

HOMMAGE DE L'AUTEUR *jmp*

**ESQUISSE ESTIMATIVE
SUR LES FLUCTUATIONS PLUVIOMETRIQUES
ET LEURS CONSEQUENCES
LE MAÏS ET L'EFFET DE LISIERE CLIMATIQUE EN LOIRE-ATLANTIQUE**

par

le Professeur Jean-Max PALIERNE
Chargé du Laboratoire de Biogéographie-Géopédologie

Tiré À Part (TAP)
de
RÉFLEXIONS et CONTRIBUTIONS
à propos des notions de
FRONTIÈRES, SEUILS, LIMITES
en
GÉOGRAPHIE
et **AMÉNAGEMENT RÉGIONAL**

Centre Nantais de recherche en Aménagement
UNIVERSITÉ de NANTES

CAHIERS NANTAIS

ISSN 0755-9332

N° 15

JUIN 1978

Dépôt Légal 2^e semestre 1978

Pages 61 à 95

**avec 12 figures et 12 Tableaux originaux (dont 9 numérotés),
conçus et réalisés par J-M PALIERNE**

ESQUISSE ESTIMATIVE SUR LES FLUCTUATIONS PLUVIOMETRIQUES ET LEURS CONSEQUENCES

LE MAÏS ET L'EFFET DE LISIERE CLIMATIQUE EN LOIRE-ATLANTIQUE

J-M. PALIERNE

Université de Nantes

*« Cette bouffée de tiédeur n'en est pas moins
aventurée au sein d'un domaine... qui se
continentalise vite »*

J. GRAS

(Rapport-Tourisme. VI^e PLAN PDL)

« La Statistique est une dissection d'incertitudes »

M.J. MORONEY

(Facts from figures)

En 1976, la sécheresse –qui fut une aubaine pour le tourisme– a soulevé, en revanche, mainte inquiétude dans le milieu agro-sylvo-pastoral. L'image des prairies torrifiées et celle des arbres réduits parfois à l'état de squelette hantent encore beaucoup de mémoires. Mais, à coup sûr, pour des raisons exposées par ailleurs dans ce *Cahier*, ce sont les cultures fragiles qui ont causé le plus de tablature au monde campagnard et, parmi elles, celle du maïs singulièrement (1). Un mémoire de Maîtrise soutenu à notre *Institut* de Nantes, et consacré précisément au problème de la maïsiculture, a bien révélé cet aspect des choses. Se faisant l'écho des interrogations des cultivateurs, l'auteur –J. COLLINEAU– a posé la question ambiguë du « climat-maïs » en Loire-Atlantique.

Eu égard aux coûts généraux requis par la maïsiculture, cette question peut être formulée de la manière suivante : « la Loire-Atlantique a-t-elle une vocation maïsicole suffisamment solide, compte tenu des conditions "moyennes" du climat ? Le retour de sécheresses comparables à celle de 1976 est-il envisageable ? ». C'est cette double interrogation que nous allons examiner, en réservant d'ailleurs les réponses qui peuvent être fournies, car une grande prudence est indispensable en ces matières comme le laissent entendre les deux citations mises en épigraphe à cette "esquisse".

1 Voir l'article de J. COLLINEAU

I - LA DOUBLE AMBIGUÏTÉ DE FOND : UN MILIEU PARTICULIER, DES DONNÉES INSUFFISANTES

1. *L'ambiguïté du milieu*

S'il est un problème des frontières en Géographie, c'est bien celui des frontières climatiques. Imprécises, évolutives, fugitives, elles redessinent incessamment les territoires qu'elles cernent dans le flou. De ce point de vue, la Loire-Atlantique est tout à fait exemplaire, parce qu'elle appartient à un petit ensemble où les limites des fluctuations du temps bougent en permanence. De ce fait, sur ces terres, les frontières se font lisières mouvantes, zones de contact tout en nuances mobiles, changeantes, presque insaisissables. Ce petit ensemble peut être défini comme celui de l'aire atlantico-ligérienne; c'est-à-dire qu'il englobe, outre la Loire-Atlantique, la Vendée et le Maine-et-Loire occidental. Ici, la notion de climat s'éparpille presque en unités menues, mésoclimatiques et microclimatiques (2). Et celles-ci et celles-là, souvent, se dérobent devant l'analyse.

L'ensemble atlantico-ligérien, comme le résume excellemment la formule de J. GRAS, associe —et fréquemment de manière plus contradictoire que complémentaire— les derniers effluves de l'émolliente océanité et les premières rugosités continentales. «*Douceur angevine*» a dit, de façon cursive, le poète. Sans doute est-ce banalité de le rappeler. Mais, banalité apparente, car cette douceur n'est pas exempte de traîtrises soudaines et sévères. Et c'est bien là que s'enracine notre problème : savoir ce qui constitue, au fond, cette douceur flexible et lumineuse, et capable de s'inverser. Presque de se pervertir.

Naguère notre regrettée amie, P. GARENC, a cherché à percer l'énigme d'une des facettes du climat atlantico-ligérien : le microclimat olonnais. Son beau travail est encore, et quasi totalement, d'actualité; parce que les voies dernières de l'explication demeurent fermées. Peut-être un jour, les astrophysiciens ou les cosmographes nous délivreront-ils de nos interrogations. Car, en définitive, notre ensemble atlantico-ligérien pourrait être un "lieu" géocosmique comme il est des lieux géométriques.

2. J'entends "microclimat" au sens que certains donnent à topoclimat, c'est-à-dire une unité climatique où se mesurent encore les grandes variables météorologiques : pluies, températures, pressions, vents, etc; Le microclimat pris dans un sens plus restrictif («*climat de la cave*» ou de la «*niche*» écologique) n'a pratiquement aucun sens. Mieux vaudrait dire : "métaclimat" pour qualifier ces "climats" (?) ultrasinguliers.

La masse océanique, l'orientation et l'exposition littorales, l'étendue du pré-continent, les trajectoires méridiennes des échanges d'air —par voie tourbillonnaire probablement— les ondulations du Front Polaire, ont sans doute chacune leur rôle en cette affaire complexe qui confère à notre mésoclimat une tonalité “azurée”. Reconnaissons en tout cas que nous ne sommes pas en présence d'une météorologie banale. Faut-il y ajouter le fait que Nantes est à toute proximité du centre des terres émergées [de MARTONNE (3)], et qu'entre Charente, Vilaine et Bassin de Paris, une des coordonnées fondamentales de la cosmographie —66°,5— s'épanouit pleinement (4) ?

Ce ne sont peut-être là que données fortuites et sans conséquence. Mais, c'est peut-être, aussi, autre chose. Quoi qu'il en soit, ce n'est pas le cadre d'un article sommaire qui permet d'utiles développements en ce sens. Il y faudrait un calculateur; mathématiquement parlant. Car les corrélations multiples entre les variables à considérer exigent une procédure opératoire extrêmement sûre et complète. Belle tâche pour les climatologues...

En attendant la mise au point de la méthode, il ne reste au biogéographe —ou au géoruraliste— que les voies plus obscures et plus simples de la Statistique descriptive courante.

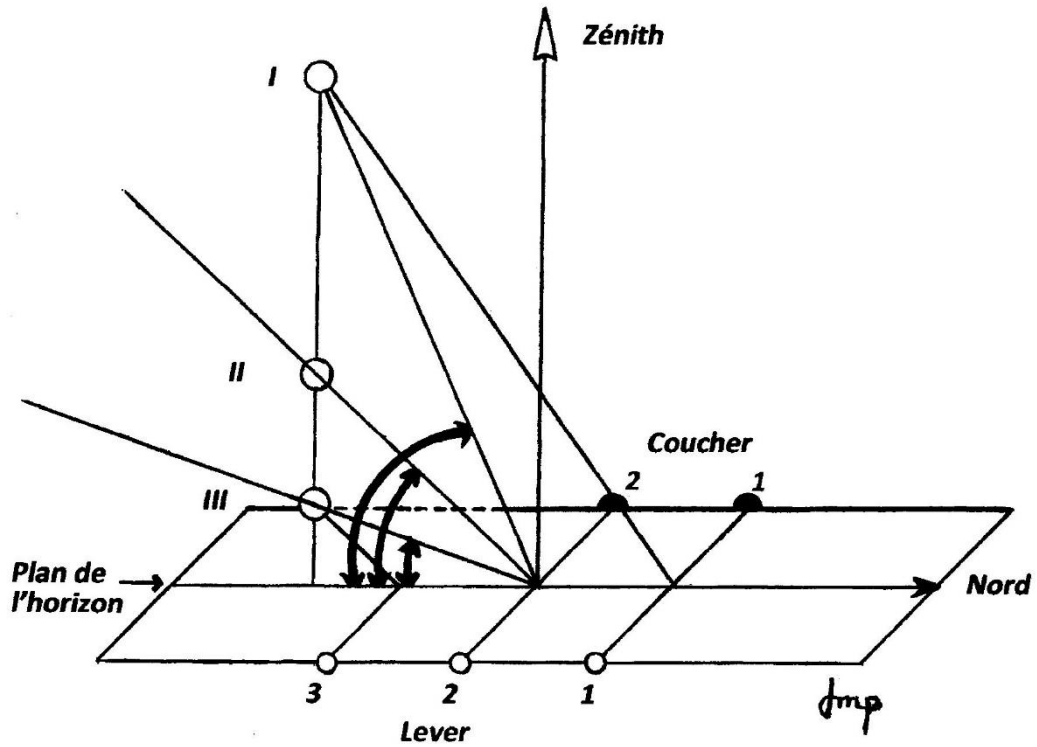
2. *L'ambiguïté des données*

Définir un climat, c'est l'analyser de la manière la plus poussée possible. C'est envisager toutes les variables sur une longue période. *A fortiori*, s'il s'agit d'un méso ou d'un micro climat. Sous ce point de vue, les choses laissent largement à désirer en Loire-Atlantique. Il y a très peu de stations complètement équipées et les séries chronologiques —relatives aux seules précipitations— sont courtes. C'est pourquoi, ici, nous nous bornerons à l'étude des pluies dans les stations disposant de séries de 25 ans à peu près continues. Mais, même pour ces stations, nous avons dû procéder à une “manipulation” : le bouchage des “trous” existants. En effet, certaines séries sont incomplètes. Comme il eût été peu commode d'exécuter les calculs en incluant les trous, on a comblé ceux-ci en ayant recours

3 *Traité de Géographie Physique*, tome 1.

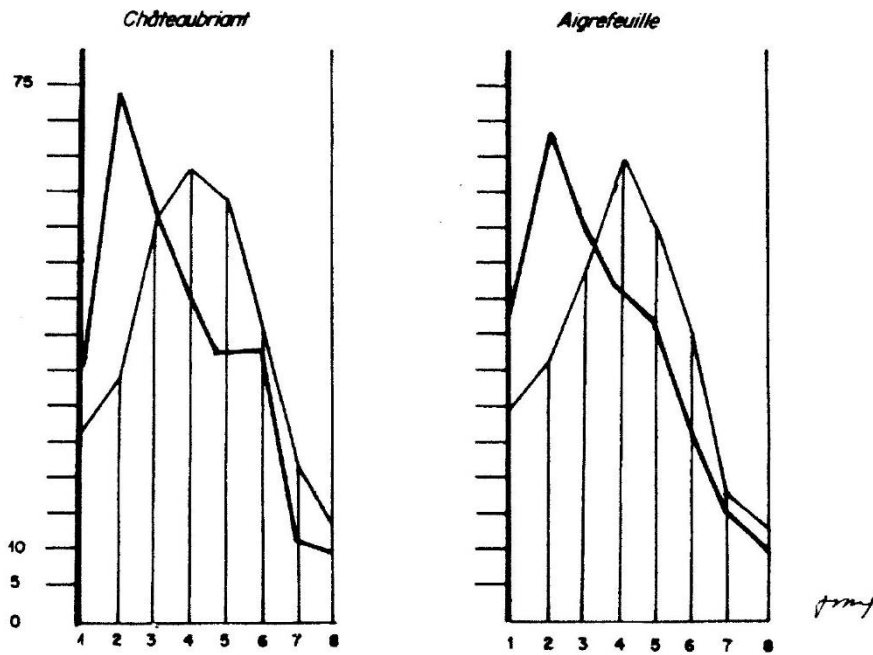
4 Voir fig. 1

Fig.1 - Positions du Soleil à la latitude médiane de la L...A. pour les dates remarquables



- I - Solstice d'Été = $66^{\circ}5$
- II - Equinoxes = 43°
- III - Solstice d'Hiver = $19^{\circ}5$

Fig.2 - Polygones des distributions pluviométriques à Aigrefeuille et Châteaubriant



Ordonnées = Fréquences absolues

Abscisses = Classes

Trait fort = distributions observées

Sous-impression = polygones des distributions normales correspondant à \bar{X} et σ des D.O.

à plusieurs variables : tendance générale, saisonnier, moyenne du mois nommé de la station, données des stations voisines, etc. La procédure ainsi mise au point a été testée en “trouant” des mois à données connues, et en calculant les données de secours. On a vérifié que ces données fabriquées ne déformaient pas de manière significative les résultats. Il est bon cependant d’ajouter que —même négligeable— la “zone crépusculaire” ou d’incertitude existe, tout spécialement pour le mois de Janvier, et de Décembre à moindre titre.

À partir des séries ainsi réajustées, on a cherché quels résultats pourraient être susceptibles de répondre éventuellement aux questions posées par les agriculteurs de manière ouverte ou couverte. Secondairement, on a essayé de savoir si l’on pouvait démêler, dans nos facettes climatiques, l’influence de l’haleine océane de celle des effluves méridionaux —sinon latéméditerranéenne— remaniés par les faits “continentaux”. De ce second point de vue, il est possible d’ores et déjà de dire que tout se joue sur le fil du rasoir, les décalages étant d’une extrême minceur. Mais, répétons-le, c’est peut-être là que tout se noue pour notre région.

Deux grands compartiments d’investigation ont été mis à jour : celui de la VARIABILITÉ, qui est le plus complexe à définir dans notre climat, et celui de la TENDANCE. Autrement dit, bien que nous ayons utilisé les voies très classiques —ou banales— de la climatologie statique, nous avons envisagé les questions dans une perspective dynamique et évolutive.

II - LES PROCÉDURES DE CALCUL

Elles ont visé à la simplicité; ce que vérifiera sans difficulté le lecteur même hostile aux chiffres. La base de tous les calculs est en effet celle des coupes civiles : mois ou année. Sans doute ces cadres sont-ils parfois incommodes, mais probablement moins qu’on ne le croit. En toute hypothèse, eu égard aux objectifs recherchés ici, il n’y avait pas d’inconvénient majeur à s’en tenir aux coupes civiles. On a donc négligé complètement le recours aux moyennes dites “mobiles”, ou “glissantes”, ou “échelonnées”, puisque leur utilisation aboutit au “lissage” des courbes. Le lissage, qui arrondit les aigus

des rentrants et des saillants (dans les graphiques) aurait abouti à détruire en partie la personnalité de notre variabilité climatique. Et l'on a déjà trop dit que le climat océanique est un climat équilibré.

Un exemple précisera cet aspect. Imaginons de calculer les moyennes décennales mobiles de la pluviométrie pour la station de Châteaubriant (cela a été fait d'ailleurs); puis calculons la tendance sur cette nouvelle série. Il vient une tendance pluviométrique de + 1,8 mm/an. La tendance calculée sur les données brutes est de -3,4 mm/an. Le recours aux moyennes glissantes revient donc à sous-estimer la tendance de 5,2 mm/an. Cela —qui n'est pas négligeable— sort des interférences entre points voisins que font naître les moyennes mobiles. Elles équivalent, en effet, à un tirage en partie non exhaustif. Il faut ajouter que les cycles qui résultent des moyennes mobiles peuvent être strictement fictifs, en traduisant, par exemple, l'effet de deux cycles plus courts. Ce qui est, d'une certaine manière une amplification de l'effet SLUTZKY. Ce qui serait désastreux dans le cas présent où le rapport n/N est de 0,384 (n = durée de la période de glissement : 10 ans, et N = durée de la série = 26 ans). Or, plus le rapport n/N est élevé, plus la courbe est "lissée". À la limite, on peut aboutir à un pluviogramme plat. En toute hypothèse, tout calcul remanie la réalité, il faut le savoir et en tenir compte à la lecture des résultats (*c'est ce qui distingue le "paramètre" de la "variable", le premier remaniant la seconde*). Pour la suite de la présente lecture, on se souviendra que ce qui est sorti des manipulations relève des *ordres de grandeur fluctuant dans un intervalle d'incertitude*.

Cela étant, voici les éléments qui ont été calculés :

- 1 – les types de distributions, grâce
 - . à la loi normale réduite $DN \overline{x}$ (moyenne arithmétique) σ (écart-type)]
 - . aux moments centrés d'ordre 3 (symétrie), et d'ordre 4 (kurtosis);
- 2 – la variabilité mensuelle, annuelle, combinée et globale, par le coefficient de variation (CV);
- 3 – la corrélation des données et des stations (r);
- 4 – les covariations des données et des stations (I_{cov});
- 5 – la tendance générale (Trend), avec ses limites de sécurité ($T \pm 2 u$);
- 6 – la composante saisonnière (T, S, R).

Les formules utilisées, qui sont banales, seront rappelées pour mémoire au moment de leur première mise en oeuvre.

Pour diverses raisons, nous ne donnerons ici que deux cas : ils sont parfaitement exemplaires cependant des situations ligéro-atlantiques. Celles-ci ont été retenues parce que —on l'a dit— la question du “climat-maïs” a été posée dans le cadre du département de la Loire-Atlantique, d'une part, pour cause territoriale; et, d'autre part, parce que ce cadre convient admirablement à la question posée. On a montré ailleurs (5), en effet, qu'en Loire-Atlantique, les paysages naturels et les structures agraires traduisent, aujourd'hui encore, les influences combinées de l'Océan, du Continent et des avancées méridionales. Ce qui, précisément, sous-tend nos interprétations présentes.

III - LES RÉSULTATS

Pour les raisons que l'on devine, tout l'appareil des données du calcul a été écarté. Seuls figureront donc ici les éléments fournis par ce calcul. À titre indicatif, on donnera simplement quelques exemples en ANNEXE (*in fine*).

1. La variabilité

On a trop insisté dans le passé sur l'équilibre pluvial de nos régions. À en croire encore certains textes, qui, au surplus, datent beaucoup au point de vue des données chiffrées, le climat océanique serait profondément pluvieux. Dans les grandes lignes, certes, notre climat présente peu d'écarts très importants. Mais cette “sagesse” d'ensemble cache des variations importantes. Si importantes au demeurant, que l'opinion a pu être sensibilisée fortement en 1976 par des agitateurs trop récemment acquis à l'écologie. L'inévitable problème du remembrement a d'ailleurs été conjoint à celui de la sécheresse —mais conjoint à la manière d'une corrélation— et l'information publique n'a pas craint de rapprocher du mot “armoricain” celui de steppe ou de “sahel”, ce qui est pour le moins outrancier. Afin de couper court à de semblables énormités, le mieux est de distinguer les propriétés réelles de la variation océanique. Celle-ci peut être testée à plusieurs niveaux.

Le premier et le plus simple —mais aussi le plus discutable— tient à la variation calculée sur les moyennes mensuelles dans le cadre de l'année. Celle-là montre que nos climats n'ont rigoureusement rien de “sahélien”. Pour mieux apprécier ce type de variabilité, on l'a rapporté à ce que montrent des CV

5 J-M PALIERNE, Thèse d'État, Rennes (1975).

calculés pour quelques stations typiques dans le monde : Tableau 1 (6).

STATIONS	ALTITUDE	COORDONNÉES	C.V. %	PP. mm
Antofagasta	101	S. 23.42 - W. 70.24	160	13
In Salah	303	N. 27.12 - E. 02.28	129	15
Lhassa	3 990	N. 29.40 - E. 91.07	116	410
Cap Juby	7	N. 27.56 - W. 12.55	115	49
Inchon	76	N. 37.29 - E.126.38	101	1 044
Mogadiscio	13	N. 02.02 - E.45.21	98	433
Bagdad	36	N. 33.20 - E. 44.24	97	141
Addis Abeba	2 652	N. 09.20 - E. 38.45	96	1 247
Lashio	925	N. 22.58 - E. 97.51	86	1 585
Cairns	5	N. 16.55 - E. 145.47	83	2 271
Barrow Point	7	N. 71.18 - W.156.47	78	105
Papeete	100	S. 17.32 - W.149.34	71	1 897
Eismitte	3 248	N. 70.53 - W. 40.42	70	110
Douala	9	N. 04.03 - E. 09.41	70	4 058
Amboine	5	S. 03.42 - E.128.10	66	3.487
Wrangel	3	N. 70.58 - W.178.33	65	110
Omsk	92	N. 54.38 - E. 73.20	59	320
Assouan	121	N. 24.02 - E. 32.53	58	2
Critobal	12	N. 09.21 - W. 79.54	58	3 336
Naples	73	N. 40.53 - E. 14.18	55	878
Cheyenne	2 026	N. 41.09 - W.104.49	53	379
Prague	219	N. 50.05 - E. 14.25	43	494
Tshibinda	2 290	S. 02.19 - E. 28.45	42	1 882
Flagstaff	2 278	N. 35.12 - W.111.40	41	561
Leningrad	5	N. 59.56 - E. 30.16	39	492
Grøn fjorden	8	N. 78.02 - E. 14.15	34	300
Chibougamou	407	N. 49.54 - W. 74.18	33	1 073
Madang	7	S. 05.14 - E.145.45	33	3 512
Escanaba	196	N. 45.48 - W. 87.05	27	755
Odessa	70	N. 46.29 - E. 30.44	27	366
Shannon Airport	3	N. 52.41 - W. 08.55	25	934
Bordeaux	52	N. 44.50 - W. 00.43	23	837
Fanaråken	2 194	N. 61.31 - E. 07.54	21	1 175
Laurie Island	5	S. 60.44 - W. 44.44	19	402
Sonnblick	3 363	N. 57.03 - E. 12.57	13	1 498
Invercargill	4	S. 46.26 - E.168.21	12	1 165

Tableau 1 - QUELQUES C.V. PLUVIOMÉTRIQUES INTERMENSUELS SIGNIFICATIFS
Calculs effectués à partir des données brutes du Meteorological Office (H.M. Stationery Office)

On verra que Châteaubriant [(1) CV = + 19,50 %] et Aigrefeuille [(2) CV = + 25, 20 %] se classent en bas de tableau. Incidemment, on notera que l'écart entre nos deux stations pilotes traduit, pour la plus méridionale (2), une influence nette des effluves venus du Sud, alors que l'écart en latitude est très faible : Aigrefeuille = 47° 05 N, et Châteaubriant = 47° 41 N. Notons encore que le CV d'Aigrefeuille est supérieur à celui de Bordeaux (= 22,7 %), mais très inférieur à celui de Marseille (= 44,7 %), ce qui permet de bien préciser la tonalité "méridionale" de notre climat.

Mais cette variation, qui porte sur les MOYENNES des 26 dernières années, doit être immédiatement corrigée des variations des années entre elles : c'est un deuxième niveau d'appréciation, et plus intéressant. Pour Châteaubriant, il vient un CV = 20,2%, et pour Aigrefeuille un CV = 17,3%. Cela nuance sensiblement notre première observation, car pour des moyennes respectives de 762 et 755 mm, les écarts moyens sont respectivement de 154 et 130 mm, ce qui n'est pas négligeable et traduit bien l'importance de l'étendue absolue : 682 mm pour Châteaubriant et 505 mm pour Aigrefeuille. Cela signifie que, pour la période considérée, les pluies ont varié dans un intervalle du simple au double : plus précisément de 1 à 2,30 et de 1 à 2,01. C'est là une première indication utile quant au "risque-sécheresse" qui a été posé. À nouveau, d'ailleurs, on remarquera que la station la plus "océanique", Châteaubriant, a une tendance plus forte à l'instabilité.

Pour préciser la variabilité, il faut sortir celle-ci des calculs portant sur les mois moyens rapportés à l'année moyenne, et il faut passer à l'étude des fluctuations portant sur les mois de même nom (variation mensuelle interannuelle). Au niveau brut des étendues, les écarts prennent déjà un beau relief, comme le montre, ci-dessous, le Tableau 2.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aigrefeuille	127,5	147	104	99,3	127	132,5	86	118,2	181,3	215	155	129,7
Châteaubriant	113	184,8	114,9	122,3	114	120	81,5	113,1	123,2	268	165	141,3

TABLEAU 2 - Intervalle de variation par mois (en mm)

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \text{ où } \sigma \text{ est l'écart-type et } \bar{x} \text{ la moyenne arithmétique}$$

Les étendues, évidemment, sont indicatives, mais ne permettent pas une appréciation en profondeur du phénomène de la variabilité. Nous aurons donc recours une fois encore aux CV reportés au Tableau 3 ci-après.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aigrefeuille	46,7	63,5	55,7	50,4	58	80	64,7	64,9	55	73,7	46,9	54,2
Châteaubriant	49,1	64,4	53	61,4	53,5	68,3	52,4	55,5	52,3	79,8	52,4	56,3

TABLEAU 3 - Coefficients de Variation des mois (1951 - 1976), en % (CV)

Cette fois, nous sommes en présence d'une forte variabilité. Et c'est à travers elle que se posent les vrais problèmes, car elle marque d'une façon constante le climat de nos régions. D'une façon plus générale, elle marque le caractère changeant des séquences du temps océanique. C'est elle qui est à redouter en matière agro-sylvo-pastorale, puisqu'elle est stable : CV moyen = 58,2 %, $\sigma = 8,46$ (d'où un CV des CV de 14,5 %), pour Châteaubriant; et CV moyen = 59,5 %, $\sigma = 9,87$ (d'où un CV des CV de 16,6 %) pour Aigrefeuille. Mais, à nouveau, il faut prendre garde aux artifices du calcul. Les mois d'été étant capitaux pour la maïsiculture, nous pourrions être tentés de calculer le CV moyen de l'été (7), pour lequel il viendrait : Châteaubriant = 57,8 % et Aigrefeuille = 69,8 %. En réalité, l'été est nettement moins variable car des compensations existent d'un mois l'autre, comme cela a été montré ailleurs (8). Si l'été doit être pris en compte globalement, c'est le CV du trimestre qu'il faut considérer, et il vient alors : Châteaubriant = 39,8 %, Aigrefeuille = 48,3 %. De cet ensemble de valeurs comparées, on peut induire que si les compensations jouent bien, le CV tendra vers sa valeur trimestrielle; si elles jouent mal —comme en 1976, par exemple— c'est le CV moyen de l'été qui l'emportera. Et c'est bien là que réside toute la difficulté de la maïsiculture, car les prévisions, même à très moyen terme, sont des plus incertaines; sauf à vaticiner.

7 Le découpage saisonnier est le suivant : Hiver = 12 - 1 - 2; Printemps = 3 - 4 - 5; Été = 6 - 7 - 8; Automne = 9 - 10 - 11 (où 1 = janvier, 2 février, etc.).

8 Voir Note 5.

Cette imprécision prévisionnelle peut d'ailleurs être corroborée par l'examen des étendues annuelles et la position des maxima (Max ou M) et des minima (Min ou m) que donne le Tableau 4.

Années	AIGREFEUILLE			CHÂTEAUBRIANT		
	IV	M - m	IV/ΣPP%	IV	M - m	IV/ΣPP%
1951	92	11 - 07	10,4	103	11 - 07	9,3
52	184	09 - 06	19,8	141	11 - 06	15,5
53	89	04 - 03	17,4	121	04 - 03	23,1
54	88	11 - 05	11,7	96	11 - 04	14,7
55	138	02 - 08	21,0	127	01 - 04	20,0
56	112	08 - 02	15,4	108	08 - 02	14,8
57	126	02 - 05	16,8	170	02 - 10	25,1
58	84	12 - 10	9,0	77	01 - 04	8,9
59	142	12 - 02	20,3	153	12 - 02	20,5
1960	156	11 - 06	17,4	154	11 - 04	15,8
61	138	01 - 03	16,6	130	12 - 08	18,8
62	111	11 - 06	16,8	90	11 - 06	14,9
63	162	11 - 07	19,4	121	11 - 07	14,1
64	107	05 - 07	16,0	82	12 - 07	12,6
65	178	09 - 02	17,9	155	11 - 01	19,7
66	199	10 - 03	19,9	244	10 - 09	20,3
67	99	05 - 07	13,7	123	05 - 07	14,4
68	91	06 - 11	11,3	92	09 - 11	12,2
69	126	10 - 11	18,1	133	11 - 10	18,1
1970	101	11 - 12	15,5	96	11 - 05	12,9
71	128	05 - 10	20,0	98	05 - 10	15,8
72	85	01 - 06	13,1	99	02 - 10	12,4
73	60	07 - 03	12,1	84	05 - 03	13,1
74	146	11 - 12	17,6	177	11 - 07	22,5
75	114	01 - 06	15,8	112	09 - 02	16,4
76	127	11 - 06	19,1	121	11 - 06	20,2

TABLEAU 4 - Intervalles de Variation (IV en mm) et Max-Min (en N° des mois) rapportés à la somme (Σ) des précipitations (PP)

Avant de tirer quelques enseignements de ce tableau, on peut le compléter par un sous-tableau récapitulatif des Max-Min par mois (Tableau 5).

AIGREFEUILLE					CHÂTEAUBRIANT				
MOIS	Max.	F _{rel}	Min	F _{rel}	MOIS	Max	F _{rel}	Min	F _{rel}
1	3	0.116	.	0.000	1	2	0.077	.	0.000
2	2	0.077	3	0.116	2	2	0.077	4	0.154
3	.	0.000	4	0.154	3	.	0.000	2	0.077
4	1	0.038	.	0.000	4	1	0.038	4	0.154
5	3	0.116	2	0.077	5	3	0.116	1	0.038
6	1	0.038	6	0.230	6	.	0.000	3	0.117
7	1	0.038	4	0.154	7	.	0.000	5	0.192
8	1	0.308	1	0.038	8	1	0.038	1	0.038
9	2	0.077	.	0.000	9	2	0.077	1	0.038
10	2	0.077	2	0.077	10	1	0.038	4	0.154
11	8	0.038	2	0.077	11	11	0.423	.	0.038
12	2	0.077	2	0.077	12	3	0.116	1	0.038
12	26	1.000	26	1.000	12	26	1.000	26	1.000

TABLEAU 5 - Fréquences des Max et Min par mois

Du point de vue de la variabilité, les tableaux 4 et 5 corroborent les impressions premières tirées des coefficients de variation, à savoir que les maxima et minima sont relativement mobiles et peuvent survenir presque à tout moment de l'année. Toutefois, la tendance générale place les minima en été (JJA) avec **11** (Aigrefeuille) et **9** (Châteaubriant), et les maxima en novembre : **8** pour Aigrefeuille et **11** pour Châteaubriant. C'est d'ailleurs une règle mondiale pour la pluie : *plus les pluies sont fortes moins la variabilité est élevée*. Le Tableau 1 l'avait indiqué : le coefficient de corrélation entre CV et ΣPP s'y établissait à **-0,941** (limites **-0,900** à **-0,973**) (9). Cette corrélation était d'ailleurs vérifiée à l'échelon ultrasimplifié pourtant de nos deux stations : Châteaubriant : ΣPP = **762** mm et CV = **19,5** %, Aigrefeuille : ΣPP = **755** et CV = **25,2** %.

9

$$r = \frac{\text{cov}\{XY\}}{\sqrt{\sigma^2\{X\} \sigma^2\{Y\}}}$$

où cov = covariance,

r : coefficient de corrélation de BRAVAIS-PEARSON

Et c'est à ce microniveau de la variation que l'on saisit la différence ténue entre une station où la touche d'océanité est plus marquée, Châteaubriant, et une station où la marque méridionale apparaît le mieux, Aigrefeuille. L'appartenance au même climat s'affirme bien en effet, grâce à l'Indice de Covariation [I cov (10)]. Celui-ci s'établit –aussi bien pour les Σ PP que pour les IV– à + 0,692 entre Aigrefeuille et Châteaubriant. Mais cet indice, identique et assez élevé, révèle aussi que la chronologie des variations n'est pas la même, puisque l'on a respectivement :

$$\Sigma\text{PP} : 10c + 1d + 5c + 2d + 3c = 1d + 4c$$

$$\text{IV} : 12c + 1d + 3c + 1d + 3c + 1d + 4c + 1d$$

Le Tableau 4 est révélateur de ces fluctuations de tout type. À titre d'exemple, on regardera les années 1955-1956. D'une façon globale, on peut, au demeurant, apprécier la faible concordance des extrêmes dans nos deux stations, en calculant Icov sur Σ PP et IV. Il vient alors :

$$\text{Icov des Max} = \underline{0,153}$$

$$\text{Icov des Min} = \underline{0,076}$$

Incidentement, on remarquera à nouveau que les pluies fortes ont un indice meilleur. Mais il est bon d'ajouter qu'on ne peut tirer d'enseignement précis quant au risque de de creusement des extrêmes en fonction de la plus ou moins grande pluviosité, puisque Icov pour Σ PP et IV reste modeste, voire faible dans nos deux stations :

$$\text{Aigrefeuille : Icov} (\Sigma\text{PP, IV}) = + \underline{0,307}$$

$$\text{Châteaubriant : Icov} (\Sigma\text{PP, IV}) = + \underline{0,231} \text{ (11)}$$

Tout cela suggère une distribution non normale de la pluviosité. Au lieu, en effet, de suivre une loi assimilable à celle de LAPLACE-GAUSS, notre pluie est plutôt distribuée selon une loi du type de celle de GALTON. Pour bien saisir cette dissymétrie de fond dans la répartition de nos mois pluvieux, nous pouvons raisonner de façon globale sur les 26 années d'observation, et considérer en bloc la population de nos 312 mois. Pour 8 classes d'intervalle 20 mm (avec correction de SHEPPARD pour la dernière (à cause de l'effet de groupement imposé par des maxima très forts), on obtient en utilisant la loi normale réduite,

$$10 \quad \text{Icov} = \frac{c - d}{c + d} \quad \text{où} \quad c = \text{concordance} \quad \text{et} \quad d = \text{discordance}$$

11 Ce qui est dit ici des Σ est vrai évidemment pour \bar{x} . Nous aurons à y revenir à propos des distributions et du calcul de T, S, R.

Fig. 3 - Courbes de concentration, Lorenz-Gini, de quelques CV remarquables
 1=20% 2=60% 3=80% 4=115% 5=150%

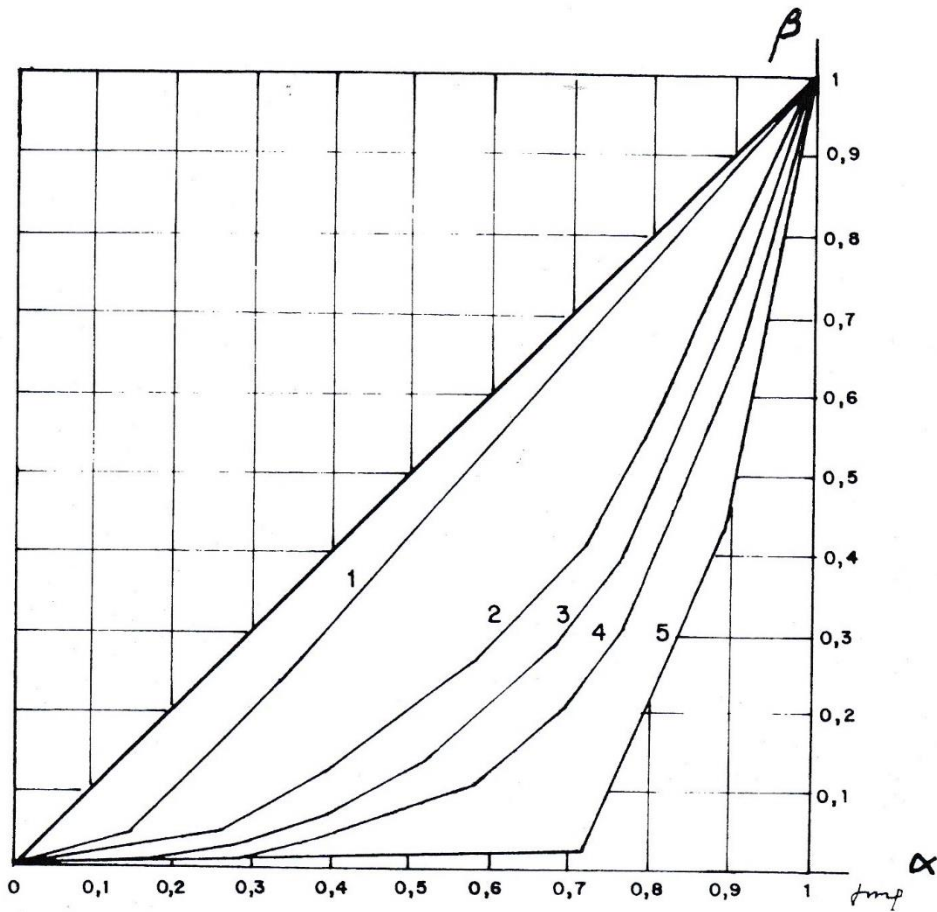
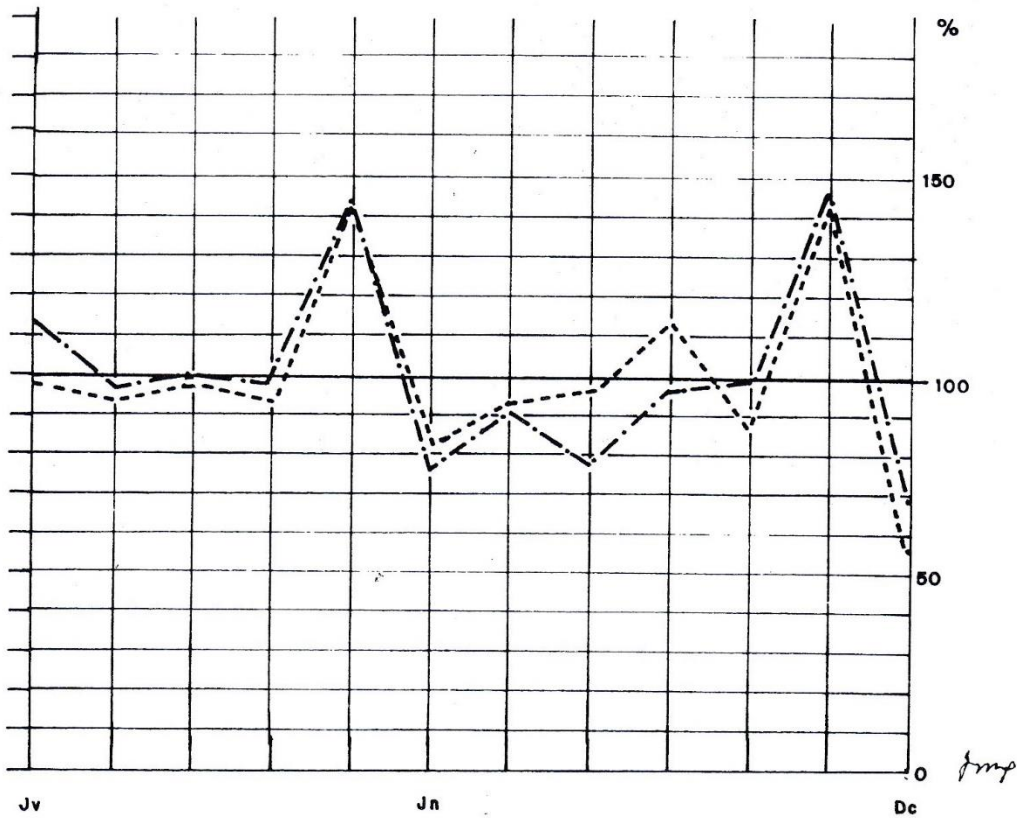


Fig. 4 - Composition de la Tendence à Aigrefeuille et Châteaubriant (calculée sur 312 mois)

----- Aigrefeuille ----- Châteaubriant



loi normale réduite, pour Aigrefeuille DN (62,40) et Châteaubriant DN (63,38) :

AIGREFEUILLE	DN	30	36	50	65	55	40	22	14
	DO	44	68	55	46	43	27	19	10
Classes		1	2	3	4	5	6	7	8
CHATEAUBRIANT	DN	26	34	55	63	59	41	21	13
	DO	36	74	57	47	38	39	11	10

TABLEAU 6 - Distributions Normales (DN) et Observées (DO)

On voit clairement que la dissymétrie est assez prononcée au bénéfice des classes faibles (v. la fig. 2). Cela, au reste, peut être mis en évidence par le calcul des moments centrés d'ordre 3 et 4. Pour la symétrie, M3, qui est atteinte à la valeur 0, il vient :

Aigrefeuille = -0,490 et Châteaubriant = -0,466, et

pour l'indice du mode, ou kurtosis, M4, de valeur centrale 3, il vient :

Aigrefeuille = 2,28 et Châteaubriant = 2,16.

Ces éléments éclairent d'une manière significative la variabilité globale. Celle-ci, qui —ramenée plus haut aux années— paraissait modeste, prend une autre dimension lorsqu'on envisage la succession des 312 mois. Les fluctuations y éclatent dans toute leur puissance, et accusent bien la grande incertitude de la prévision, surtout aux saisons fraîches et froides. Pour simplifier, on peut estimer la variabilité globale à 62 % pour le CV de Châteaubriant et à 64 % pour celui d'Aigrefeuille, avec pour mois typique JUIN (65 %). D'une façon générale, le Printemps oscille entre 45 et 55 %, l'Été entre 55 et 65, l'Hiver entre 60 et 70, l'Automne entre 75 et 90 (voir en ANNEXE, le détail pour Aigrefeuille).

Dans ces conditions, on comprend les préoccupations des maïsiculteurs. Pour saisir plus complètement la fourchette d'étendue des CV, on a construit cinq (5) courbes de concentration remarquables dans le diagramme du Type LORENZ-GINI à la figure 3. Elles permettent d'évaluer visuellement les facettes diverses d'une variabilité assez complexe, qui appelle, naturellement, quelques conclusions d'ensemble.

Avant d'y venir, nous devons toutefois préciser avec plus de soin la dynamique de la variabilité; c'est-à-dire qu'il nous faut définir les tendances qui gouvernent l'évolution climatique de nos stations sous l'angle pluviométrique.

2. Les tendances

Depuis quelques années le débat s'est ouvert autour des perspectives météorologiques de la fin du Second Millénaire. L'opinion de beaucoup de chercheurs a incliné vers un refroidissement —on a même défini une sorte d'âge de type glaciaire— avec assèchement concomitant du climat. Les carottages dans les inlandsis, les études par voie isotopique, d'autres résultats encore, semblent bien indiquer cette lente montée du froid et de la sécheresse. Certes, l'accroissement de la pollution atmosphérique peut venir perturber ce schéma évolutif, mais ce que nous savons des effets cumulatifs, complémentaires ou contradictoires en ces matières est si mince qu'il serait déraisonnable d'entrer dans la voie des pronostics. Nous nous en tiendrons donc à ce que décèlent nos maigres données.

Dans les deux stations-types qui ont été retenues ici, indéniablement, l'évolution de l'avant-dernier quart de siècle montre une tendance générale à la BAISSSE. Le Tableau 7, ci-après, l'indique sans ambiguïté.

Aigrefeuille			Châteaubriant		
Mois	T+	T-	Mois	T+	T-
Janvier	0,317		Janvier		0,020
Février		0,221	Février		0,450
Mars		0,008	Mars		0,183
Avril		0,133	Avril		0,477
Mai	1,011		Mai	1,507	
Juin		1,550	Juin		1,250
Juillet		0,610	Juillet		0,597
Août		1,350	Août		0,275
Septembre		0,379	Septembre	0,384	
Octobre		0,004	Octobre		0,800
Novembre	1,120		Novembre	1,43	
Décembre		2,310	Décembre		2,780
Année		4,200			3,410

TABLEAU 7 - Tendances mensuelles et annuelles exprimées en mm

a. Tendance linéaire annuelle⁽¹²⁾

Sans doute, à première vue, les chiffres du Tableau 7 ne marquent pas une diminution notable des précipitations. Néanmoins, si l'on fait une projection à hauteur de l'an 2000, en se fondant sur la Tendance (1951-1976), on s'aperçoit que le déficit général peut devenir sensible. La somme pluviométrique annuelle passerait en effet, par rapport à celle de l'année moyenne (1963)

de 755 mm/an à 600 mm/an pour Aigrefeuille, et

de 762 mm/an à 636 mm/an pour Châteaubriant.

Les effets "méridionaux" asséchants sont naturellement plus efficacement ressentis dans le Sud du département de la Loire-Atlantique. Encore devons-nous prendre avec beaucoup de précaution cette notion de méridionalité que nous nuancerons au demeurant en conclusion.

Si la tendance 1976 (même corrigée de 1977) se maintenait, elle aurait évidemment des effets graves à l'échelle de l'année pour le monde agro-sylvo-pastoral. Actuellement, rien ne permet de dire si la tendance va persister, s'aggraver ou s'atténuer. Toutefois, il est à retenir qu'elle n'est pas, sous sa forme actuelle, un phénomène récent. Englobant des pulsions à caractère "cyclique" (hausses et baisses), elle marque quand même depuis plus d'un siècle sa constance à la baisse. De ce point de vue, il est extrêmement instructif de regarder la courbe des précipitations de la région rennaise dressée par J. MOUNIER et que rapporte J. COLLINEAU (v. p. 115). Cette courbe des moyennes décennales, donc glissantes (donc "lissantes"), affiche clairement une tendance à la baisse (13). Mais la région nantaise – *lato sensu* – n'est pas la région rennaise, et il convient de ne pas décalquer l'une pour avoir l'autre et réciproquement.

12 La formule d'ajustement est des plus simples, avec p = tendance

$$p = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \quad \begin{array}{l} x = X - \bar{X} \\ y = Y - \bar{Y} \end{array} \quad \begin{array}{l} X \text{ est le Temps, } Y \text{ les précipitations. Pour projeter (prévision),} \\ \text{et obtenir } Y' \text{ au temps } X', \text{ on fait : } Y' - \bar{Y} = p (X' - \bar{X}) \end{array}$$

13 Il est à noter qu'une courbe identique dressée par P. BROCHET, Ingénieur général de la Météorologie Nationale, donne, pour Paris, un résultat sensiblement différent (hausse).

b. Ajustement exponentiel (14)

Pour l'ajustement linéaire, on postule de manière implicite que la variation moyenne par unité de temps est uniforme en valeur absolue, ce qui revient à dire que le défilement des valeurs sur l'axe des ordonnées se fait, en croissance ou décroissance, selon une progression arithmétique. Rien ne prouve, en ce qui concerne nos précipitations, que la formule d'ajustement linéaire soit exactement celle qui convient. On a vu, en effet, que la distribution des pluies dans notre région n'obéit pas à une loi normale. À titre exploratoire et comparatif, on peut calculer la tendance selon un ajustement exponentiel, ce qui revient à postuler que la variation moyenne par unité de temps suit une progression géométrique, donc qu'elle est constante en pourcentage.

Ce nouveau calcul ne modifie pas très sensiblement ce qu'a livré l'ajustement linéaire :

605 mm/an, à hauteur de l'an 2000, pour Aigrefeuille, et

666 mm/an, à hauteur de l'an 2000, pour Châteaubriant.

Cette différence, faible en apparence, s'explique par une chronologie courte (26 ans), ce qui surtend l'exponentielle d'ajustement. Aux termes de la Conclusion, nous y reviendrons, mais, pour la suite des opérations, nous garderons l'ajustement linéaire plus maniable graphiquement et analytiquement.

Ce que nous devons retenir de la tendance, outre qu'elle est franchement orientée à la baisse, c'est son caractère mobile. Toute variation est immédiatement répercutée. En injectant les données de 1977 en effet, nous observons un relèvement de la droite d'ajustement (1977 a été supérieure à la moyenne) :

de -4,20 mm/an, la tendance remonte à -2,10 mm/an (Aigrefeuille)

de -3,31 mm/an, “ “ -2,64 mm/an (Châteaubriant).

Il est probable que 1978 va, à nouveau, rabattre la tendance, puisque sur les 9 premiers mois connus à ce jour (Janvier-Septembre), 6 ont eu des précipitations inférieures à la moyenne.

14 On sait que dans l'ajustement exponentiel, on substitue à Y, de la formule linéaire, une variable auxiliaire Z, telle que $Z = \log Y$.

c. Composition de la tendance

Celle-ci s'établit selon un mode de calcul analogue à celui du saisonnier (15). Nous laisserons de côté le déroulement fastidieux du calcul que nous résumerons dans le Tableau 8 et la figure 4.

mois	Aigrefeuille		Châteaubriant	
	+	-	+	-
Janvier	12,3			0,30
Février		3,36		6,59
Mars		0,12		2,68
Avril		2,03		6,98
Mai	45,7		45,38	
Juin		23,61		18,29
Juillet		9,29		8,73
Août		20,56		4,03
Septembre		5,77	11,57	
Octobre		0,07		11,71
Novembre	42		43,05	
Décembre		35,19		40,69

TABLEAU 8 - Composition de la Tendance (en %). Encadrés : mois cruciaux pour le maïs

Ce tableau, qui précise le Tableau 7, montre —à part quelques nuances discrètes (Janvier et Septembre)— que nos deux stations sont soumises aux mêmes régulations ou aux mêmes dérèglements. Pour simplifier, nous ne retiendrons que les éléments saillants.

15 On a retenu un modèle additif de formule simplifiée :

$F(t) + S(t)$, puisque l'amplitude des variations saisonnières est indépendante de $F(t)$. $S(t)$ est alors une fonction saisonnière ayant l'année pour période et une moyenne nulle; $F(t)$ est une fonction extra-saisonnière de forme inconnue. Le calcul a été fait sur les 312 mois. Si l'on ne désire pas faire de calculs intercalaires fins, on peut procéder par voie directe à partir des variations de la tendance.

$$\text{Avec } G = \begin{cases} t = 155,5 \\ y = 63,5 \end{cases} \text{ il vient } a = \frac{\sum (t-t_G) (y-y_G)}{\sum (t-t_G)^2} = -0,027$$

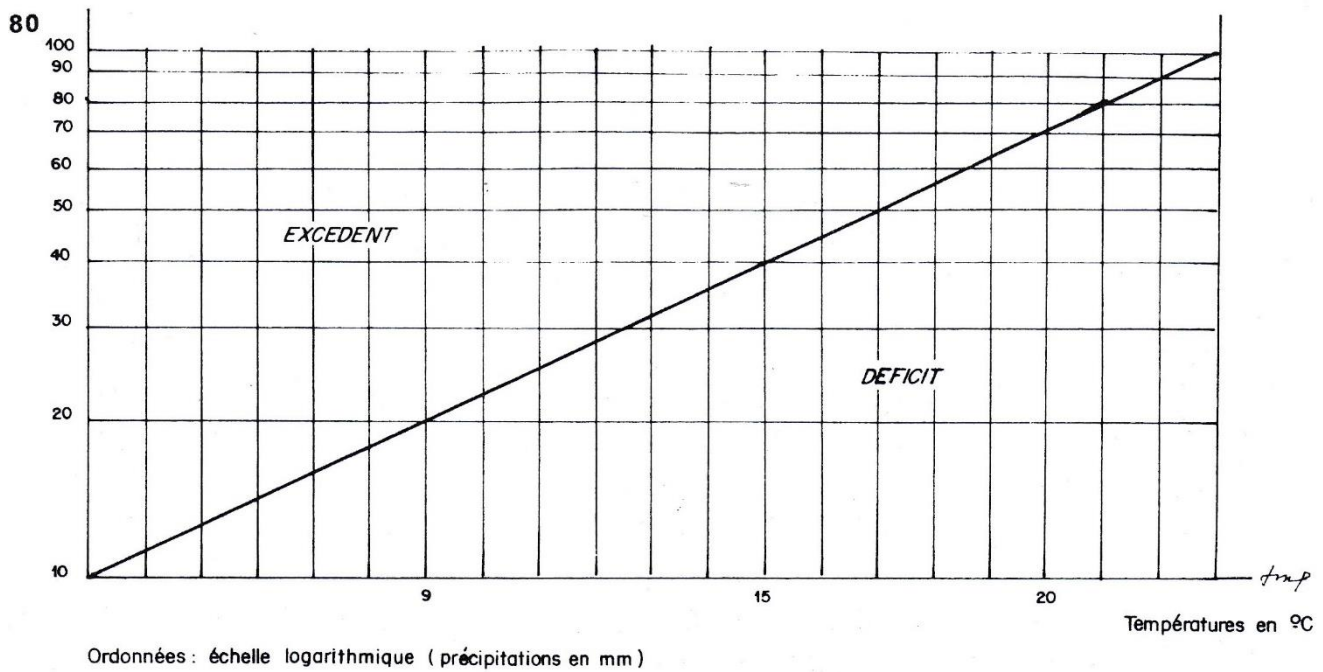
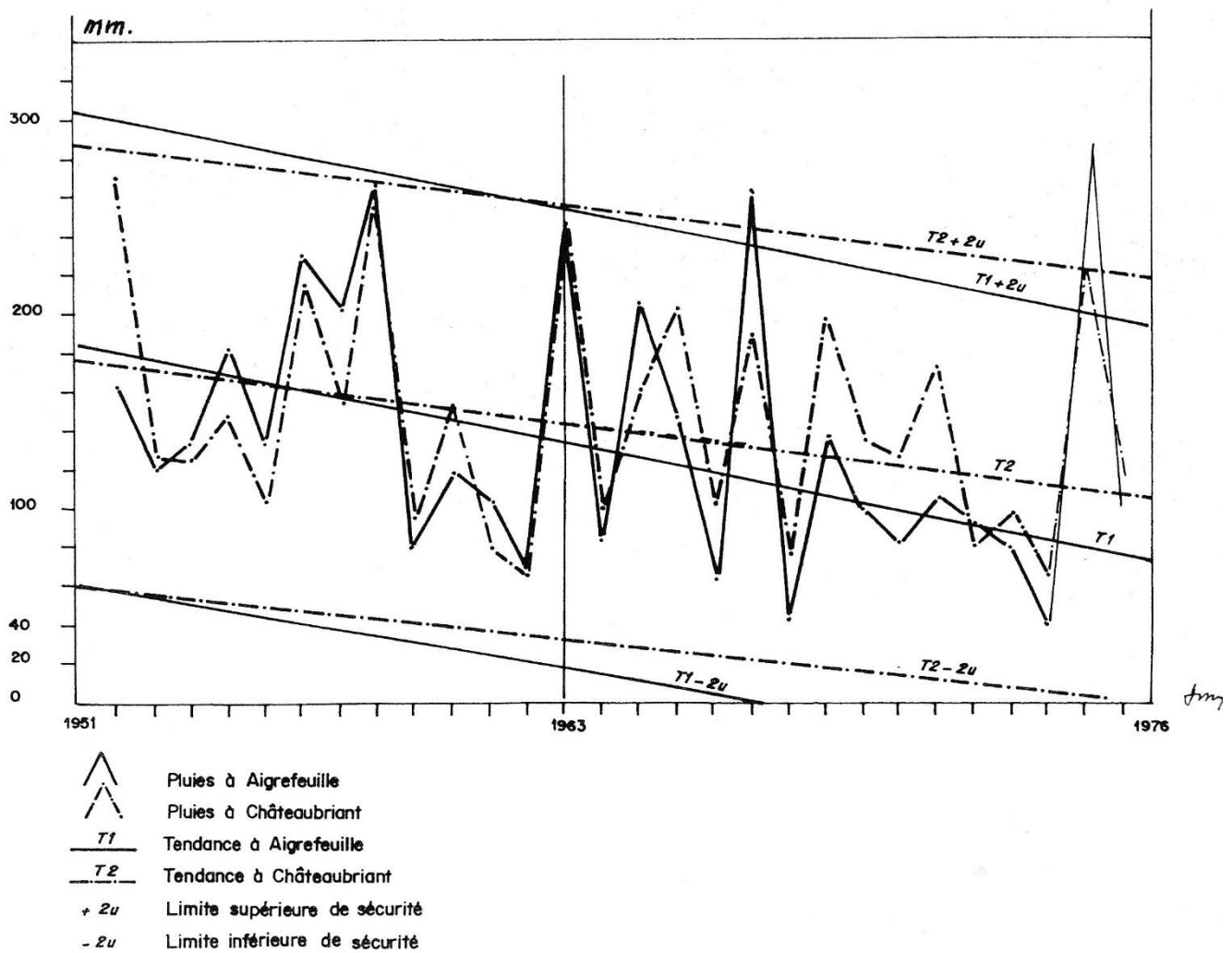


Fig. 5 - Abaque pluviothermique (inspiré de G. EUVERTE, d'après THORNTHWAITE).

Fig. 6 - Pluviométrie et Tendances estivales



+ Octobre

C'est un mois fort intéressant bien qu'il ne concerne —et ce de manière indirecte— que le maïs-grain. Ce qui le signale à l'attention n'est pas tant la tendance à la baisse —de très faible importance à Aigrefeuille— que la vigueur de son CV. À Châteaubriant, il tient le 1^{er} rang (avec 80% et 30 points de plus que Janvier, 12^{ème} rang; à Aigrefeuille, il occupe le 2^{ème} rang [avec 27 points de plus que Janvier (12^{ème} rang)) et seulement 6,3 points de moins que le CV de 1^{er} rang, Juin].

Le risque de sécheresse de ce mois est donc fortement inscrit dans les chiffres. Ce risque concerne directement l'approvisionnement en eau dont Novembre est un bon pourvoyeur.

+ Novembre-Décembre

Ces mois sont importants car, dans nos régions, ils se placent en période froide, période où se fait la recharge en eau du sol. Novembre rompt heureusement la tendance à la baisse que tend à accuser Décembre. C'est une situation délicate, **LA SÉCHERESSE D'HIVER ÉTANT AUSSI REDOUTABLE QUE LA SÉCHERESSE ESTIVALE**. Fort à propos, les baisses hivernales restent limitées; de plus, le Printemps ne les accuse pas. Au contraire, grâce à Mai. Ajoutons que les CV sont relativement calmes durant cette période. Il faut cependant faire un sort à Février.

+ Février

Il compte pour très peu de chose dans la tendance à la baisse. Il reste toutefois un mois à surveiller à cause de son fort CV. À Châteaubriant, il occupe le 3^{ème} rang des CV à 5 points de Juin (2^{ème} rang); et à Aigrefeuille s'il n'est qu'au 5^{ème} rang, c'est pratiquement à égalité avec les mois de 3^{ème} et de 4^{ème} rangs, à 10 points seulement du mois de 2^{ème} rang (Octobre). Ce mois peut donc donner à la baisse, au point d'être franchement sec, et, de manière induite, il peut dérégler le Printemps.

Tous ces recoupements et va-et-vient montrent assez la complexité fantasque de notre climat.

+ Mai

Ce mois est, à coup sûr, fondamental pour la maïsiculture. Dans nos deux stations, en effet, pratiquement à égalité, il participe intensément au soutien de la tendance. De même que Novembre évite

l'affaissement des pluies de la période avitaillante froide, de même mai sauve de l'effondrement le stock d'eau de la période chaude de surconsommation (voir figure 5). Peut-être, le surcroît d'eau météorique peut-il gêner, en période de semis, les maïsiculteurs. Mais, outre qu'il reste à définir ce risque et à le pallier, il est de loin inférieur à ce qu'induirait une participation de Mai à la tendance à la baisse.

+ Été

Pour la maïsiculture, l'été est la période décisive par excellence. Sa participation à la baisse de la tendance est assez prononcée :

31,05% à Châteaubriant

53,46% à Aigrefeuille.

Une fois encore le caractère plus méridional –et sans doute aussi plus océanique– apparaît nettement dans la seconde station. Avec ce fait aggravant que c'est le mois d'Août –le plus loin situé de l'apport bénéfique de Mai– qui assure l'essentiel de la différence (20,56% contre 4,03%). Il faudrait cependant ne pas conclure trop vite que la station estivale est particulièrement menacée, car le fléchissement de la tendance reste limité :

– 3,50 mm pour Aigrefeuille,

– 2,13 mm pour Châteaubriant.

En besoins d'eau –pour les plantes– cela se traduit toutefois de manière plus accusée, **CAR LES TEMPÉRATURES DE L'ÉTÉ SUIVENT, ELLES, UNE TENDANCE EN HAUSSE.**

Les choses sont d'ailleurs bien résumées par le graphique de la figure 6, dans lequel ont été tracées les deux droites de tendance estivale d'Aigrefeuille et de Châteaubriant, ainsi que les droites de sécurité à plus ou moins deux résidus quadratiques moyens (16). Le graphique montre qu'aux compensations intermensuelles, déjà signalées, s'ajoutent des compensations trimestrielles interannuelles, ce qui est logique, eu égard aux CV : les couples 1962-63, '68-'69, '76-'77, etc., entre autres, l'attestent. Mais, l'intérêt majeur du graphique tient à deux choses :

° la première consiste dans la latence du "phénomène-sécheresse" à partir de l'année 1968 à Aigrefeuille. En 1967, la droite à $-2u$ arrive au contact du zéro (0); et en 1969, la pluviosité atteint

16 Soit $2u$, où $u = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n}}$

son point le plus bas depuis 1951. Pour Châteaubriant, la droite à $-2u$ arrive au contact du zéro en 1976 seulement, le risque de sécheresse absolue ne survenant qu'après. Le même calcul, effectué pour l'ensemble du département, donne une tendance estivale à $-3,40$ mm et une sécheresse absolue ($-2u$) en 1976, le contact avec le zéro se produisant vers '73-'74.

° la seconde chose à bien dégager tient à la répartition du nuage de points. Celle-ci montre qu'en dépit de la Tendance —et toujours à cause des CV mensuels— le risque de sécheresse absolue est inférieur à la chance d'étés arrosés. Plus sensiblement d'ailleurs pour Châteaubriant, du moins depuis que la tendance estivale s'est mise à chuter. Aigrefeuille, en revanche, peut avoir des "pointes" prononcées, à cause de la puissance de ses CV : Juin = 1^{er} rang (80 %), Août = 3^{ème} rang (64,9 %), Juillet = 4^{ème} rang (64,7 %).

La dangerosité de la sécheresse estivale est donc en partie bridée, mais la maïsiculture —une fois sur deux— peut prendre l'allure d'un pari. De cela nous sommes sûrs DANS LE CADRE DES DONNÉES ACTUELLES. Mais, ce cadre n'est sans doute pas immuable. Si la tendance actuelle —qui inclut une période bénéfique, ne l'oublions pas (voir ci-après) se maintenait telle quelle jusqu'à hauteur de l'an 2000, l'été, pour les 3 mois, serait très proche d'être pratiquement sec à Aigrefeuille (< 10 mm). À Châteaubriant, la situation serait meilleure : 71 mm environ pour le trimestre. Cela signifie que la limite de sécurité supérieure ($+ 2 u$), à Aigrefeuille, tomberait sous la moyenne actuelle (132 mm, que l'on comparera à la valeur atteinte en 1977). Pour Châteaubriant, la même limite tomberait de 231 à 185 mm, soit seulement 46 mm de moins que la moyenne actuelle. Même un relèvement comparable de Mai n'assurerait plus le sauvetage de l'été.

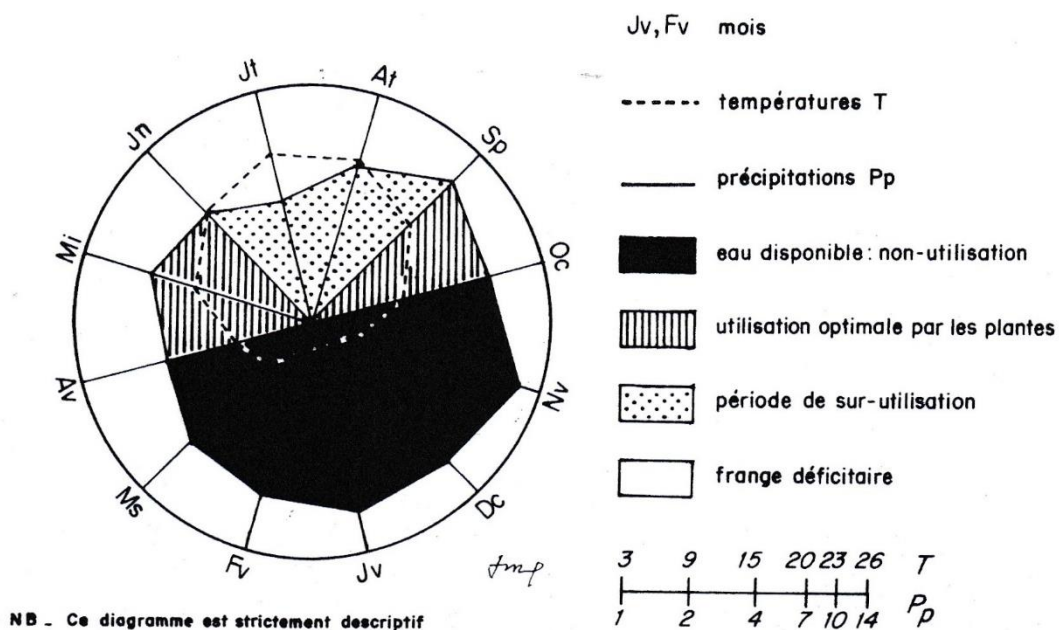
Mais ces prévisions —qui relèvent pour le moment de la pure vaticination— supposent une persistance immuable des choses. Or, en matière climatique, les choses sont en perpétuel devenir. L'analyse du *Saisonnier* montre, au demeurant, qu'à l'intérieur de la baisse de Tendance, **IL Y A UNE SORTE DE TRANSLATION DES PLUIES.**

+ Intercycles

Effectivement, dans la période considérée (1951-'76), **LA PLUVIOSITÉ S'EST DÉPLACÉE,**

17 C'est encore là un effet des "compensations" déjà étudiées (J-M. PALIERNE, 1975).

Fig.-7 - Diagramme pluviothermique



L'échelle T/P_p est à reporter sur les rayons mensuels (Jv, Fv...)
 $T = ^\circ C$ $P_p = \text{en } 10 \text{ mm}$

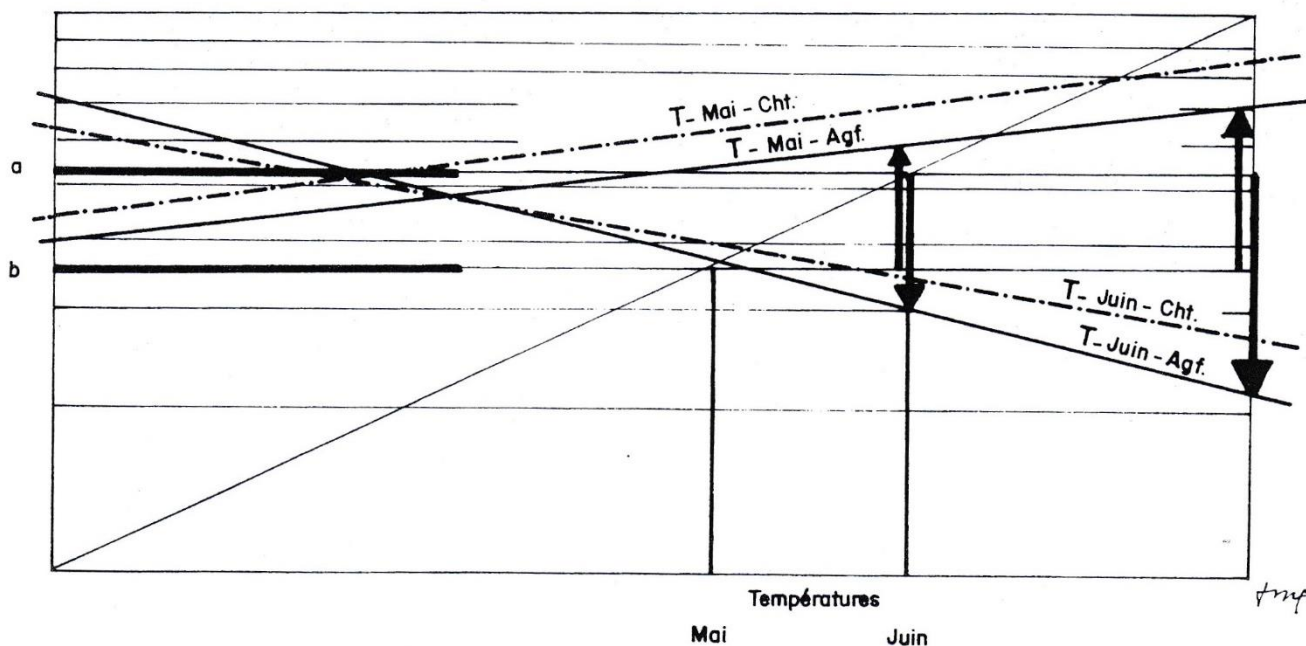
Fig.8 - Les tendances de Mai et de Juin rapportées aux besoins en eau (T)

Traits renforcés = exemple Agf. (Aigrefeuille) =

Horizontaux : besoins en eau - a : Juin
 - b : Mai

Verticaux : vers le bas = déficits (Juin)
 vers le haut = excédents (Mai)

Cht = Châteaubriant



le cadre des saisons "traditionnelles" étant rompu (17). Pour des raisons pratiques de calcul, on a retenu 1963 comme année moyenne. **EN FONCTION DE CETTE SEULE DONNÉE**, on a comparé l'évolution des pluies avant et après 1963, en neutralisant cette dernière année. Le calcul, pour les quatre mois sensibles, est très révélateur. Nous donnerons l'exemple de Châteaubriant qui est valable, *mutatis mutandis*, pour notre département.

	Avant 1963	Après
Mai	46,4	75,8
Juin	46,7	42
Juillet	48,5	37
Août	56,6	60,1

TABLEAU 9 - Évolution des pluies (en mm) à Châteaubriant par rapport à 1963

Cet exemple souligne une nouvelle fois la complexité de notre climat, dont il faudrait étudier, dans le détail, toutes les combinaisons. Malheureusement, des données essentielles —telles les températures— nous échappent par suite de la rareté des postes installés. Il faut quand même en dire un mot.

+ Températures

Elles sont déterminantes en été d'un double point de vue : d'une part, elles gouvernent l'évapo-transpiration; d'autre part, elles contribuent puissamment à la croissance végétale.

En ce qui concerne l'évapo-transpiration, il est indéniable que le creux pluviométrique estival —coïncidant avec la hausse des données thermiques— tend actuellement à grandir, par suite de la baisse des précipitations et par une **HAUSSE CONCOMITANTE DES TEMPÉRATURES**, elle-même corollaire d'**UNE AUGMENTATION DE L'INSOLATION**. Tout cela est faible, mais à l'échelle biologique d'infimes variations peuvent induire des effets sérieux. Nous ne donnerons ici qu'un bref aperçu —et ce à titre indicatif— des modifications pluvio-thermiques, en nous fondant sur la station de Nantes, qui fournit une évaluation moyenne pour le département.

Juin	=	+ 0,04 °C
Juillet	=	+ 0,08 °C
Août	=	+ 0,25 °C
et + 7,41 h ensoleillement en été		

À titre d'illustration, la figure 8 montre ces écarts pluvio-thermiques (ombro-thermiques) pour Mai et Juin dans nos deux stations. Le déficit ainsi mis en évidence n'est pas de nature catastrophique. En tout cas, il ne doit pas cacher un phénomène très mal connu, discret, mais capital : l'insuffisance thermique en été. Celle-ci a déjà été signalée à deux reprises en ce qui concerne la croissance arborescente (18). Une étude en cours essaie au reste de préciser ces rapports ombro-thermiques, qui ont des conséquences variables en matière forestière (19). Du strict point de vue maïsicole, même compte tenu des prouesses de l'INRA dans le domaine de la mise au point des variétés hybrides, il demeure que l'espèce *Zea mays* a des exigences du double point de vue génétique et écologique telles, que notre climat n'assure pas pleinement les besoins en chaleur. Sans doute, le problème hydrique n'est-il pas secondaire à côté de ces besoins, mais les défaillances en eau météorologique peuvent être corrigées.

À cet égard, deux aspects se dégagent : celui de l'irrigation, qui est —en partie— une affaire "économique", que nous laisserons de côté, et celui de la Réserve en eau du sol Facilement Utilisable (RFU). Sous ce point de vue, les choses —et ce sera une nouvelle redite— ne sont pas simples, car c'est tout le problème pédologique qui est posé.

+ Sols

Pour d'évidentes raisons, il est hors de question d'aborder ici la problématique pédologique. Nous nous en tiendrons donc aux deux points essentiels qui concernent le comportement du sol à l'eau, et le comportement du sol à un investissement néo-cultural.

18 J-M. PALIERNE, Thèse d'État, 1975, Rennes, pp. 359-380, et *Cahiers Nantais* N° 11, 1976, Nantes, p. 17.

19 À paraître dans un prochain *Cahiers Nantais*.

Le comportement d'un sol à l'eau —pour servir de magasin hydrique en particulier— est commandé par la définition structuro-texturale, et par les propriétés physico-chimiques (et biologiques en partie) de ce sol. À cet égard, on peut dire que nos sols —dans leur ensemble, ou du point de vue de la médiane, si l'on préfère— sont médiocres. La tendance au **LESSIVAGE** les affecte largement. Celle-ci, qui se manifeste par l'illuviation des argiles en profondeur, met préférentiellement en évidence la **PHASE LIMONEUSE** de la texture dans les horizons supérieurs (nourriciers). Cela nuit à la rétention de l'eau que vient encore perturber souvent un excès d'acidité. Disons, en passant, que ce phénomène est très mal connu. De tout cela résulte une distribution "**LIBRE**" de nos nappes phréatiques, qui, fréquemment, sont des **NAPPES PERCHÉES**, fluctuant au gré des précipitations. En 1976, et 1978 prend le chemin d'en répéter l'occurrence, la déshydratation —qui mimait une dessiccation— avait amené la quantité d'eau dans les sols au voisinage du taux de l'eau de constitution. Pour simplifier, on pourrait dire de nos nappes qu'elles sont le plus souvent "pédologiques". Le soutien "géologique" n'existe que peu en effet dans une région au soubassement métamorphique ou cristallophyllien dominant (20). Au total, nos sols méritent les qualificatifs de "séchards" et "battants".

Sans doute n'est-ce pas un inconvénient majeur pour le maïs. Mais ce n'est pas non plus tout à fait négligeable. D'autant que l'euphorie de bonnes conditions a pu initialement voiler une réalité plus revêche. J. COLLINEAU a raison d'insister sur le caractère "privilegié" de la pluviométrie (avant 1963 toutefois...) qui a coïncidé avec l'introduction du maïs en Loire-Atlantique. Mais il y a plus : dans les milieux agricoles, on parle volontiers du maïs "gourmand", voire "amoureux" des terres humifères où il a été implanté. Certes. Prenons garde cependant à ces métaphores qui sont enjôleuses; donc fallacieuses.

Ces terres dites "noires" ne sont pas le tchernoziom ukrainien, et leur couleur tient à une assez forte teneur en matière organique mal humifiée. Sans doute, le maïs leur a-t-il donné un "coup de fouet", mais celui-ci fait surtout "flamber" les réserves en matière organique. Une minéralisation mal réussie ou tronquée pourrait conduire à des déboires à long terme. Peut-être à moyen terme; surtout en

20 On a traité des sols de façon assez approfondie dans *Les Forêts et leur environnement*, Thèse, J-M PALIERNE, pp. 257-340, 343-357, 381-392.

Un très bref aperçu en a été donné dans *Cahiers Nantais*, J-M PALIERNE, N° 11, Nantes, 1976, pp. 13-16

sécheresse ou de sub-sécheresse (21).

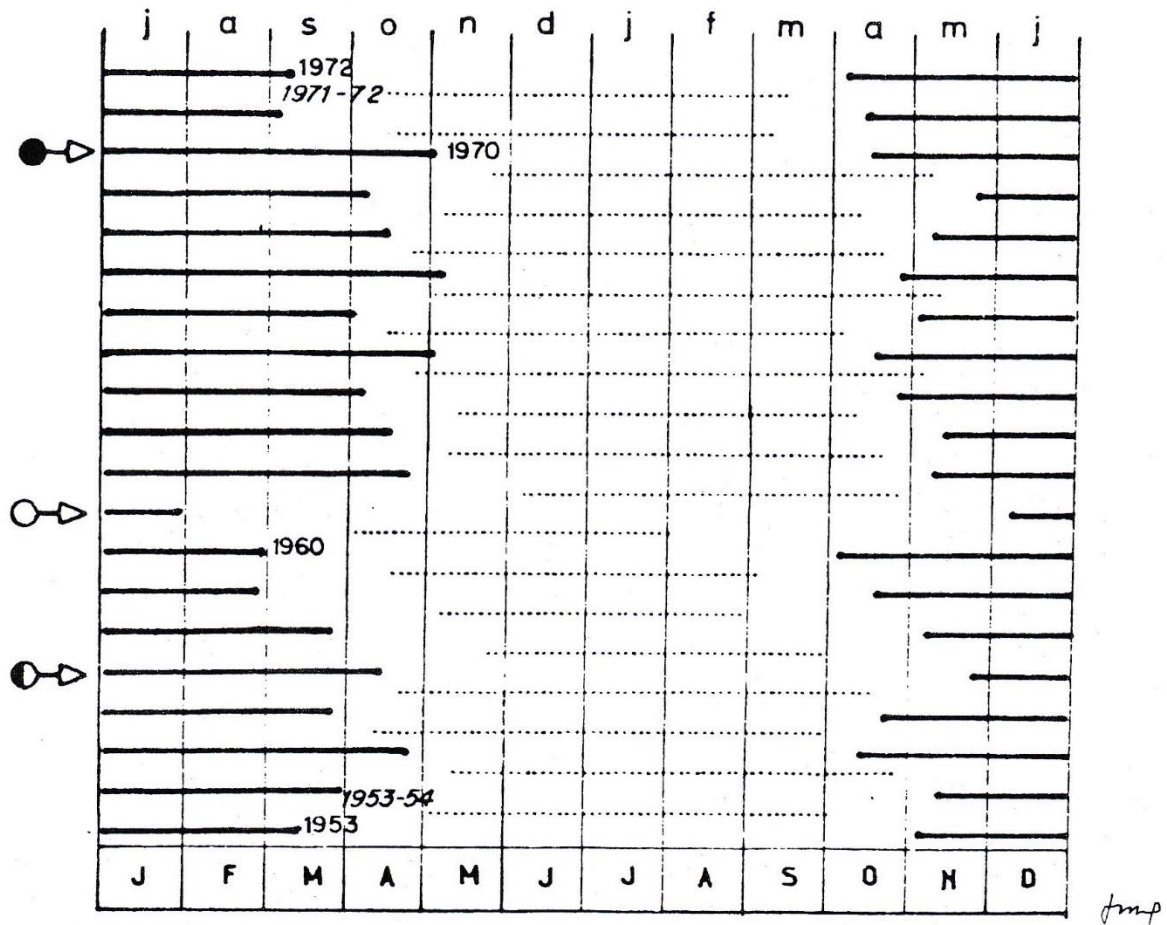


Fig. 9 - Dates moyennes des premières et dernières gelées, et saison froide en L.-A. Nord (extrait J.-M. PALIERNE, Thèse)

Période 1953-1972 en années civiles (repères mensuels sur l'axe inférieur des abscisses)

En surimpression (pointillés) = figuration estimée des gelées possibles (tracé continu de la saison froide = repères mensuels sur l'axe supérieur des abscisses en minuscules).

Types annuels :

- → Année "dure"
- → Année "douce"
- ◐ → Année mixte

(Source = Bulletin mensuel de la Région Météorologique de l'Ouest et mesures personnelles)

+ **Petit complément hors-texte : gelées**

Ce que montre J. COLLINEAU des "aléas" climatiques est assez saisissant. Pour compléter son tableau synoptique, on ajoutera simplement la figure 9, destinée à préciser les choses en matière de gel.

IV - CONCLUSIONS

Elles peuvent former trois corps principaux : les deux premiers relevant du domaine de la réflexion fondamentale, le troisième étant plus nettement du champ de l'application.

1. Sur le plan climatologique fondamental,

on peut dire que du point de vue pluviométrique, le climat ligéro-atlantique (*i. e.* de la Loire-Atlantique) est à la frontière de deux provinces du climat océanique (au sens large). Il s'intègre à un ensemble plus vaste, atlantico-ligérien celui-là, qui comprend une partie du Maine-et-Loire et la Vendée, pour l'essentiel.

Le climat océanique, en effet —que l'on s'entend couramment reconnaître du Portugal à la Norvège—, se subdivise en deux grandes masses :

celle de la province septentrionale, qui couvre l'ensemble ayant pour axe le couple Manche-Mer du Nord et leurs contacts océaniques;

celle de la province méridionale, immédiatement dépendante de l'Océan et ayant pour foyer la partie sud du Golfe de Gascogne.

Ces deux provinces se divisent, à leur tour, en districts; notre région est aux confins de deux de ces districts. Le premier, au Nord, est le DISTRICT BRETON; le second, au Sud, est le DISTRICT AQUITANIEN. Notre climat participe plus au district aquitain qu'au district breton. La Loire est certes une limite; mais, pour l'ensemble armoricain, pris par sa face ouest, la Vilaine est une limite encore plus nette. Il faut bien entendre ici le mot "frontière" dans une acception d'aire de fluctuation. La comparaison entre la station d'Aigrefeuille et celle de Châteaubriant le montre sans ambiguïté.

Dans cette perspective, le maïs peut servir de réactif. Sa culture, qui à l'évidence pose quelques problèmes en Loire-Atlantique —du fait du double déficit, pluvial et thermique de l'Été—, semble, en revanche, aux dires des spécialistes, ne soulever aucune difficulté majeure en Bretagne.

Fig. 10 - Pluviogramme d'Aigrefeuille pour les 312 mois étudiés (janvier 1951 - décembre 1976)

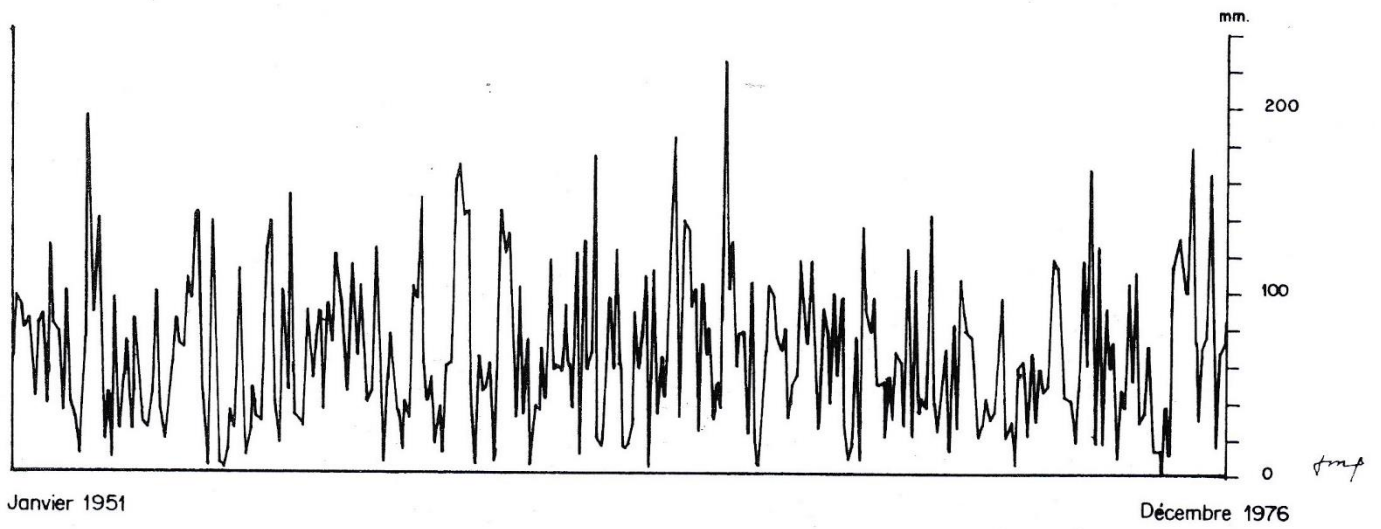
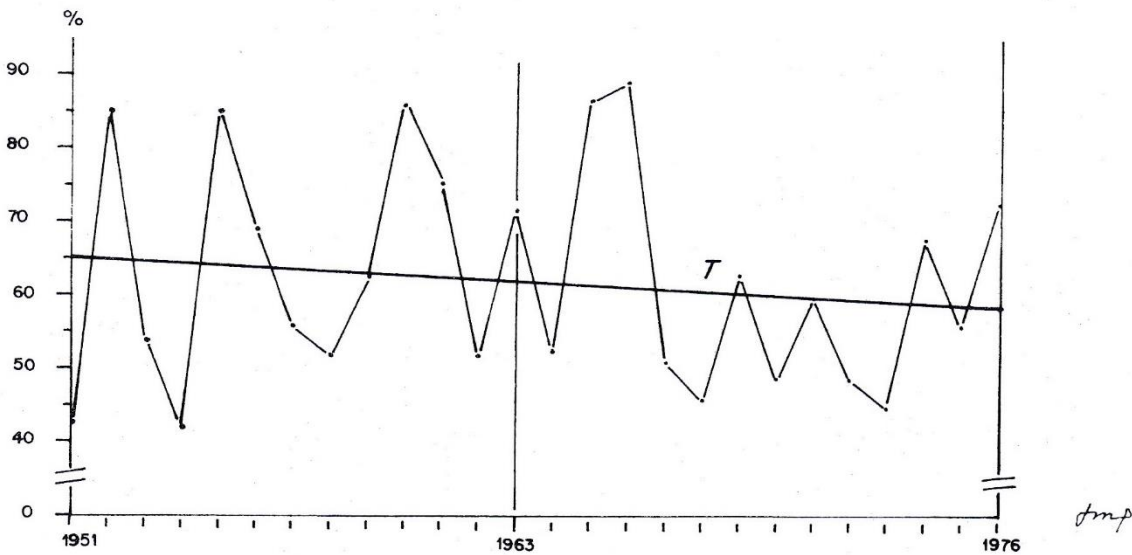
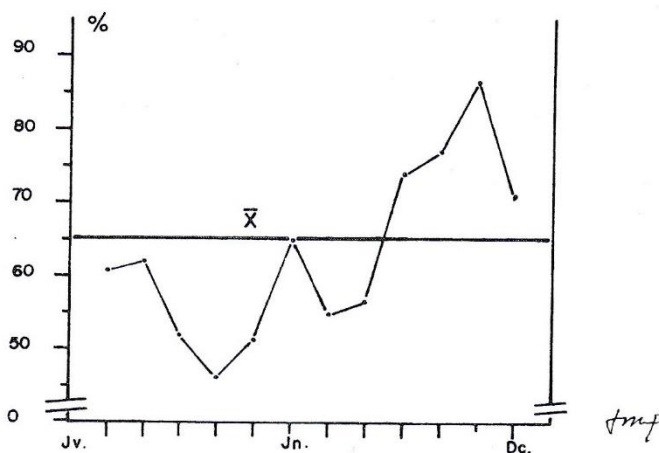


Fig. 11 - Coefficients de variation par année, calculés sur l'ensemble des 312 mois (Aigrefeuille)



T: droite de Tendence par ajustement linéaire

Fig. 12 - Coefficients de variation mensuels, calculés sur l'ensemble des 312 mois (Aigrefeuille)



P. PARNEIX (cité par J. COLLINEAU) n'attache pas une grande importance au déficit hydrique estival (22). Rappelons, cependant —comme cela a été montré ailleurs (Thèse PALIERNE, à partir de sources R. CORILLION)—, que nous assistons depuis quelques années à **UNE POUSSÉE VERS LE NORD** de certaines plantes écologiquement plus xérophiles que celles de la Flore bretonne. *Lagoseris sancta*, par exemple, repérée en 1921 au sud de Nantes, est arrivée 30 ans plus tard dans le Morbihan sud-oriental. Aussi bien, l'Asphodèle blanc (*Asphodelus alba* Mill) et la grande Bruyère (*Erica scoparia* L) ont passé la frontière morbihannaise ou s'en rapprochent.

2. Du point de vue météorologique fondamental

on insistera davantage sur la **VARIABILITÉ**. Elle est indéniablement **FORTE**. À plusieurs reprises, dans le cours de cet article, on a évoqué les CV. Ceux-ci, selon le mode de calcul, peuvent accuser des valeurs plus ou moins élevées. Le problème qui se pose est de choisir entre ces valeurs. Dans l'état actuel des choses, il semble avéré que la **VARIABILITÉ MOYENNE SPÉCIFIQUE** (mois entre eux et années entre elles) sous-évalue les fluctuations de la pluviosité.

Le calcul du "**Saisonnier**" a bien révélé ce phénomène. Assurément, il y a un creux en été et une pointe en saison fraîche—froide, **MAIS** il n'y a pas de périodicité franche ni régulière. La figure 10 établit clairement cette instabilité pluviale, trait dominant de notre météorologie (23).

Dans ces conditions, il est nécessaire de réévaluer les coefficients de variation à partir des **312** mois, laquelle définit ce qui a été dénommé plus haut **VARIABILITÉ GÉNÉRALE**. Cette dernière nuance, en hausse, ce qui a été dit à la page 75.

En année équilibrée, c'est-à-dire lorsque les CV s'apaisent et que les compensations de mois à mois jouent, c'est ce que nous appellerons "**VARIABILITÉ SILENCIEUSE**" qui l'emporte; elle atteint des valeurs moyennes ou atténuées. Mais ces années équilibrées sont nettement minoritaires dans notre région.

Il y aura donc toujours bénéfice à mettre en parallèle les CV sortant du calcul spécifique (par

22 Personnellement, j'avais conclu dans le même sens en comparant les ombro-thermogrammes de Quimper, Fougères et Fontenay-le-Comte (PALIERNE, 1962 et 1975, sur des séries statistiques différentes (calculs arrêtés en 1972 pour la seconde mesure).

23 La figure met en évidence Aigrefeuille, mais Châteaubriant a des pulsations comparables :
IV Aigrefeuille 89-42; Châteaubriant, 80-47.

mois, par année, entre eux, entre elles) et les CV de la Variabilité générale.

L'Annexe et les figures 11 et 12, prenant Aigrefeuille pour exemple, sont assez indicatives en ce sens. **On y voit que nombre de mois et maintes années sont à RISQUE SENSIBLE, voire à HAUT RISQUE.** Pour être explicite, disons que l'ANNÉE 1976 et les MOIS D'ÉTÉ —en général— s'ils sont préoccupants **NE SONT PAS DES CAS EXTRÊMES.**

Dun point de vue plus strictement géographique, et pour compléter ce qui a été dit en IV- 1, on déduira des remarques qui précèdent que ce sont **LES INFLUENCES OCÉANIQUES** qui sont en cours de dégradation préférentielle. À nouveau, le cas d'Aigrefeuille est exemplaire : sans doute ne peut-on négliger l'influence laté-méridionale (“effet” aquitain bien perceptible), mais tout autant ne peut-on ignorer que la baisse de tendance y est plus proche de celle de Guéméné-Penfao (**-6,15** mm) que de celle de Machecoul (**-2,8** mm).

La “continentalité” —ou la dégradation océanique vraie (littorale immédiate)— paraît jouer un rôle correcteur. Cela s'observe à Châteaubriant, où le creux estival est moins sensible, d'une part; et où, d'autre part, la fin de l'été (Août et les deux premières décades de Septembre) ne participe plus à la chute de la tendance; celle-ci, à l'approche de l'Automne, va même jusqu'à s'inverser. Pour être complets, nous devrions sans doute définir et tracer des “isotéines”; la recherche en est lancée : si elle aboutit elle sera publiée dans le cadre de nos *CAHIERS*.

Une autre question sera également tranchée plus tard : celle du découpage de l'année en unités plus significatives, pour la pluviométrie, que les unités civiles. Ici, nous nous bornerons à décaler les deux mois d'hiver —Janvier et Février— en les reportant dans l'année civile antérieure. On le verra, cela ne modifie pas sensiblement les résultats.

3. Les éléments d'application : signification de la Tendance

D'une façon générale, eu égard à la variabilité et à la distribution des pluies, on retiendra plutôt la **TENDANCE PAR AJUSTEMENT EXPONENTIEL**, qui corrige —en la remontant— la pente négative

de la tendance linéaire, et cela quel que soit le cadre de mesure de l'année. En effet, dans les limites de l'année civile, la tendance linéaire donne sensiblement $-4,20$ mm, et dans les limites de l'année par saisons, également $-4,20$ mm, pour une tendance par l'exponentielle de $-2,20$ mm; cela pour Aigrefeuille. Ailleurs, l'écart entre les deux calculs peut être supérieur au double, mais cela est assez rare. Le plus souvent, l'écart est plus faible.

Quoi qu'il en soit, il y a en tout cas **TENDANCE INDÉNIABLE À LA BAISSÉ ACTUELLEMENT**. Compte tenu de la grande variabilité estivale, et pour une tendance qui se maintiendrait comme l'actuelle, il est sûr que le maïs est une culture vulnérable, et qui peut prendre parfois l'allure d'un pari. Mais il ne s'agit pas d'affoler les agriculteurs. Mieux que personne ils savent qu'il leur faut rester vigilants et ne pas négliger les moyens de soutien pour l'alimentation en eau de leurs plantes.

La **CHANCE** de voir s'inverser la tendance n'est pas à écarter en effet. À raison même des translations pluviales dans l'année. En reprenant la figure 8, on voit que ces compensations entre les mois de Mai et Juin ont varié. Actuellement, ces compensations n'assurent plus l'équilibre puisque entre 1968 et 1976, la compensation est passée de $0,917$ à $0,733$, soit une perte de $18,4$ points ($2,3$ points par an). Le déficit s'établit à $-28,6$ %. Alors que vers 1950, l'excédent pour Juin était de $+23,8$ %. Certes, la chute est de l'ordre de 50 %. Mais le retour des pluies estivales n'est nullement exclu, les étés bien arrosés restant d'ailleurs une éventualité, même dans une tendance à la baisse. Après tout, pour suivre l'exemple d'Aigrefeuille (rappelé ci-dessus), de 1951 à 1969, la tendance était à la hausse : $+2,98$ mm/an.

Il est vrai toutefois que la tendance peut s'aggraver : ce **RISQUE** ne saurait être écarté; il conviendra donc de suivre —et en **TOUTE SAISON**— les fluctuations pluviométriques à venir. Car ces **FLUCTUATIONS RESTENT TRÈS STABLES** : la tendance des coefficients de variation est en effet de $-0,27\%$ /an (fig. 11), ce qui est pratiquement négligeable. Notons cependant que cette "baisse" est liée à celle de la tendance des sommes précipitées par un ICov de $+0,461$. S'il y a un enseignement à tirer de cet indice, c'est celui de l'occurrence des étés arrosés.

J. BEAUJEU-GARNIER a dit des espaces géographiques que pour être « *significatifs* », il leur

fallait posséder en propre des caractères dominants. Notre région, à cet égard, est bien significative par son climat. Nous en avons mesuré la complexité. Pour atténuer l'incertitude qu'elle fait naître, souhaitons aux professionnels que la climatologie touche de très près et qui seraient conduits à réfléchir sur nos calculs, qu'ils méditent cette recommandation d'un anonyme reprise par **J-P. COLE** et **C.A.M.**

KING : *«The mark of an educated man is the ability of make a reasoned guess on the basis of insufficient information».*

VARIABILITE GENERALE

Exemple d'Aigrefeuille : calcul sur 312 mois

CV des Mois

Jv.	61,47 %
Fv.	61,55
Ms.	52,48
Av.	45,67
Mi.	52,28
Jn.	64,94
Jt.	55,18
At.	57,08
Sp.	74,44
Oc.	77,34
Nv.	87,22
Dc.	71,47

CV des Années

1951	43,02 %
1952	84,66
1953	54,48
1954	42,29
1955	85,47
1956	69,37
1957	56,22
1958	52,04
1959	63,29
1960	86,23
1961	76,12
1962	52,33
1963	72,40
1964	53,29
1965	87,28
1966	88,70
1967	50,72
1968	45,61
1969	63,38
1970	49,33
1971	60,43
1972	48,70
1973	45,36
1974	68,07
1975	55,83
1976	72,70