

CHARLES - PIERRE PÉGUY

LE QUART DE LA FRANCE COUVERT PAR UNE CARTE CLIMATIQUE AU 1:250.000 (*)

Introduction. — Dix coupures parues (1) en onze années, couvrant près du quart du territoire français. Une onzième dont la parution est prévue à la fin de 1982. Tout cela mettant en oeuvre une information portant sur nettement plus du quart du réseau météorologique national: telle se présente la *Carte Climatique Détaillée de la France* dont les Italiens avaient eu connaissance dès 1963, grâce à l'obligeance de mon Collègue Mario Pinna (2), alors qu'elle n'était encore qu'un lointain projet. On devine combien les problèmes posés par la réalisation d'une oeuvre de cette nature ont été nombreux: le choix de l'échelle, qui dépend de la densité de l'information, c'est-à-dire du réseau, et qui, uniforme, risque de n'être satisfaisante nulle part. Des problèmes de « compromis » entre des exigences, ou des contraintes, diverses. Celles « apportées par la nature et la qualité de

(*) Cet article a été revu par Mademoiselle Claire Lejeune, collaboratrice à l'entreprise dès son origine, qui a bien voulu le compléter par certaines indications des plus utiles. Je lui en exprime ici mes très vifs remerciements.

(1) Coupures parues (voir carton d'assemblage, fig. 1): *Gap* (1971), *Nice* (1972), *Valence* (1973), *Brest* (1974), *Marseille* (1975), *Lyon* (1977), *Rennes* (1978), *Annecy-Thonon* (1980), *Saint Brieu-Lorient* (1981), *Nantes* (1982). Sous-presses: *Strasbourg*. Editeur: Editions Ophrys, Paris (10 rue de Nesle - 75006) et Gap (05002). — Pour toute communication scientifique ou consultation d'archives: CNRS, *Équipe de Recherche* n. 30, C/O USMG, Biologie, - BP 53, 38041 Grenoble Cédex, France.

(2) M. PINNA, *Progetto per una carta climatica della Francia*, in « Riv. Geogr. Ital. », Firenze, 1963, pp. 450-451.

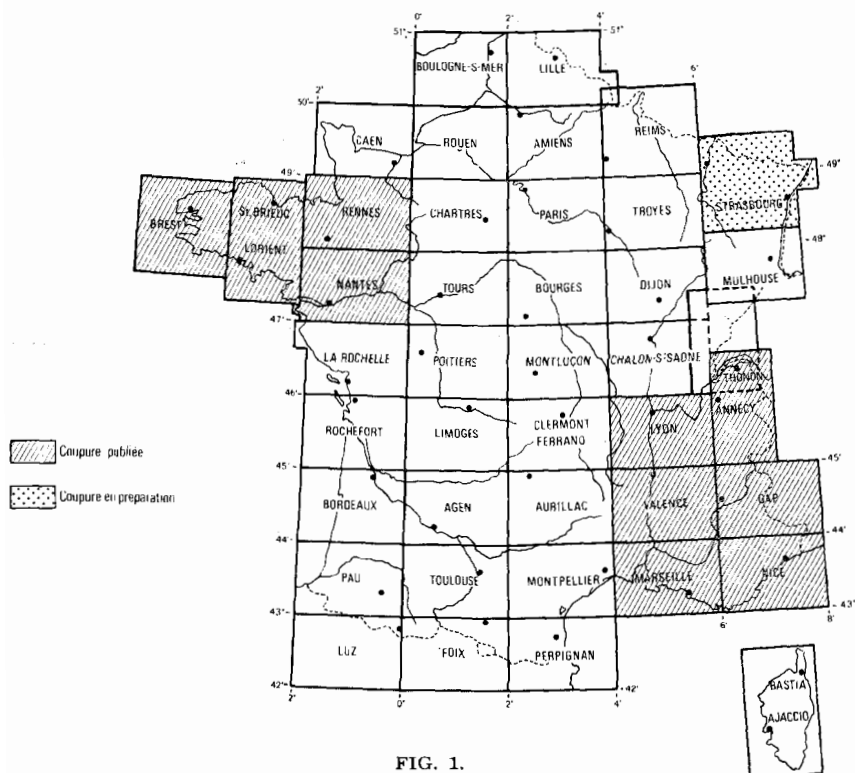


FIG. 1.

l'information, et celles dues aux techniques cartographiques » (3). A ces compromis, inhérents à toute expression cartographique, sont venues s'ajouter des distorsions dues à une cadence trop lente de travail, imposée elle-même par les circonstances. Le problème est ici le suivant: sur certains points, il faut suivre toutes les suggestions de techniques en pleines transformations: l'informatique pour la constitution de banques de données, des faits nouveaux dans le domaine de l'impression, un jour peut-

(3) Cette citation — et bien d'autres qui suivront — est empruntée au travail collectif des membres de l'Équipe de Recherche n. 30 du CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique): *Dix ans de carte climatique détaillée de la France au 1 : 250 000*, qui constitue leur contribution à *Eaux et Climats, Mélanges géographiques... offerts à Ch-P. Péguy*, Grenoble, 1981, pp. 41-84.

être dans celui du dessin lui-même. A certains égards, la coupure Strasbourg appartient à un autre monde de réalisation que la coupure Gap (1971) dont la confection entièrement artisanale — avec trois collaborateurs! — avait inauguré la série. Mais ces progrès techniques, qui visent essentiellement à enrichir l'information de la carte et à en accroître la fiabilité, passent inaperçus auprès de l'acheteur non initié. A l'inverse, et quelques soient ici les progrès conceptuels de notre discipline, il faut chercher plutôt à s'en défendre pour maintenir entre les diverses coupures une unité presque totale de légende permettant de les comparer, mieux, de les assembler. Bien entendu, des ajustements restent possibles au fur et à mesure que s'affinent la connaissance et la réflexion des auteurs sur les climats français. Nos collègues géologues ne s'en sont pas privés, notamment pour le Quaternaire. Avec mesure. Il y a une tradition cartographique, largement interdisciplinaire, à l'intérieur de laquelle il faut savoir rester. La « légende de base » établie il y a maintenant quinze ans n'a été modifiée, effectivement, que dans certains créneaux où la chose s'avérait relativement facile.

L'information et son traitement. — Dès le début, il avait été reconnu que l'information de base devant servir à l'établissement de la Carte, et exprimée graphiquement avec une perte minimale d'information, serait, pour chaque station, la suite des totaux pluviométriques mensuels par années particulières successives. Soit $12 \times n \times k$, dans l'hypothèse d'observations homogènes poursuivies pendant n années sur les k stations de la coupure. Les moyennes des températures minimales et maximales mensuelles sont collectées de leur côté de la même façon, toujours par années particulières successives, pour un nombre évidemment bien moindre de stations. Il en va de même, enfin, là où ces observations sont faites, des durées d'insolation (héliographe), transformées avant tout autre traitement en rapports d'insolation, compte tenu de la durée du jour pour la date considérée (et éventuellement, du masque montagneux). L'ensemble des ces données mensuelles constitue la documentation de base, aujourd'hui stockée

sur support informatique pour un territoire dont la surface dépasse assez sensiblement la couverture cartographiée. Comme on le voit, les données *quotidiennes* n'y figurent pas: leur prise en compte intégrale, sur support informatique, eût multiplié par 30 les frais d'acquisition et de gestion: c'est manuellement que continuent de s'effectuer certains décomptes qui interviennent dans la carte, tels que le nombre de jours de précipitations, ou de jours de gel, etc.

On sait depuis longtemps que des séries météorologiques ne doivent point être considérées *a priori* comme entièrement fiables. Elles doivent être testées, certains de leurs termes éventuellement corrigés, tests et corrections ayant fait l'objet, ces trente dernières années, de progrès considérables. D'autre part, alors que les anciens climatologues corrigeaient, ou complétaient leurs séries d'après les stations présumées fiables les plus proches, l'on sait maintenant que des stations plus lointaines, mais présentant une meilleure affinité de situation par rapport aux courants atmosphériques, peuvent servir de meilleures stations de références (4). Aussi la technique actuellement retenue place-t-elle à l'amont de toutes les opérations une analyse en composantes principales (ACP) portant soit sur les précipitations totales de l'année (coupure Lyon), soit séparément sur les totaux pluviométriques d'un trimestre froid et d'un trimestre chaud (coupure Strasbourg) (5). A l'intérieur des réseaux d'affinités ainsi reconnus chaque station est « testée » par rapport à plusieurs autres par la méthode dite des « cumuls des résidus » mise au point par P. Bois en 1971 à l'Institut de Mécanique de Grenoble. Le principe est de cumuler algébriquement d'année en année, tout au long de la série, les écarts positifs ou négatifs existant entre les observations et les valeurs que l'on reconstituerait, par régres-

(4) H. VIVIAN, S. MARTIN, *Fluctuations spatio-temporelles des précipitations d'une zone intra-alpine en fonction de la circulation atmosphérique générale (exemples pris en Savoie)*, « 15 Internationale Tagung für Alpine Meteorologie », Grindelwald, sept. 1978, Tagungsbericht, I Tell, pp. 258-262.

(5) Pour Lyon, voir ci-dessous (note 15). Pour Strasbourg: M. F. de SAINTIGNON, *Variations spatio-temporelles des précipitations d'hiver et d'été dans la région couverte par la coupure Strasbourg de la Carte Climatique Détaillée*, in « Recherches géogr. à Strasbourg », n. 13-14, 1981, pp. 151-160.

sion linéaire, d'après la (ou les) station(s) de référence si les observations n'avaient pu avoir lieu. Ces cumuls sont reportés en ordonnées sur un graphique, dont l'abscisse est le temps, si bien qu'une suite anormale de « résidus » systématiquement positifs ou négatifs apparaît nettement (6).

Dans le cas des températures, les séries se trouvent en général insuffisantes pour pouvoir établir les formules de régression sur lesquelles repose le principe même du test précédent. On se contente ici d'un test plus ancien, et plus simple, dit du « double cumul », et qui consiste à cumuler simplement, depuis l'origine des observations, les termes de chacune des deux séries. Ici encore, la présentation est graphique, la somme des températures annuelles de la station de référence étant portée généralement en abscisses et celle de la station à tester en ordonnées. Dans tous les cas, ces opérations, pour informatisées qu'elles soient aujourd'hui, ne sont pas le fait d'une quelconque robotique, mais bien d'un homme: le climatologue. D'abord, rappelons-le, dans le choix des stations de références. Puis, une fois décelée l'anomalie statistique, dans l'interprétation de celle-ci: hétérogénéité réelle de l'information, due à un accident dans les conditions de mesure (changement de site, ou d'appareillage, ou d'observateur, etc.), ou évolution objective du climat à l'échelle régionale ou locale, engendrées par exemple par des modifications apportées aux fréquences des types de circulation?

L'un des principes de la Carte est que toutes les données de l'un ou l'autre des éléments du climat, après contrôle, sont considérées comme constituant un *échantillon* qui sera étudié dans une optique probabiliste. Ceci implique le postulat de la *stationnarité* du climat: il a été reconnu effectivement que dans l'ensemble du matériel statistique traité, aucune « dérive », aucune variation de caractère cyclique ne pouvait nulle part être décelée. Le premier traitement est toujours de tracer une courbe des fréquences cumulées de la variable. Pour tenir compte du fait que l'on travaille sur des échantillons et atténuer le poids des

(6) Sur cette technique, voir en dernier lieu: J. BERNIER, *Étude de la stationnarité des séries pluviométriques*, in « La houille blanche », 1977, pp. 313-319.

valeurs extrêmes, les fréquences cumulées sont établies d'après la convention suivante:

$$F_i = \frac{2i - 1}{2n}$$

F_i = fréquences cumulées; n = nombre d'observations; i = rang de la valeur ($i = 1 \dots n$).

Chaque fois que la chose est possible, l'on tente d'ajuster à ces distributions empiriques des expressions analytiques. Pour les températures, il s'agira de la courbe de Gauss. Pour les totaux pluviométriques mensuels, l'ajustement est fait selon une loi Γ incomplète (7). Cette loi décrit la distribution par un paramètre d'échelle ρ et un paramètre de forme λ qui manifeste la plus ou moins grande dissymétrie de cette distribution. Cette notion de dissymétrie des totaux pluviométriques est très importante: seule une forte dissymétrie permet en effet une forte variabilité (8) et cette dissymétrie se trouve associée à des valeurs faibles du paramètre λ (9).

Le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) a été programmé à la fois selon les méthodes de Thornthwaite et de Turc. Effectué, d'abord, dans le cadre de l'année moyenne, il est fait aujourd'hui par années particulières successives, de façon à pouvoir rendre compte de la variabilité interannuelle du bilan hydrique. L'importance de cette variabilité a été soulignée, pour les Français, par la sécheresse de 1976 qui devait intervenir juste après la parution de nos premières coupures, intéressant l'ouest.

(7) Il en irait de même pour les totaux saisonniers ou annuels: on observerait simplement un changement dans l'ordre de grandeur des paramètres.

(8) Castellane, Alpes de Haute Provence (moyennes 1936-1965): Novembre 120 mm, Maximum (nov. 1951): 402 mm. Rapport Maxi/moy.: 3.35.

(9) L'expression analytique de la densité de probabilité $f(x)$ dans la loi Γ incomplète est:

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\lambda)} e^{-\frac{x}{\rho}} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\lambda-1} \frac{1}{\rho}$$

avec:

$$\lambda = \frac{m^2}{\sigma^2} \text{ et } \rho = \frac{\sigma^2}{m}$$

Rappelons que le *Rapport d'insolation*, outre sa signification climatique propre, intervient dans le calcul de ETP, formule de Turc.

Un exemple concret va nous permettre, pour conclure sur ce point, de montrer comment la distribution des valeurs d'une variable peut varier selon la nature de celles-ci et combien, de ce fait, un régime « moyen » peut être très inégalement représentatif. A Embrun (1946-1975), on relève ainsi pour deux mois consécutifs les moyennes suivantes de températures et de précipitations:

	novembre	décembre
températures moyennes	5,5 °C	1,9 °C
totaux pluviométriques moyens . . .	81,2 mm	50,5 mm

Décembre est donc normalement « plus froid » et « plus sec » que novembre. Mais si, sur 30 années d'observations, cela a bien été *toujours* le cas en ce qui concerne l'évolution thermique, l'on a observé par contre 7 cas — près d'une année sur quatre — où décembre avait été relativement plus arrosé que novembre. La signification d'un régime moyen thermique et d'un régime moyen pluviométrique n'est donc pas la même.

Les *distributions spatiales* de ces diverses variables n'ont pas fait l'objet, à ce jour, d'essais de modélisation comparables aux ajustements de leurs distributions temporelles, ou plus exactement, des essais de transposition de modèles établis dans des domaines voisins, ou à d'autres échelles (kriegeage, etc.) se sont heurtés à la forte anisotropie de l'espace, due essentiellement au relief. Par contre, la prise en compte de l'altitude pour l'estimation des températures a été faite avec succès. « Dans une région de montagne comme les Alpes du Sud, l'altitude rend compte de 92% de la variance des températures moyennes annuelles » (10). L'hiver, cette influence s'abaisse légèrement (79% de la variance en janvier). Les travaux de base dans ce domaine sont ceux d'Annick Douguedroit, Patrice Paul et Marie-Françoise de Saintignon (11).

(10) Voir ci-dessus note (3), op. cit., p. 66.

(11) A citer dans l'ordre chronologique de l'élaboration des méthodes: A. DOU-

Ainsi la mise en oeuvre des données réunies par les auteurs de la *Carte Climatique Détaillée...* combine-t-elle « un panachage de modèles exprimés mathématiquement et d'approches empiriques fondées sur la "connaissance du terrain" et l'expérience du climatologue » (12). Notre figure 2 résume cette mise en oeuvre par un organigramme.

De la conception à l'exécution. — De cette masse d'information — qui, dans le cas d'une coupure de montagne à information dense, comme Gap, peut approcher les $2 \cdot 10^6$ valeurs numériques de base — le problème est évidemment ardu de tirer une synthèse cartographique qui reste lisible et utile. Dès l'origine, les auteurs ont éliminé des séries de cartes, de type « atlas », dont le nombre eût risqué de s'accroître dangereusement, pour concentrer l'information conservée sur un document unique, sauf à compléter celui-ci par des cartons à beaucoup plus petite échelle. D'un autre côté, l'utilisation optimale des séries a conduit à envisager des représentations de type fréquentiel là où les lois de distribution des variables pouvaient être paramétrées. C'est ainsi que pour les précipitations sont figurés, ponctuellement, les quintiles inférieurs et supérieurs ainsi que les médianes des totaux pluviométriques mensuels et, spatialement, les déciles extrêmes des totaux pluviométriques annuels. Pour les variables dont les séries étaient trop courtes, on s'est contenté de cartographier les moyennes: perte d'information, certes, sur le plan de la variabilité interannuelle, mais compensée par des possibilités de modélisation spatiale que n'offrait absolument pas, à l'échelle du 1 : 250 000,

GUEDROIT, M. F. de SAINTIGNON, *Méthode d'étude de la décroissance des températures en montagne de latitude moyenne: exemple des Alpes françaises du Sud*, in « Rev. Géogr. Alpine », Grenoble, 1970, pp. 453-472; ID., *A propos des Alpes françaises du Sud. Un nouveau mode de représentation des températures moyennes en montagne: l'orothermogramme*, ibid., 1974, pp. 205-217; M. F. de SAINTIGNON, *Décroissance des températures en montagne de latitude moyenne: exemple des Alpes françaises du Nord*, in « Rev. de Géogr. Alpine », Grenoble, 1976, pp. 493-494; P. PAUL, *La décroissance de la température avec l'altitude dans les Vosges et la Forêt Noire, aspects locaux et régionaux*, in « Recherches géogr. à Strasbourg », n. 4, pp. 55-67; A. DOUGUEDROIT, M. F. de SAINTIGNON, *Décroissance des températures mensuelles et annuelles avec l'altitude dans les Alpes du Sud et en Provence (séries 1959-1978)*, in « Eaux et Climats », Grenoble, 1981, pp. 179-194.

(12) Voir ci-dessus note (3), op. cit., p. 63.

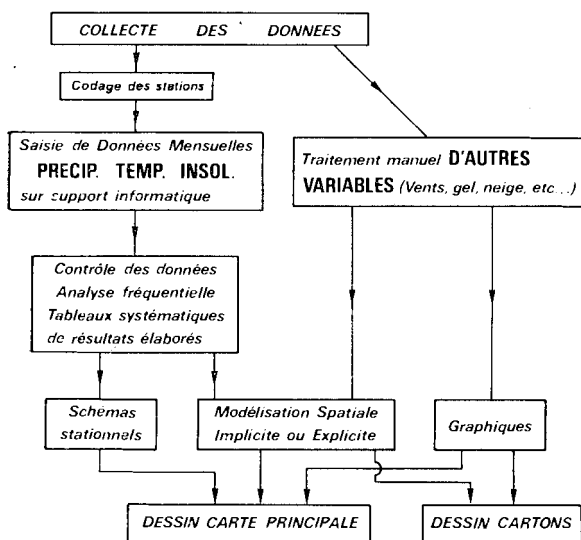
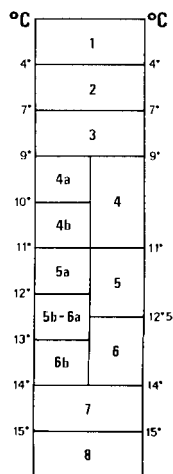


FIG. 2 — ORGANIGRAMME.

FIG. 3
LES CLASSES
THERMIQUES.

l'échantillonnage pluviométrique. Dans ces conditions, le principe retenu pour la carte est une superposition de trois types de figurés.

1. - Des bandes obliques colorées exprimant ce que les botanistes appellent les facteurs limitants. Certains éléments du climat peuvent en effet, en raison de leurs valeurs excessives, déterminer à eux seuls des limites fondamentales et mériter ainsi de figurer par priorité. C'est le cas en France de la présence, dans l'année moyenne, d'une période soit trop froide, soit trop sèche. Ces régions sont figurées par un jeu de bandes de largeur variable inclinées de 60° sur l'horizontale. Si froid et sécheresse alternent dans l'année, la superposition des deux jeux de bandes constitue le treillis.

Pour le *froid*, l'indicateur retenu a été le nombre de mois dont la température moyenne se trouve inférieure à 7°C . C'est assurément là un seuil déjà élevé, mais il n'en a été tenu compte que là où deux mois consécutifs au moins répondaient à cette condition. La couleur des bandes est le gris; leur orientation du quadrant NW au quadrant SE; leur largeur augmente avec le

nombre des mois répondant à la condition précitée jusqu'à devenir jointives — le gris occupant tout l'espace de la carte — quand aucune température moyenne mensuelle n'est supérieure à 7° C. Cela n'intervient qu'à une altitude supérieure à celle de l'isotherme annuelle 4° C.

Pour la *sécheresse*, en dehors de circonstances locales ou régionales sur lesquelles on reviendra ci-dessous, on a retenu, d'une façon similaire, l'existence d'un certain nombre de mois « secs ». La définition, qui peut paraître aujourd'hui un peu vieillotte, est celle de H. Gaussen: un mois dont les précipitations, exprimées en millimètres, restent inférieures au double des températures exprimées en degrés Celsius. Le tout estimé bien entendu sur les régimes moyens. Le nombre de mois secs ainsi définis n'intéresse qu'une portion réduite de la France, et ne dépasse nulle part 4. Cet indicateur entraîne comme graphisme des bandes orange foncé, d'une largeur fonction du nombre de mois secs à figurer, orientées cette fois du quadrant NE au quadrant SW et faisant toujours un angle de 60° avec les parallèles.

2. - Entre les bandes des facteurs limitants, l'espace cartographique est couvert par un figuré exprimant les *températures moyennes annuelles*. C'est le *fond thermique*. Traitées en teintes à plat, ou en trames fines, les couleurs qui les expriment sont inspirées des conventions établies par H. Gaussen pour les cartes de la végétation, allant du rouge pour des moyennes annuelles supérieures à 15 °C au gris pour celles inférieures à 4 °C. D'une façon générale, les seuils thermiques retenus pour la carthographie de ces moyennes annuelles ont été de 4, 7 et 9 °C pour les zones les plus froides, de 14 et de 15 °C pour les zones les plus chaudes. Mais, entre 9 et 14 °C (schéma fig. 3), deux types de figuré ont été utilisés. Pour les régions à températures peu contrastées, des isothermes annuelles équidistantes de 1 °C ont été tracées, et chaque plage de couleur n'a ainsi qu'une étendue thermique de 1 °C. Ailleurs, les seuils retenus ont été de 11 et de 12,5 °C. Chacune des huit classes de températures moyennes annuelles ainsi déterminées est désignée par un symbole, de 1 à 8 dans l'ordre des températures croissantes. Ces symboles sont discrètement imprimés en surcharge sur le fond

coloré, pour en faciliter l'identification, à la manière des symboles identifiant les étages sur une carte géologique. Ce fond thermique est, rappelons-le, masqué par les bandes figurant les mois « secs », ou « froids », ce qui schématise ce fait que la température de l'année n'est à prendre globalement en compte qu'à partir du moment où le rôle négatif des « facteurs limitants » ne s'imposent point par priorité.

3. - Enfin, des *schémas stationnels* sont, en localisations exactes, des expressions ponctuelles des régimes probables des précipitations. Les variables retenues sont, pour chaque mois, le quintile inférieur, la médiane et le quintile supérieur des totaux pluviométriques de ces mois. Le figuré est fait en coordonnées polaires, les rayons des secteurs étant proportionnels aux racines carrées des variables et le schéma est orienté de telle façon que les secteurs se rapportant aux mois d'hiver se trouvant en bas de la figure la succession chronologique des mois se fasse dans le sens des aiguilles d'une montre. Pour un même mois, ce sont les tons qui différencient les deux quintiles et la médiane. L'écart entre les contours des secteurs extrêmes figure donc l'écart inter-quintile, c'est-à-dire qu'il donne une image de la variabilité interannuelle des totaux pluviométriques mensuels. Ces schémas stationnels (fig. 4) sont, actuellement, tracés par voie entièrement automatique et leurs dessins s'effectuent sur traceur Benson à partir de l'ajustement par la loi Γ incomplète des courbes expérimentales des fonctions de répartition des données.

C'est à partir de la combinaison de ces trois types de figurés que l'on peut reconnaître des espaces « visuellement homogènes » susceptibles de constituer *a priori* déjà des unités climatiques. Les deux premiers — bandes de « facteurs limitants » et fond thermique — couvrent la carte de façon totale, le troisième donne des indications ponctuelles, localisées sur les stations les plus fiables, la taille même des schémas, proportionnelle en surface aux précipitations moyennes annuelles, s'intégrant à la vision globale. Néanmoins, il est apparu nécessaire de compléter la carte principale par des *cartons*, d'une échelle, selon l'usage le plus courant, cinq fois plus petite, soit ici 1 : 1 250 000, et même par un certain nombre de *graphiques*. Certains de ceux-ci traitent

SCHEMAS STATIONNELS

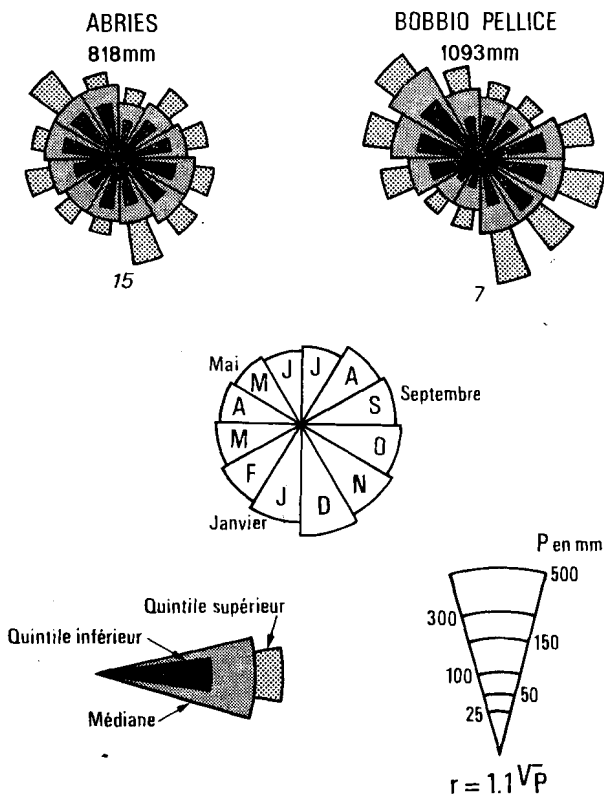


FIG. 4.

de thèmes communs à toutes les coupures, mais qui pour des raisons techniques ne pouvaient être traités sur la carte principale sans la surcharger dangereusement. D'autres cartons ou graphiques traitent de thèmes régionaux, tels que la couverture neigeuse: leur nombre et leur disposition même en marge de chaque coupure variera donc selon les régions intéressées. Dans le premier groupe que l'on retiendra seul ici figurent:

- un carton combinant le figuré du nombre moyen de jours de précipitations par an avec la part prise dans les totaux pluviométriques annuels par le cumul des seules précipitations quoti-

diennes supérieures à 30 mm/24 h. Ces précipitations de fortes intensités peuvent représenter jusqu'à plus de 50% des totaux annuels dans l'arrière-pays niçois;

- deux cartons exprimant la variabilité interannuelle de totaux pluviométriques annuels au niveau des déciles extrêmes de ceux-ci. L'un figure, points par points, les totaux annuels dépassés une année sur dix, l'autre ceux qui sont dépassés neuf années sur dix, soient respectivement les 9^e et 1^{er} déciles. Les totaux pris en compte sont ceux des années hydrologiques et les valeurs des déciles estimées par interpolation sur les courbes de distribution des totaux annuels ajustées à une loi l' incomplète.

Il est important de préciser que les valeurs « caractéristiques probables ainsi cartographiées » *n'ont en général pas été atteintes au cours de la même année*. L'impression visuelle qui se dégage de ces cartons tend ainsi à exagérer les contrastes existant entre des années particulières données, et cela d'autant plus que l'espace considéré devient grand (13). Des informations ponctuelles, malheureusement trop rares encore par insuffisance de postes, sont portées sur certains de ces cartons de caractère général: *rose des vents* toutes observations confondues, *durée d'insolation moyenne* pour l'ensemble de l'année. S'y ajoutent encore, en général pour la principale station météorologique de la coupure, deux graphiques: les *thermo-isoplèthes* (C. Troll) et un *bilan de l'eau en année moyenne*, sur la base d'une ETP calculée selon la méthode de Thornthwaite (avec une légère correction régionale pour les climats méditerranéens), à laquelle se trouve superposée sur certaines coupures la courbe obtenue par la méthode de Turc.

Les caractères thermique de janvier et de juillet — surtout les phénomènes liés aux températures les plus basses du premier de ces mois ou au contraire aux plus élevées du second — ne

(13) Les classes retenues pour cartographier ces deux déciles extrêmes ne sont pas les mêmes, si bien que les légendes des deux cartons correspondants ne sont pas identiques. Les frontières choisies pour y délimiter les classes y sont dans un rapport voisin de 1 à 1,5, qui correspond à la variabilité interannuelle la plus faible connue pour la France et les régions voisines. Pour une variabilité de cet ordre, les deux cartons seraient donc identiques, tandis qu'un décalage apparaîtrait puis se développerait entre les teintes avec l'accroissement de la variabilité.

pouvaient pas ne pas constituer un thème commun à toutes les coupures. Mais les techniques d'expression ont ici varié. En régions de montagnes, les auteurs ont cherché à dégager des modèles de décroissance des températures en fonction de l'altitude, et compte tenu de l'exposition. Ailleurs, ce sont les minimums moyens du mois le plus froid, et les maximums moyens du mois le plus chaud (respectivement dénommés depuis le botaniste Emberger « m » et « M ») qui ont été directement cartographiés (14). Sur deux coupures — Lyon et Annecy-Thonon — l'ensemble des paramètres thermiques relatifs à ces mois extrêmes ont pu être portés sur un carton unique, libérant ainsi de l'espace pour divers diagrammes.

Chaque coupure comporte enfin un carton consacré aux « calamités d'origine atmosphérique ». On conçoit que celles-ci se trouvant diversifiées selon les régions — et des circonstances purement chronologiques —, la conception même de ces cartons varie d'une coupure à l'autre et nous n'y insisterons pas, sauf pour indiquer que la notion de « durée de retour » estimée de telles catastrophes avait été portée, chaque fois que de telles estimations avaient été réalisables. Nous reviendrons plus bas, en examinant chacun des deux grands ensembles régionaux actuellement couverts par la Carte, sur des problèmes tels que le figuré de l'enneigement, ou de faits propres aux climats littoraux. Un intérêt méthodologique plus général s'attache à la réalisation, sur la coupure Lyon, d'un carton exprimant les résultats d'une analyse factorielle des précipitations annuelles: l'évolution dans le temps des précipitations annuelles tout au long de la série commune d'observations permet à la fois de reconnaître sur le carton des espaces homogènes et de mettre en évidence les années pour lesquelles la différenciation entre les espaces est la plus forte (15).

Indiquons sur le plan technique que la Carte, entièrement

(14) La différence (M-m) est parfois appelée « amplitude combinée » parce qu'elle combine les effets de l'amplitude annuelle et de l'amplitude diurne de la température.

(15) S. MARTIN, M. F. de SAINTIGNON, *Application de l'analyse factorielle en composantes principales à l'étude de la variabilité régionale et interannuelle des précipitations ardéchoises*, in « Revue de Géogr. de Lyon », Lyon, 1974, pp. 77-92.

dessinée à la main, est imprimée en offset 8 couleurs (9 pour certaines feuilles), chacune faisant l'objet de la part du dessinateur d'un « typon » établi sur un support plastique transparent et qui sera ensuite reporté sur un zinc. L'impression exige autant de « passages » à la machine qu'il y a de zincs, ce qui explique la précision rigoureuse imposée aux dessins (16).

Les ensembles régionaux: l'Ouest. — Quatre coupures de la *Carte climatique* se regroupent à l'extrémité occidentale du pays: Brest, Saint Briec-Lorient, Rennes et Nantes. Il s'agit de régions qui passent volontiers pour être de relief peu accidenté et de climat monotone, où des raffinements d'analyse paraissent devoir être nécessaires pour dégager des originalités régionales (17). Ces coupures font partie de celles pour lesquelles les seuils du « fond thermique » sont équidistants de 1 °C au-dessus de 9 °C. Par ailleurs, quelques compléments on été apportés à titre expérimental sur l'information thermique: sur Rennes, les températures maximales du mois le plus chaud (« M ») figurent directement sur la carte principale; sur Brest, l'accent a été mis dans un carton sur le « retard thermique » (« M » plus élevé en août qu'en juillet sur une partie de la coupure).

Autre particularité de ces coupures de l'Ouest: l'apparition, parmi les « facteurs limitants », de la notion de « subsécheresse ». Un mois est qualifié de « subsec » (Gaussen, Rey), si les précipitations mesurées en mm sont comprises entre le double et le triple de la température mesurée en °C. Ce concept de transition s'avère inutile aux marges du domaine méditerranéen: en Bretagne, par contre, cette relation $P_{mm} < 3T$ permet de déceler l'existence d'un déficit estival parfois contraignant. Cette « subsécheresse » est un caractère propre aux climats littoraux, surtout

(16) Une variante plus moderne, dite technique du « strip-mask », consiste à établir autant de typons qu'il y a, non plus de couleurs de base, mais de dégradés dans celles-ci. Une plus grande fiabilité est assurée dans la reproduction des couleurs.

(17) La responsabilité de ces coupures de l'Ouest, notamment en ce qui concerne la collecte de l'information, a été assurée par Monsieur Jean Mounier, actuellement Responsable par *intérim* de l'E.R. n. 30, et la préparation de chacune d'elles a fait l'objet d'un mémoire de Maîtrise à l'Institut de Géographie de l'Université de Haute Bretagne (Rennes).

de la côte sud, mais elle réapparaît à l'intérieur (Bassin de Rennes, Vallée de la Loire).

Les vents dominants sur la côte ont fait l'objet d'une double expression synthétique sous forme de rose des vents: tantôt (coupure Brest: Ouessant) on a retenu — et opposé — les vents dominants pour différentes saisons. Ainsi, de mars à avril, voit-on à Ouessant un brutal passage de vents dominants du Sud à des vents dominants de Nord-Est. Tantôt (coupure Brest: Penmarc'h; coupure Rennes: Pointe du Grouin), les roses ont pour objet de montrer la variation diurne du vent pendant l'été seulement.

Dans les climats à hivers doux que connaît l'Ouest de la France, les gelées sont d'autant plus funestes à la végétation qu'elles peuvent, en survenant tardivement, surprendre celle-ci après son essor printanier. Aussi a-t-il paru nécessaire, dans certains cas (Rennes, St. Brieuc-Lorient), de compléter le carton relatif au mois le plus froid par un figuré exprimant les *gelées printanières*, c'est-à-dire les minimums inférieurs à 0 °C survenus après le 1^{er} mars. Ceux-ci peuvent dépasser 15 en année moyenne pour des stations pour lesquelles la température moyenne du mois le plus froid était cependant à peine négative.

Mais le graphisme le plus original introduit dans ces coupures de l'Ouest (18) réside dans la présence d'un graphique de la *variabilité interannuelle du bilan de l'eau* pour une des stations principales de la coupure, bilan qui n'est en règle générale calculé qu'en « année moyenne ». A cet effet, le bilan a été calculé d'un bout à l'autre de la période d'observations par années hydriques particulières successives, avec report du stock d'eau réel d'une année sur l'autre. Les résultats de chaque bilan hydrique annuel ont permis de dégager une typologie des mois en cinq classes: *humides*, avec des excédents pluviométriques destinés essentiellement à reconstituer la réserve en eau du sol; *très humides* quand les surplus pluviométriques sont entièrement disponibles pour l'écoulement, *déficients*, *subsecs* et *secs* quando ETP redevient supérieur à P, avec des seuils de respectivement 30 et 60 mm (19). Dès lors, un graphique « en damier » où les mois

(18) Sauf Brest.

(19) Voir notamment: J. MOUNIER, *Aspects et fréquence de la sécheresse en Bretagne*, in « Rev. de Géogr. de Lyon », Lyon, 1977, pp. 167-176.

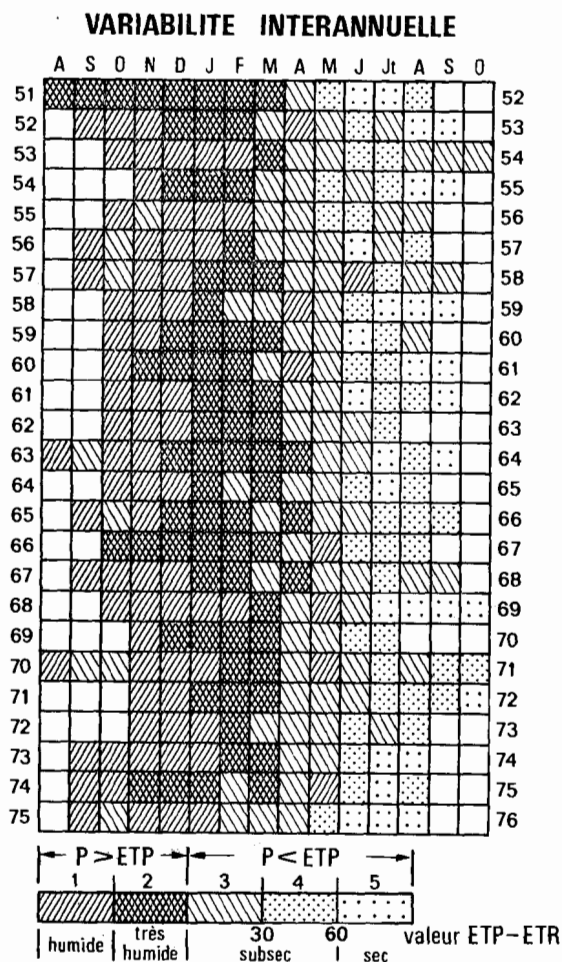


FIG. 5 — BILAN DE L'EAU.

sont portés sur l'axe horizontal et les années sur l'axe vertical, permet à la fois de préciser la singularité de chaque mois et celle d'une année que rendraient remarquables une séquence prolongée des mois déficitaires. On voit ainsi qu'à Rennes (fig. 5), pour la période 1951-1976, des séquences de 3 ou 4 mois consécutifs présentant des déficits supérieurs à 60 mm ne sont apparues que trois fois: les étés 1959, 1969 et 1976.

Les ensembles régionaux: le Sud-Est. — Presque à l'opposé du pays, six coupures recouvrent un vaste ensemble territorial au Sud-Est de la France: Lyon, Annecy-Thonon, Valence, Gap (20), Marseille et Nice. Il s'agit de la totalité des Alpes françaises, du « couloir rhodanien » de Lyon à la mer, de la majeure partie de la région méditerranéenne. C'est dire que la variété visuelle offerte par la carte est ici plus grande que dans le cas de l'assemblage des coupures de l'Ouest.

Les schémas stationnels y prennent très souvent une forme caractéristique, trahissant les doubles maximums d'automne et de printemps, tandis que les précipitations faiblissent — inégalement — l'été et l'hiver. Le schéma d'Abriès (coupure Gap, vallée supérieure du Guil) (fig. 4) offre un exemple caractéristique de la signification des « régimes probables » au niveau des quintiles supérieurs: une fois sur cinq (ou 20 années par siècle) les précipitations d'Abriès peuvent dépasser 170 mm au mois de mai, chiffre qui à ce niveau de fréquence n'est atteint pour aucun autre mois. Par contre, les stations italiennes voisines (Bobbio Pellice, Luserna, Chianale) connaissent leurs maximums en mai pour les régimes probables de tous niveaux de fréquences, ainsi que sur leurs régimes moyens. Cela revient à constater que « tout se passe comme si » ce qui constitue la répartition saisonnière normale des précipitations sur le versant padan « débordait », environ 20 fois par siècle, sur le versant occidental des Alpes. Non seulement dans les Alpes, mais dans le Jura, dans les chaînons et les plateaux de Provence, ou encore à l'Ouest du Rhône sur la retombée du Massif Central, l'altitude devient le fait majeur qui détermine le climat local et en a guidé la cartographie. Dès lors, « les homogénéités régionales passent au second plan et l'on voit surtout les gradients et les discontinuités liés à ce facteur qui engendre une multiplicité de climats locaux » (21). Ici, l'échelle déterminante n'est plus l'échelle régionale, mais

(20) Signalons qu'une assez grande partie de la coupure Gap intéresse le territoire italien. Il n'a pas été possible, malheureusement, d'utiliser pour la partie italienne des données chronologiquement homogènes avec celles de la partie française.

(21) Voir ci-dessus note (3), op. cit., p. 78.

l'échelle locale. Mais reconnaître cette échelle climatique déterminante est précisément déjà définir l'un des premiers caractères du climat « géographique ».

Le treillis des *facteurs limitants* est complété tout d'abord, en haute montagne, par un figuré complémentaire soulignant le « *grand froid* » : les bandes grises exprimant le nombre de mois dont la moyenne de température est inférieure à $+7^{\circ}\text{C}$ sont bordées d'un trait noir sur les versants et aux altitudes où l'on estime qu'un mois au moins présente une température moyenne inférieure à -3°C . Compte tenu de l'amplitude diurne et de la variabilité interdiurne, de telles moyennes impliquent l'existence, tous les ans, de séquences déjà longues de jours sans dégel. Ces bandes noires différencient très nettement la montagne froide de la montagne océanique « tempérée ».

La sécheresse estivale, figurée d'après le nombre de « mois secs » s'étend le long du littoral méditerranéen sur des surfaces beaucoup plus étendues que ne le faisaient les régions homologues sur les littoral breton. Ce qui était là simple climat « littoral » devient ici climat « côtier ». Il n'est que de regarder la tonalité générale de la coupure Marseille pour se rendre compte du changement d'échelle.

Si la notation des mois « subsecs », d'une pertinence propre à la Bretagne, disparaît dans la France du Sud-Est, une autre vient la remplacer, d'un figuré très voisin, qui vient affiner et compléter le concept de « sécheresse ». On a en effet reconnu que la prise en compte du rapport P/T pour les seuls mois d'été peut être soit insuffisant, soit inadapté, pour rendre compte d'une insuffisance hydrique qui, en certaines régions, doit être estimée sur toute l'année. Celles-ci sont de deux types : d'une part, certaines dépressions intérieures (le Forez, coupure Lyon, où malgré des précipitations estivales apparemment suffisantes les agronomes décèlent une certaine déficience portant sur l'ensemble de l'année) ; d'autre part, certaines vallées intérieures des Alpes où l'altitude baisse les températures, même estivales, à des valeurs trop faibles pour déterminer, selon la technique de Gaussen, des seuils pluviométriques significatifs. Reste encore la rétention ni-

vale, qui rend la végétation moins dépendante en montagne des seules précipitations d'un mois donné. Dans ce cas, on a eu recours à un indice qui, tout en privilégiant la sécheresse estivale, prend en compte les précipitations de l'ensemble de l'année. Il s'agit en fait de la moyenne arithmétique de l'« indice d'aridité » de De Martonne calculé pour le seul mois de juillet et l'ensemble de l'année (voir annexe). L'« aridité intra-alpine » ainsi définie n'est d'ailleurs prise en compte qu'au-dessus de 800 m d'altitude, et le seuil qui la définit doit être fonction de l'altitude.

Contrairement à ce qui se passe sur l'Atlantique, les *vents* sur le littoral méditerranéen ne sont pas soumis à des variations saisonnières significatives. Seul, le rythme diurne est évoqué, les vents dominants ayant été sélectionnés en tenant compte à la fois des fréquences et des vitesses. On voit nettement (coupure Nice) la bise de terre se lever à 06 heures du matin, le vent se renverser à midi et à 18 h souffler souvent un vent d'Ouest qui correspond aux conditions synoptiques les plus fréquentes.

Si l'on passe à l'examen des *cartons* accompagnant les coupures du Sud-Est, on notera tout d'abord la très forte variabilité des totaux pluviométriques d'une année à l'autre: décomptés en années hydrologiques ils offrent des déciles extrêmes dont le rapport peut dépasser 2 à 1 sur le versant italien de l'Argentera (coupure Gap), ce qui a motivé un figuré spécial. L'écart extrême, dans les limites de la documentation disponible pour la partie italienne de cette coupure lors de sa rédaction, appartient au pluviomètre de Chiusa di Pesio: 620 mm pour l'année hydrologique 1930-1931 et 2087 mm pour 1935-1936.

Le caractère redoutable des *gels printaniers* (postérieurs au 1^{er} mars), déjà noté sur une portion du littoral breton, s'aggrave encore dans ces régions méridionales de la France, aux cultures précoces. On a porté sur un carton de la coupure Nice le nombre moyen par an de ces jours de gel printanier. Ailleurs (coupures Lyon, Valence) des diagrammes de fréquences des températures minimales observées ont été construits pour les trois mois de mars, avril et mai et pour deux stations, l'une de plaine, l'autre de montagne.

Le carton des « calamités » de la coupure Nice fait une place

à la fréquence des *incendies de forêts*: on y a reporté une zone dans laquelle plus de 4% du territoire boisé se trouve être en moyenne, chaque année, la proie du feu.

L'existence enfin, en montagne, d'un *manteau neigeux* qui conditionne considérablement la vie pendant de longs mois bien en-dessous de la limite de l'habitat permanent constituait pour ces régions un paramètre absolument indispensable à cartographier. Il était à l'inverse inutile — et inconcevable — hors de celles-ci. C'est donc sur les deux seules coupures alpestres d'Annecy-Thonon et de Gap que le manteau neigeux fait l'objet d'un carton.

Deux paramètres y sont figurés:

- d'une part, les *durées* moyennes de l'*enneigement au sol* (seuils: 60 et 150 jours);
- d'autre part, un paramètre conventionnel dénommé « *épaisseur caractéristique 60 jours* » et qui n'est autre que l'épaisseur du manteau « garantie » au moins un an sur deux en moyenne pendant 60 jours consécutifs à un moment ou l'autre de l'hiver. Ces dernières informations sont données ponctuellement. Aucune donnée en notre possession ne permettait malheureusement de les étendre au versant italien des Alpes. En outre, sur la coupure Annecy-Thonon, l'évolution au cours de l'hiver de la variabilité interannuelle de l'enneigement a été exprimée par deux *calendriers de probabilités* se rapportant au même site (bassin versant du Doron de Beaufort, alt.: 1770 m), mais relatifs l'un à la hauteur de neige, l'autre à l'équivalent en eau (22).

* *

Pendant que ce long travail avançait lentement, l'Équipe qui en avait la charge se voyait appelée à participer à d'autres travaux, non sans rapports avec l'oeuvre principale. Le développement des recherches sur l'énergie solaire amenait ainsi la conception d'*atlas régionaux* sur les *fréquences de l'insolation journalière*, comprenant à la fois des cartes mensuelles et des calendriers

(22) Parmi les manuels faisant une place au commentaire de la *Carte Climatique Détaillée*, et en reproduisant un extrait, citons: G. ESCOURROU, *Climatologie pratique*, Paris, Masson, 1978, 174 pp.; voir pp. 75-85. Extrait de la coupure Nice.

de probabilités pour les principales stations. Six de ces atlas doivent couvrir la France. Ceux du Midi Méditerranéen (ici dans sa totalité) et de la France de l'Ouest sont parus. En ce qui concerne la *Carte Climatique Détaillée* elle-même, des études ont commencé en vue d'en modifier l'échelle pour certaines régions de France où les climats sont peu différenciés et paraissent *a priori* avoir des incidences économiques moindres. Il paraît assez logique de traiter ces régions à l'échelle du 1 : 500 000, ce qui permettrait de hâter l'achèvement de la carte. Mais ce qui a été dit au début de cette note de l'importance du travail statistique et informatique montre que le gain de temps que l'on peut escompter ne sera pas proportionnel avec le gain du papier!

UN QUARTO DELLA FRANCIA COPERTO DA UNA CARTA CLIMATICA ALLA SCALA 1 : 250.000. — L'Autore, che per molti anni ha diretto un gruppo di ricerca del CNRS per la costruzione di una *Carte Climatique Détaillée de la France*, spiega i criteri seguiti nella elaborazione dei dati meteorologici e nella costruzione dei singoli fogli (scala 1 : 250.000) della carta stessa. Ognuno di questi porta come rappresentazione principale i caratteri fondamentali della temperatura e delle piovosità, ma comprende anche certi diagrammi e cartine a piccola scala (1 : 1.250.000) in cui sono illustrati altri aspetti (variabilità delle piogge, eventi eccezionali, ecc.).

Poiché le carte finora apparse riguardano rispettivamente il nord-ovest (Bretagna) e il sud-est (Provenza, Alpi), l'A. descrive le differenze climatiche esistenti fra queste due parti della Francia, così come emergono da questa originale rappresentazione cartografica.

A FOURTH OF FRANCE COVERED BY A CLIMATIC MAP ON THE SCALE OF 1 TO 250.000. — The Author, who for several years directed a research group of the CNRS for the construction of a *Carte Climatique Détaillée de la France* explains the criteria adopted for the elaboration of the different sheets of the Map. Every sheet represents as main item the fundamental patterns of temperature and rainfall, but includes also several diagrams and inset maps (on the scale of 1 to 250.000) concerning other aspects (rainfall variability, exceptional events, etc.). As the sheets so far published relate to northwestern (Bretagne) and south-eastern (Provence, Alps) regions, the Author points out the climatic differences between these two parts of France, as they emerge from this original cartographic representation.