d'après les modèles figure 3.7.

Intensité sur 24h T= 1 an



Intensité sur 24h T= 10 ans

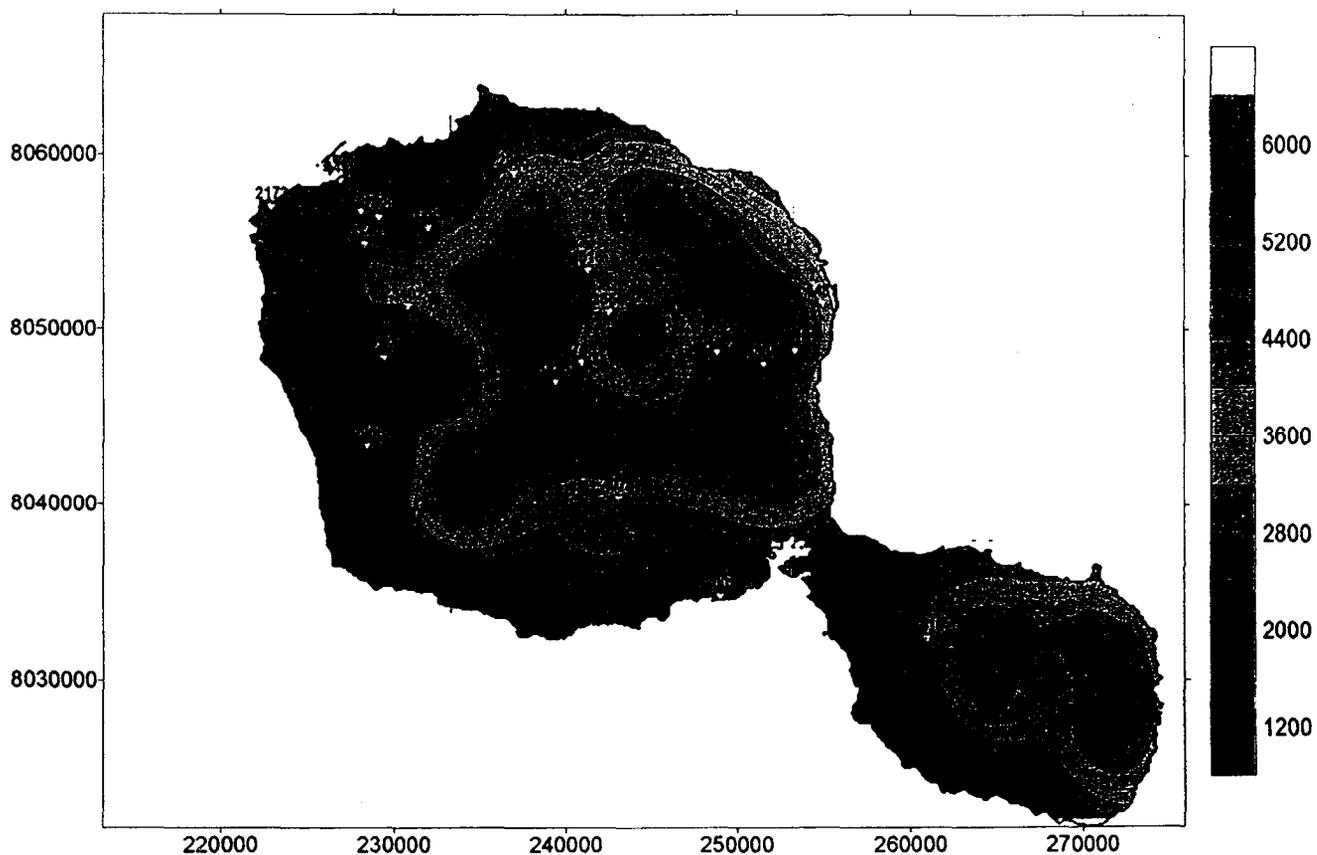


FIGURE 3.13: Evaluation de la variabilité spatiale des quantiles de période de retour 1 et 10ans pour les intensités sur 24 h, d'après les modèles figure 3.8.

4. Caractéristiques des averses d'intensités extrêmes.

La connaissance des I-D-F n'est pas suffisante à la construction d'une pluie de projet. En effet, l'élaboration d'un hyétogramme synthétique nécessite un certain nombre d'hypothèses qu'il convient d'ajuster au mieux à la réalité (Fourcade, 1996, Tourasse, 1981). C'est dans cet objectif que nous avons analysé les caractéristiques spatiales et temporelles des averses d'intensité extrême.

4.1 Fréquences mensuelles d'apparition des fortes intensités.

Nous avons cherché à quantifier la répartition annuelle du risque en déterminant empiriquement sur l'ensemble de notre banque de données, la fréquence mensuelle d'apparition du seuil d'échantillonnage fixé (cf. tableau 2.1) pour les différentes intensités. Les résultats sont présentés figure 4.1 page suivante.

Pour les intensités sur les courtes périodes (jusqu'à 1h), on note un rapport de l'ordre de 1 à 10 entre le mois de janvier (près de 20% des occurrences) et le mois de juillet (environ 2%). Pour les intensités sur les plus longues périodes, l'écart est nettement amoindri, de l'ordre de 1 à 2 et c'est alors le mois de décembre qui présente la plus grande fréquence d'apparition. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence, car ils sont fortement conditionnés par le choix des seuils. Par exemple, si pour 24h, on fixe le seuil à 500 dmm, le rapport n'est plus de 1 à 2 mais de 1 à 6.

Il faut retenir les grandes tendances, à savoir que l'aléa est jusqu'à dix fois supérieur durant les mois d'été austral par rapport à la période hivernale, et que ces différences sont d'autant plus prononcées que l'on s'intéresse à des intensités sur de courtes périodes.

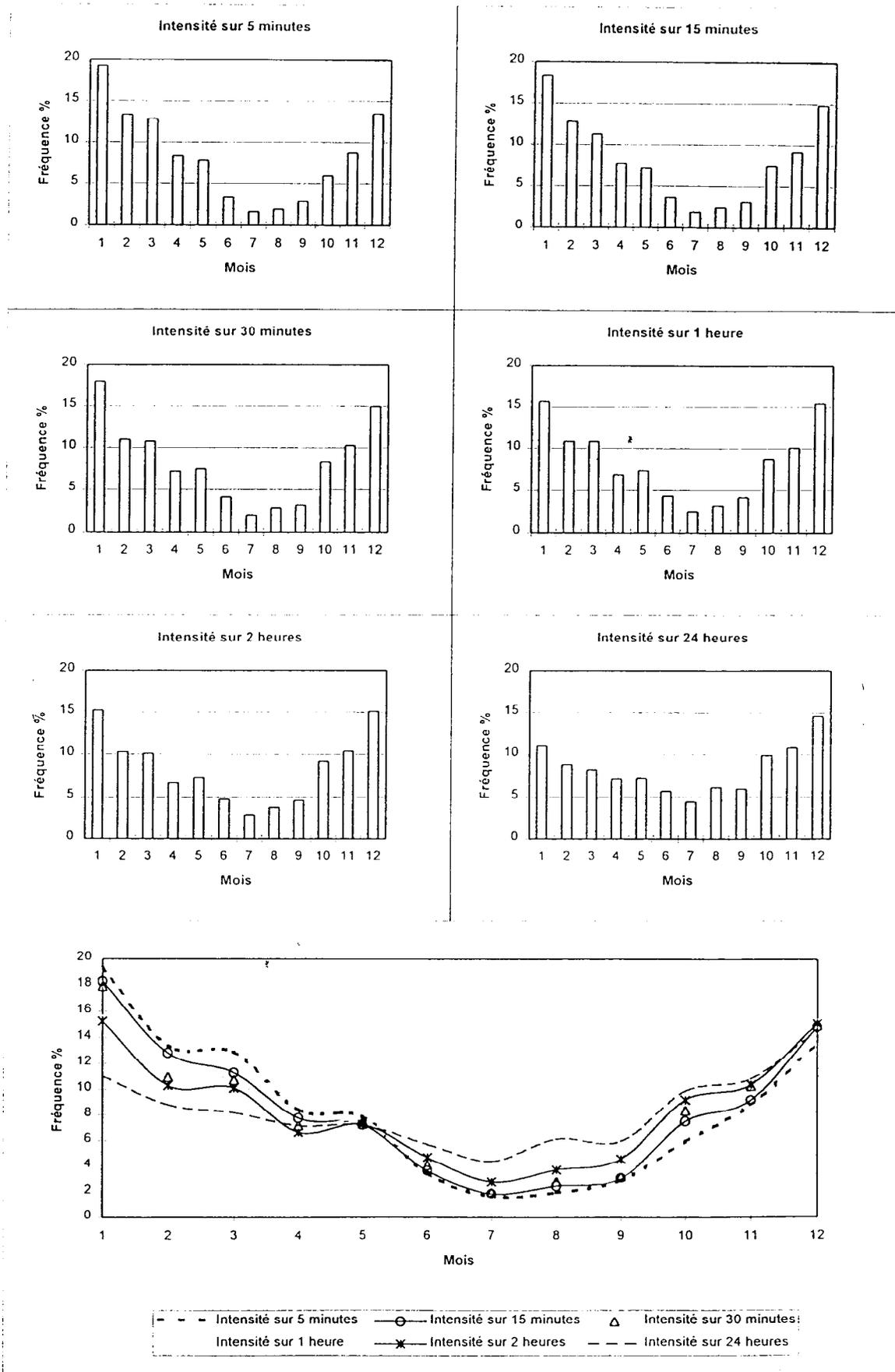


FIGURE 4.1: Fréquence mensuelle d'apparition des fortes intensités (supérieures au seuil d'échantillonnage, cf. tab. 2.1))

4.2 Concomitance des intensités extrêmes

Les caractéristiques spatiales des averses sont très difficiles à appréhender de manière globale. En effet, il est extrêmement rare d'avoir des données entièrement synchrones, car les périodes d'installation des équipements ne coïncident pas toujours et si c'est le cas, il y aura toujours un certain nombre de postes hors service. D'où une matrice de données contenant énormément de lacunes en plus des valeurs nulles, ce qui rend difficile voire impossible un grand nombre d'approches statistiques.

Dans ce domaine, de nombreux auteurs ont étudié les variogrammes et correlogrammes des champs de précipitations journalières ou horaires (Obled (1979), Tourasse,(1981), Lebel (1984), Neppel (1997)). Cette approche nécessite un réseau dense et bien réparti de pluviographes, ainsi que la sélection d'un nombre limité d'événements. De plus, cette méthode déjà très laborieuse au pas de temps horaire devient quasiment impraticable à des pas de temps inférieurs. Nous avons préféré tenter une nouvelle approche visant à isoler les organisations les plus fréquentes, tout en utilisant la plus grande partie de notre banque de données.

Dans un premier temps, notre étude s'est portée sur la concomitance des intensités maximales au sein des événements, de sorte à étudier la dynamique classique des systèmes précipitants. En effet, pour la transformation pluie-débit, il est important de connaître le temps séparant les pics d'intensités aux différentes extrémités d'un bassin versant. Il est probable qu'en postulant une intensité maximale synchrone sur l'ensemble d'un bassin, on surestime le débit résultant d'une pluie de période de retour donnée.

La démarche adoptée est la suivante :

Après avoir sélectionné un poste de référence, on calcule pour chaque événement (dépassant le seuil d'échantillonnage en ce poste) et sur chaque station d'observation, le décalage temporel (dT en minute) séparant l'occurrence du pic d'intensité (au pas de temps choisi) sur les différents postes par rapport à la station de référence.

Pour déterminer ensuite le champ le plus fréquent, on estime en chaque poste le mode de ce décalage temporel (dT). La distribution des dT n'étant que rarement Normale, la moyenne ne peut être utilisée. Le mode (la valeur la plus fréquente) a été estimé par observation des histogrammes de fréquences.

Enfin, ces valeurs modales ont été comparées deux à deux, et mises en relation avec les caractéristiques géographiques des postes d'observation. Nous avons cherché à établir des modèles permettant d'expliquer le décalage temporel en fonction de la distance séparant les postes, des différences de longitude (dX), de latitude (dY), d'altitude (dZ), et des cosinus et sinus de l'angle entre ces postes par rapport au sens Ouest-Est. On obtient ainsi une illustration de la dynamique la plus probable des systèmes précipitants correspondant aux intensités extrêmes du poste de référence.

L'expérience a montré qu'il était préférable de traiter séparément les données de la côte Est de celles de la côte Ouest. La manipulation étant particulièrement laborieuse en raison de l'utilisation du mode, nous n'avons sélectionné que 4 postes de référence (Punaruu P0, Vaiami P0, Hitiaa P1, Papeari P1) et travaillé uniquement sur les intensités de 15 mn et 1h.

Les modèles sélectionnés sont présentés tableaux 4.1 et 4.2, les cartes issues de ces régressions sont exposées sur les figures 4.2 et 4.3. Les isochrones sont exprimés en minutes.

Concernant les intensités extrêmes affectant Punaruu P0, on note une organisation dépendante de l'altitude. Sur 15 mn la structure est très chaotique et difficile à interpréter. Sur 60 mn, il apparaît que les maximums correspondent à des flux d'ouest ralentis par le relief, se propageant à une vitesse de l'ordre de 40 km/h.

Les fortes intensités affectant Vaiami P0 tant sur 15 mn que sur 1h, correspondraient à des flux de Nord-Ouest se propageant à une vitesse moyenne de 30 km/h.

A l'opposé, pour Hitiaa P1, les maximums semblent essentiellement correspondre à des flux de Nord-Est, se déplaçant également à 25-30 km/h.

Pour Papeari P0, les résultats paraissent assez surprenants avec une organisation Nord-Sud voire Nord-Ouest/Sud-Est, et des dynamiques de l'ordre de 60km/h pour les intensités sur 15 mn et 25 km/h pour les intensités sur 60mn.

La méthode employée a montré ses capacités mais également ses limites :

- Elle utilise le mode, qui est un paramètre peu robuste nécessitant souvent une vérification manuelle.
- Elle n'est adaptée qu'aux distributions unimodales prononcées, c'est-à-dire aux pluviogénèses ayant une origine quasi unique.
- Les structures déterminées sont fortement dépendantes du poste de référence.
- Les modèles peuvent être biaisés par une organisation spatiale particulière du réseau d'observation et un nombre limité d'observations. Si la densité de postes autour de la station de référence n'est pas uniformément répartie, certaines structures vont être privilégiées par rapport à d'autres.
- Les structures mises en évidence ne correspondent pas forcément à des organisations réelles. Deux postes peuvent avoir deux modes bien marqués mais ne correspondant pas du tout aux mêmes événements.

Ainsi, pour la station de Papeari P1, le mode était souvent difficile à identifier. Associé à un manque d'observations dans la direction Est-Ouest et à une densité nettement plus marquée au Nord, nous aboutissons à un résultat peu cohérent. De même pour Vaiami P0, l'absence d'observation au Sud-Ouest, a certainement favorisé la direction Nord-Ouest, par rapport à la direction plein Ouest.

Cependant, si les conditions d'application sont respectées, la méthode permet de :

- traiter l'ensemble de la matrice de données, sans être limitée par les lacunes et les valeurs nulles.
- définir l'organisation et la dynamique des systèmes précipitants les plus probables.

MODELES DES DECALAGES TEMPORELS DES MAXIMUMS D'INTENSITE SUR 15 MN

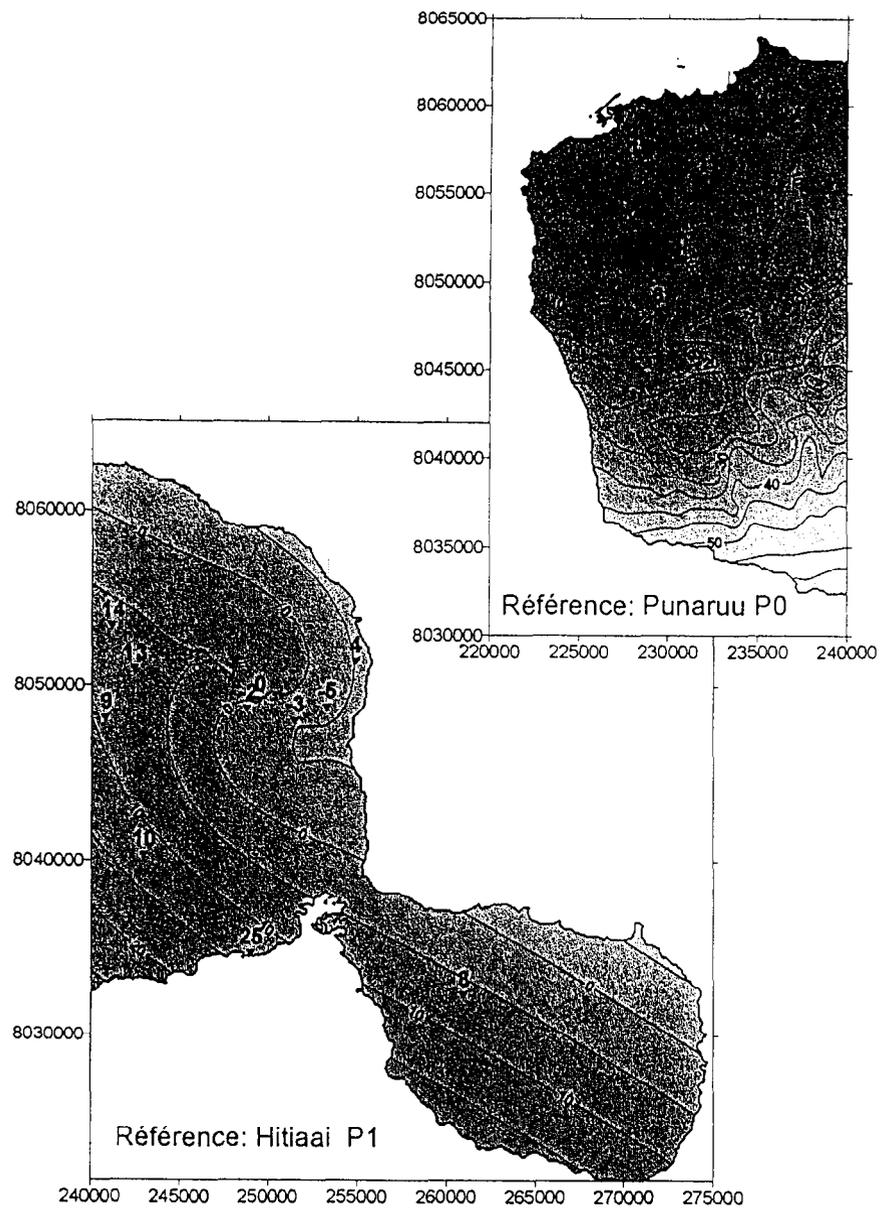
Model fitting results for: PUNARUU I15.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	-1.97687E-16	0.920318	0.0000	1.0000
COS	4.786394	3.025033	1.5823	0.1183
DZ	-0.012264	0.002485	-4.9353	0.0000
DX	0.000705	0.000494	1.4271	0.1582
DY	-0.002052	0.000273	-7.5100	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.4841 SE= 7.809158 MAE= 6.052925 DurbWat= 0.927				
Model fitting results for: VAIAMI I15.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	-8.37883E-16	0.250423	0.0000	1.0000
COS	-2.040997	0.823125	-2.4796	0.0156
DX	0.002045	0.000131	15.6481	0.0000
DY	-0.001177	0.000054	-21.9731	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.9433 SE= 2.124911 MAE= 1.696270 DurbWat= 0.692				
Model fitting results for: HITIAA I15.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	4.863393E-16	0.678332	0.0000	1.0000
COS	0.128972	1.946468	0.0663	0.9473
SIN	9.824266	2.33106	4.2145	0.0000
DY	-0.001548	0.000176	-8.7863	0.0000
DX	-0.001017	0.000169	-6.0243	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.6082 SE= 7.793446 MAE= 6.064137 DurbWat= 1.235				
Model fitting results for: PAPEARI I15.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	-1.42354E-16	0.551561	0.0000	1.0000
COS	1.059918	1.464399	0.7238	0.4717
SIN	-2.609577	2.160141	-1.2081	0.2313
DX	0.000032	0.000133	0.2447	0.8075
DY	-0.000752	0.000148	-5.0705	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.8193 SE= 4.680148 MAE= 3.806089 DurbWat= 1.481				

TABLEAU 4.1 : Modèles statistiques des décalages temporels les plus fréquents entre les intensités maximales sur 15 mn pour 4 postes de référence.

MODELES DES DECALAGES TEMPORELS DES MAXIMUMS D'INTENSITES SUR 60 MN

Model fitting results for: PUNARUU I60.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	6.36816E-18	0.34664	0.0000	1.0000
COS	4.136948	0.537562	7.6958	0.0000
SIN	-1.721977	0.659573	-2.6107	0.0111
DZ	0.007075	0.000916	7.7201	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.8039 SE= 2.941341 MAE= 2.503383 DurWat= 0.986				
Model fitting results for: VAIAMI I60.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	0.152198	0.318203	0.4783	0.6342
COS	-2.867939	1.074999	-2.6679	0.0098
DZ	-0.010122	0.000834	-12.1400	0.0000
DX	0.001705	0.000167	10.2167	0.0000
DY	-0.00323	0.000091	-35.3187	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.9614 SE= 2.538758 MAE= 2.021675 DurWat= 0.844				
Model fitting results for: HITIAA I60.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	-0.273993	0.847122	-0.3234	0.7469
COS	-8.549975	2.473973	-3.4560	0.0008
SIN	12.370457	3.018994	4.0975	0.0001
DZ	-0.01077	0.00203	-5.3064	0.0000
DX	-0.001021	0.000213	-4.7858	0.0000
DY	-0.0034	0.000226	-15.0705	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.8834 SE= 9.288007 MAE= 7.426310 DurWat= 1.216				
Model fitting results for: PAPEARI I60.dT				
Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	1.658517	1.410269	1.1760	0.2442
COS	8.450562	2.048205	4.1258	0.0001
DZ	-0.005208	0.002967	-1.7552	0.0843
DY	-0.001665	0.000132	-12.6623	0.0000
R-SQ. (ADJ.) = 0.7719 SE= 11.258249 MAE= 9.379607 DurWat= 1.946				

TABLEAU 4.2 : Modèles statistiques des décalages temporels les plus fréquents entre les intensités maximales sur 60 mn pour 4 postes de référence.



Isochrones des Intensités maximales sur 15 minutes

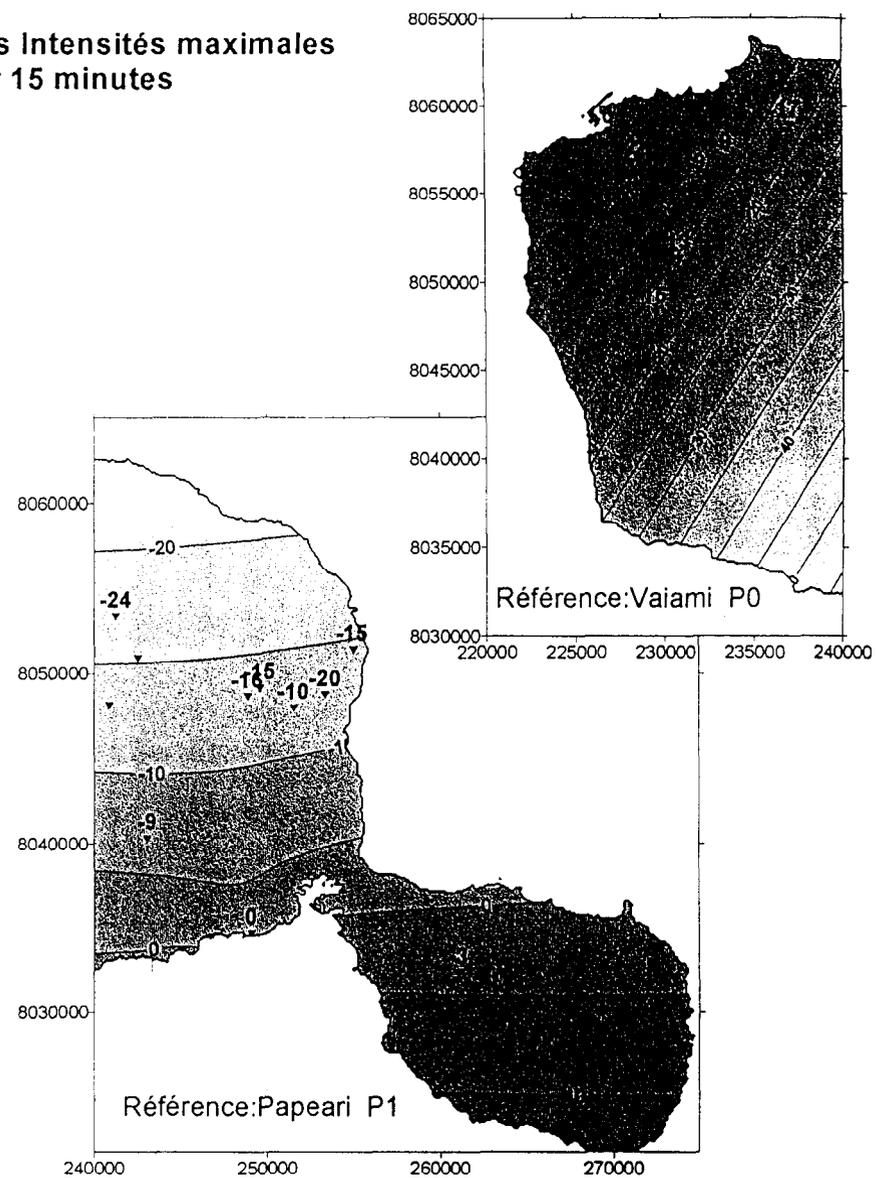


FIGURE 4.2: Illustration des modèles des décalages temporels les plus fréquents entre les maximums d'intensités sur 15mn pour différents postes de référence (Isochrones exprimés en mn).

Isochrones des Intensités maximales
sur 60 minutes

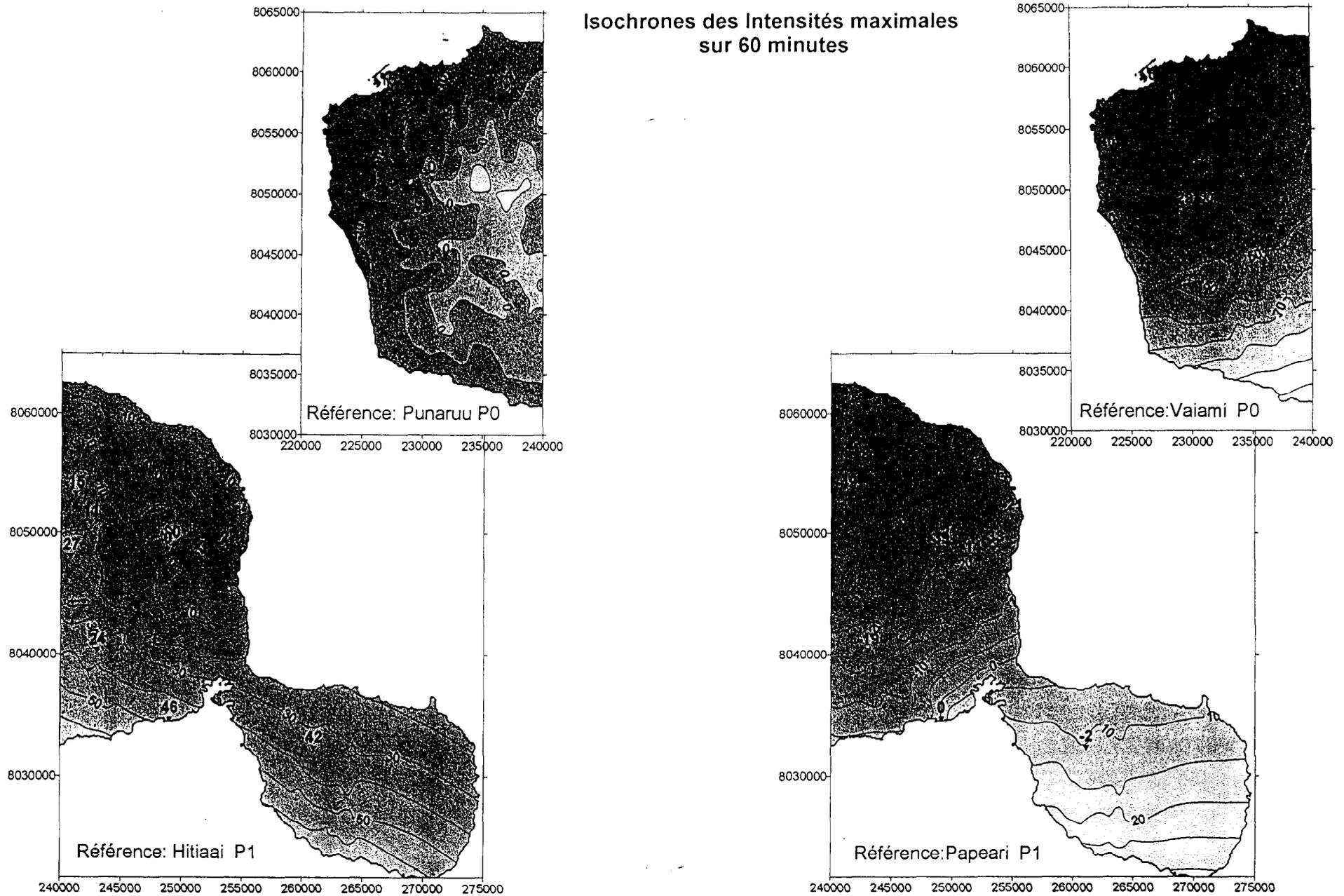
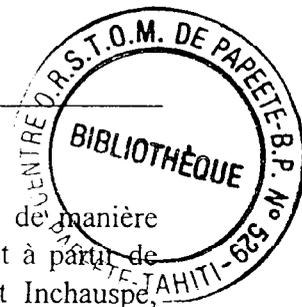


FIGURE 4.3: Illustration des modèles des décalages temporels les plus fréquents entre les maximums d'intensités sur 60mn pour différents postes de référéce (Isochrones exprjmes en mn).



Malgré les limites énoncées, cette étude a tout de même permis de retrouver de manière objective les grands types de pluviogénèse connus à Tahiti, et ceci uniquement à partir de données pluviographiques, à savoir (Pascal et Gauchard (1993), Gauchard et Inchauspe, (1976)) :

- Le régime d'alizés de Nord-Est (Maoa'e haapiti), connu pour des vents relativement modérés et principal porteur de pluies sur la façade Est de Tahiti.
- Le régime dépressionnaire de Nord-Ouest (Toerau), accompagné de vent de secteur Nord à Nord-Ouest parfois fort (50 à 70 km), responsable de fortes précipitations essentiellement sur les côtes Nord et Ouest.
- Enfin, le régime dépressionnaire d'Ouest, donnant des précipitations essentiellement en altitude et sur les versants Ouest.

Il faut ajouter que si les dynamiques présentées sur les figures 4.2 et 4.3 peuvent être utilisées pour le calcul des pluies de projet, il faudra malgré tout considérer la possibilité d'une intensité maximale synchrone sur l'ensemble de la superficie. En effet, certains événements de la banque de données présentent des décalages très minimes sur la quasi totalité des postes d'observations.

Encouragés par les résultats obtenus, nous pensions traiter de manière semblable l'extension spatiale d'une intensité de période de retour donnée. Considérant toujours un poste de référence, on calcule pour chaque événement la période de retour de l'intensité affectant le poste, puis les écarts entre cette période de retour et celles correspondant à l'intensité maximale observée sur l'ensemble des stations d'observations au cours du même événement. L'objectif aurait été de pouvoir estimer la période de retour de l'intensité maximale en tout point de l'espace sachant qu'une intensité de période de retour T est observée en un point de référence fixée. Ce principe n'a pas pu être appliqué car il semblerait que l'extension spatiale de l'intensité de période de retour T est d'autant plus restreinte que la valeur T est élevée. Aussi, si on sélectionne l'ensemble des intensités supérieures au seuil d'échantillonnage (c'est-à-dire une majorité d'observations ayant une période de retour inférieure à 1 an), le mode de l'écart entre les périodes de retour correspondantes sur les différents postes d'observations tend vers 0 en tout point, sans aucune organisation spatiale. L'écart semble bien plus dépendant de T que des caractéristiques géographiques.

Pour obtenir des résultats cohérents dans ce sens, il faudrait avant tout étudier la relation entre T et le mode des écarts avant de chercher à expliquer les paramètres de cette relation par les caractéristiques géographiques relatives aux postes. Les séries chronologiques étant dans l'ensemble trop courtes pour établir de manière précise la première relation, cette approche n'a pas pu être développée.

Dans l'état actuel des connaissances, on peut uniquement conseiller d'appliquer des intensités maximales de période de retour identique en tout point de l'espace, même si cela engendre très certainement une surestimation de l'aléa notamment pour les grandes périodes de retour. Le décalage temporel des pics d'intensités suivant les modèles précédents devrait malgré tout produire un abattement de l'intensité moyenne instantanée sur la superficie considérée.

4.3 Typologie des formes d'averses.

Ce paragraphe concerne l'étude ponctuelle des caractéristiques temporelles des averses. L'objectif est de pouvoir associer un hyétogramme représentatif à une intensité sur 5 mn à 2 h, de période de retour déterminée.

L'étude s'est portée sur les hyétogrammes à pas de temps fixe de 5 mn. Nous avons concentré notre analyse sur les intensités maximales de 15 et 60 mn. Après avoir isolé de l'ensemble de la banque de donnée toutes les averses répondant au seuil d'échantillonnage pour I15 et I60, nous avons centré les hyétogrammes correspondants sur 4h (48*5 mn) en positionnant l'intensité maximale sur 5 mn au milieu de la période et en ajustant l'ensemble des intensités de sorte que l'intensité maximale corresponde à la valeur 100, puis dans un deuxième temps de sorte à ce que le cumul corresponde à la valeur 100. Ainsi dans le premier cas, les hyétogrammes sont exprimés en pourcentage par rapport à l'intensité maximale sur 5 mn, dans le second, en pourcentage par rapport au cumul sur 4h. Nous constituons ainsi 4 échantillons statistiques, 2 pour les averses dont les intensités dépassent le seuil sur 15 minutes (419 individus) et 2 pour celles dépassant le seuil sur 60 mn (569 individus). Ces échantillons privilégient dans tous les cas essentiellement la forme du hyétogramme.

Les différents individus sont ensuite regroupés en classe par la méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) selon le critère de Ward (SAS/STAT, 1991). Ce critère vise à créer des classes de variance interne minimale. La classification optimale (variance représentée/nombre de classes) conduit à 4 classes distinctes dont les barycentres (moyenne intra-classe) sont représentés pour les différents échantillons figures 4.4 à 4.7. Ces 4 classes représentent entre 21 et 35% de la variance totale de l'échantillon. Il faudrait près d'une vingtaine de classes pour atteindre les 50 %. Ceci traduit la grande hétérogénéité des formes de hyétogrammes.

Les différentes classifications obtenues sont très ressemblantes ;

- La classe 1 rassemble les hyétogrammes relativement symétriques et étalés dans le temps.
- La classe 2, opposée à la précédente, représente les hyétogrammes également symétriques mais concentrés sur une période de 1 heure environ.
- La classe 3 rassemble les hyétogrammes de type « retardé », avec une dissymétrie prononcée vers la période précédant le pic d'intensité.
- La classe 4, à l'inverse, représente les hyétogrammes de type « avancé », avec une dissymétrie prononcée vers la période postérieure au pic d'intensité.

On remarque cependant que les hyétogrammes relatifs à de fortes intensités sur 60 mn sont en général de forme plus étalée que ceux produisant de fortes intensités sur 15 mn qui ont donc tendance à être plus concentrés dans le temps.

Aucune de ces 4 classes ne se démarque clairement des autres par sa fréquence d'apparition (eg. le nombre d'individus de la classe/le nombre total d'individus).

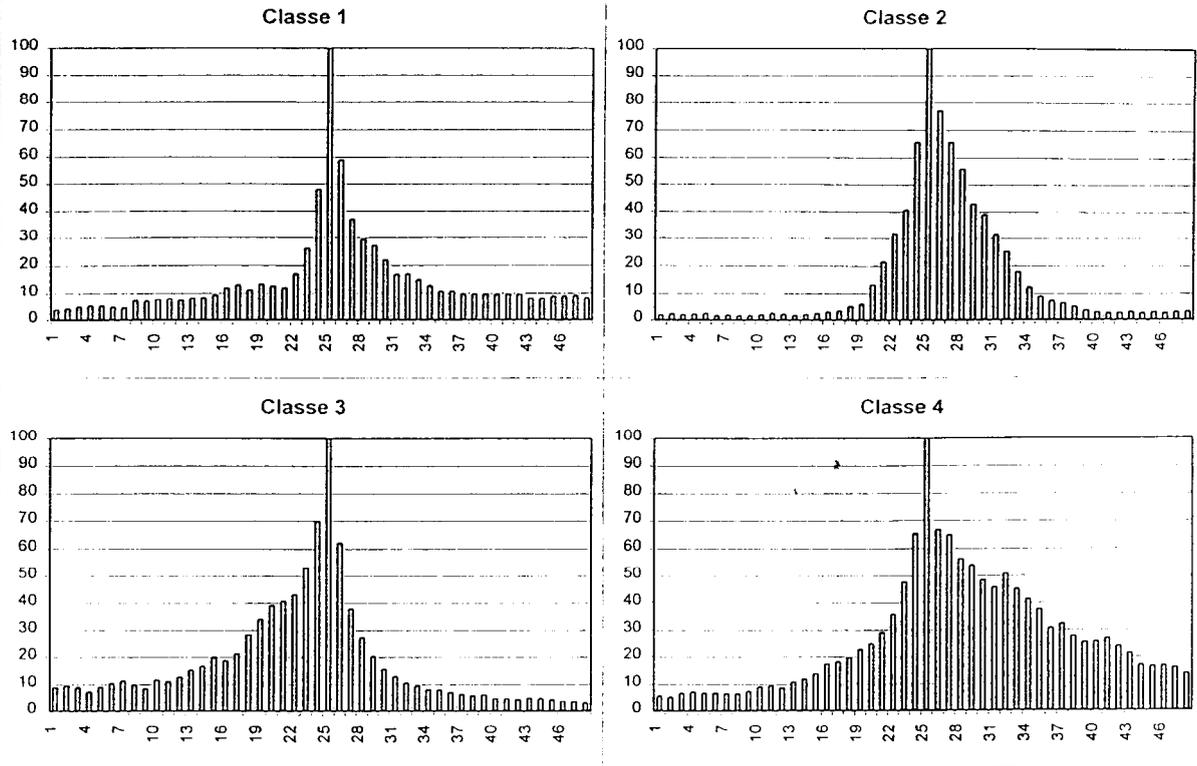


FIGURE 4.4: Classification des averses d'intensité maximale sur 60 minutes, ajustées par rapport à l'intensité maximale.

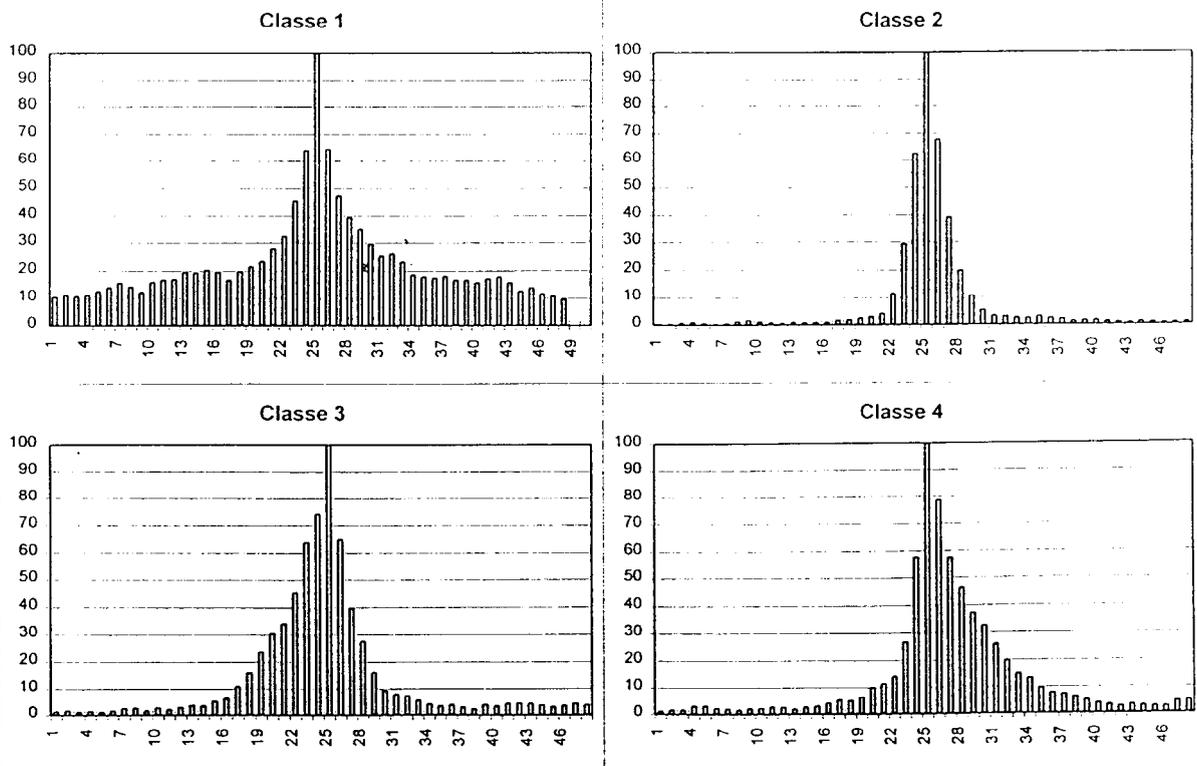


FIGURE 4.5: Classification des averses d'intensité maximale sur 15 minutes, ajustées par rapport à l'intensité maximale.

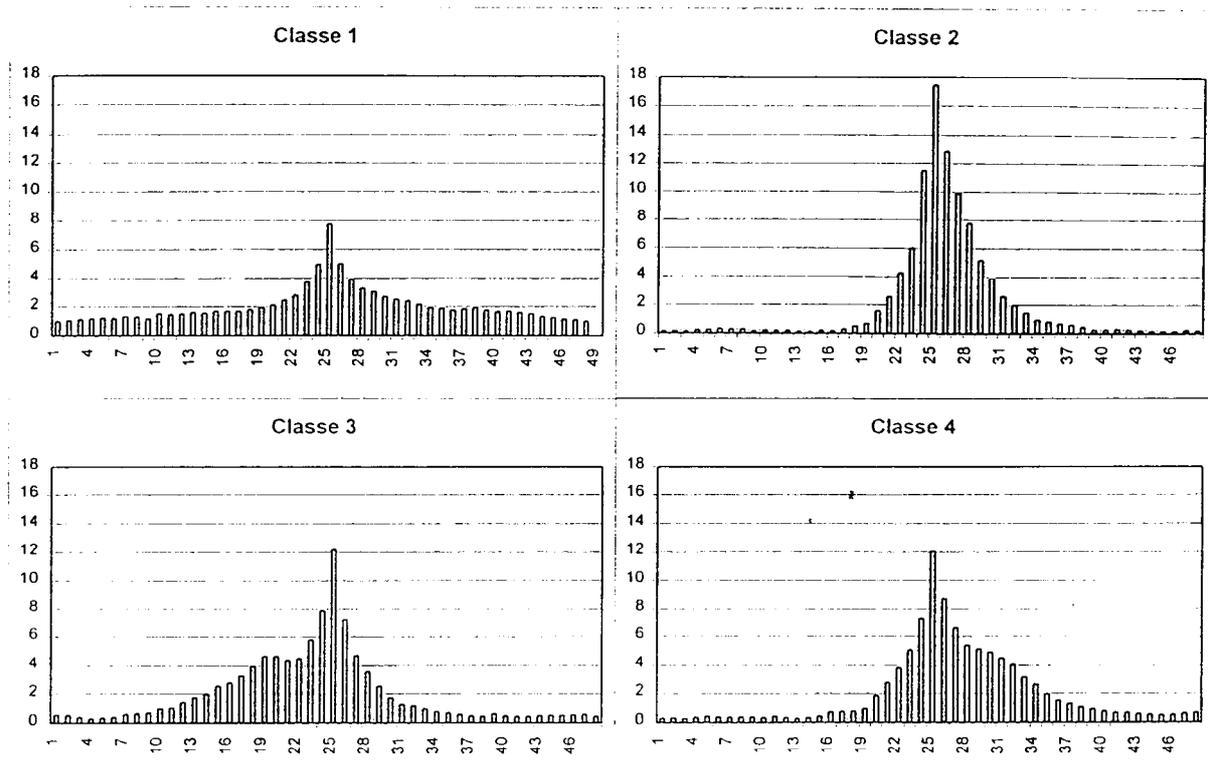


FIGURE 4.6: Classification des averses d'intensité maximale sur 60 minutes, ajustées par rapport au volume précipité.

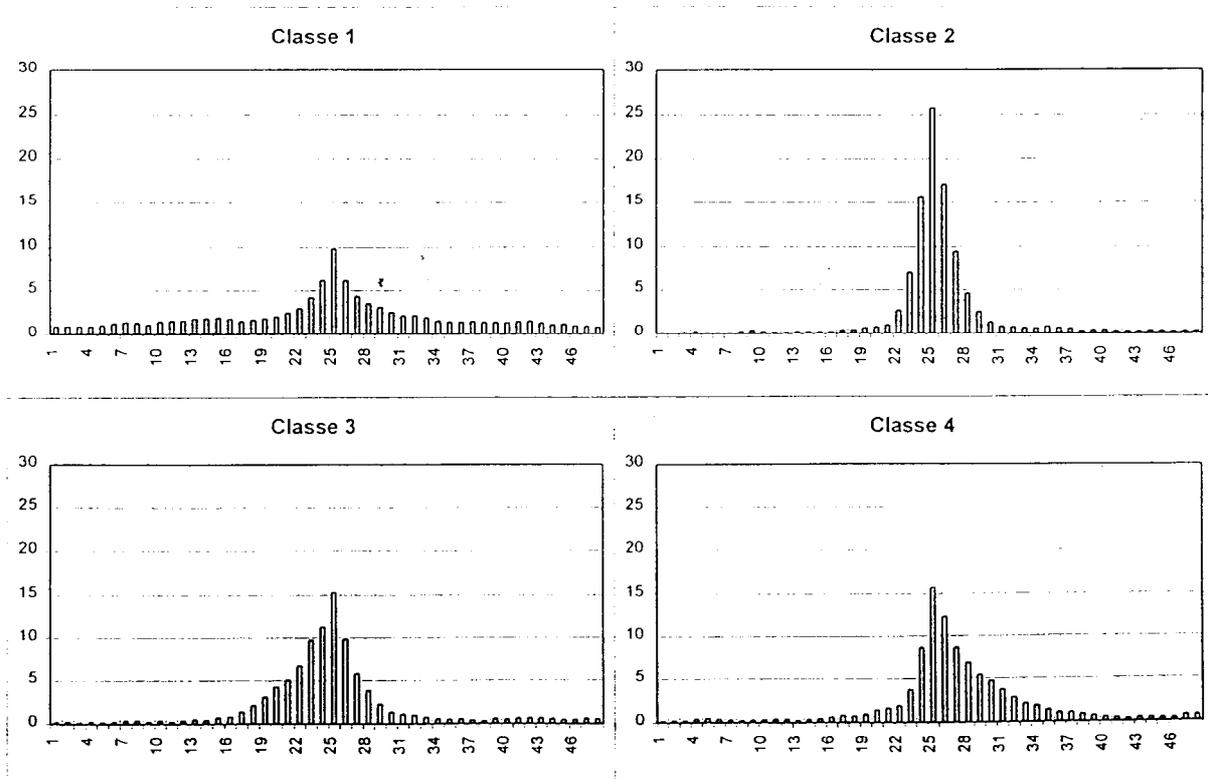


FIGURE 4.7: Classification des averses d'intensité maximale sur 15 minutes, ajustées par rapport au volume précipité.

Si ces 4 grands types de hyétogrammes sont ceux auxquels on pouvait s'attendre sans effectuer de manipulation aussi complexe, ils ont le mérite d'avoir été déterminés de manière statistique sur un grand nombre d'observations. On peut ainsi penser que leur forme est plus représentative de la réalité que toute autre fixée subjectivement.

A partir de ces résultats, pour obtenir les hyétogrammes correspondants à une intensité donnée, il faudra opérer un changement d'échelle de l'ordonnée en appliquant un facteur multiplicatif. Il faut par conséquent connaître le rapport entre l'intensité maximale sur 5 minutes et celle à laquelle on s'intéresse. Ces rapports et autres caractéristiques de classe sont données dans le tableau 4.3 ci-dessous :

Type	Classe N°	Fréq. %	I _{max} 5	I _{max} 15	I _{max} 30	I _{max} 60	I _{max} 120	I ₅ /I ₁₅	I ₅ /I ₃₀	I ₅ /I ₆₀	I ₅ /I ₁₂₀
Classification Intensité max. sur 60 mn ajust. I max	Classe 1	26	100	207	301	414	551	0.483	0.333	0.241	0.181
	Classe 2	28	100	243	407	597	689	0.412	0.246	0.168	0.145
	Classe 3	31	100	232	369	557	732	0.431	0.271	0.180	0.137
	Classe 4	14	100	232	408	687	1029	0.431	0.245	0.146	0.097
Classification Intensité max. sur 15 mn ajust. I max	Classe 1	33	100	228	361	537	775	0.438	0.277	0.186	0.129
	Classe 2	22	100	230	319	357	383	0.434	0.314	0.280	0.261
	Classe 3	18	100	239	388	536	607	0.418	0.258	0.187	0.165
	Classe 4	27	100	236	378	512	604	0.423	0.265	0.195	0.166
Classification Intensité max. sur 60 mn ajust. Volume	Classe 1	34	8	18	29	44	67	0.437	0.271	0.174	0.116
	Classe 2	21	17	42	65	86	95	0.417	0.266	0.202	0.184
	Classe 3	22	12	27	42	67	87	0.447	0.289	0.183	0.140
	Classe 4	23	15	36	59	79	89	0.421	0.261	0.193	0.172
Classification Intensité max. sur 15 mn ajust. Volume	Classe 1	33	10	22	34	49	70	0.444	0.288	0.199	0.140
	Classe 2	22	26	59	80	89	95	0.440	0.323	0.290	0.271
	Classe 3	18	15	36	59	79	89	0.421	0.261	0.193	0.172
	Classe 4	27	16	37	58	77	90	0.428	0.272	0.205	0.175

TABLEAU 4.3 : Caractéristiques des barycentres de classes.

Cependant dans certain cas, il y aura lieu de borner l'intensité maximale sur 5 minutes, voire sur 15 mn et 30 mn, à l'intensité correspondante à la période de retour fixée pour le pas de temps considéré. Par exemple, si on veut représenter le hyétogramme de la Classe 1 (60mn, ajustement I max.), pour le poste Hitiaa P3, en prenant I₆₀ (T=20ans) =1027dmm, le I₅ correspondant sera égale à 1027*0.241=247, ce qui dépasse largement la période de retour 20 ans pour I₅ égale à 171. Par conséquent, on conseillera de borner I₅ à 171, et de vérifier le I₁₅ correspondant, dans notre cas 354 (=171/0.483), celui-ci est inférieur au I₁₅ (T=20 ans)=429. Les 76 dmm (=247-171) qu'il nous manque peuvent donc être rajoutés de part et d'autre de l'intensité maximale. Ainsi, dans certains cas, la forme des hyétogrammes doit être légèrement modifiée pour rester réaliste.

La figure 4.8 montre pour l'ensemble des averses étudiées la dispersion des rapports entre les intensités sur 5 minutes et les intensités sur des périodes supérieures, ainsi que l'évolution de la valeur moyenne reliée par une fonction puissance à l'intensité de période supérieure. Ceci est donné à titre indicatif afin de pouvoir déterminer immédiatement à partir du tableau 4.3 quel hyétogramme devra être borné ou non. Si on effectue les mêmes rapports sur les différentes intensités correspondant à des périodes de retour fixé (Tableaux 2.2 à 2.4), tel que par exemple I₅ (T=20)/I₆₀ (T=20), on se situe en général au-dessus de la courbe puissance moyenne. Cela signifie bien que ce rapport (I₅(T)/ I_(N>5)(T)) est la limite supérieure à considérer puisqu'en moyenne à une intensité de période de retour T donnée sur N mn correspondra une intensité sur M<N minutes de période de retour inférieure T.

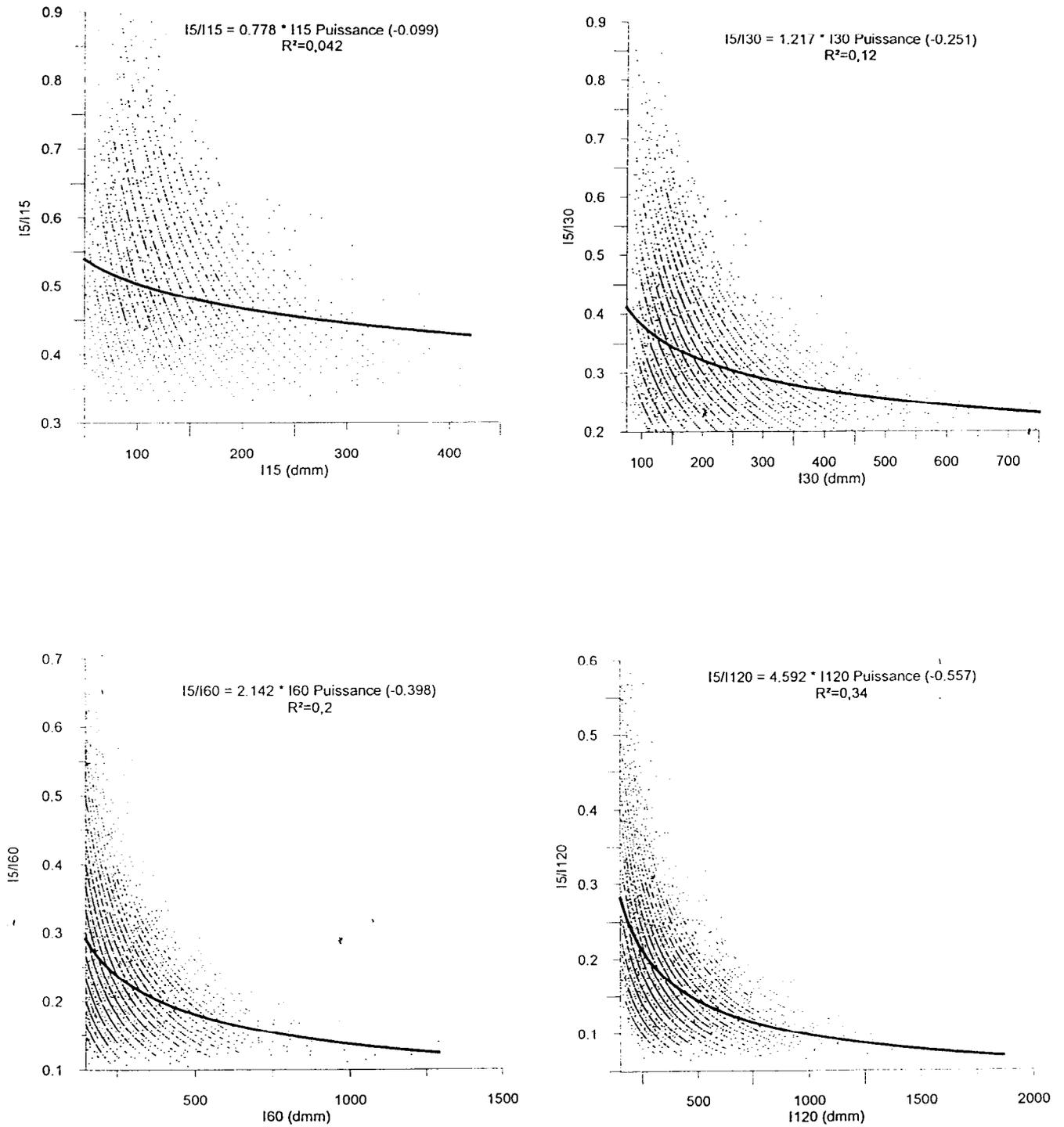


FIGURE 4.8: Rapport entre les intensités sur 5 mn (I5) et les intensités de périodes supérieures, évolution du rapport moyen en fonction de la valeur de l'intensité de pas de temps supérieur.

CONCLUSION

Cette étude constitue une première avancée des connaissances relatives à l'aléa pluviographique à Tahiti. Les principaux produits de ce travail sont :

- Une banque de données actualisée et critiquée rassemblant l'information pluviographique d'une vingtaine de postes, représentant au minimum 2 années d'observations.
- Les ajustements aux lois statistiques et les tableaux des Intensités-Durées-Fréquences pour l'ensemble des stations d'observations.
- Une étude de l'organisation spatiale de l'aléa pluviométrique en relation avec l'environnement topographique. Celle-ci a notamment mis en évidence les principaux facteurs intervenant dans la détermination du risque et permis la cartographie de l'aléa pour l'ensemble de Tahiti et pour les différentes intensités.
- Une étude des caractéristiques d'averse qui présente les dynamiques les plus fréquentes des systèmes précipitants en différents points de l'île, ainsi que les formes les plus caractéristiques de l'ensemble des hyétogrammes observés.

A présent, les aménageurs disposent d'une quantité d'informations suffisante pour élaborer des pluies de projet réalistes tenant compte des caractéristiques physiques et géographiques propres à la région considérée.

Le Gradex et le paramètre de position de la loi de Gumbel peuvent être convenablement estimés en différents points de l'île. A partir des intensités ainsi calculées, les données sur les caractéristiques d'averses permettent la construction de différents types de hyétogrammes synthétiques réalistes. Enfin, les informations sur la dynamique des systèmes précipitants peuvent servir de base à la propagation de ces hyétogrammes sur l'ensemble de l'espace considéré.

Cependant, les modèles présentés n'ont pu être entièrement validés par manque de données. Il serait souhaitable d'équiper notamment le quart sud-ouest de Tahiti afin de pouvoir entreprendre dans quelques années une validation sérieuse de nos modèles. De même, le maintien des stations de longue durée est indispensable pour valider les estimations correspondant à des périodes de retour supérieures à 20 ans.

BIBLIOGRAPHIE

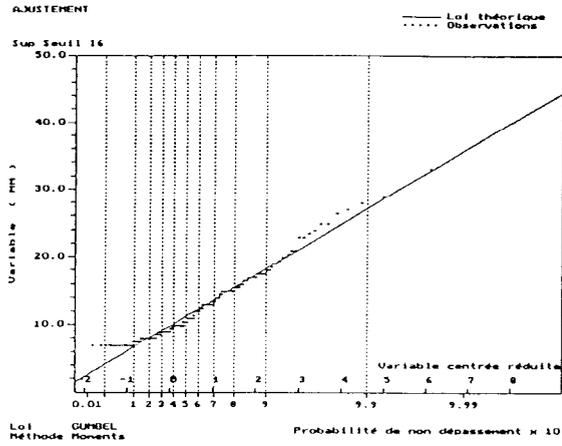
- BENICHOU P., LE BRETON O. (1987). Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie*, 7^{ème} série, n°19.
- CREUTIN J. D. (1979). Méthodes d'interpolation optimale de champ hydrométéorologiques. Comparaison et application à une série d'épisodes Cévenols. Thèse de Docteur-Ingénieur - USMG-INPG - Grenoble.
- DESUROSNE I., RIBOT-BRUNO J., WATREMEZ S., OBERLIN G. (1996). Guide pratique des données pluviographiques et des résultats d'un réseau préalpin, le TPG. Rapport Ceamagref : 115 p. + annexes.
- DESUROSNE I., OBERLIN G., RIBOT-BRUNO J. (1991). Intensités des pluies et zones à relief : premiers résultats sur un transect alpin de forte densité. In : *La Houille Blanche* n°5 : 365-371.
- FENELON J.P. (1981). Qu'est-ce que l'analyse de données. Ed. Lefonen, Paris, 311p.
- FERRY L. (1988). Contribution à l'étude des régimes hydrologiques de l'île de Tahiti. Thèse de doctorat, Univ. Paris Sud, 164p.+ annexes.
- FOURCADE B. (1996). Etude de la forme des hyetogrammes des lignes de grains en région sahéenne. DEA LTHE, Univ. Montpellier II : 55p
- GAUCHARD G., INCHAUSPE J. (1976). Le climat de la Polynésie. *La Météorologie*, n°6 S. Numéro spécial « Météorologie Tropicale » : 83-108.
- GIAMBELLUCA T., LAU S., FOK Y.,SCHROEDER T (1984). Rainfall frequency study for Oahu (Hawaii). Univ. Hawaii, report R-73 : 34p. + annexes.
- GUMBEL E.S. (1954). Statistical theory of extremes values and some practical applications. National bureau of standards. Applied mathematics Series 3.
- GIAMBELLUCA T., LAU S., FOK Y.,SCHROEDER T (1984). Rainfall frequency study for Oahu (Hawaii). Univ. Hawaii, report R-73 : 34p. + annexes.
- HUMBERT J., PERRON L., PÉRRIN J-L. (1994). Precipitation mapping in mountainous area comparison of two statistical models. In Proceedings of International Conference « Developpements in Hydrology of mountainous areas », UNESCO/FRIEND-AMHY, Hight Tatras, Slovakia 12-16/9/1994, 8p.
- HUMBERT J., PERRIN J-L. (1993). Précipitation et relief le cas oriental des Hautes Vosges. Griselin M. (ed.) « L'eau, la terre et les hommes », Presses Univ. Nancy, p147-154.
- LABORDE J.P. (1984). Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie : éléments d'hydrologie lorraine - thèse de doctorat - institut National Polytechnique de Lorraine.
- LEBEL (1984). Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant : estimation optimale, génération stochastique et gradex des valeurs extrêmes. Thèse de Docteur-Ingénieur, USMG- INPG Grenoble :323p + annexes.
- LUBES H., MASSON J-M., RAOUS P, TAPIAU M (1994). Safarhy, logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie. Manuel d'utilisation et manuel de référence. Ed. Orstom, laboratoire d'hydrologie :2 vol, 250p.

- MASSON J.M (1983). La loi de Gumbel. Univ. Montpellier II, Laboratoire d'Hydrologie Mathématique. LHM 13/1983 : 40p.
- MICHEL C., OBERLIN G. (1987). Seuil d'application de la méthode du Gradex. La Houille Blanche N°3 :199-203.
- NEPPEL L. (1997). Le risque pluvial en région Languedoc-Roussillon caractérisation de l'aléa climatique. Thèse de doctorat, Univ. Montpellier II, 238p +annexes.
- OBLED CH. (1979). Contribution à l'analyse des données en hydrométéorologie. La prévision des phénomènes accidentels et l'analyse des champs spatiaux. Thèse d'état, USMG - INPG, Grenoble.
- PASCAL R., GAUCHARD G. (1993). La climatologie dynamique. Atlas de la Polynésie Française. Ed. ORSTOM : pl. 22.
- SAS /STAT (1991). SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. Cary, NC : SAS institute Inc., 1988 :1028 p.
- TOURASSE P. (1981). Analyses spatiales et temporelles de précipitations et utilisation opérationnelle dans un système de prévision des crues. Thèse de Docteur - Ingénieur, USMG - INPG, Grenoble.

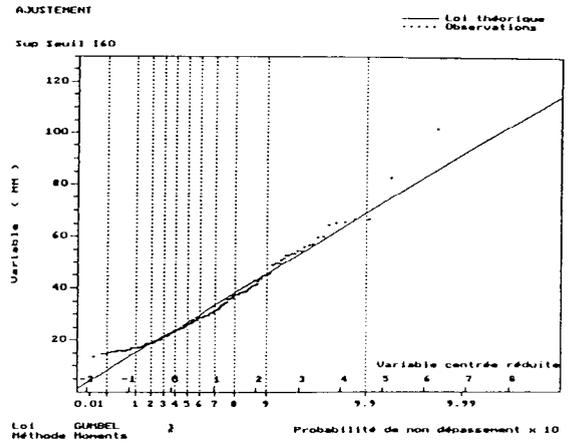
ANNEXES

Graphiques d'ajustements aux lois de probabilité pour les 22 stations pluviographiques et les différentes intensités.

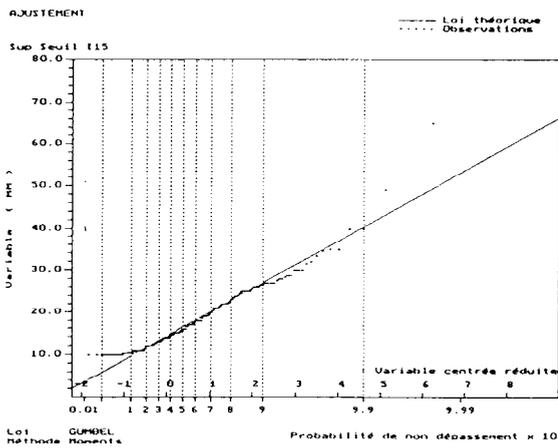
Intensité sur 6 minutes



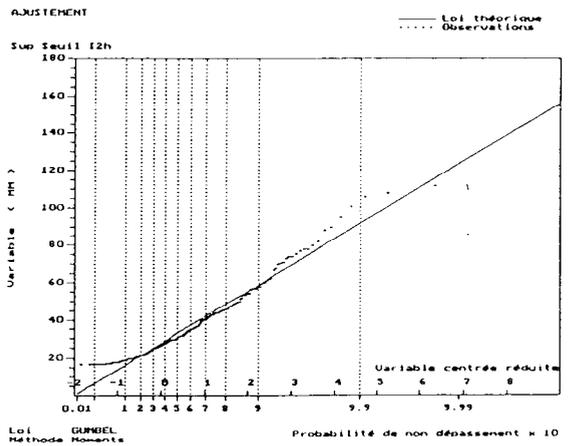
Intensité sur 1 heure



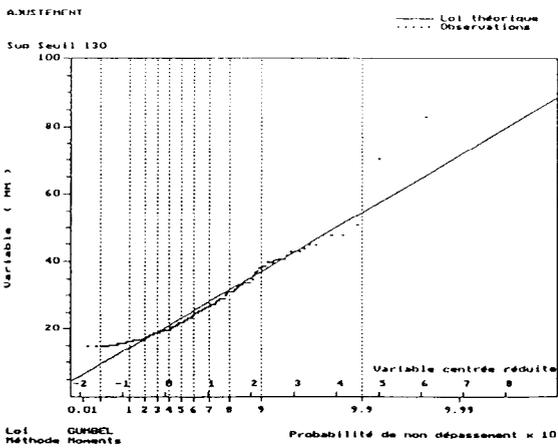
Intensité sur 15 minutes



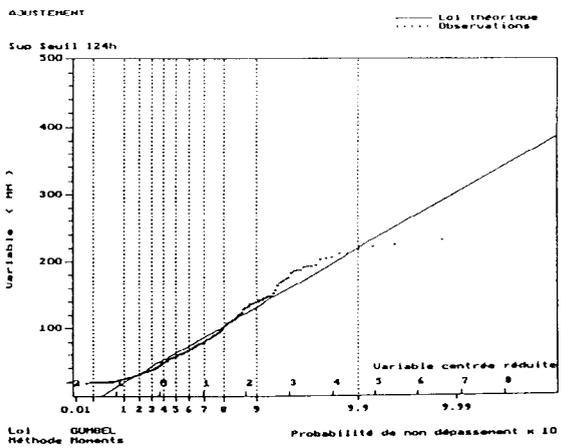
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

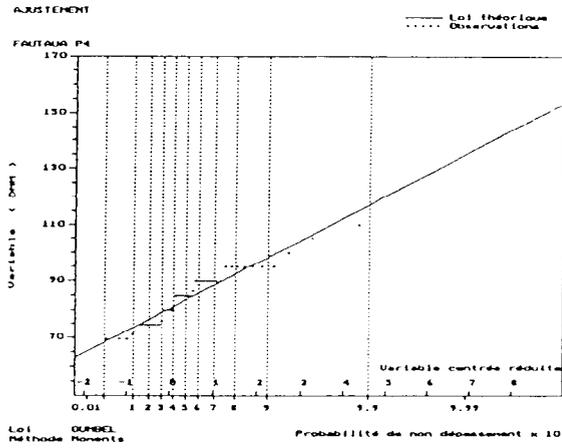


Intensité sur 24 heures

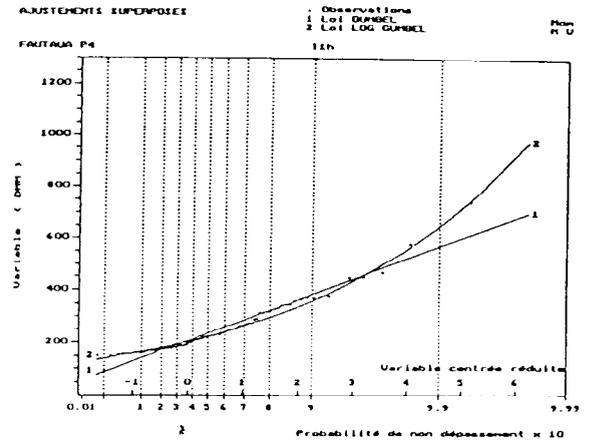


FAUTAU P4

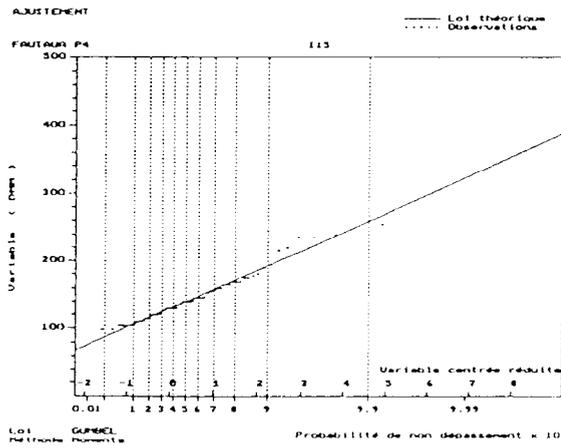
Intensité sur 5 minutes



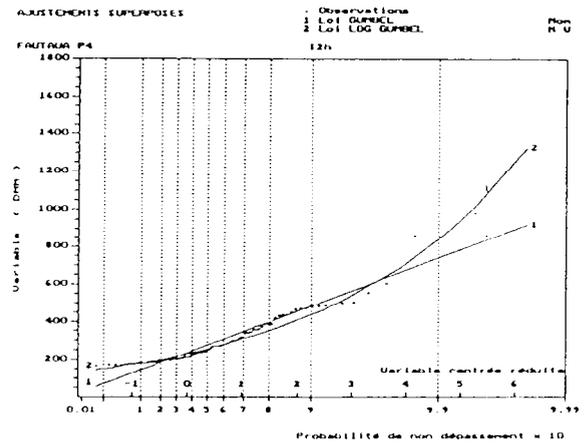
Intensité sur 1 heure



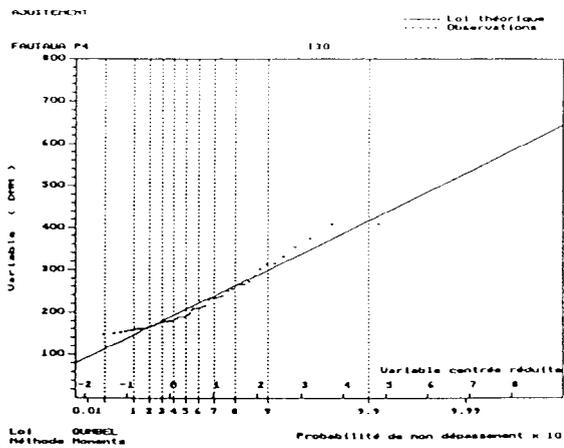
Intensité sur 15 minutes



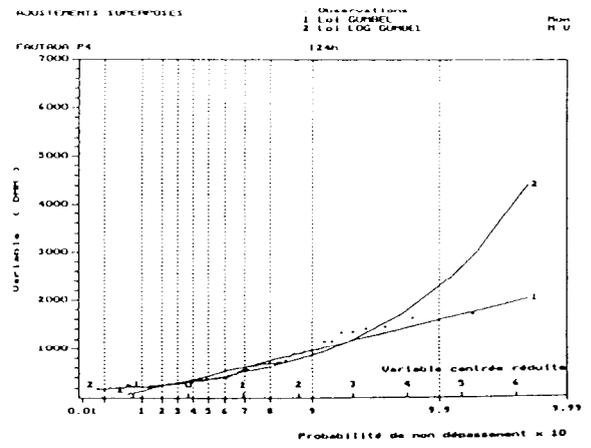
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

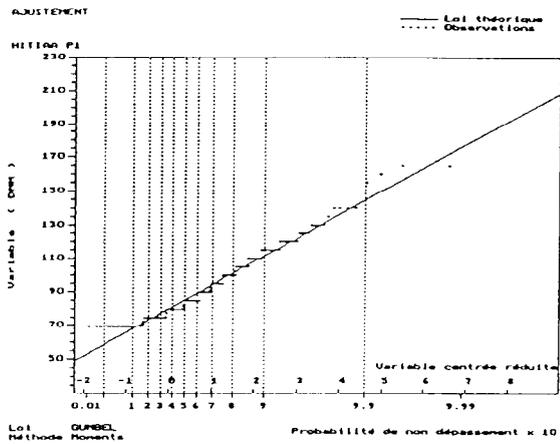


Intensité sur 24 heures

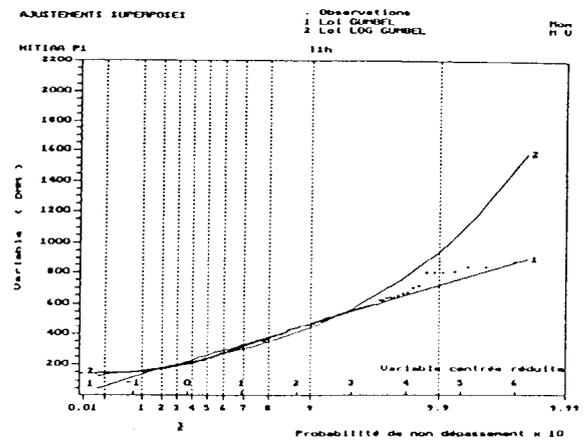


HITIAA P1

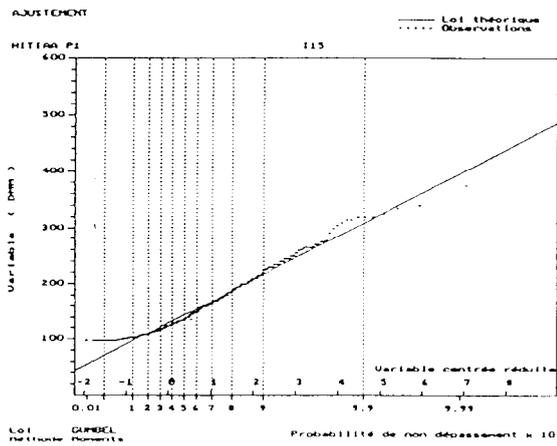
Intensité sur 5 minutes



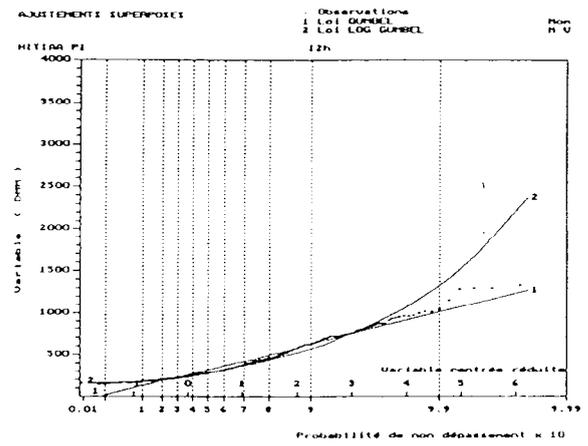
Intensité sur 1 heure



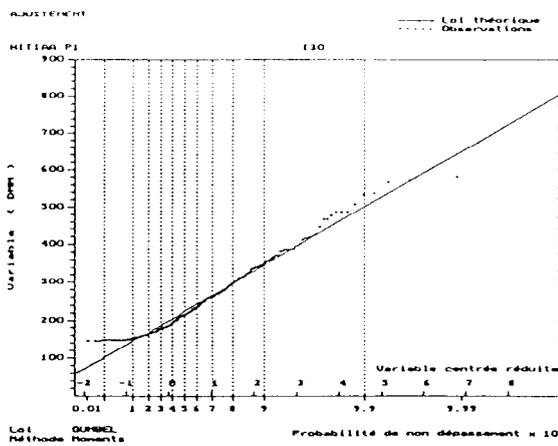
Intensité sur 15 minutes



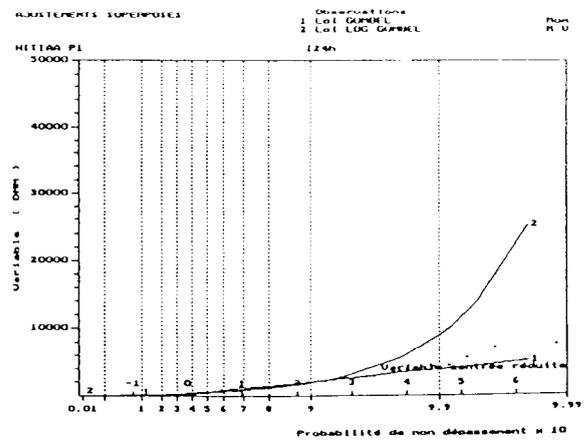
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

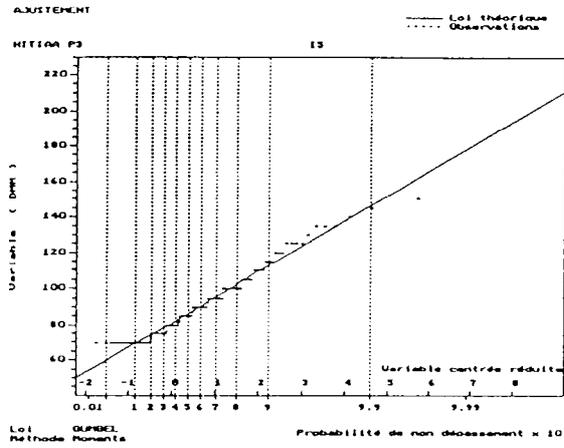


Intensité sur 24 heures

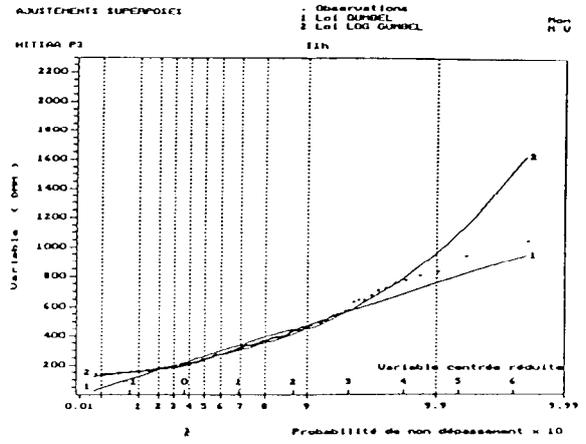


HITIAA P3

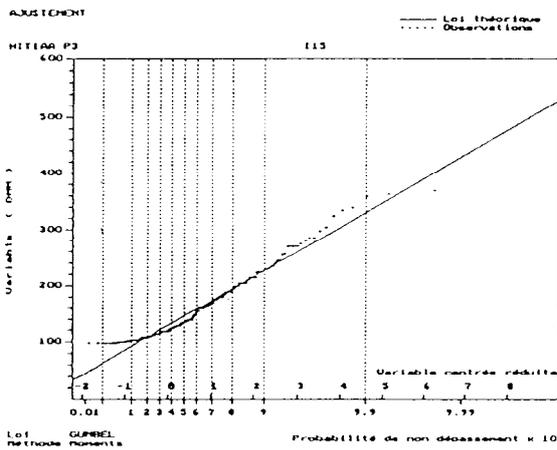
Intensité sur 5 minutes



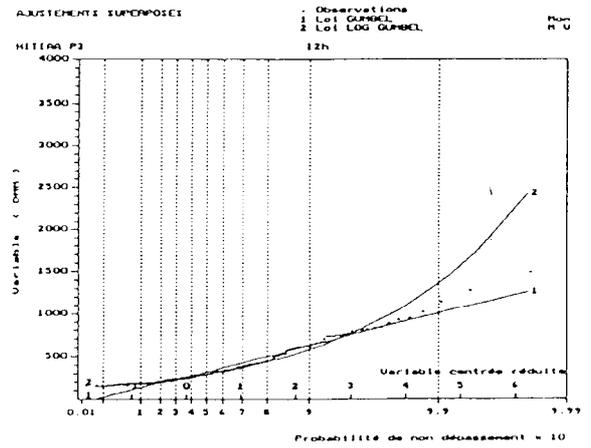
Intensité sur 1 heure



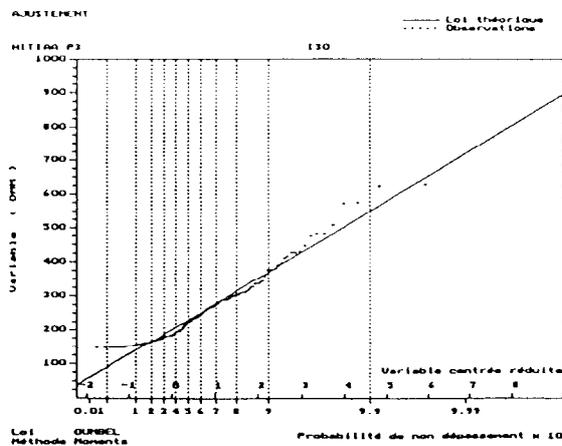
Intensité sur 15 minutes



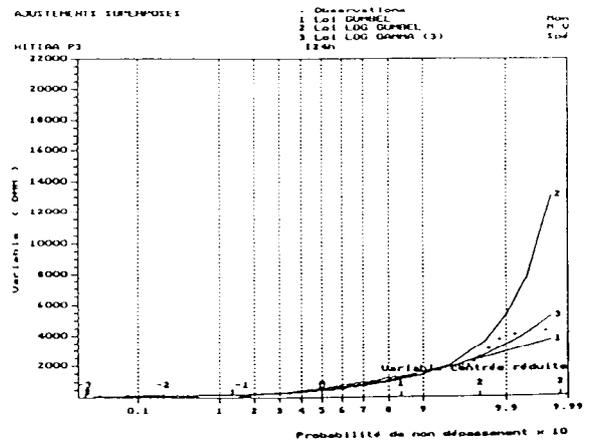
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

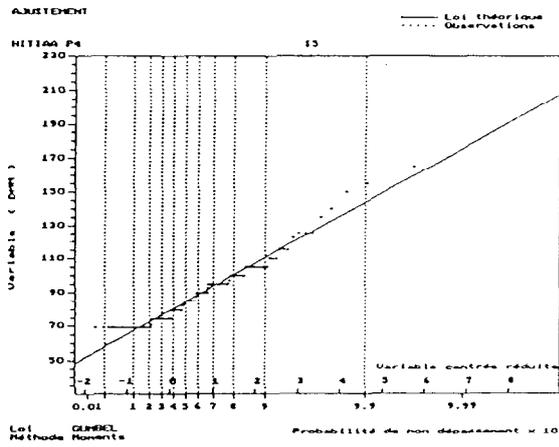


Intensité sur 24 heures

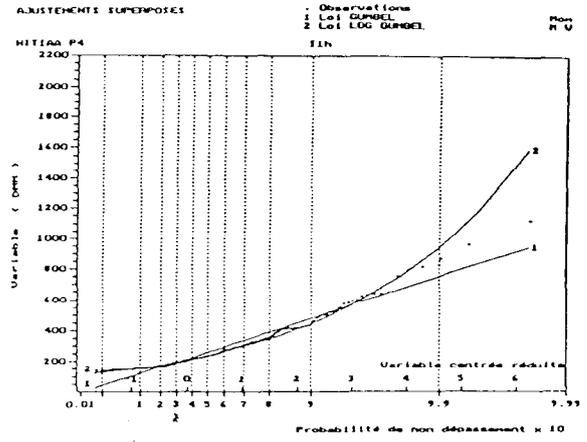


HITIAA P4

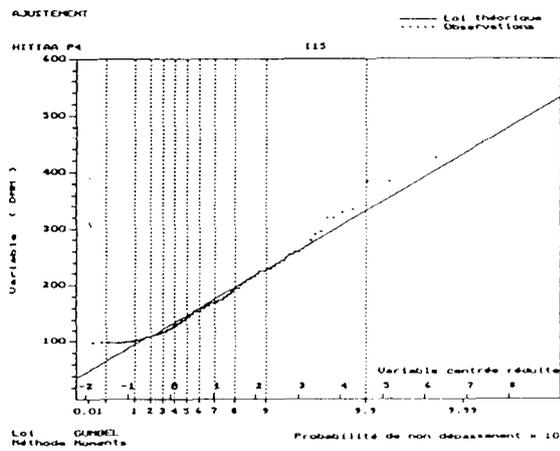
Intensité sur 5 minutes



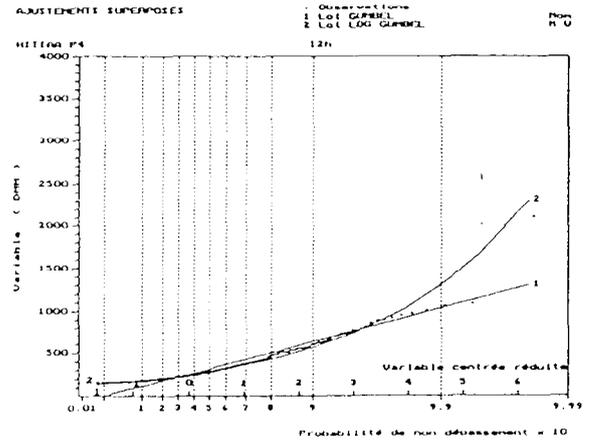
Intensité sur 1 heure



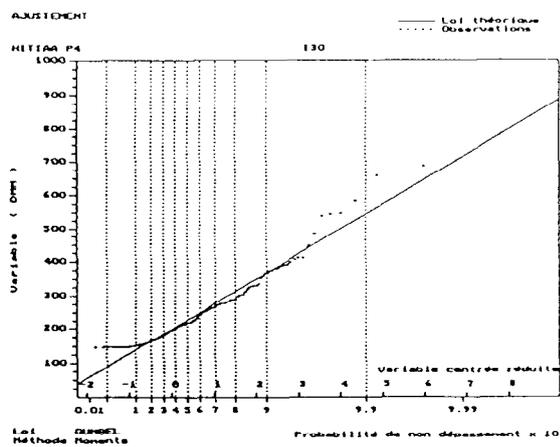
Intensité sur 15 minutes



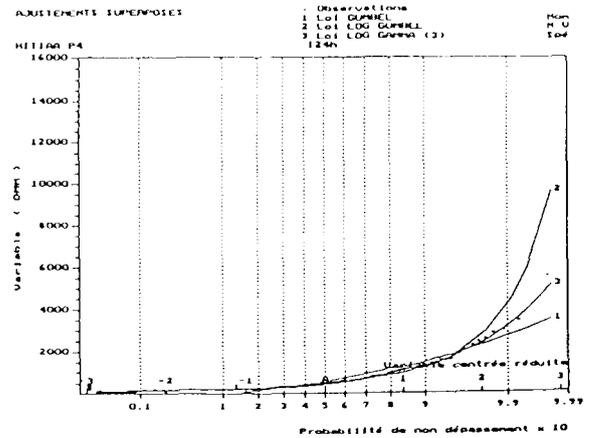
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

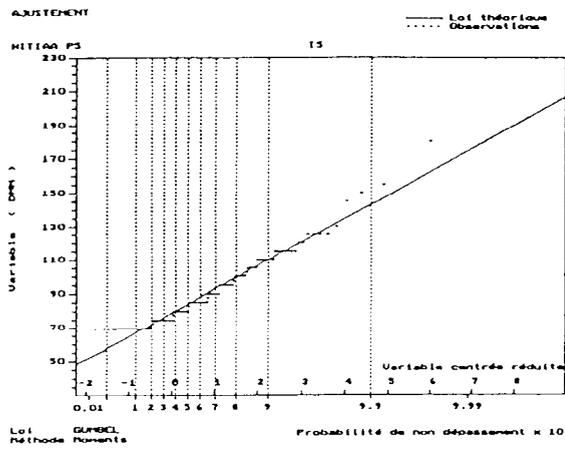


Intensité sur 24 heures

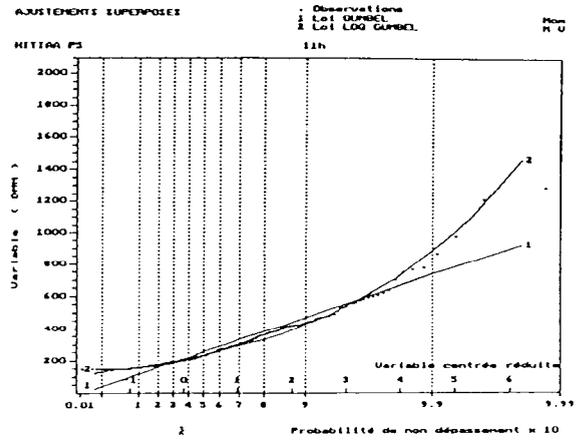


HITIAA P5

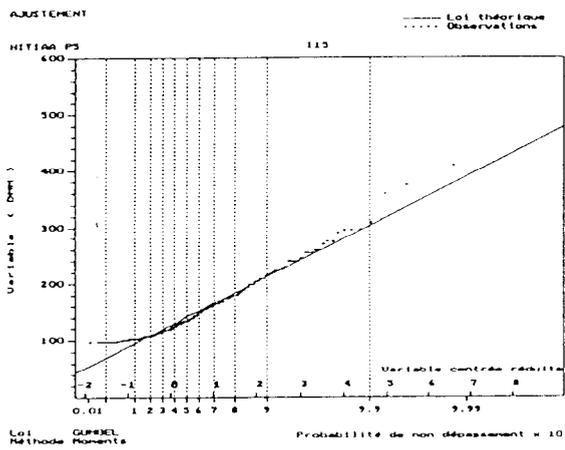
Intensité sur 5 minutes



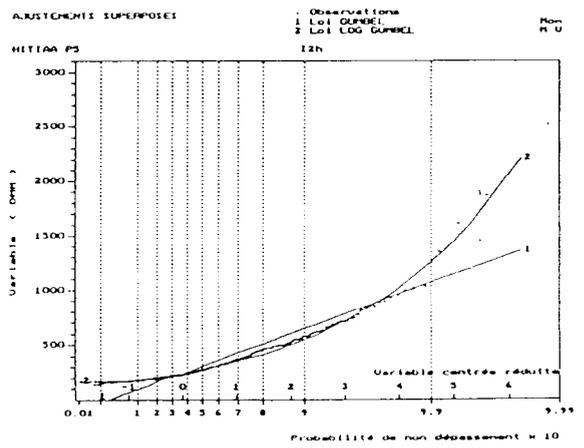
Intensité sur 1 heure



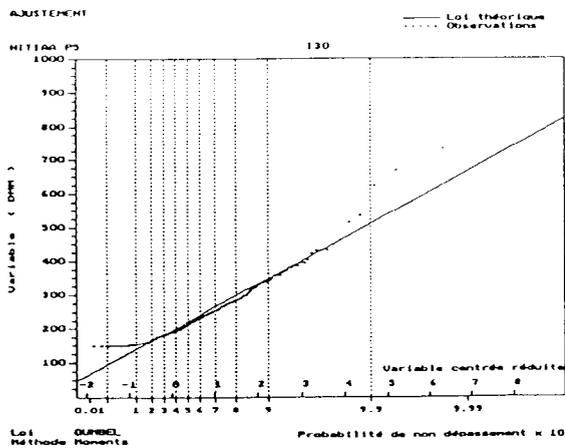
Intensité sur 15 minutes



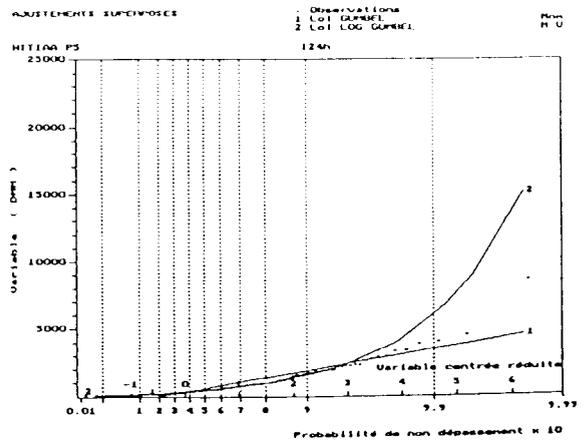
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

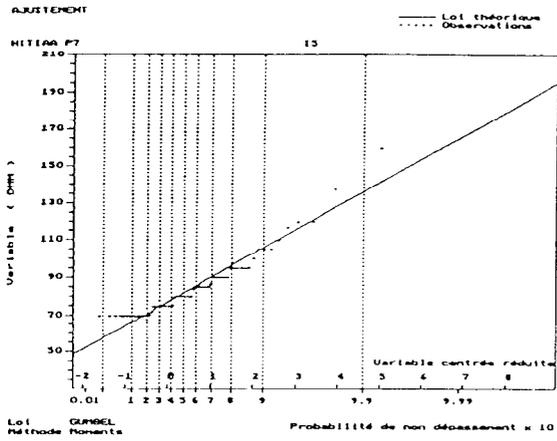


Intensité sur 24 heures

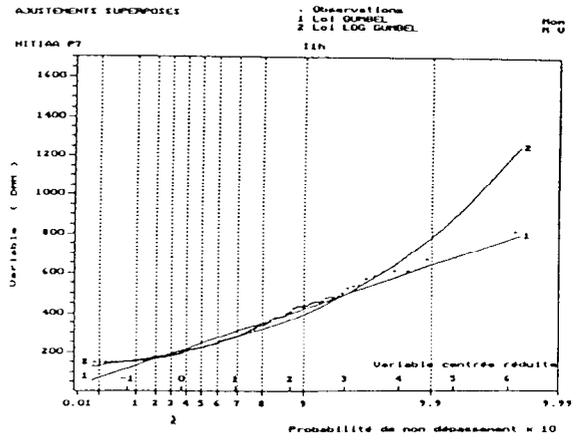


HITIAA P7

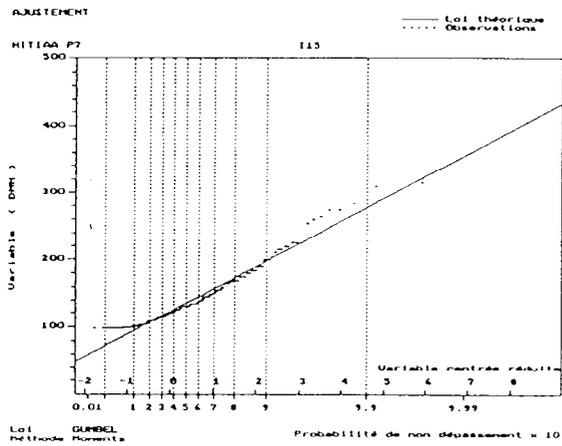
Intensité sur 5 minutes



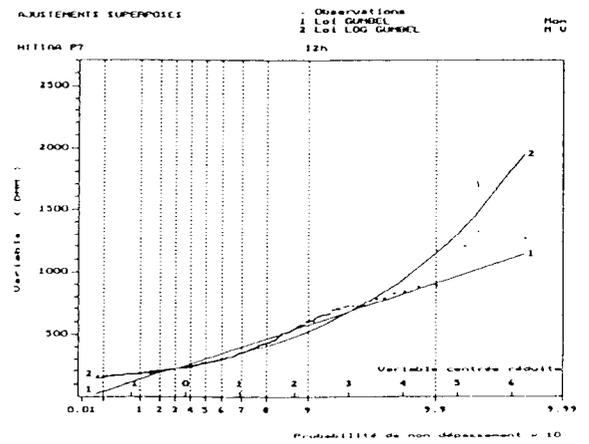
Intensité sur 1 heure



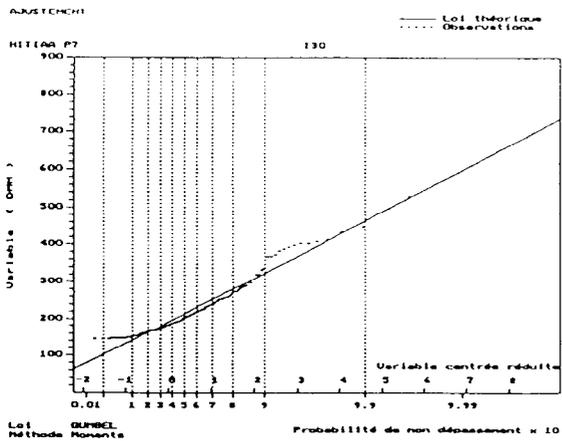
Intensité sur 15 minutes



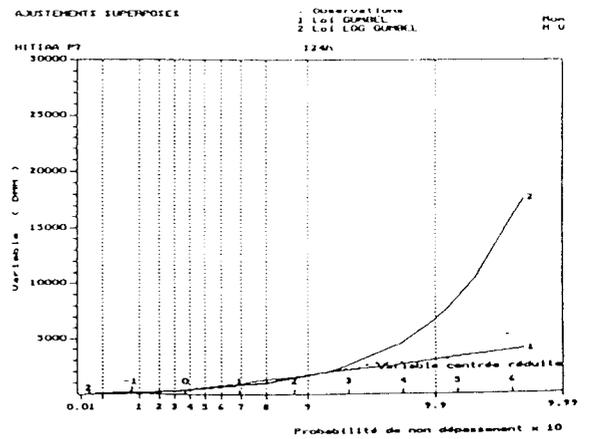
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes



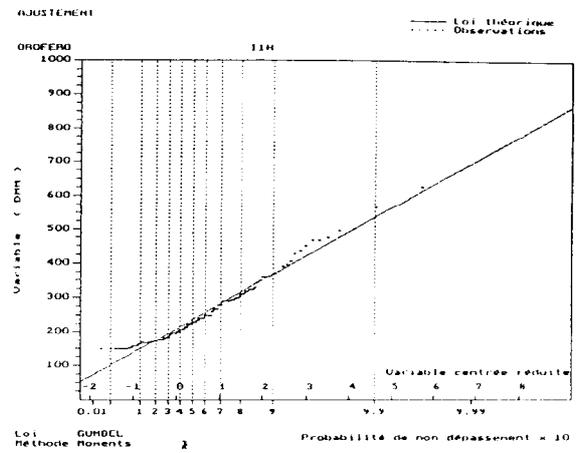
Intensité sur 24 heures



OROFERO P4

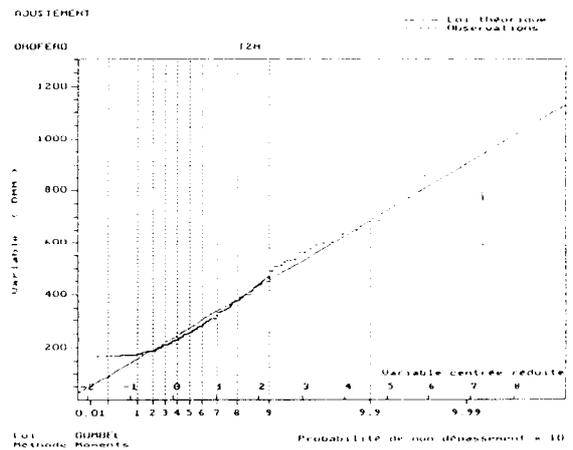
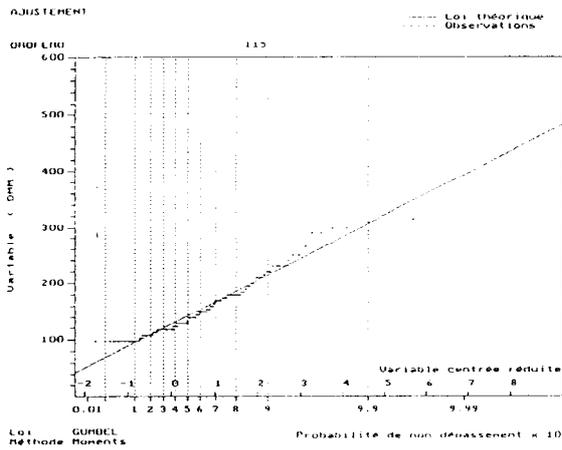
Intensité sur 5 minutes

Intensité sur 1 heure



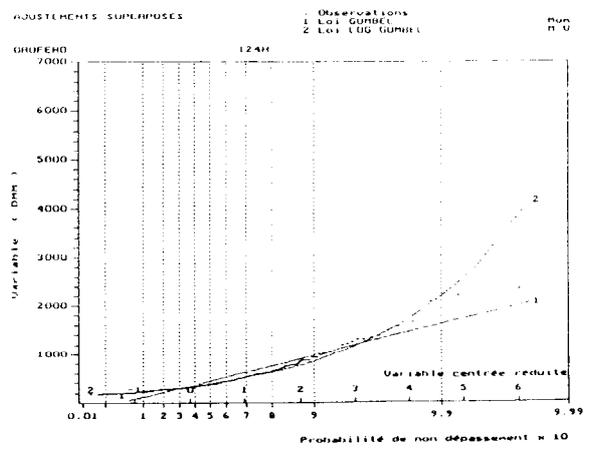
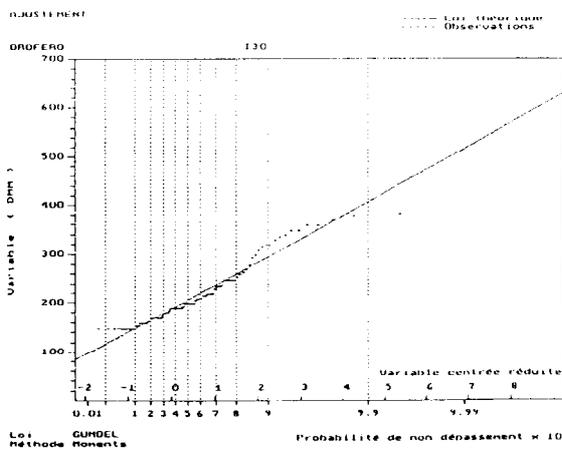
Intensité sur 15 minutes

Intensité sur 2 heures



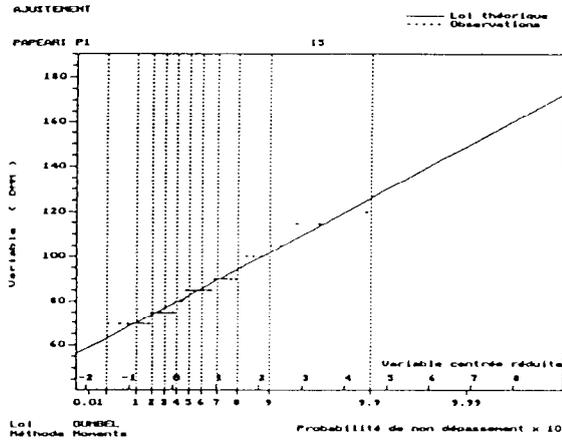
Intensité sur 30 minutes

Intensité sur 24 heures

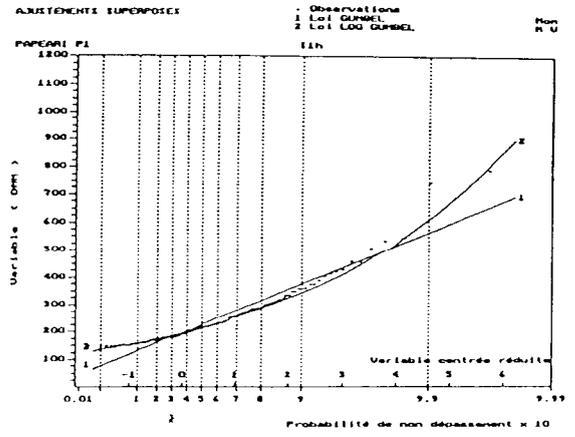


PAPEARI P1

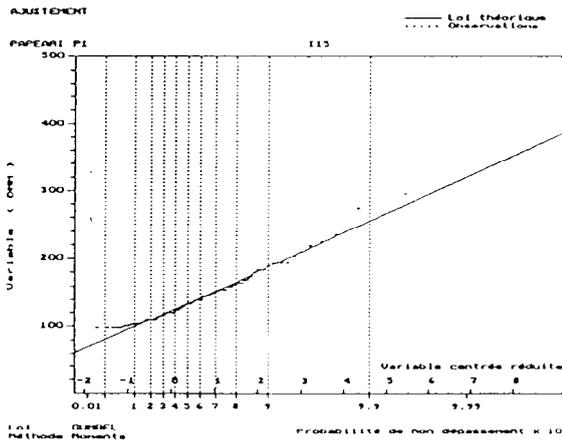
Intensité sur 5 minutes



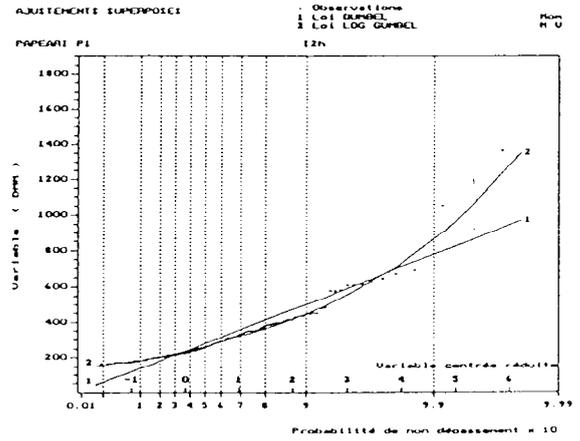
Intensité sur 1 heure



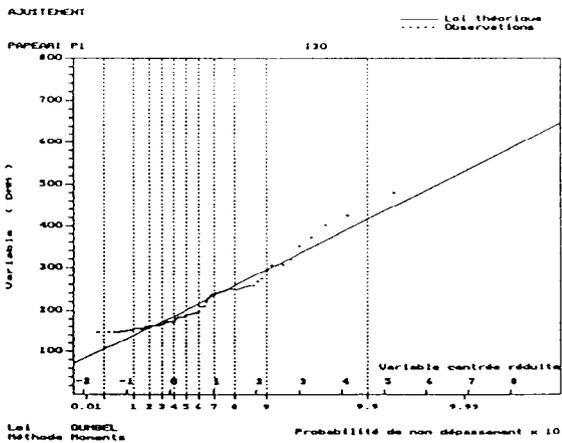
Intensité sur 15 minutes



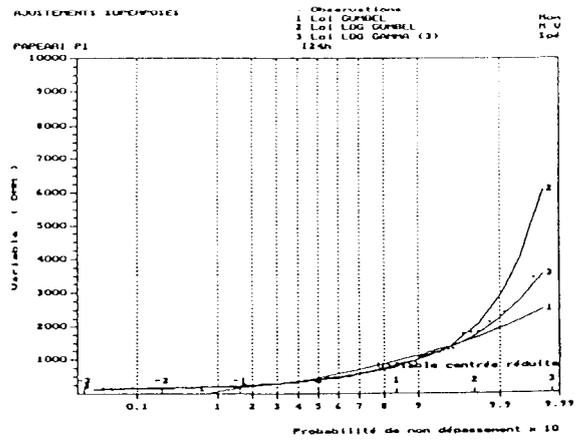
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

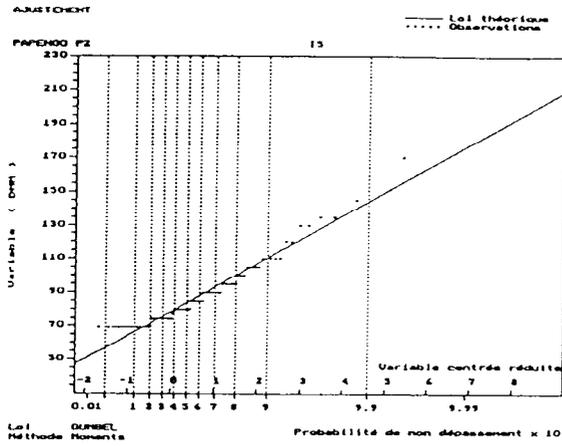


Intensité sur 24 heures

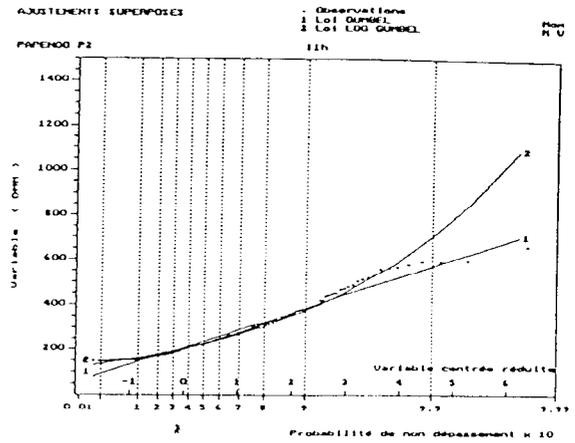


PAPENOO P2

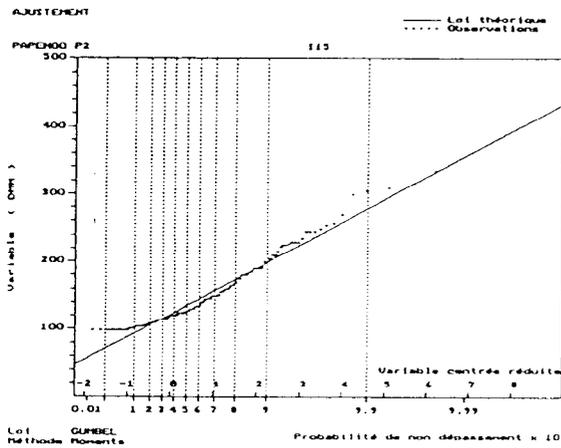
Intensité sur 5 minutes



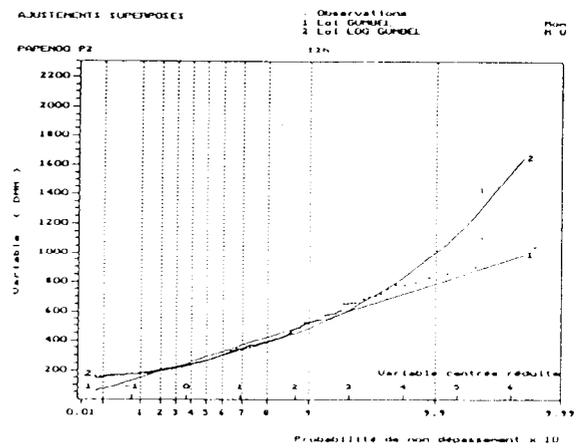
Intensité sur 1 heure



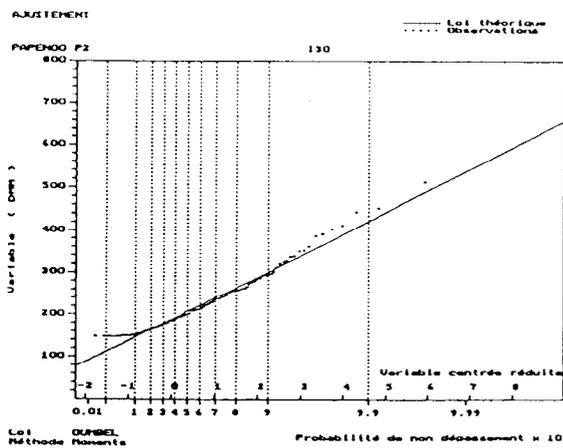
Intensité sur 15 minutes



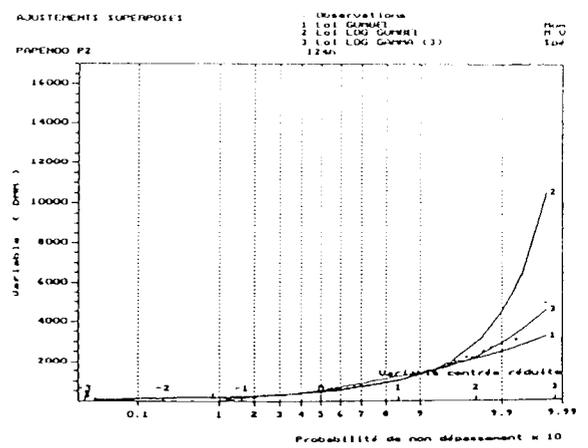
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

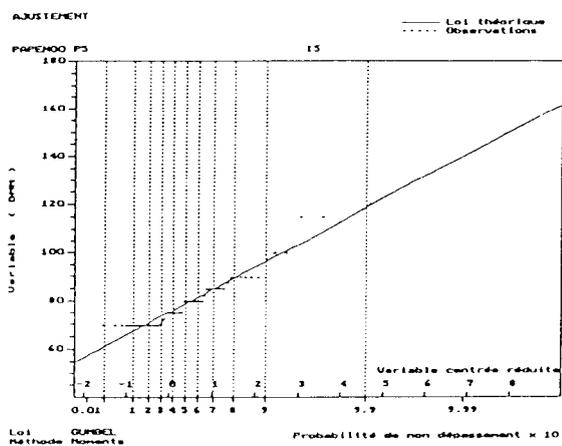


Intensité sur 24 heures

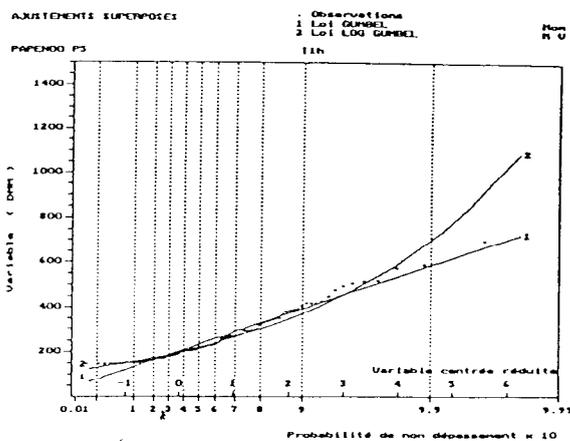


PAPENOO P5

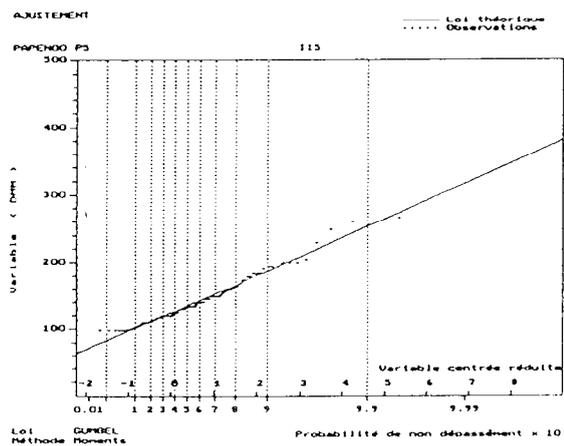
Intensité sur 5 minutes



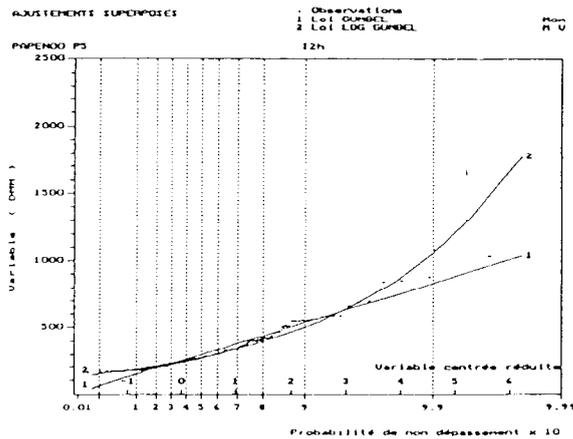
Intensité sur 1 heure



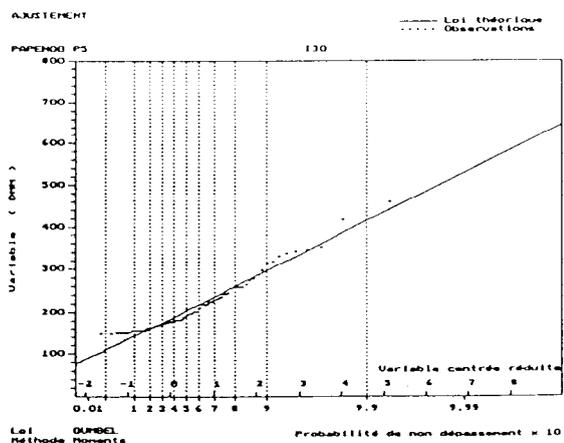
Intensité sur 15 minutes



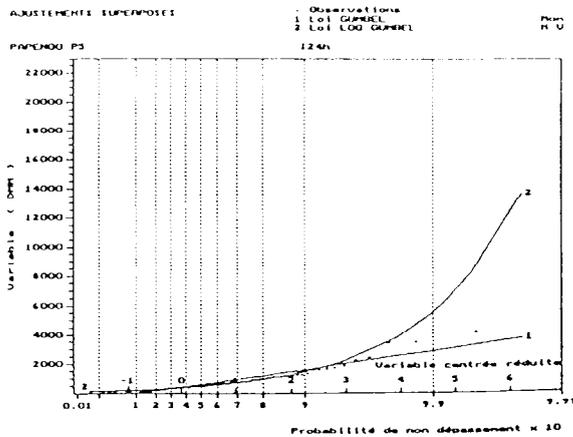
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

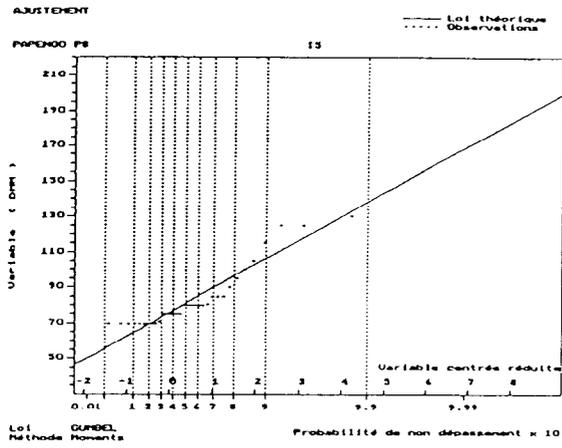


Intensité sur 24 heures

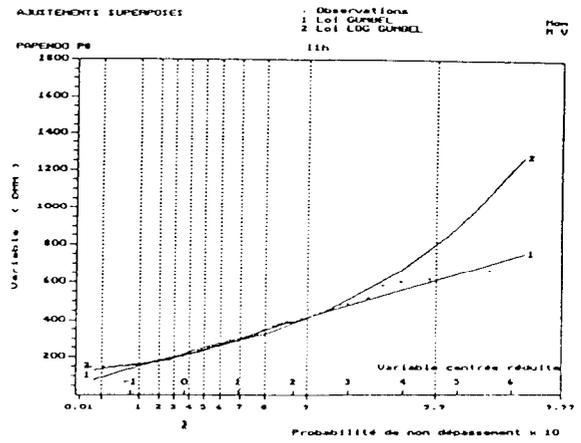


PAPENOO P8

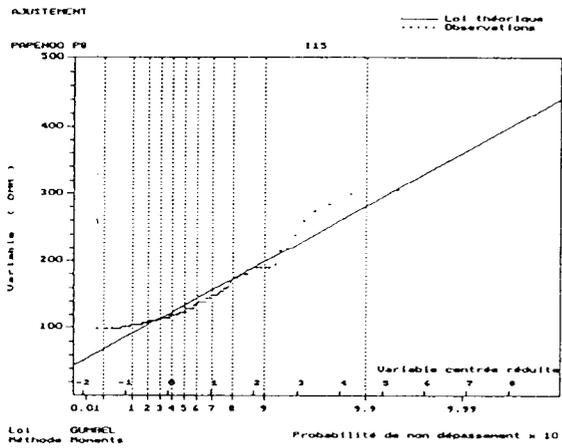
Intensité sur 5 minutes



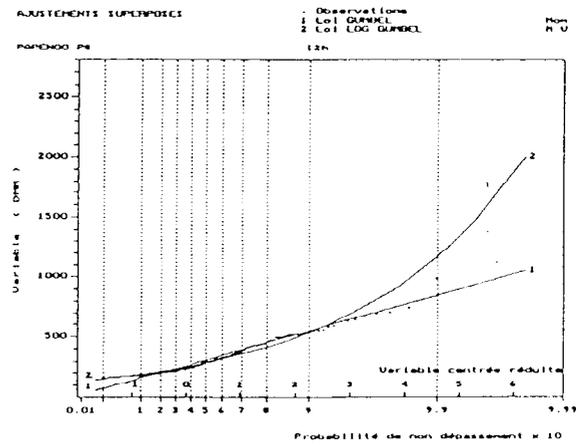
Intensité sur 1 heure



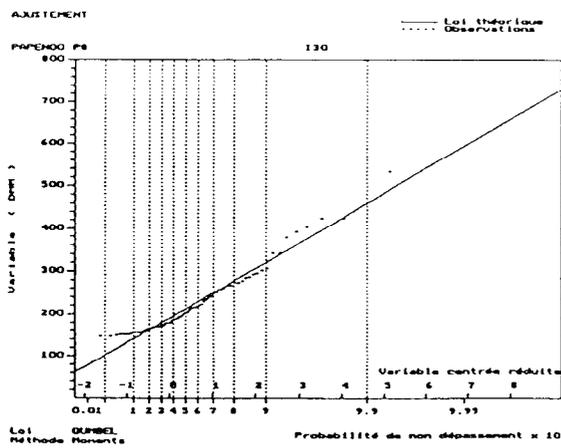
Intensité sur 15 minutes



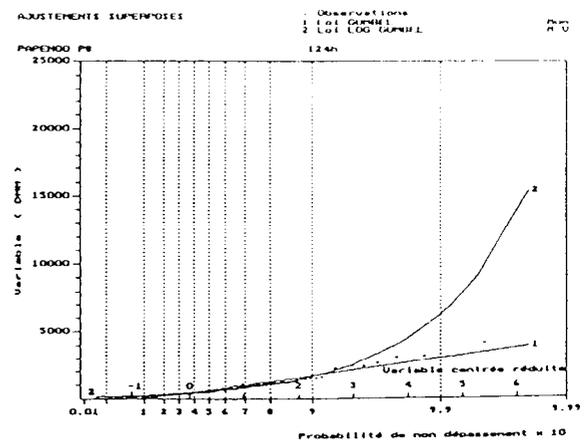
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

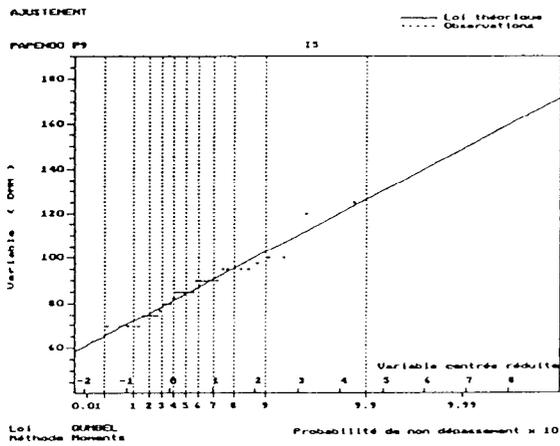


Intensité sur 24 heures

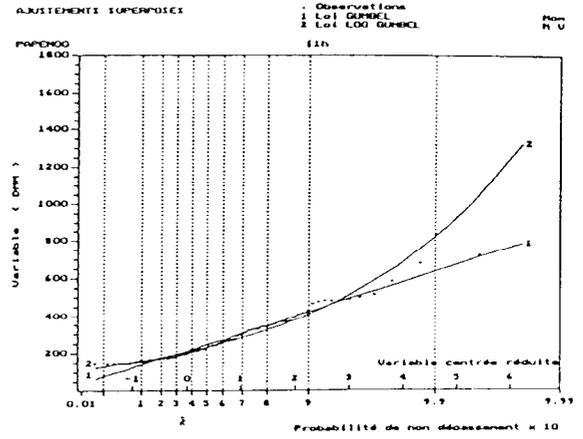


PAPENOO P9

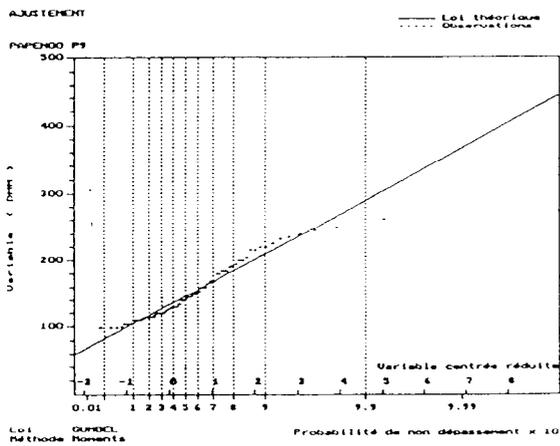
Intensité sur 5 minutes



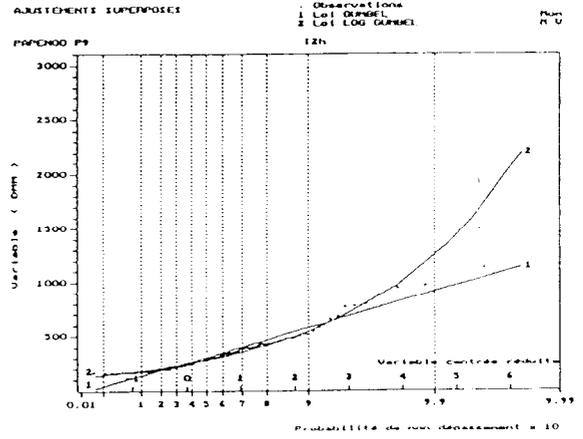
Intensité sur 1 heure



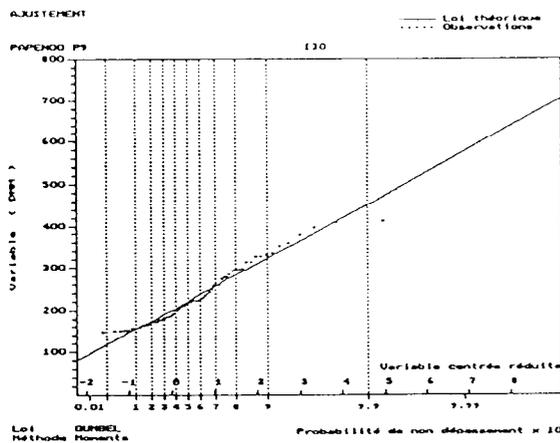
Intensité sur 15 minutes



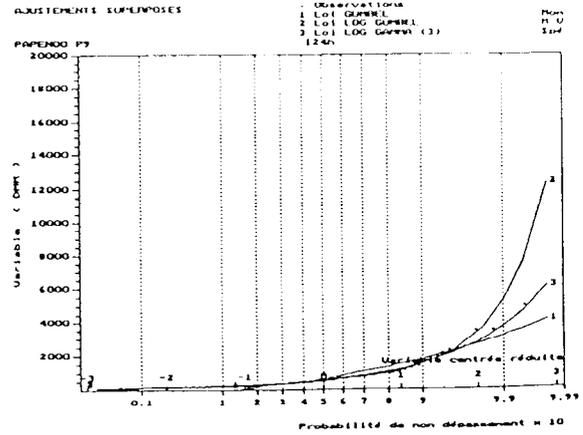
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

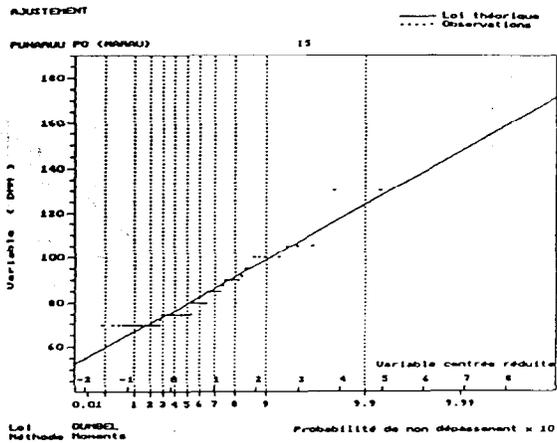


Intensité sur 24 heures

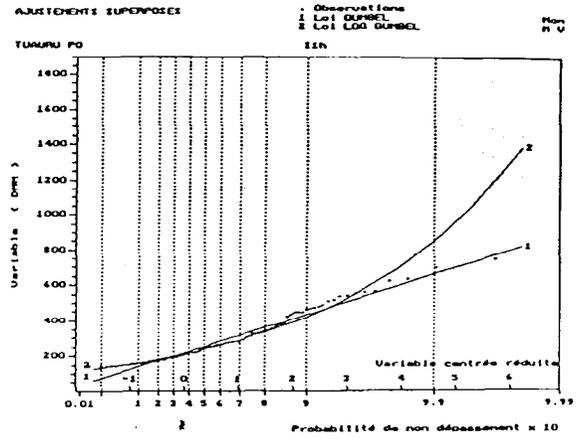


PUNARUU P0

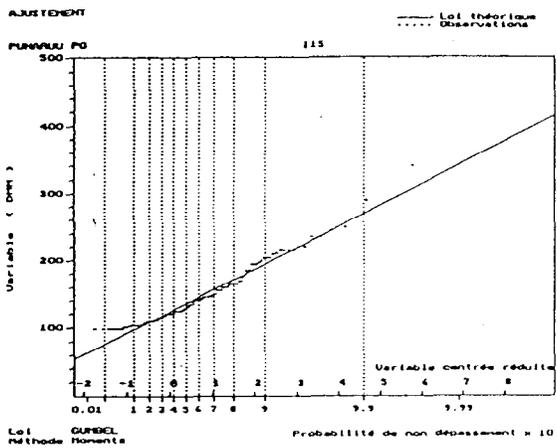
Intensité sur 5 minutes



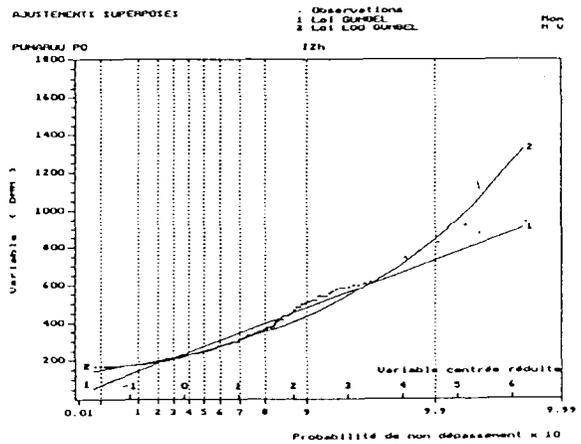
Intensité sur 1 heure



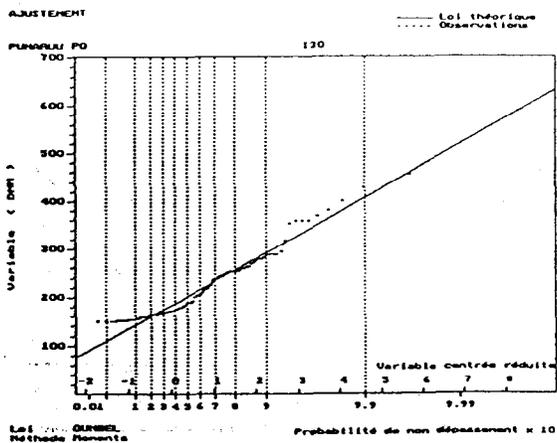
Intensité sur 15 minutes



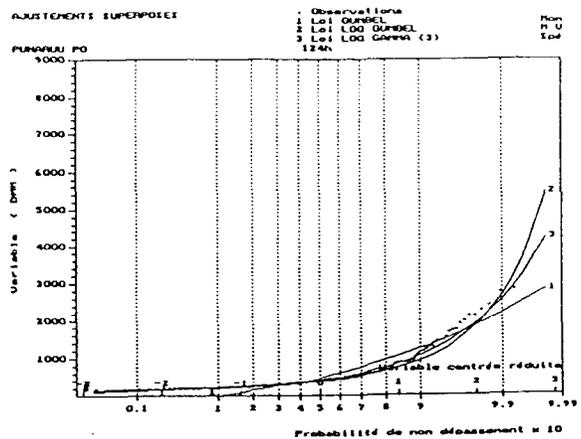
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

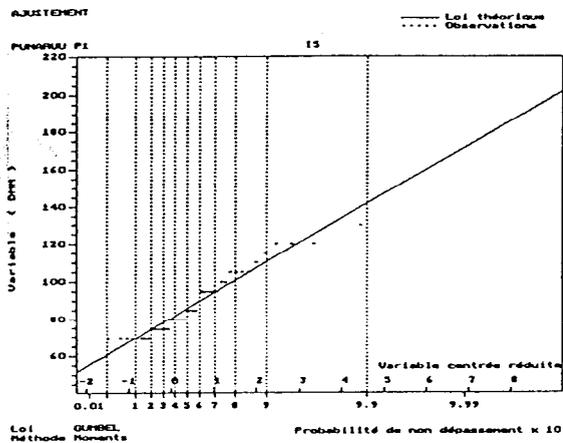


Intensité sur 24 heures

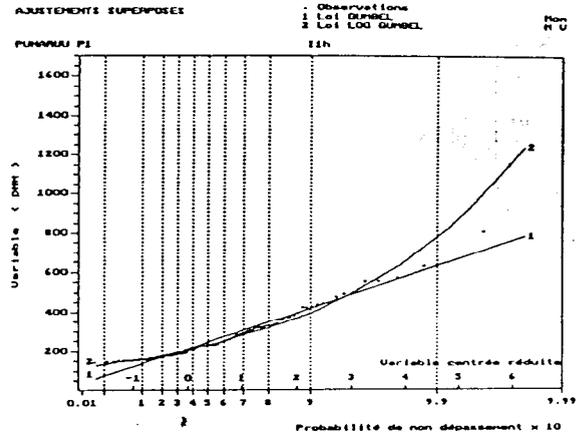


PUNARUU P1

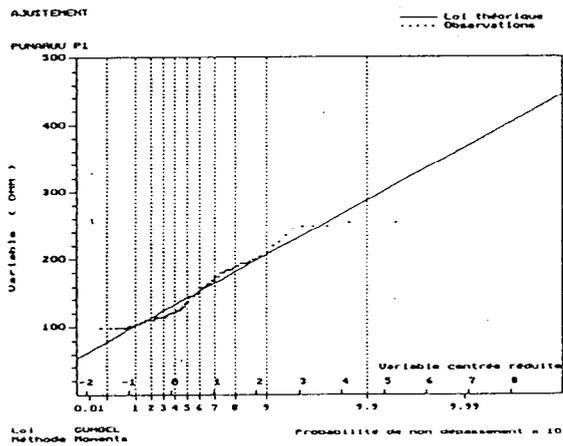
Intensité sur 5 minutes



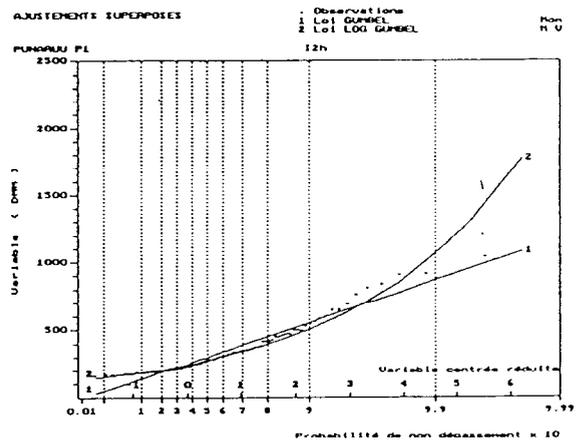
Intensité sur 1 heure



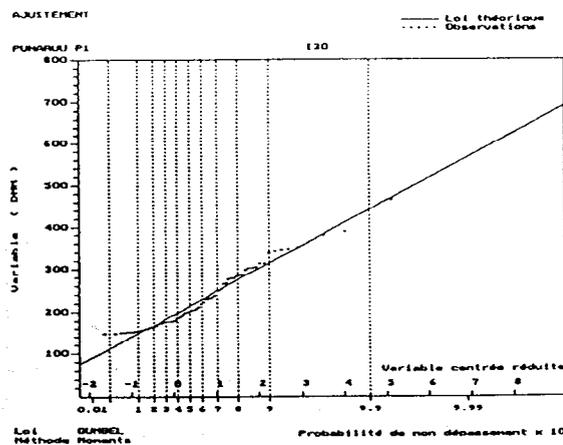
Intensité sur 15 minutes



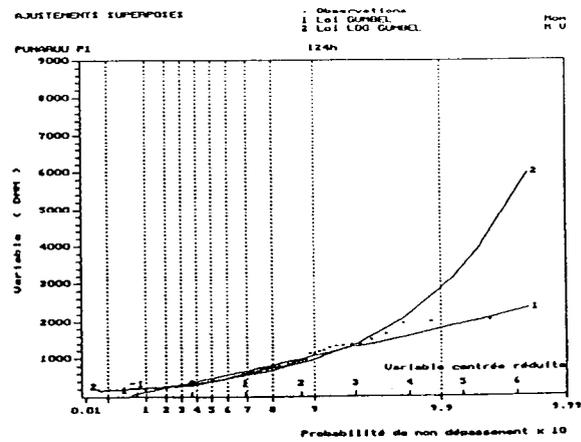
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

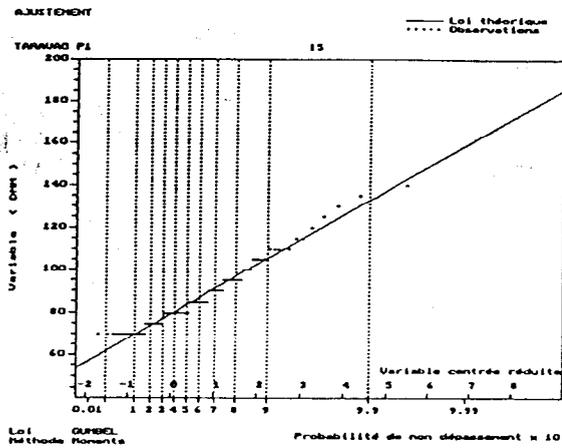


Intensité sur 24 heures

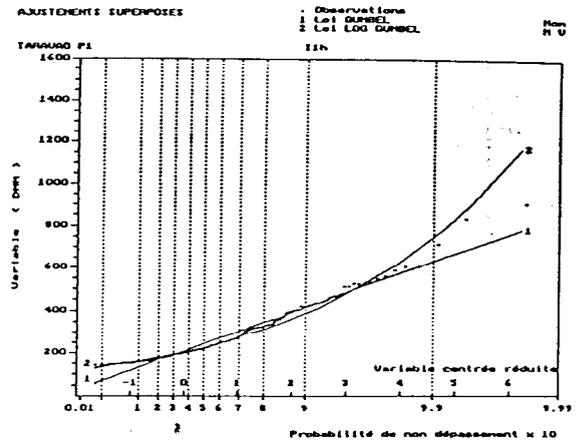


TARAVAO P1

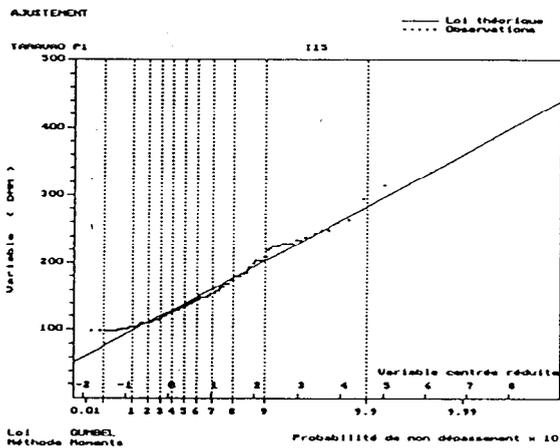
Intensité sur 5 minutes



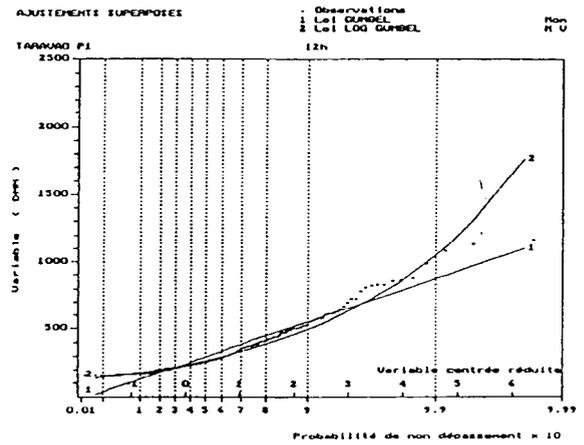
Intensité sur 1 heure



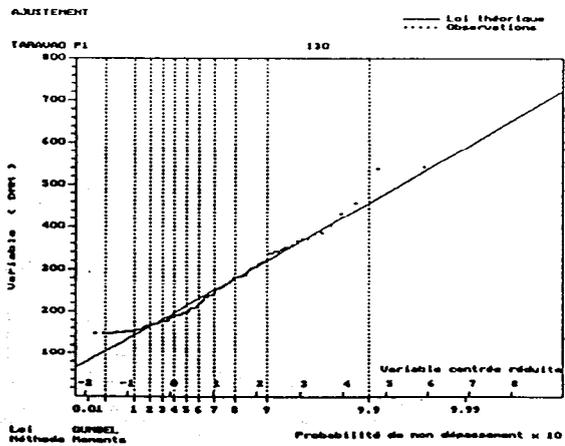
Intensité sur 15 minutes



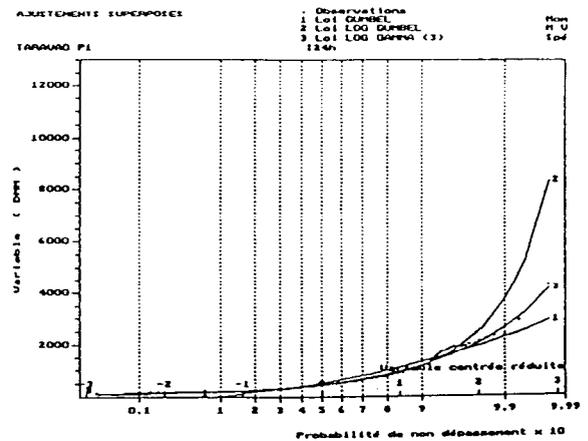
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

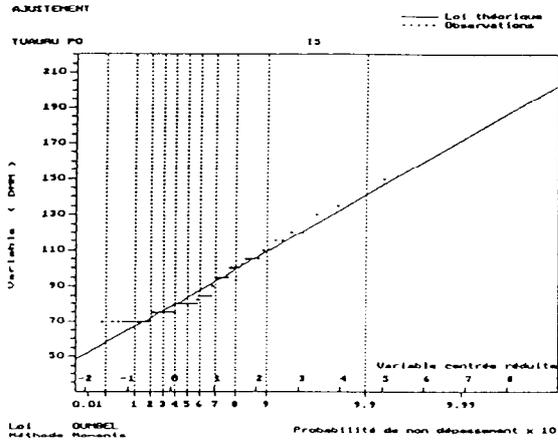


Intensité sur 24 heures

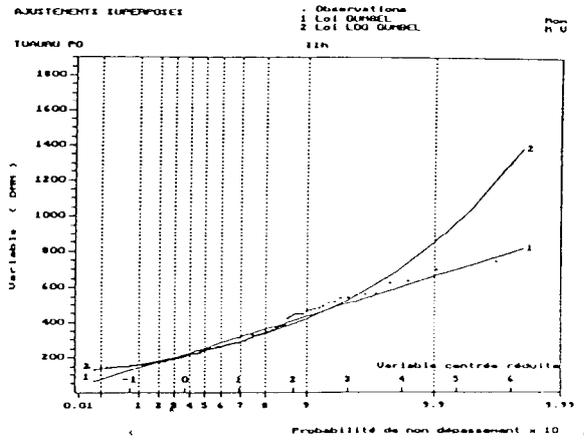


TUAURU P0

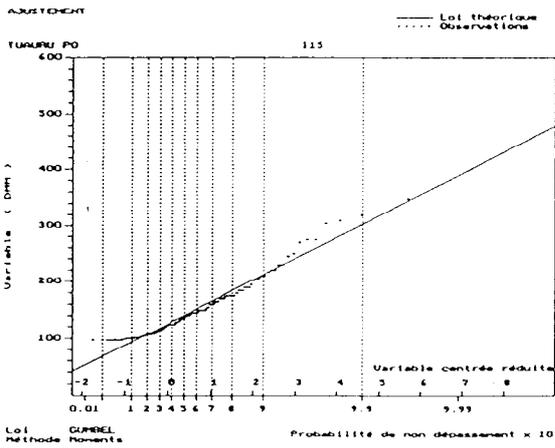
Intensité sur 5 minutes



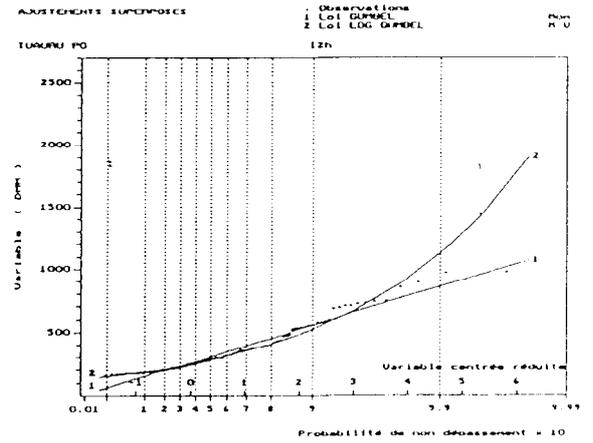
Intensité sur 1 heure



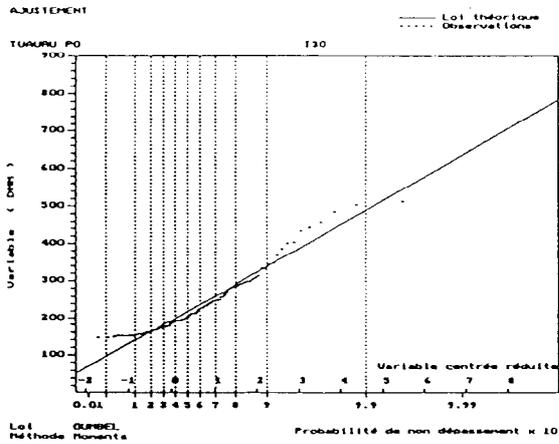
Intensité sur 15 minutes



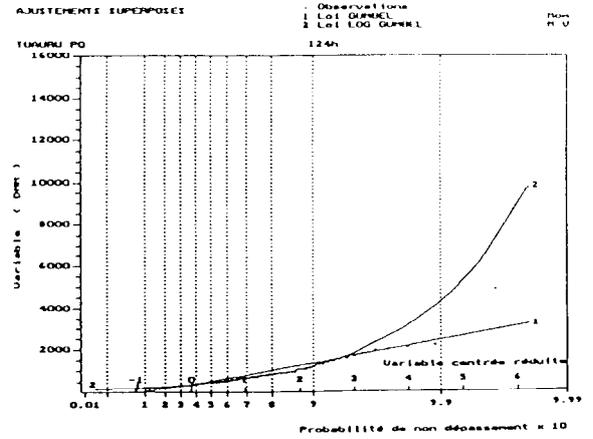
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

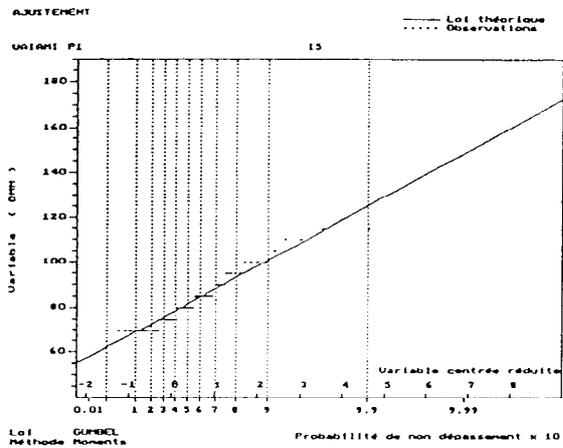


Intensité sur 24 heures

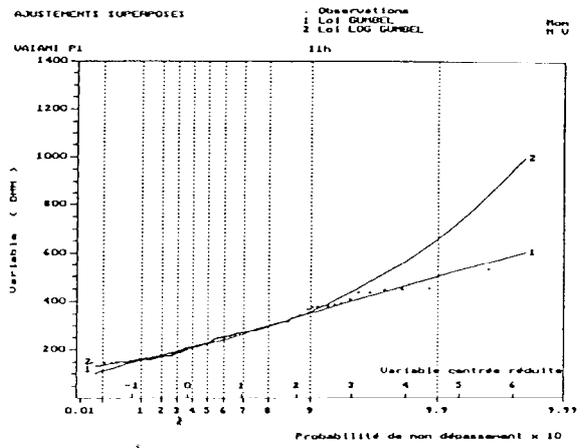


VAIAMI P1

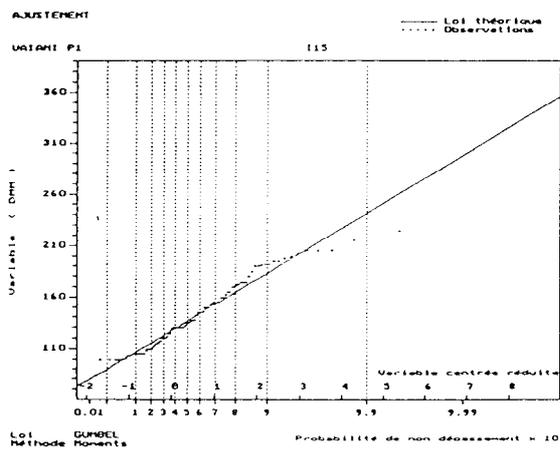
Intensité sur 5 minutes



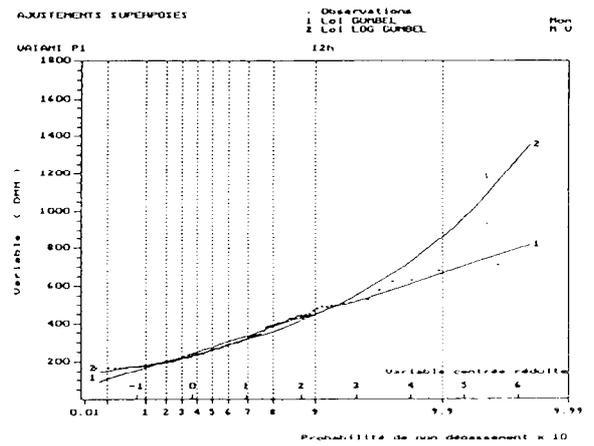
Intensité sur 1 heure



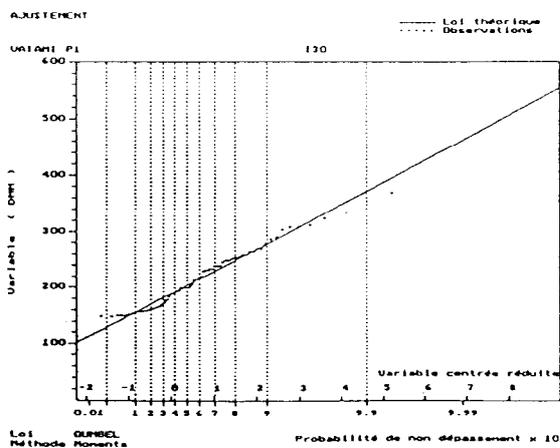
Intensité sur 15 minutes



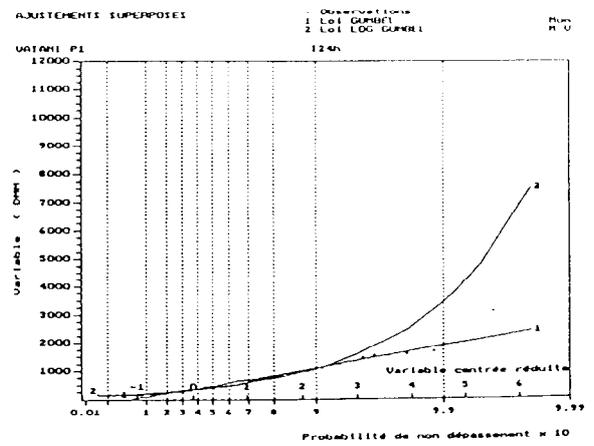
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

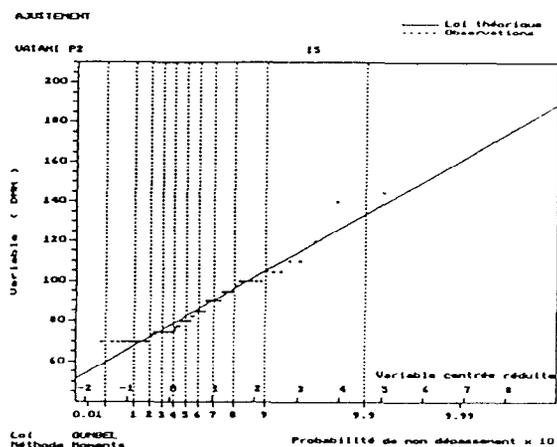


Intensité sur 24 heures

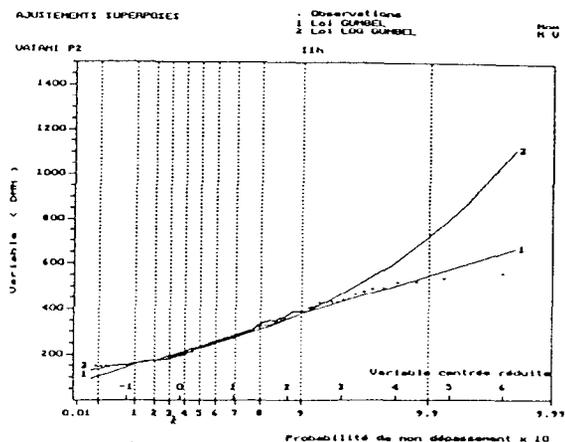


VAIAMI P2

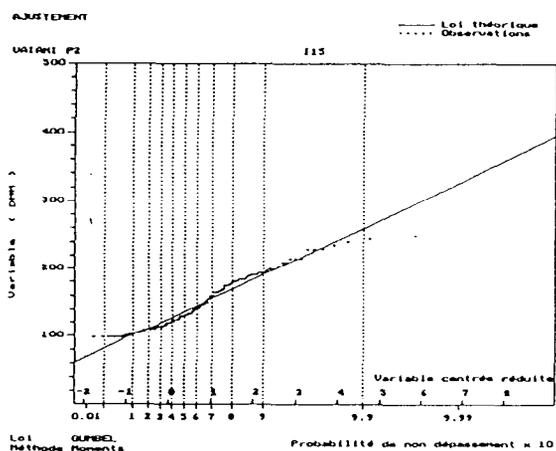
Intensité sur 5 minutes



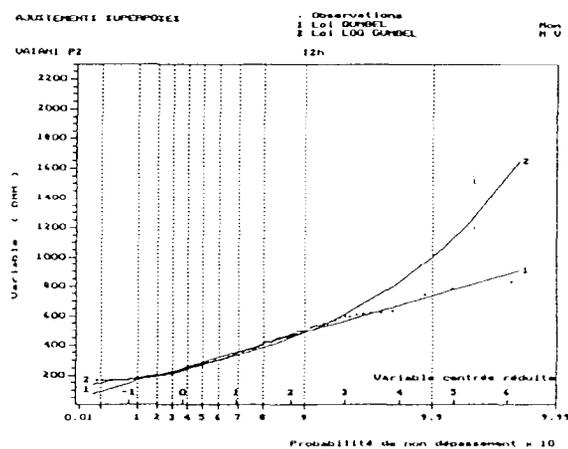
Intensité sur 1 heure



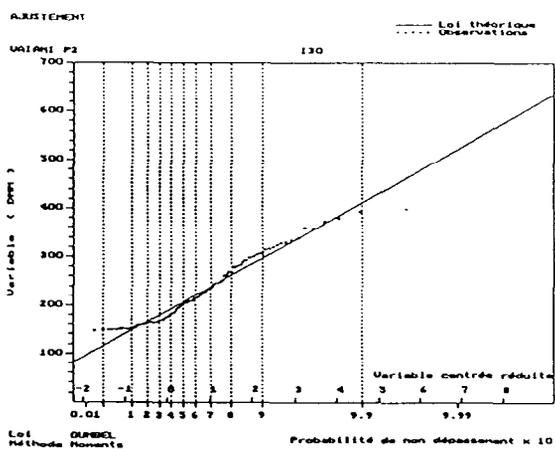
Intensité sur 15 minutes



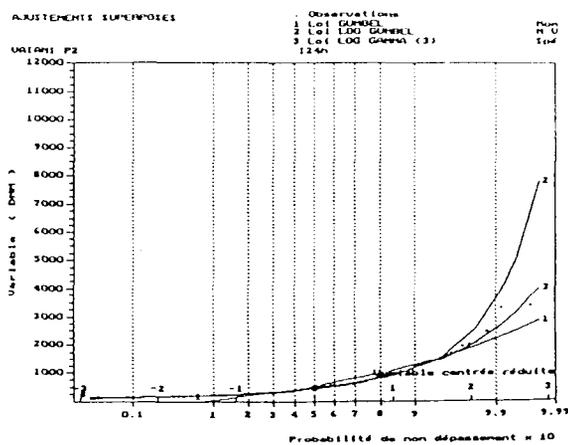
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

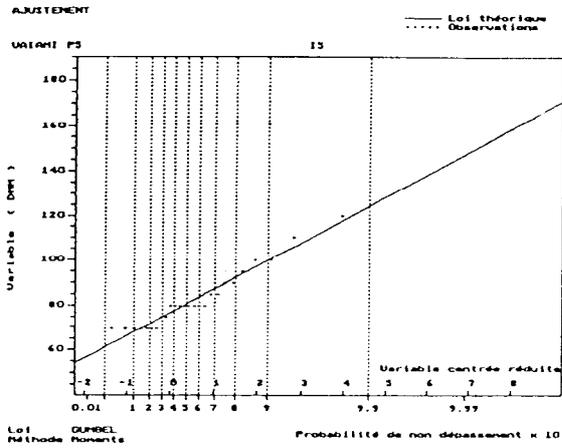


Intensité sur 24 heures

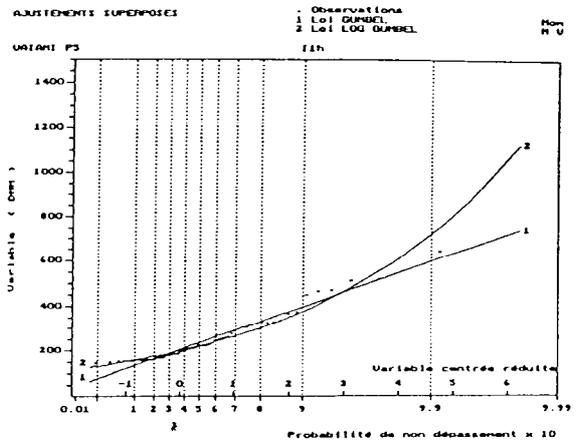


VAIAMI P5

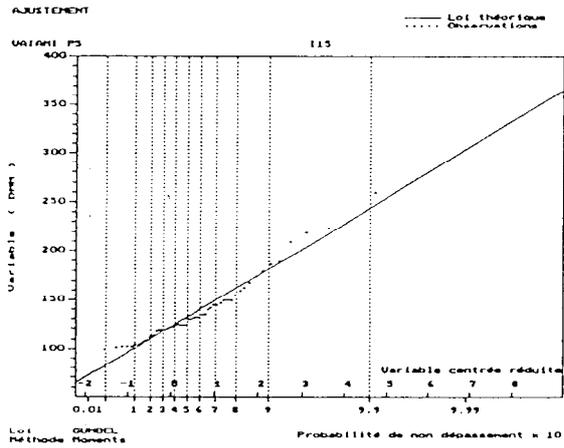
Intensité sur 5 minutes



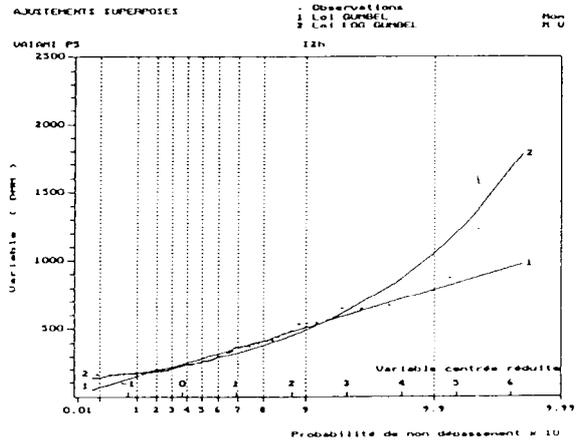
Intensité sur 1 heure



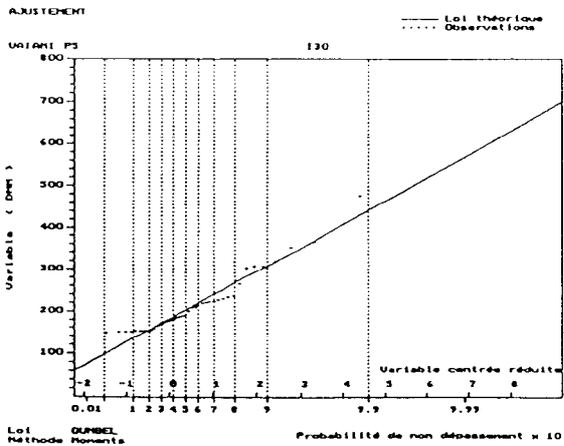
Intensité sur 15 minutes



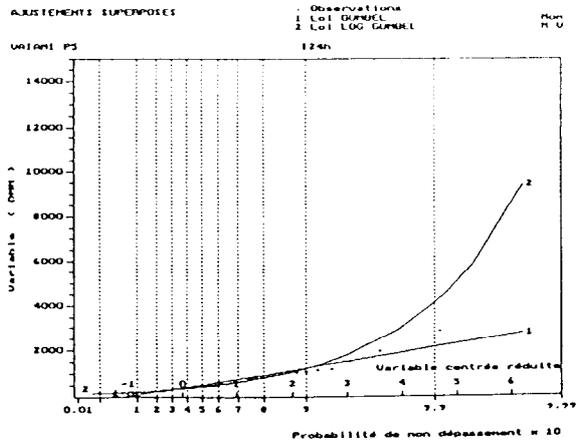
Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes

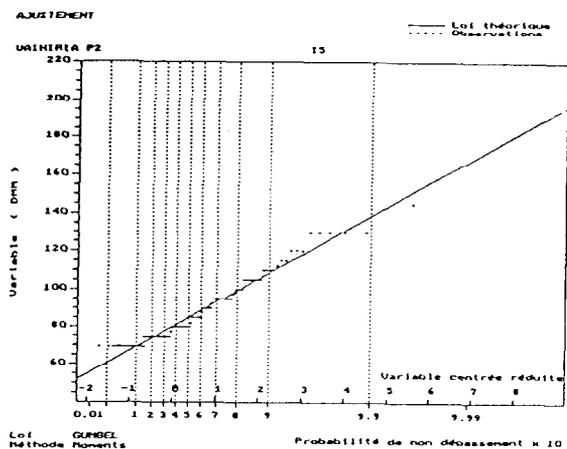


Intensité sur 24 heures

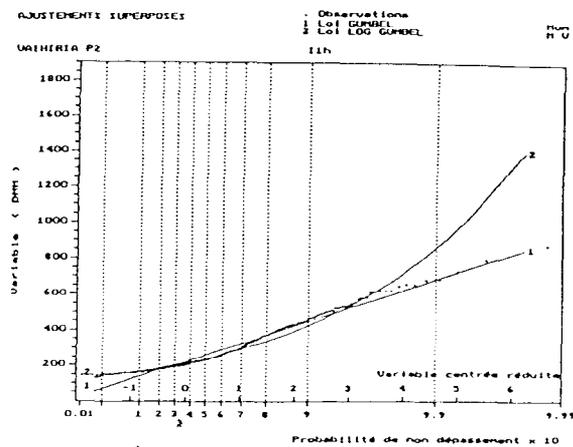


VAIHIRIA P2

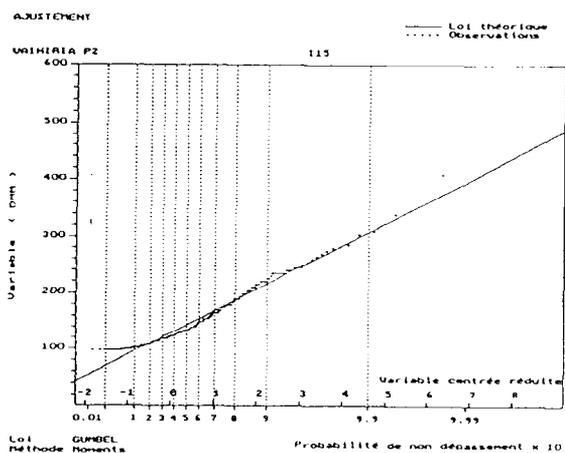
Intensité sur 5 minutes



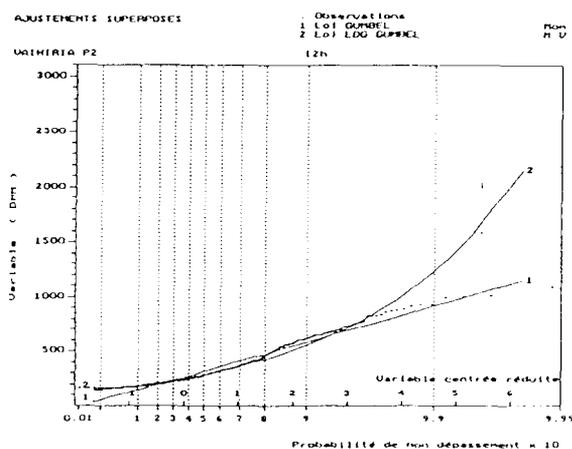
Intensité sur 1 heure



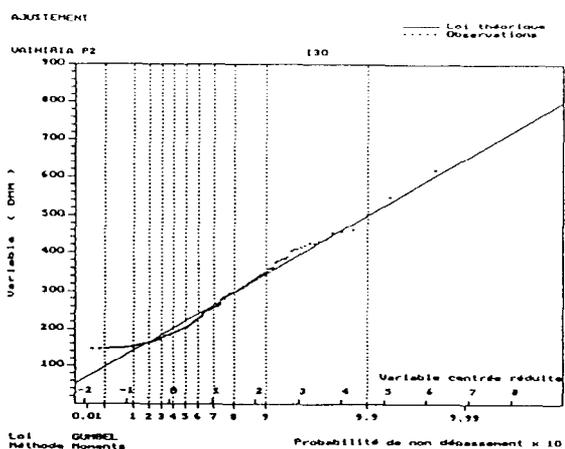
Intensité sur 15 minutes



Intensité sur 2 heures



Intensité sur 30 minutes



Intensité sur 24 heures

