PROVINCE DE QUÉBEC

MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS

SERVICE DE LA PROTECTION

ÉTUDE SUR LA DÉBÂCLE

PAR

JACQUES CÔTÉ, I. F.

QUÉBEC, 1950.

BUREAU DE MÉTÉOROLOGIE

BULLETIN No 17

PROVINCE DE QUÉBEC

MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS

SERVICE DE LA PROTECTION

ÉTUDE SUR LA DÉBÂCLE

PAR

JACQUES CÔTÉ, I. F.

QUÉBEC, 1950.

BUREAU DE MÉTÉOROLOGIE

BULLETIN No 17

TABLE DES MATIERES

I N T R O D U C T I O N

L'industrie forestière est sans contredit l'une des plus grandes richesses de la province de Québec. En effet, l'exploitation du bois sous toutes ses formes et sa transformation en pâtes cellulosiques assurent à une grande partie de la population un revenu annuel important en même temps que nécessaire, et permettent aux autorités provinciales et fédérales de percevoir des impôts, nerfs de toute administration gouvernementale.

En exploitation forestière, l'abattage des bois constitue l'opération initiale. Le transport de ces bois devient ensuite un problème de premier ordre et ce problème est avantageusement solutionné dans la province puisque la Providence a pourvu le pays d'un nombre incalculable de cours d'eau sur lesquels il est assez facile de pratiquer le flottage.

Cependant, il est une période durant l'année où il est plus avantageux d'utiliser les cours d'eau; cette période se présente au printemps au moment de la débâcle. Les précipitations de l'hiver ont créé à ce moment une réserve d'eau considérable dont il faut profiter pour transporter par flottage un volume maximum de bois.

Jusqu'à ces dernières années, on a pressenti plutôt qu'on a prédit le moment de la débâcle sur les lacs et les rivières; les vieux ouvriers forestiers, les anciens ou les "old-timers" comme on les appelle, ont démontré, en effet, leur sagacité et ont fait bénéficier les exploitants de leur expérience en prédisant approximativement "le départ des glaces".

De nos jours, alors qu'il est assez facile au moyen de statistiques de prédire nombre de phénomènes naturels, ne doit-on pas songer à

déterminer de la manière la plus précise possible, la date de la débâcle sur les cours d'eau. On a remarqué l'avènement régulier de certains cycles dans les éléments météorologiques. N'y en aurait-il pas dans la date printanière de la débâcle? Dans l'affirmative, quels sont les éléments à étudier?

C'est ce problème que l'auteur a analysé dans la présente étude. En somme, il essaie de répondre à la question suivante: Peut-on construire une formule mathématique d'application pratique pour prédire à quelques jours près, la date de la débâcle sur les cours d'eau de la province.

L'auteur tient à remercier les docteurs G.-Oscar Villeneuve et Lorenzo Matte pour leur aide précieuse dans la préparation de ce travail. Le premier a fourni à l'auteur toutes les données météorologiques de base en plus d'une documentation volumineuse des recherches antérieures sur le sujet. Le deuxième lui a aidé de ses précieux conseils dans les calculs statistiques qui constituent l'analyse du problème. Des remerciements sont également adressés à monsieur Robert Bellefeuille qui a guidé l'auteur dans la disposition générale de ce travail et à monsieur Joseph Verrette, ingénieur-statisticien au Bureau de Météorologie pour lui avoir facilité la compilation des données météorologiques et l'accès aux machines à calculer.

HISTORIQUE

La littérature parcourue semble prouver que les recherches sur le sujet sont à peu près inexistantes.

On a bien étudié le rôle de la neige, de la glace et des gelées dans le cycle hydrologique (7,1). On a même poursuivi des études approfondies sur la fonte de la neige (2,4) et sur ses causes (17), mais l'étude directe de la débâcle sur les cours d'eau ne semble pas encore avoir attiré l'attention soutenue des chercheurs.

D'après Wilson (17) l'étude des phénomènes de fonte de la neige peut être divisée en trois parties: la mesure de la chaleur d'origines diverses, la mesure du taux de fusion de la neige et l'analyse de ces deux facteurs en relation l'un avec l'autre.

L'étude quantitative des diverses sources de chaleur est remplie de sérieuses difficultés. En effet, les agents d'échange calorifique semblent être les suivants: les changements brusques de la température et de l'humidité de l'air, la radiation solaire, la radiation terrestre et les pluies relativement chaudes (16).

La mesure du taux de fusion de la neige dépend de la méthode utilisée. Il y a la méthode de laboratoire qui consiste à analyser une certaine quantité de neige contenue dans un récipient. Il y a celle aussi qui comporte des arpentages successifs avec places-échantillons des superficies enneigées. Il y a enfin celle plus souvent appliquée où l'on étudie les données statistiques du débit d'un bassin hydrographique. C'est par cette dernière méthode, d'ailleurs, qu'on peut étudier les facteurs produisant la débâcle sur les lacs et les rivières.

Le problème de prédire le débit des cours d'eau par l'analyse des causes de la fonte des neiges a été solutionné de diverses manières et par des méthodes plus ou moins discutables et discutées.

Clyde (4), par exemple, a simplifié toutes les formules de ses prédécesseurs en utilisant le facteur degré-jour. Rugen (12) travaillant avec les données de Clyde obtint un facteur consistant en la vitesse du vent avec un exposant de une demie. Kennedy (17), toujours avec les mêmes données, exprima la fonte des neiges en fonction de la radiation solaire.

Le problème de la débâcle a été étudié plus particulièrement par Stankiewicz (13) qui y a vu une application pratique dans l'organisation du flottage en exploitation forestière. D'après Stankiewicz (13), la température cumulative est le facteur primordial pour déterminer la date de la débâcle. La prédiction est basée sur le principe de physique bien connu que 144 B.T.U. sont nécessaires pour fondre une livre de glace ou de neige (chaleur de fusion).

D'abord un bassin hydrographique est considéré comme un immense réservoir de neige ou de glace. Si ce bassin est réchauffé, il finit par fondre entièrement, à condition qu'il absorbe une quantité suffisante de chaleur. L'absorption de la chaleur et le dégagement subséquent de l'eau déterminent jusqu'à un certain point le moment et l'endroit de la débâcle.

La température cumulative consiste, comme dans le cas du facteur degré-jour, en degrés de température enregistrés au-dessus de 32°F., c'est-à-dire au-dessus du point de congélation. Au contraire, tous les degrés au-dessous du point de congélation doivent être considérés comme une perte de chaleur et doivent être conséquemment cumulés par soustraction plutôt que par addition. Le facteur degré-jour prend forme, à la date printanière où les lectures positives de la température excèdent sans interruption, les les lectures négatives. Comme on le constate, Stankiewicz a utilisé tout simplement la formule de Clyde, sans y apporter d'amélioration.

ANALYSE DU PROBLEME

A- GENERALITES

L'étude de la débâcle sur les cours d'eau est apparentée de beaucoup à l'étude de la fonte des neiges. On sait que la fonte des neiges est le résultat du bilan des gains et des pertes calorifiques. Les gains proviennent des courants d'air plus ou moins irréguliers en vitesse et en direction, de la condensation de la vapeur d'eau dans l'air, de la radiation solaire, des précipitations relativement chaudes et de l'état du sol. Incidemment, la neige réfléchit environ 75 pour cent de la radiation solaire. Les pertes de chaleur résultent principalement de la radiation terrestre et de l'évaporation.

Il est à remarquer que généralement la neige fond d'abord à la surface et que l'eau de fusion s'infiltre dans les couches inférieures de la neige pour remplir les espaces capillaires. Cette eau de fusion augmente souvent la densité de la couche totale de la neige, de 40 et même 50 pour cent de sa valeur primitive, avant le début du drainage printanier. Le drainage, une fois commencé, peut continuer indépendamment des changements ordinaires de température de l'air au-dessus de la surface de la neige. Ce fait indique qu'à cette période, la fonte résulte de la pression hydrostatique de l'eau dans la couche saturée près du sol et de l'attraction capillaire des crystaux de neige (8).

Il est évident qu'en se basant sur ces principes, le problème de prédire la débâcle demeure presque insoluble, puisque les données nécessaires à sa solution n'ont été recueillies à date à aucune station météorologique de la province.

L'auteur a quand même essayé de présenter une solution au problème en faisant intervenir les données recueillies à la station météorologique de Duchesnay, comté de Portneuf, qui, soit dit en passant, est la station météorologique la plus complète du réseau provincial.

B- SITUATION GEOGRAPHIQUE DE DUCHESNAY

Duchesnay est situé à 25 milles de Québec sur les rives du Lac St-Joseph. Sa latitude exacte est de 46°52' et sa longitude de 71°39'. La station est installée à 503 pieds au-dessus du niveau de la mer. Elle est à quelque cent pieds des rives de la décharge du Lac St-Joseph dont les eaux se déversent dans la rivière Jacques-Cartier, à Ste-Catherine, pour finalement joindre celles du fleuve St-Laurent à Donnacona.

La station météorologique de l'endroit est en opération depuis 1935. Son installation a précédé d'un an la fondation du Bureau Provincial de Météorologie (15). Cependant, ce n'est que depuis 1938 que des observations météorologiques presque complètes y sont poursuivies en vue d'étudier, dans tous ses détails, le climat de l'endroit et les phénomènes naturels qui s'y rapportent. En effet, l'observateur enregistre régulièrement les divers phénomènes d'ordre climatique et nombre d'autres d'ordre phénologique ou hydrologique.

L'auteur a eu l'avantage de consulter tous les registres climatiques de Duchesnay qui lui ont été gracieusement fournis par le Directeur du Bureau Provincial de Météorologie.

C- COMPILATION DES DONNEES

Les données météorologiques enregistrées durant les saisons d'hiver consécutives s'étendant de 1938-39 à 1948-49, portent sur les éléments suivants:

1- Température maximum,
2- Température minimum,
3- Intensité maximum de la radiation solaire,
4- Durée de l'insolation,
5- Hauteur des précipitations,
6- Nébulosité observée à 8 hrs a.m.,
7- Vitesse et direction du vent observées à 8 hrs a.m.,
8- Etat du sol à 8 hrs a.m., d'après l'échelle du Bureau Provincial de Météorologie,
9- Dates de la prise de la glace,
10- Dates de la débâcle.

Des données originales, l'auteur a déduit les valeurs suivantes:

11- Température cumulative compilée d'après la formule de Clyde (4),
12- Hauteur totale des précipitations depuis la date de la première neige sur le sol jusqu'à celle de la débâcle,
13- Nombre de jours de précipitation depuis la date de la première neige sur le sol, jusqu'à celle de la débâcle,
14- Nombre de jours depuis la date de la première neige sur le sol jusqu'à celle de la débâcle,

15- Nombre de jours avec plus de six pouces de neige sur le sol,
16- Nombre de jours durant lesquels a été compilée la température cumulative,
17- Nombre de jours depuis la date de la prise de la glace jusqu'à celle de la débâcle,
18- Nombre de jours depuis la date de la prise de la glace jusqu'à celle où on a commencé à calculer la température cumulative.

On remarque, à première vue, que tous les éléments météorologiques ou hydrologiques cités plus haut peuvent avoir des relations entre eux et particulièrement avec la date de la débâcle sur les cours d'eau. Cependant, pour des raisons que l'auteur explique plus bas, certaines données particulièrement intéressantes sont laissées de côté. Ce sont les suivantes:

1- L'intensité maximum de la radiation solaire,
2- La durée de l'insolation,
3- La nébulosité observée à 8 hrs a.m.,
4- La vitesse et la direction du vent observées à 8 hrs a.m.

Même s'il est vrai que la fonte des neiges et des glaces peut être fonction de la radiation solaire (17), il n'en demeure pas moins vrai que la relation à établir entre les deux phénomènes doit être basée sur des données complètes. Or, l'intensité maximum de la radiation solaire n'a qu'une valeur secondaire si on ne possède aucune donnée sur la durée de cette intensité.

En ce qui concerne la durée de l'insolation, on peut affirmer avec Wilson (17) que des "relations à la fois diurnes et annuelles existent entre la radiation solaire et la température de l'air". Mais il faut remarquer qu'on peut enregistrer un maximum d'insolation durant une journée très froide et un minimum durant une journée très chaude. C'est dire que l'insolation est un facteur très discutable d'étude et qu'on peut l'ignorer si on ne possède pas en même temps et à la fois les maxima et minima de l'intensité de la radiation solaire.

La nébulosité étant une observation indirecte (14) de l'insolation et de plus, de moindre valeur que ce dernier élément, est mise de côté pour la même raison.

Quant aux données sur la vitesse et la direction du vent, elles sont ignorées pour la simple raison qu'elles sont incomplètes. De plus, la vélocité du vent enregistrée une fois le jour ne représente pas du tout l'effet total du vent durant une journée complète. On sait que la vitesse maximum du vent se produit généralement durant l'après-midi.

On s'aperçoit donc que l'auteur ignore des éléments météorologiques d'observation incomplète en même temps que dispendieux à observer. On peut donc tirer une conclusion immédiate, à savoir que la formule préconisée plus bas peut être vérifiée et expérimentée sans qu'il en coûte la forte somme pour une installation météorologique.

D- ETUDE DES DONNEES

Le tableau I suivant présente les données météorologiques qui ont été compilées et analysées par l'auteur. Ce sont:

1- La température cumulative (X),
2- Le nombre de jours durant lesquels a été compilée la température cumulative (Y),
3- Le nombre de jours depuis la date de la prise de la glace, jusqu'à celle où on a commencé à calculer la température cumulative (Z),
4- Le nombre de jours depuis la date de la prise de la glace jusqu'à la date de la débâcle (V),
5- La hauteur des précipitations depuis la date de la première neige sur le sol jusqu'à celle de la débâcle (W),
6- Le nombre de jours de précipitation depuis la date de la première neige sur le sol jusqu'à celle de la débâcle (P),
7- Le nombre de jours entre la date de la première neige sur le sol et celle de la débâcle (N),
8- Le nombre de jours avec plus de six pouces de neige sur le sol (M),
9- Le nombre de jours de gelée depuis la date où on a commencé à calculer la température cumulative jusqu'à la date de la débâcle (R),
10- La date de la prise de la glace,
11- La date de la débâcle.

TABLEAU I.- VALEURS REELLES DES DONNEES METEOROLOGIQUES

Années	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10) Date de la prise de la glace.	(11) Date de la débâcle.
1938-39	383	23	142	165	26.42	101	150	134	22	27 nov.	10 mai
1939-40	367	23	147	170	16.59	108	158	125	8	21 nov.	8 mai
1940-41	362	19	119	138	14.96	88	127	127	15	4 déc.	20 avril
1941-42	422	21	118	139	17.94	108	148	128	18	15 déc.	2 mai
1942-43	290	23	132	155	22.19	95	151	155	12	9 déc.	12 mai
1943-44	362	19	135	154	18.44	110	151	136	18	4 déc.	5 mai
1944-45	293	23	103	126	16.74	76	120	109	17	4 déc.	8 avril
1945-46	282	19	136	155	16.39	75	101	111	13	28 nov.	1 mai
1946-47	275	16	150	166	29.57	93	131	138	13	3 déc.	17 mai
1947-48	231	27	111	138	18.55	73	128	117	13	12 déc.	27 avril

Ces valeurs proviennent de données météorologiques complètes et aucune raison spéciale n'empêche leur analyse et leur entrée dans la composition d'une formule mathématique. Il s'agit tout simplement de les analyser pour savoir jusqu'à quel point elles peuvent affecter séparément ou en groupe la date de la débâcle, au printemps.

Pour faciliter l'analyse et réduire les calculs, l'auteur a d'abord transformé les valeurs originales en valeurs relatives (5) qui sont tout simplement des pourcentages. Cette méthode consiste à soustraire la valeur minimum de tous les item d'une série de valeur et à calculer le pourcentage des différences par rapport à la différence maximum.

Le tableau suivant présente la valeur relative des données météorologiques considérées:

TABLEAU II.- VALEURS RELATIVES DES DONNEES METEOROLOGIQUES

Années	X	Y	Z	V	W	P	N	M	R	R'
1938-39	79	64	83	89	78	75	86	54	100	100
1939-40	71	64	94	100	11	94	100	35	0	30
1940-41	68	27	34	27	0	43	46	36	50	30
1941-42	100	45	32	29	20	94	82	41	71	60
1942-43	31	64	62	66	49	59	88	100	28	0
1943-44	68	27	68	64	24	100	88	59	71	60
1944-45	32	64	0	0	12	8	33	0	64	50
1945-46	27	27	70	66	10	5	0	4	36	10
1946-47	23	0	100	91	100	54	53	63	36	10
1947-48	0	100	17	27	24	0	47	17	36	10

Les valeurs sous R' sont des valeurs corrigées de R; l'auteur donne plus loin la raison de cette correction et la méthode employée.

Les conclusions apportées par Clyde, Wilson et Stankiewicz justifient l'auteur d'accepter la valeur x comme significative, d'où la mise en diagramme par coordonnées rectangulaires des valeurs x-y, x-z, x-v, x-w, x-p, x-n, x-m, x-r pour déterminer leur degré de corrélation par le coefficient de corrélation de Pearson (11).

Pearson (1909) a publié une table donnant la valeur du coefficient de corrélation qu'il définit comme la moyenne arithmétique des produits des déviations des valeurs correspondantes.

Voici pour chaque ligne de régression, le résultat des calculs:

X-Y	0.31	pas significatif
X-Z	0.16	pas significatif
X-V	0.10	pas significatif
X-W	0.14	pas significatif
X-P	0.79	significatif
X-N	0.57	douteux
X-M	0.18	pas significatif
X-R	0.40	pas significatif
X-R'	0.74	faiblement significatif

On trouve dans les tableaux III à XI inclusivement et dans les figures 1-9 de l'appendice la solution complète de ces problèmes.

Au premier coup d'oeil, les diagrammes semblent indiquer une corrélation entre X-P, X-R, X-N. Il est à remarquer cependant, dans le diagramme 3, que la forme générale de la figure indique clairement que la valeur de R correspondant à X = 71 doit être rejetée. Le tableau IV indique en effet qu'il n'y a pas de corrélation pour X-R. Le tableau I, par ailleurs, laisse voir que la valeur 8 observée diffère de beaucoup des autres valeurs et, qu'en la comparant aux autres séries d'observations, il devient plus évident que cette valeur doit être rejetée: alors que la valeur cumulative montre une décroissance, le nombre de jours de gelée pour cette même année est de beaucoup inférieur au nombre obtenu pour les autres années.

En étudiant la corrélation de X-R, non plus sur une base de 10 observations mais sur une base de 9 observations dans le tableau V, on trouve une corrélation faiblement significative.

Voilà pourquoi l'auteur a donné, dans le tableau I, une série d'observations R' comme étant les valeurs de R corrigées. Pour faire cette correction, l'auteur a substitué pour l'année 1939-40, la valeur "15" à "8" qui était la valeur observée; "15" est la valeur moyenne pour les observations de 9 ans. L'auteur a ensuite rapporté ces valeurs en pourcentage d'après la méthode mentionnée plus haut (5). Une étude graphique de X-R' indique une corrélation (fig. 4).

La corrélation entre X-P a été trouvée, comme l'indique le tableau III, très significative d'après la table de corrélation linéaire de Fisher (6), c'est-à-dire que les chances sont de 1 dans 99.

La paire X-N donne dans le tableau VI un coefficient égal à 0.57 signifiant qu'il y a corrélation, mais que les chances sont de 1 dans 19.

Les tableaux VII, VIII, IX, X et XI ne donnent aucune corrélation pour les séries d'observation Y, M, Z, W et V. Ces observations doivent donc être ignorées. L'étude détaillée de ces paires par la méthode des moindres carrés (10) confirme les résultats que l'analyse graphique avait laissé pressentir (fig. 5, 6, 7, 8 et 9).

Cette étude restreint passablement les facteurs qui doivent faire l'objet de ce travail. Comme les facteurs ont été étudiés en fonction de X, l'auteur est justifié de concevoir X comme une fonction de R, P, N.

$$X = (R, P, N)$$

$$\text{ou} \quad W = ax + by + cz$$

Il s'agit donc d'établir trois équations qui donneront une valeur pour a, b, c.

En différenciant $W = ax + by + cz$ par rapport à a, b, c, on obtient le système d'équations suivant:

a	b	c	cte
Sx^2	Sxy	Sxz	Swy
Sxy	Sy^2	Syz	Swy
Sxz	Syz	Sz^2	Swz

où $x = R$, $y = P$, $z = N$ et $w = X$.

La série des sommations se trouve au tableau XII de l'appendice.

Ce qui donne:

$$21800\,a + 24240\,b + 25830\,c = 24250$$

$$24240\,a + 41632\,b + 42654\,c = 35185$$

$$25830\,a + 42654\,b + 47831\,c = 36209$$

Avec la méthode de Doolittle (9) on a:

a	b	c	cte
21800	24240	25830	24250
	41632	42654	35185
		47831	36209
14,678.89909	13,932.93579		8,220.77983
	17,226.00460		7,476.08716
4,001.12319		326.92292	

$$c = - 0.0817077866$$

$$b = + 0.6375961243$$

$$a = + 0.50023771$$

En remplaçant la valeur des constantes dans l'équation générale, on a:

$$W = 0.5002377\ x + 0.6375961\ y - 0.0817078\ z$$

DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette valeur de W qui est une valeur calculée de la température cumulative élimine les erreurs possibles qu'il pourrait y avoir dans les observations et comprend les facteurs entre lesquels l'auteur a trouvé une corrélation pour une période de 10 ans.

En appliquant cette formule aux valeurs de X, R', P et N observées, on obtient pour W' les valeurs suivantes:

X	R'	P	N	
W	X	Y	Z	W'
79	100	75	86	90.8
71	30	94	100	66.8
68	30	43	46	38.6
100	60	94	82	83.3
31	0	59	88	30.4
68	60	100	88	86.5
32	50	8	33	27.4
27	10	5	0	8.2
23	10	54	53	35.1
0	10	0	47	1.1

SW' = 468.2

W' = 46.8

Or en ramenant 46.8 en valeur naturelle:

100% = 191

46.8 = x - 89

89 + 231 = 320.4

alors que la moyenne des observations pour la température cumulative est 326.7.

La valeur 320.4, en plus d'éliminer les erreurs dans les observations, élimine aussi les erreurs qu'il peut y avoir dans les différentes séries d'observations. C'est ce qu'on est convenu d'appeler en statistique, les erreurs "within and among the classes".

On doit se rappeler que dans l'application de la formule $W = 0.5002377\ x + 0.6375961\ y - 0.0817078\ z$, la valeur obtenue doit être ramenée à sa valeur originale. Il en est de même pour les valeurs x, y, z, R', P, N qui doivent être converties en valeurs relatives (5).

Dans le calcul de la prévision de la débâcle, on utilise la valeur 320.4 comme température cumulative, laquelle consiste en degrés de chaleur enregistrés au-dessus de 32°F. On commence à calculer la température au moment où l'accumulation est positive. Ce facteur de 320.4 est applicable à la station de Duchesnay. Comme l'auteur l'a fait remarquer plus haut, la débâcle est influencée par les facteurs qui ont servi à établir W' et aussi par d'autres facteurs que l'auteur a dû laisser de côté. C'est l'action même de ces facteurs qui explique la variation que l'on remarque dans le nombre de degrés-jour enregistrés pour différents bassins hydrographiques.

Dans un bassin déterminé, l'accumulation de chaleur au printemps produit son effet d'une façon régulière dû au fait que la débâcle sur les cours d'eau se produit d'une année à l'autre, à peu près dans les mêmes circonstances. Cependant pour prédire la date de cette débâcle, il est conseillé d'appliquer la formule obtenue. Cette valeur, représentant la chaleur accumulée, indique le temps approximatif où les équipes d'ouvriers doivent être mises au travail.

Par exemple, si à la suite d'une série d'observations, on a un facteur cumulatif d'une valeur égale à 275° et un accroissement de 15° par jour, le calcul à faire sera le suivant:

$$320 - 275 = 45^\circ$$

$$45^\circ \div 15^\circ = 3 \text{ jours}$$

En théorie, il s'écoulera donc 3 jours avant la débâcle.

Le but de prédire mathématiquement la débâcle est de diminuer la main d'oeuvre, de réduire la période de la drave et par le fait même de diminuer le coût de ces travaux forestiers.

Ce travail souligne donc l'importance de certains éléments influençant la débâcle et peut servir de base à ceux qui sont intéressés à pousser plus loin l'étude statistique des facteurs qui la produisent.

BIBLIOGRAPHIE

1- Church, J. E. (1940).
The relation of snow to maximum flood peals. Proceedings of Central snow Conference, East Lansing, Michigan.

2- Church, J. E. (1941).
The melting of snow. Proceedings of Central Snow Conference. East Lansing, Michigan.

3- Climate and man (1941).
Year book of Agriculture U.S. Dept. of Commerce, Washington, D.C.

4- Clyde, George D. (1931).
Snow melting characteristics. Utah Agric. Exp. Stat. Tech. Bull. 231.

5- Conrad, Victor (1946).
Methods in Climatology, Harvard University Press, Cambridge.

6- Fisher, R. A. (1939).
Statistical Methods for Research Workers, Oliver and Boyd, New York.

7- Horton, Robert E. (1941).
The role of snow, ice and frost in the hydrologic cycle. Proceedings of central snow conference, East Lansing, Michigan.

8- Kiltredge, Joseph (1948).
Forest influences, 1st edition, McGraw Hill Book Co. Inc.

9- Mills, Frederick C. (1938).
Statistical Methods applied to Economics and Business. Henry Holt & Co. N.Y.

10- Rider, Paul R. (1947).
An introduction to modern Statistical Methods, 3rd Ed. John Wiley & Sons Inc. New York.

11- Rietz, H. L. (1924).
Handbook of Statistics, Houghton Mifflin Co.

12- Rugen, Otto N. (1940).
The snow-melt problem as affecting the design of flood control works, Trans. Am. Geo. Un.

13- Stankiewicz, M. J. (1947).
Method of forecasting opening dates of streams, rivers and lakes in relation to effective driving. Pulp and Paper Research Institute of Canada. Woodlands Section. Index No. 949.

14- Villeneuve, G. Oscar (1942).
Relation entre l'insolation observée au moyen d'un héliographe et l'insolation déterminée indirectement par les observations oculaires de nébulosité. Le Naturaliste Canadien, avril-mai.

15- Villeneuve, G. Oscar (1948).
La Météorologie: aperçu historique, Bull. No 11, Bureau de Météorologie, Ministère des Terres et Forêts, Québec.

16- Wilson, W. T. (1941).
An outline of the Thermodynamics of snow melt. Trans. Amer. Geo. Un.

17- Wilson, Walton T. (1941).
Some factors in elating the melting of snow to its causes. Proceedings of Central Snow Conference, East Lansing, Michigan.

A P P E N D I C E

TABLEAU III

X	P	X^2	P^2	X P
79	75	6,241	5,625	5,925
71	94	5,041	8,836	6,674
68	43	4,624	1,849	2,924
100	94	10,000	8,836	9,400
31	59	961	3,481	1,829
68	100	4,624	10,000	6,800
32	8	1,024	64	256
27	5	729	25	135
23	54	529	2,916	1,242
0	0	0	0	0
499	512	33,773	41,632	35,185

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{NN}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$r = \left(\frac{35185 - \frac{(499)\ (532)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[41632 - \frac{283024}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.79$ (Significatif)

TABLEAU IV

X	R	X^2	R^2	X R
79	100	6,241	10,000	7,900
71	0	5,041	0	0
68	50	4,624	2,500	3,400
100	71	10,000	5,041	7,100
31	28	961	784	868
68	71	4,624	5,041	4,828
32	64	1,024	4,096	2,048
27	36	729	1,296	972
23	36	529	1,296	828
0	36	0	1,296	0
499	492	33,773	31,350	27,944

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$r = \left(\frac{27944 - \frac{(499)\ (492)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[31350 - \frac{242064}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.4$ (Pas significatif)

TABLEAU V

X	R'	X^2	$(R')^2$	X R'
79	100	6,241	10,000	7,900
68	50	4,624	2,500	3,400
100	71	10,000	5,041	7,100
31	28	961	784	868
68	71	4,624	5,041	4,828
32	64	1,024	4,096	2,048
27	36	729	1,296	972
23	36	529	1,296	828
0	36	0	1,296	0
428	492	28,732	31,350	27,944

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$r = \left(\frac{27944 - \frac{(428)\ (492)}{9}}{\left[28732 - \frac{183184}{9}\right]^{\frac{1}{2}} \left[31350 - \frac{242064}{9}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.74$ (faiblement significatif)

TABLEAU VI

X	N	X^2	N^2	X N
79	86	6,241	7,396	6,794
71	100	5,041	10,000	7,100
68	46	4,624	2,116	3,128
100	82	10,000	6,724	8,200
31	88	961	7,744	2,728
68	88	4,624	7,744	5,984
32	33	1,024	1,089	1,056
27	0	729	0	0
23	53	529	2,809	1,219
0	47	0	2,209	0
499	623	33,773	47,831	36,209

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right) =$$

$$r = \left(\frac{36209 - \frac{(499)\ (623)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{47831 - 388129}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.57$ (douteux)

TABLEAU VII

X	V	X^2	V^2	X V
79	89	6,241	7,291	7,031
71	100	5,041	10,000	7,100
68	27	4,624	729	1,836
100	29	10,000	841	2,900
31	66	961	4,356	2,046
68	64	4,624	4,096	4,352
32	0	1,024	0	0
27	66	729	4,356	1,782
23	91	529	8,281	2,093
0	27	0	729	0
499	559	33,773	41,309	29,140

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$r = \left(\frac{29140 - \frac{(499)\ (559)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[41309 - \frac{312481}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.10$ (Pas significatif)

TABLEAU VIII

X	W	X^2	W^2	XW
79	78	6,241	6,084	6,162
71	11	5,041	121	781
68	0	4,624	0	0
100	20	10,000	400	2,000
31	49	961	2,401	1,519
68	24	4,624	576	1,632
32	12	1,024	144	384
27	10	729	100	270
23	100	529	10,000	2,300
0	24	0	576	0
499	328	33,773	20,402	15,048

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$5 = \left(\frac{15048 - \frac{(499)\ (328)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[20402 - \frac{107584}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

r = 0.14 (Pas significatif)

TABLEAU IX

X	Z	X^2	Z^2	XZ
79	83	6,241	6,889	6,557
71	94	5,041	8,836	6,674
68	34	4,624	1,156	2,312
100	32	10,000	1,024	3,200
31	62	961	3,844	1,922
68	68	4,624	4,624	4,624
32	0	1,024	0	0
27	70	729	4,900	1,890
23	100	529	10,000	2,300
0	17	0	289	0
499	560	33,773	41,562	29,479

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$r = \left(\frac{29479 - \frac{(499)\ (560)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[41562 - \frac{313600}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.16$ (Pas significatif)

TABLEAU X

X	M	X^2	Y^2	XM
79	54	6,241	2,916	4,266
71	35	5,041	1,225	2,485
68	36	4,624	1,296	2,448
100	41	10,000	1,681	4,100
31	100	961	10,000	3,100
68	59	4,624	3,481	4,012
32	0	1,024	0	0
27	4	729	16	108
23	63	529	3,969	1,449
0	17	0	289	0
499	409	33,773	24,873	21,968

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$$r = \left(\frac{21968 - \frac{(499)\ (409)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[24873 - \frac{167281}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.18$ (Pas significatif)

TABLEAU XI

X	Y	X^2	Y^2	XY
79	64	6,241	4,096	5,056
71	64	5,041	4,096	4,544
68	27	4,624	729	1,836
100	45	10,000	2,025	4,500
31	64	961	4,096	1,984
68	27	4,624	729	1,836
32	64	1,024	4,096	2,048
27	27	729	729	729
23	0	529	0	0
0	100	0	10,000	0
499	482	33,773	20,596	22,533

$$r = \left(\frac{Sxy - \frac{(Sx)\ (Sy)}{N}}{\left[Sx^2 - \frac{(Sx)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}} \left[Sy^2 - \frac{(Sy)^2}{N}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

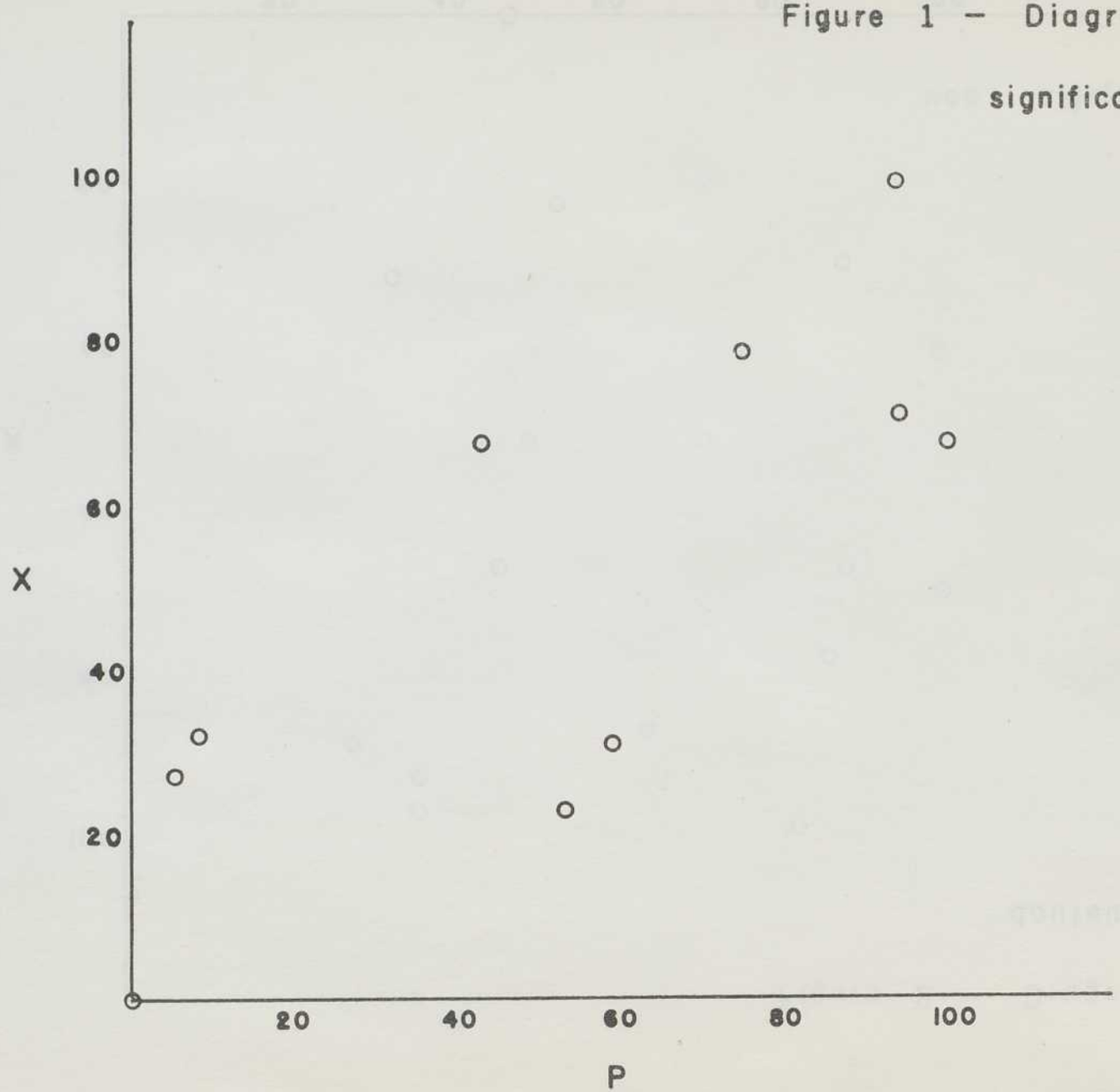
$$r = \left(\frac{22533 - \frac{(499)\ (482)}{10}}{\left[33773 - \frac{249001}{10}\right]^{\frac{1}{2}} \left[20596 - \frac{232324}{10}\right]^{\frac{1}{2}}} \right)$$

$r = 0.31$ (Pas significatif)

TABLEAU XII.- VALEURS STATISTIQUES CALCULEES

R	P	N	X	R^2	P^2	N^2	X^2	RP	RN	RX	PN	PX	NX
x	y	z	w	x^2	y^2	z^2	w^2	xy	xz	xw	yz	wy	wz
100	75	86	79	10,000	5,625	7,396	6,241	7,500	8,600	7,900	6,450	5,925	6,794
30	94	100	71	900	8,836	10,000	5,041	2,820	3,000	2,130	9,400	6,674	6,100
30	43	46	68	900	1,849	2,116	4,624	1,290	1,380	2,040	1,978	2,924	3,128
60	94	82	100	3,600	8,836	6,724	10,000	5,640	4,920	6,000	7,708	9,400	8,200
0	59	88	31	0	3,481	7,744	961	0	0	0	5,192	1,829	2,728
60	100	88	68	3,600	10,000	7,744	4,624	6,000	5,280	4,080	8,800	6,800	5,984
50	8	33	32	2,500	64	1,089	1,024	400	1,650	1,600	264	256	1,056
10	5	0	27	100	25	0	729	50	0	270	0	135	0
10	54	53	23	100	2,916	2,809	529	540	530	230	2,862	1,242	1,219
10	0	47	0	100	0	2,209	0	0	470	0	0	0	0
360	532	623	499	21,800	41,632	47,831	33,773	24,240	25,830	24,250	42,654	35,185	36,209

Figure 1 – Diagramme X – P significatif



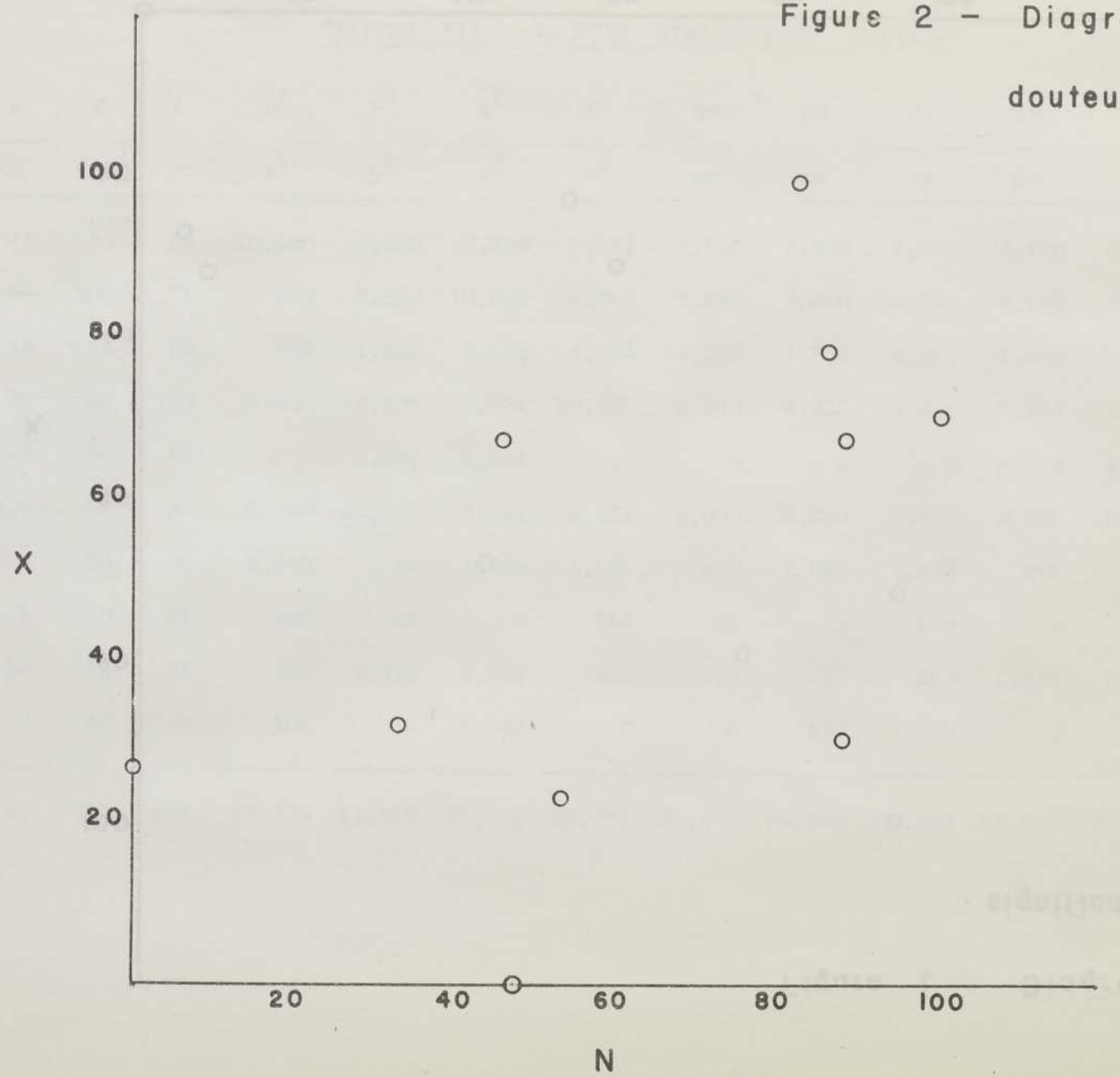


Figure 2 – Diagramme X – N douteux

Figure 3 - Diagramme X - R

non significatif

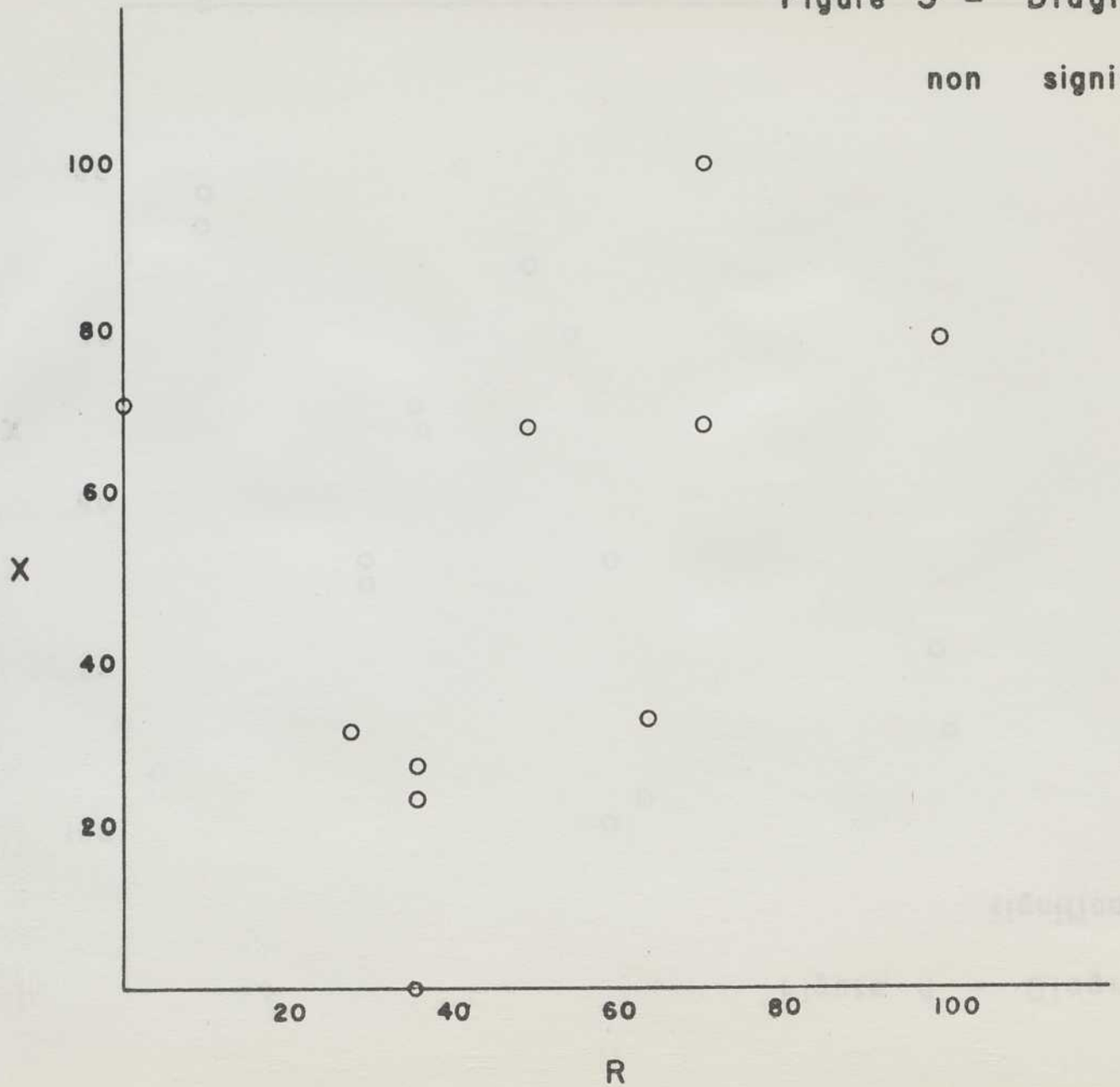


Figure 2 - Diagramme X - N

douteux

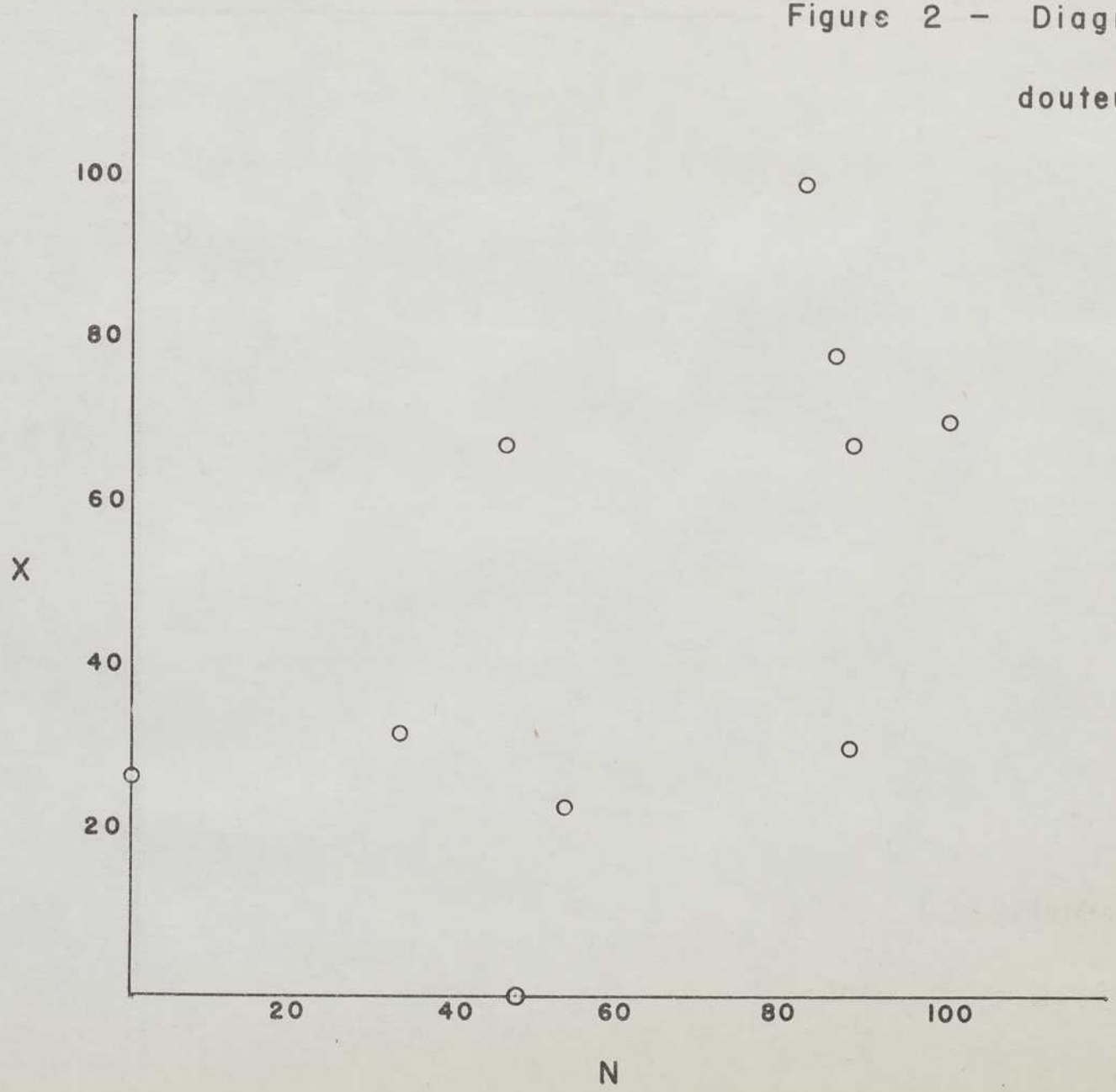


Figure 3 - Diagramme X - R

non significatif

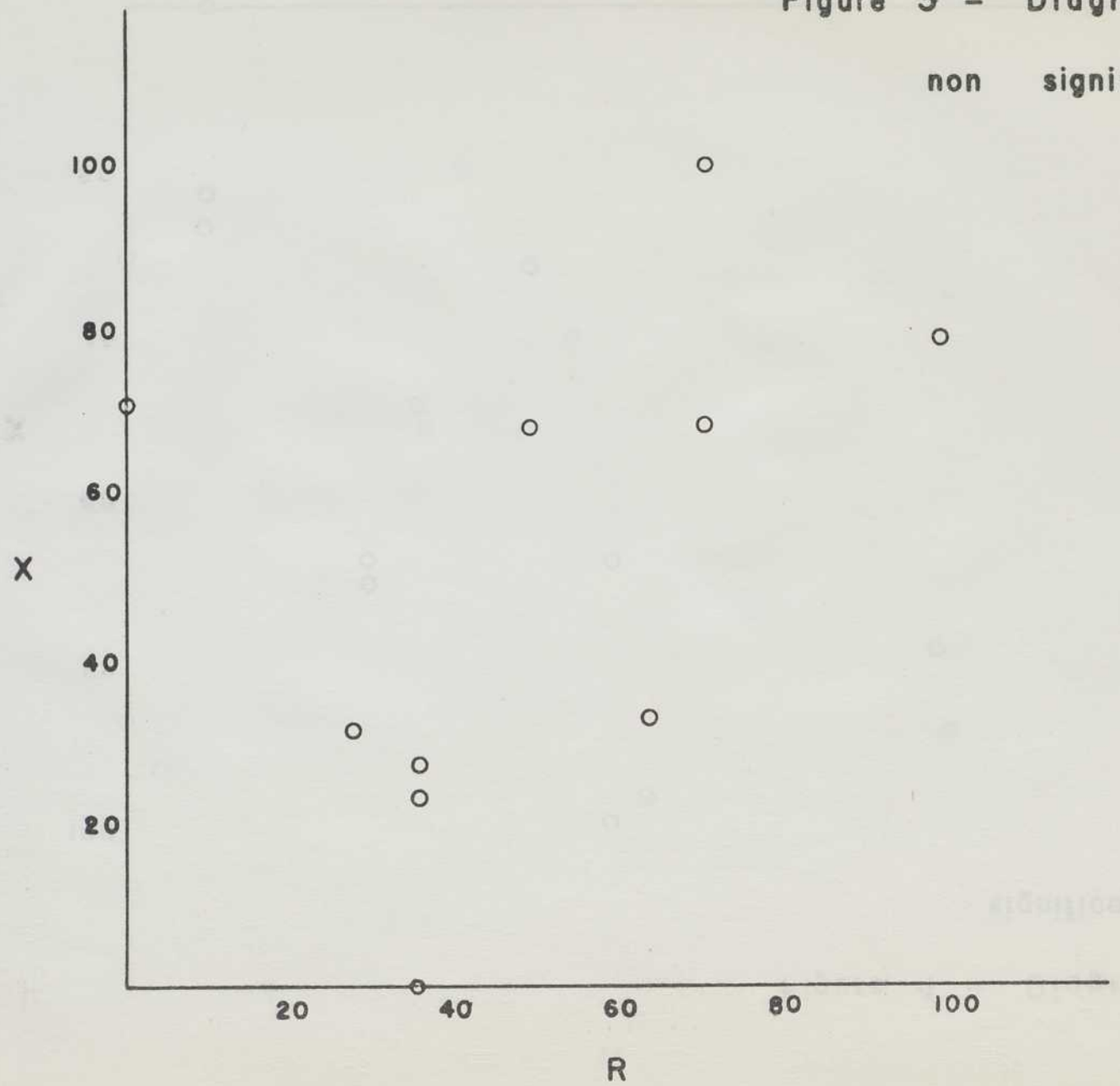


Figure 4 - Diagramme X - R' significatif

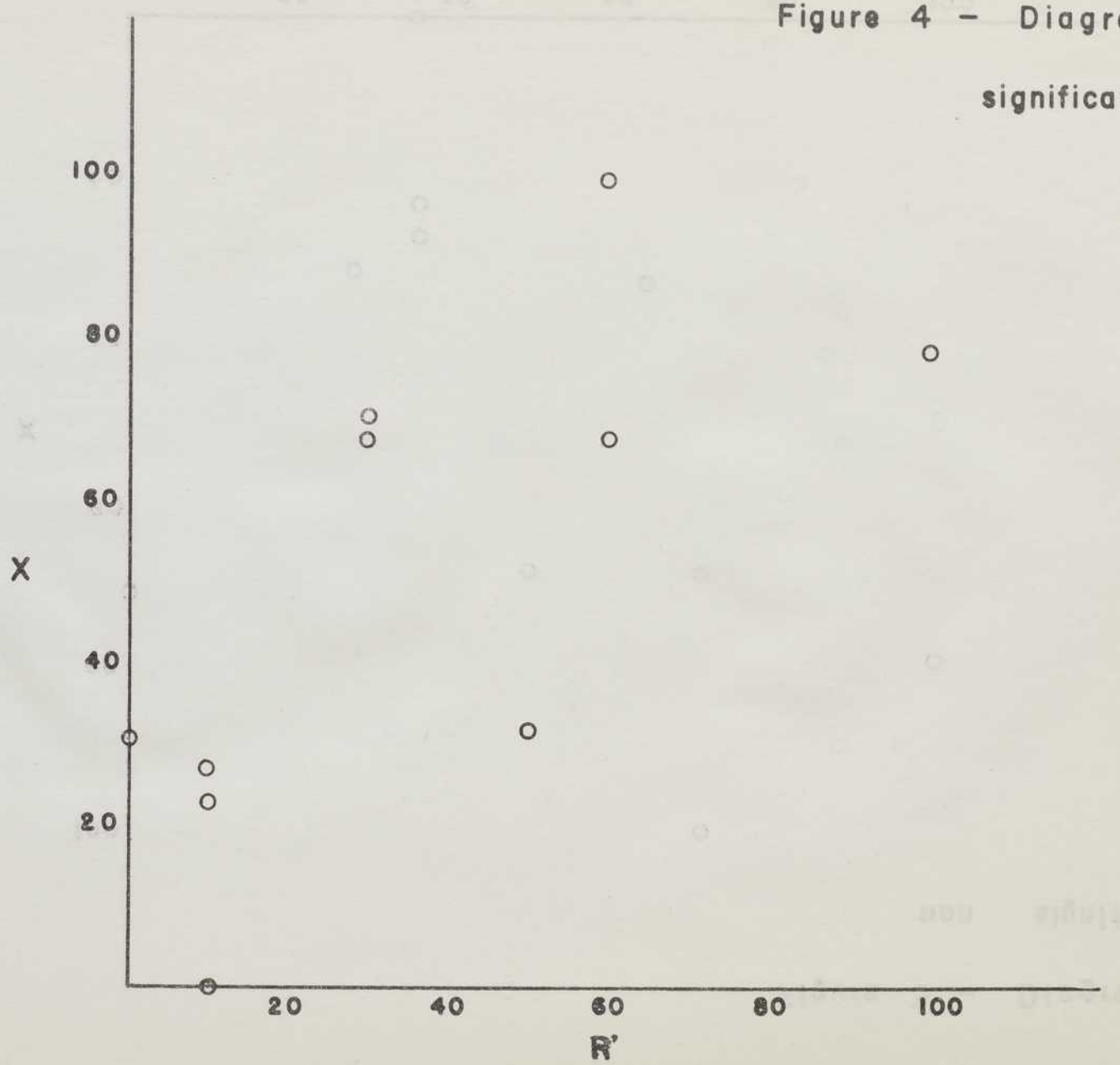


Figure 5 – Diagramme X – M

non significatif

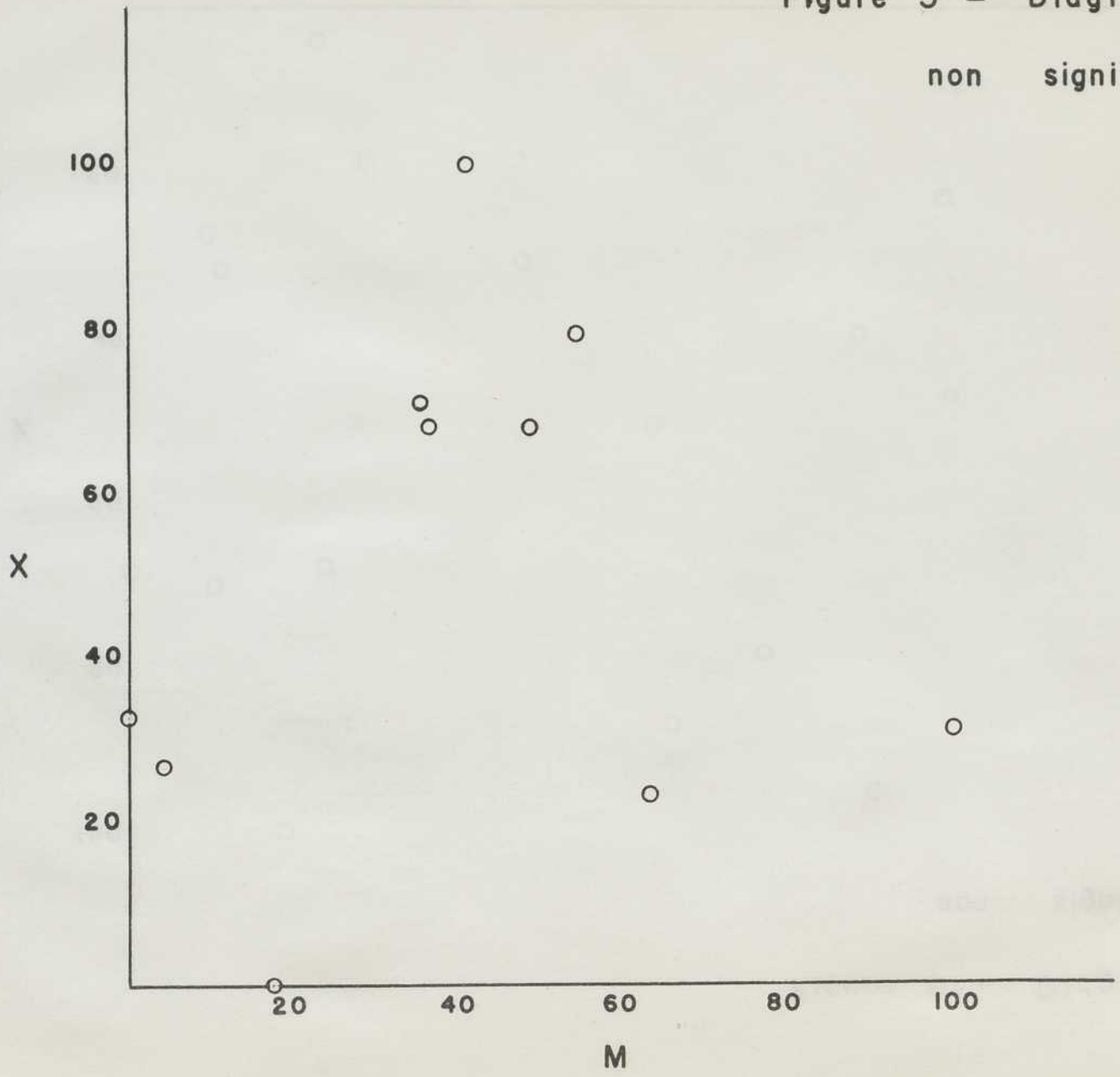


Figure 6 - Diagramme X - W

non significatif

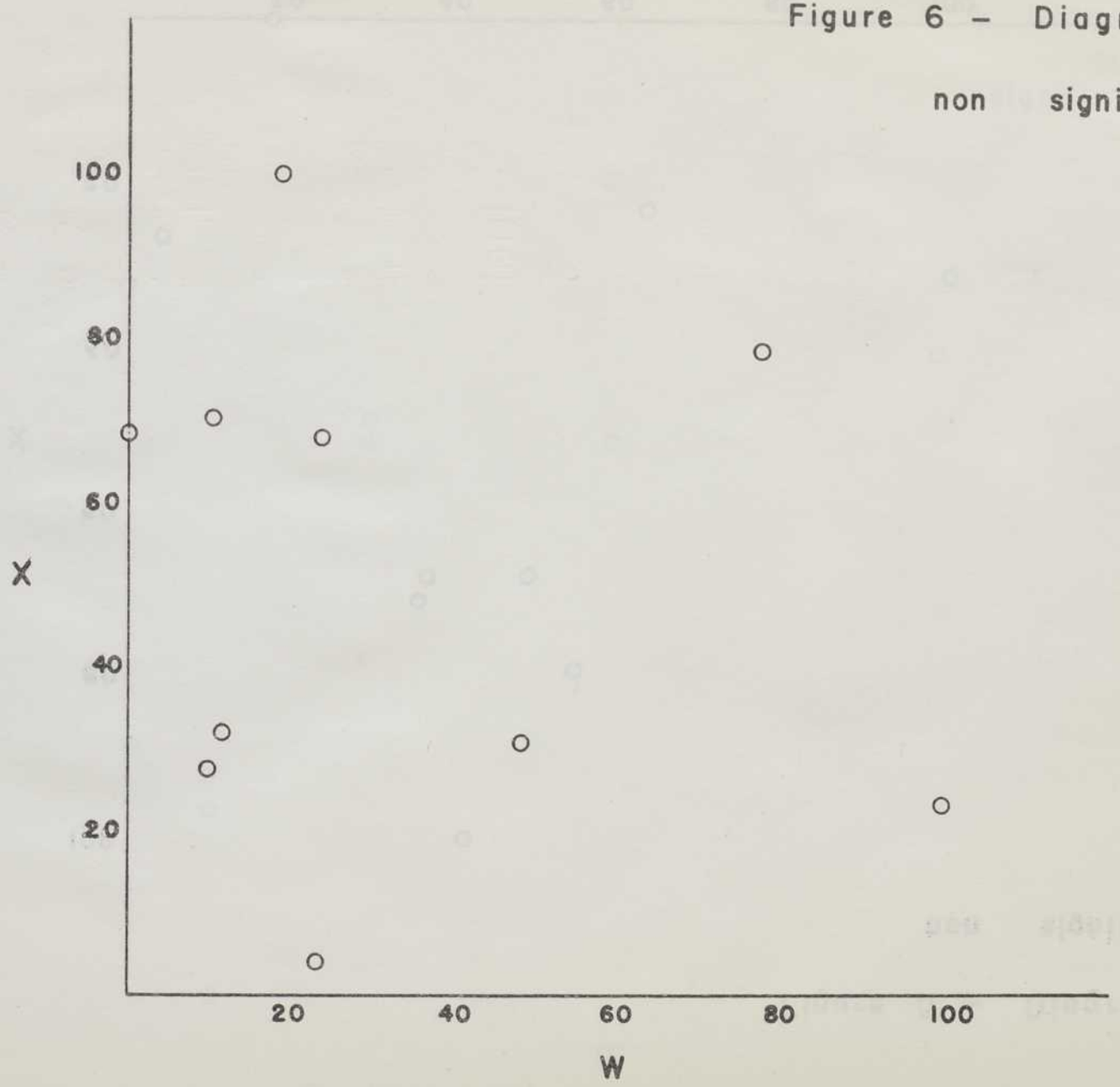


Figure 7 - Diagramme X - V

non significatif

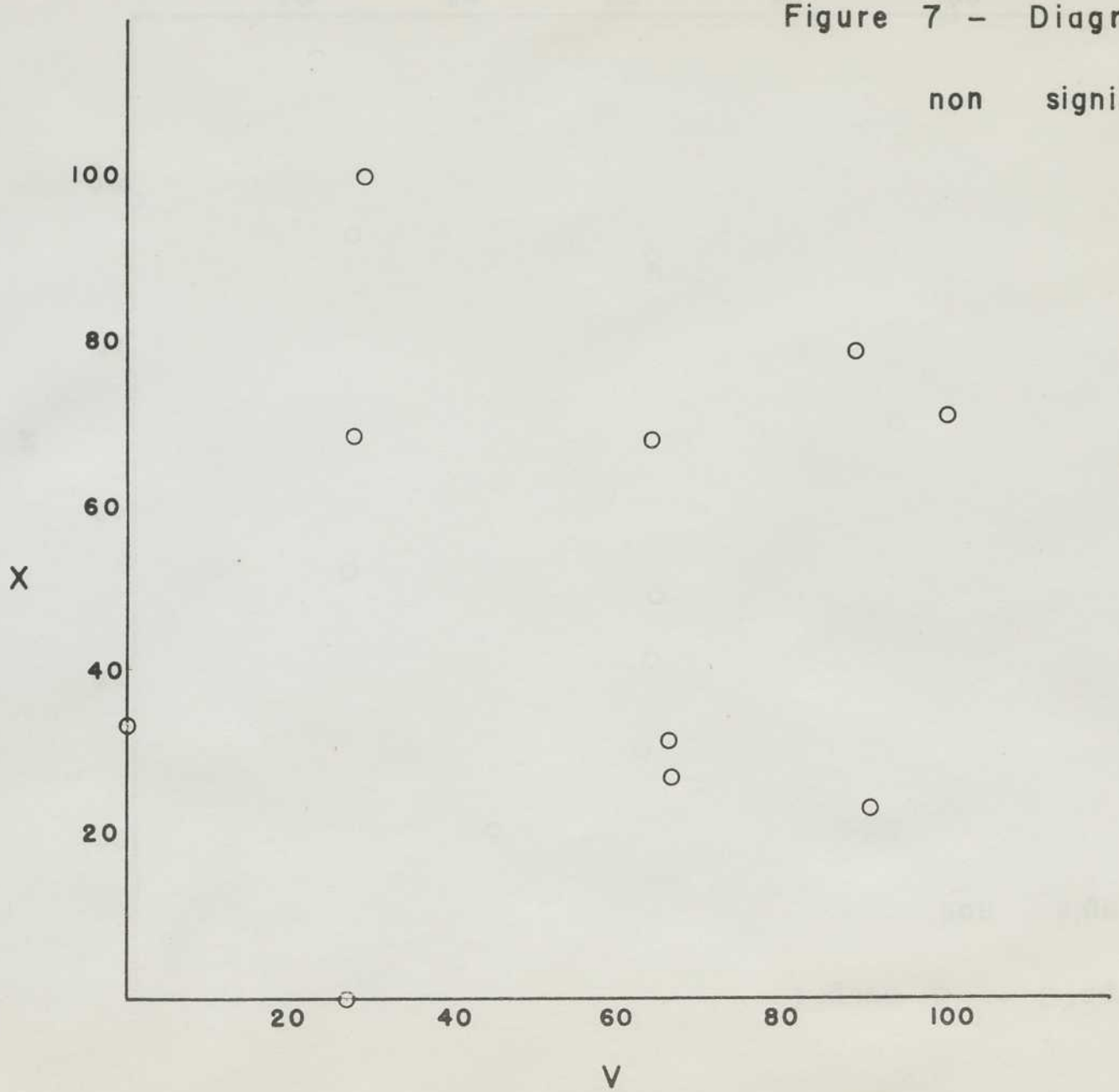


Figure 8 - Diagramme X - Y

non significatif

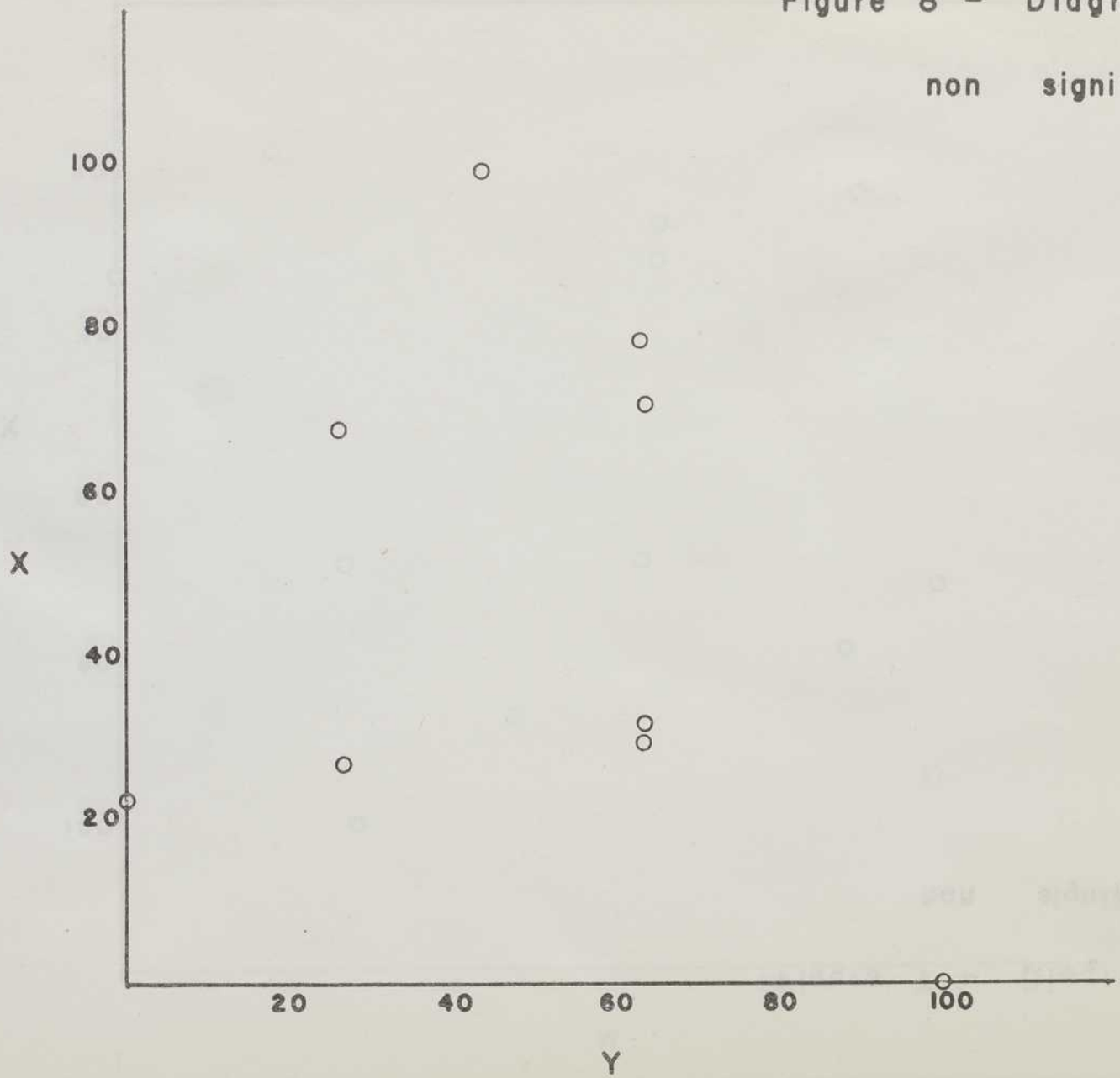


Figure 9 - Diagramme X - Z

non significatif