

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE BIOCLIMATIQUE DE L'ARC ALPIN

par Lucien RICHARD (1) avec la collaboration d'Annie TONNEL

Buts et méthodes	34
I.- Les précipitations	35
II.- Les températures	44
III.- Indice de continentalité hydrique de GAMS	47
IV.- Indice d'aridité de DE MARTONNE	48
V.- Répartition ombrothermique des stations	49
VI.- Sécheresse et sub-sécheresse estivales	53
VII.- Transects bioclimatiques	54
Conclusions	60
Bibliographie	62

RESUME.- Les principaux facteurs bioclimatiques responsables de la zonation écologique de la chaîne alpine et de ses marges sont exprimés par cinq cartes à petite échelle, quatre transects, des diagrammes ombrothermiques, des repérages de stations à "mois secs". Cela permet d'affiner et de préciser la caractérisation des secteurs biogéographiques définis, antérieurement, par la cartographie de la végétation. L'importance biologique relative des facteurs climatiques ou de leurs combinaisons, variables suivant les saisons, les situations géographiques et topographiques sont discutées.

Mots-clés: Cartographie - Bioclimatologie - Alpes.

SUMMARY.- CONTRIBUTION TO THE BIOCLIMATICAL STUDY OF THE ALPS.

The bioclimatic factors which principally determine the ecological zonality of the Alpine Massif and its borders are explained by means of 5 maps on a small scale, 4 transects, climographs, and the localization of the sites which are defined by dry months. Thus, the mapping of vegetation allows to finely precise the characters of definite biogeographic regions. The biological significance of climatic factors or their arrangements which vary with the seasons, the geographic and topographic conditions are discussed.

Key-words: Mapping - Bioclimatology - Alps.

ZUSAMMENFASSUNG.- UNTERSUCHUNGEN ZUR BIOKLIMATOLOGIE IN DEN ALPEN.

Die hauptsächtlichen bioklimatischen Faktoren, die die Zoneneinteilung der alpinen Kette und ihres Randgebietes bedingen, werden durch fünf an durchschnittlichen Massstab Karten, vier

(1) UA - CNRS n°242, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, Laboratoire de Botanique et Biologie végétale, BP 68, F 38402 SAINT-MARTIN D'HERES CEDEX (France).

Querschnitten, Klimadiagramme und Dürrezeit darstellen. Diese Methode ermöglicht eine bessere Unterscheidung der biogeographischen Sektoren, die die Vegetationskartierung vorher begrenzt hat. Das biologische Gewicht der Klimatischen Faktoren oder ihres nach den Jahreszeiten, die geographischen und topographischen Anlagen wechselhaften Zusammenwirkens werden diskutiert.

Schlüsselwörter: Kartographie - Bioklimatologie - Alpen.

BUTS ET MÉTHODES

A - BUTS

Une compréhension de la zonation bioclimatique de la chaîne alpine et de ses marges constitue l'essentiel de ce travail. Il s'agit d'une démarche parallèle à celle qui a conduit à l'établissement de la carte de la végétation potentielle des Alpes, par OZENDA (33).

La végétation naturelle est le réactif de facteurs édaphiques (non pris en compte, ici) et d'un complexe de variables climatiques. C'est ainsi que sous le titre "facteurs thermiques" pourraient être considérés, outre les classiques moyennes mensuelles et saisonnières, la somme des températures au-delà d'un seuil, la durée du gel simple et du gel continu, le nombre de jours "chauds", la température du sol dans les horizons racinaires, etc. Par ailleurs, l'effet biologique d'un facteur varie suivant les saisons: l'action sélective des gelées est optimale à la fin du printemps et au début de l'été, moins marquée en hiver. La caractérisation fine et totale d'un bioclimat exigerait une importante étude exhaustive. Un remarquable effort dans ce sens a été entrepris par FLIRI (19), pour le Tyrol.

Pour une saisie globale et simplifiée du problème, on peut sélectionner un ensemble restreint de facteurs déterminants facilement quantifiables. Cependant les résultats d'une pareille simplification sont-ils encore valables? On peut les tester dans des secteurs où ont été conduites, en parallèle, une cartographie des séries de végétation et une analyse de nombreux facteurs climatiques; tel est le cas des Alpes nord-occidentales où on a pu constater que des zonations basées sur les températures, les précipitations estivales, les indices climatiques de GAMS et de DE MARTONNE coïncident, chacune dans un champ de validité donné, avec celle des groupements climaciques. On a alors envisagé l'extension de cet essai à l'ensemble de la chaîne alpine, à ses annexes (Jura, Apennins du nord) et à leurs marges: zones de pied-de-monts, plaines bordières.

Avant de commencer ce travail, on pouvait se demander si les documents cartographiques existants ne nous apportaient pas, déjà, une réponse satisfaisante. Parmi les nombreuses cartes climatiques, les cartes d'isohyètes annuelles constituent les documents les plus élaborés pour la France (25), la Suisse (49), l'Italie (64), l'Autriche (55). Des cartes d'isohyètes mensuelles existent pour l'Autriche (55), plus sommaires pour la France (4), la Suisse (49), l'Italie (64) et l'Europe (65). Les isothermes annuelles font l'objet de représentations succinctes pour les pays alpiens, sauf pour l'Autriche (55).

De remarquables travaux de cartographie bioclimatique ont été publiés dans des styles différents pour les Alpes françaises par PEGUY et coll. (35) et par FLIRI (16 à 19) pour le Tyrol: leur extension à l'arc alpin, très souhaitable, exigerait de longs délais. Nous ne trouvons pas, dans la masse de travaux disponibles, un ensemble cohérent offrant, à petite échelle, une définition du même ordre de grandeur que la carte de la végétation des Alpes déjà citée. L'atlas climatique de l'UNESCO rejoindrait le plus nos préoccupations malgré une schématisation parfois simpliste. Par ailleurs, les facteurs et les indices climatiques cités antérieurement, comme étant de bons indicateurs biogéographiques, ont rarement fait l'objet de publications coordonnées récentes même dans de remarquables travaux de synthèse dus à FLIRI et SCHEPP (67); BAUGARTNER et Coll. (66).

B - METHODES

1 - Sources d'information

La documentation de base est constituée par les annuaires des services climatologiques des pays alpins: Autriche (57), Bavière (52), France (22, 23, 29b, 51), Italie (61-62), Suisse (41-44), Yougoslavie (48). Les températures et les précipitations constituent les facteurs spécialement étudiés pour une période d'au moins deux décennies (1935-1955).

a) Le réseau pluviométrique dense réunit environ 3 800 postes se répartissant ainsi: 958 pour l'Autriche, 200 pour le nord de la Yougoslavie, 1 480 pour l'Italie du nord, 280 pour la Suisse, 300 pour la Bavière, 400 pour les Alpes françaises et le Jura. Les stations se situent essentiellement dans le Collinéen et le Montagnard; elles sont rares dans le Subalpin sauf dans les zones alpines internes où le relèvement des limites écologiques et de l'habitat permettent à des observateurs d'opérer à plus haute altitude que dans les zones externes.

b) Un millier, parmi les postes précédents, est équipé pour les repérages thermiques soit 29 %; cette proportion tombant à 18 % pour l'Italie et s'élevant à 34 % pour la Suisse. Les situations topographiques de ces postes sont souvent mal précisées, les positions de fonds de vallées semblent l'emporter.

2 - Exploitation

Nous avons déterminé les caractéristiques de la période estivale :

- moyennes thermiques du trimestre: juin, juillet, août;
- total des précipitations;
- pourcentage des précipitations estivales par rapport aux précipitations annuelles
- gradients altitudinaux thermiques et pluviométriques;
- nombre de mois secs et sub-secs.

Par ailleurs, ont été calculés les indices climatiques annuels suivants :

- indice de GAMS, pour toutes les stations;
- indice de DE MARTONNE, pour les postes pluviothermiques.

3 - Expression

La représentation cartographique à petite échelle a été utilisée systématiquement pour visualiser la zonation bioclimatique et la comparer à la zonation de la végétation. Une série de transects rend compte de la modalité de la zonation suivant cinq axes. Les caractéristiques des divers secteurs biogéographiques seront précisées et comparées par des graphiques ombrothermiques.

I - LES PRÉCIPITATIONS

A - PRÉCIPITATIONS ANNUELLES

Bien que leur intérêt biologique soit moins évident que celui des précipitations estivales, elles méritent néanmoins d'être prises en compte, à titre comparatif, car elles constituent les données à la fois les plus abondantes et souvent les plus sûres des réseaux climatologiques. La figure 1 montre la répartition schématisée de quatre tranches pluviométriques. Une certaine ressemblance avec la disposition des grandes masses montagneuses pourrait suggérer une nette corrélation entre précipitations et altitudes mais nous verrons, ultérieurement, que le gradient altitudinal varie d'une région à l'autre et, qu'à altitude égale, les totaux pluviométriques dépendent de la situation biogéographique. C'est pourquoi l'indice de GAMS, qui intègre précipitations et altitudes, permettra de meilleures comparaisons entre secteurs.

Des pôles d'humidité correspondent aux reliefs frappés par les perturbations atlantiques (Jura, Préalpes du nord, flanc nord-ouest des massifs cristallins externes) ou lombardes (Tessin, Alpes juliennes). Une sécheresse relative affecte les ensembles suivants:

- les zones soumises à des climats d'affinités méditerranéennes: Haute-Provence, Alpes et Apennins ligures, sans oublier les dépressions péri-alpines des Alpes du sud (vallée du Rhône, plaine du Pô);
- les profondes vallées des chaînes intermédiaires et internes: Maurienne, Val d'Aoste, Valais, Engadine, Haut-Adige;
- les marges orientales: bassin de la Save, bassin du Danube à l'aval de Wien.

Une comparaison entre précipitations annuelles extrêmes figure dans le tableau I. Dans une même tranche altitudinale, les totaux varient dans la proportion de 1 à 6 en passant de vallées internes abritées à des stations de massifs préalpins frappées directement par des flux atlantiques ou lombards.

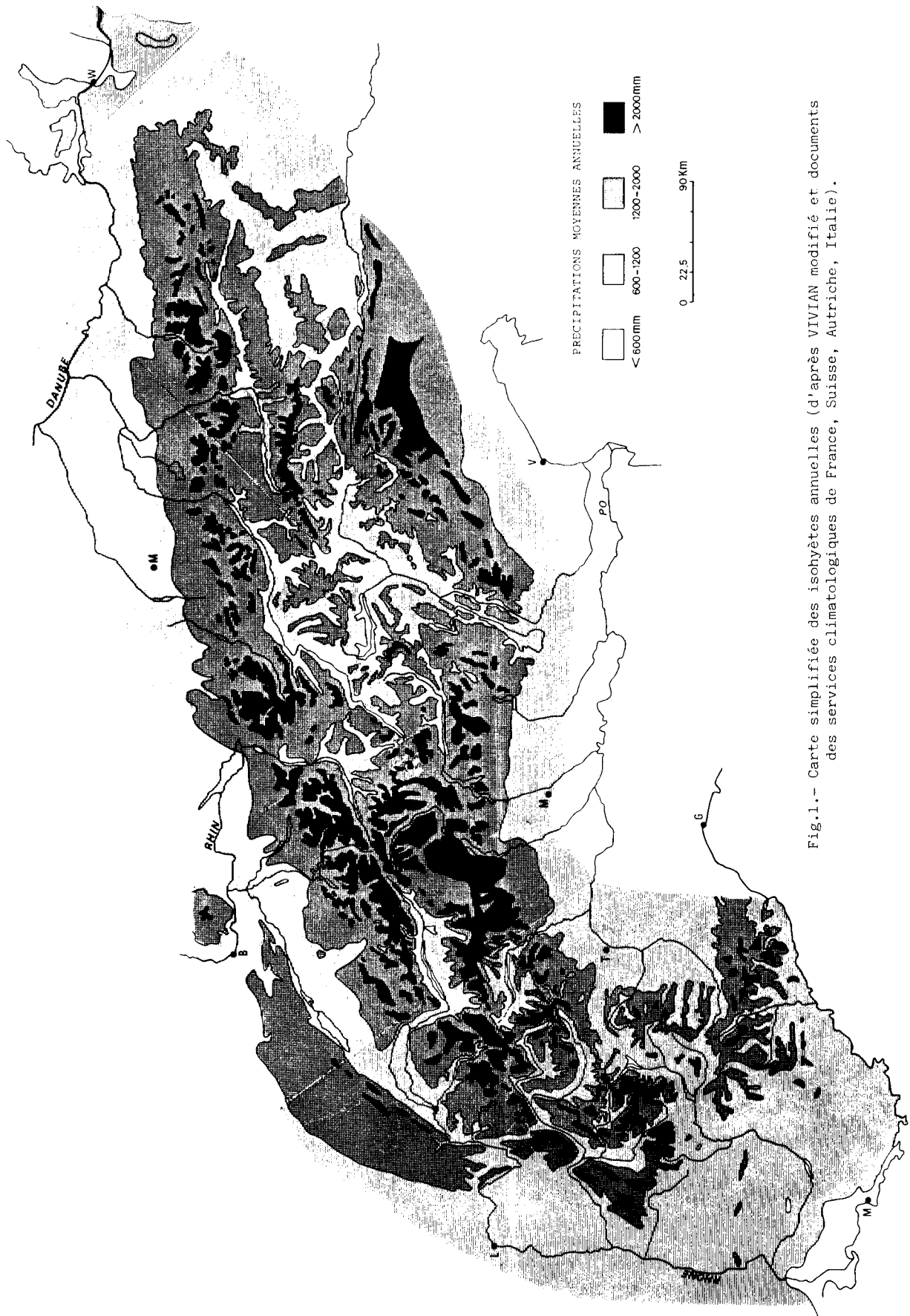


Fig.1.- Carte simplifiée des isohyètes annuelles (d'après VIVIAN modifié et documents des services climatologiques de France, Suisse, Autriche, Italie).

TABLEAU I
Exemples de précipitations annuelles extrêmes

Stations	P > 2 000 mm	Stations	P < 650 mm
Bodèle (Arleberg) 1 100 m	2 227	Aosta (Bassin de la Doire	585
Feuerkogel (Bassin du Trau) 1 598 m	2 489	Baltée) 585 m	
Musi : (Bassin de l'Isonzo) 633 m	3 313	Silandro (Ht-Adige) 706 m	468
Drinak : massif de Kapela 400 m	3 433	Chippis (Valais) 522 m	548
		St-Jean-de-Maurienne 550 m	630

B - REPARTITION MENSUELLE DES PRECIPITATIONS

La figure 2 illustre le volume et l'importance relative des précipitations mensuelles pour les principales zones biogéographiques alpines et péri-alpines. Elle réalise une synthèse très simplifiée entre la carte donnant l'importance relative des précipitations estivales et la carte des isohyètes estivales.

Les situations suivantes sont particulièrement mises en évidence.

1) Précipitations d'été abondantes et représentant un pourcentage d'au moins 30 % des précipitations annuelles sur tout le front nord des Alpes, le Jura, les Karawanken, le Tessin.

2) Rôle comparable joué par les précipitations automnales, dans les Alpes juliennes et les Dinarides.

3) Précipitations estivales médiocres et ne représentant que moins de 20 % des précipitations annuelles dans les Alpes sud-occidentales, les Apennins et leurs marges (vallée du Rhône, plaine du Pô) et certaines vallées internes (Maurienne).

4) Etés peu arrosés, sans qu'apparaisse un régime méditerranéen, dans des vallées des massifs centraux, Engadine, Valais, Haut-Adige.

5) Précipitations saisonnières relativement équilibrées, sur le versant ouest des Alpes et les versants nord et nord-ouest des massifs cristallins externes; en altitude, les précipitations hivernales s'amplifient.

On remarque, en suivant l'axe de la chaîne, de Nice à Wien, le passage d'un régime méditerranéen à un régime continental.

C - PRECIPITATIONS ESTIVALES

Les parentés bioclimatiques entre deux régions apparaissent mieux à travers les précipitations estivales. Observons, à cet effet, deux ensembles de stations situées à des altitudes comparables, dans le bassin de l'Inn d'une part, et dans les Alpes sud-occidentales, d'autre part (tabl. II).

TABLEAU II
Comparaison des précipitations annuelles et des précipitations estivales pour deux ensembles de stations des Alpes sud-occidentales et des Alpes centrales.

Régions	Stations	Altitudes en mètres	P. annuelles en mm	P. estivales en mm	% des P. estivales
Bassin de l'Inn	Otz	775	720	324	42
id.	Imst	785	741	305	41
Alpes sud-occidentales	Banon	765	974	168	17
Bassin de l'Inn	Brenner	1 385	1 034	428	41
Alpes sud-occidentales	Peira-Cava	1 480	1 263	191	15

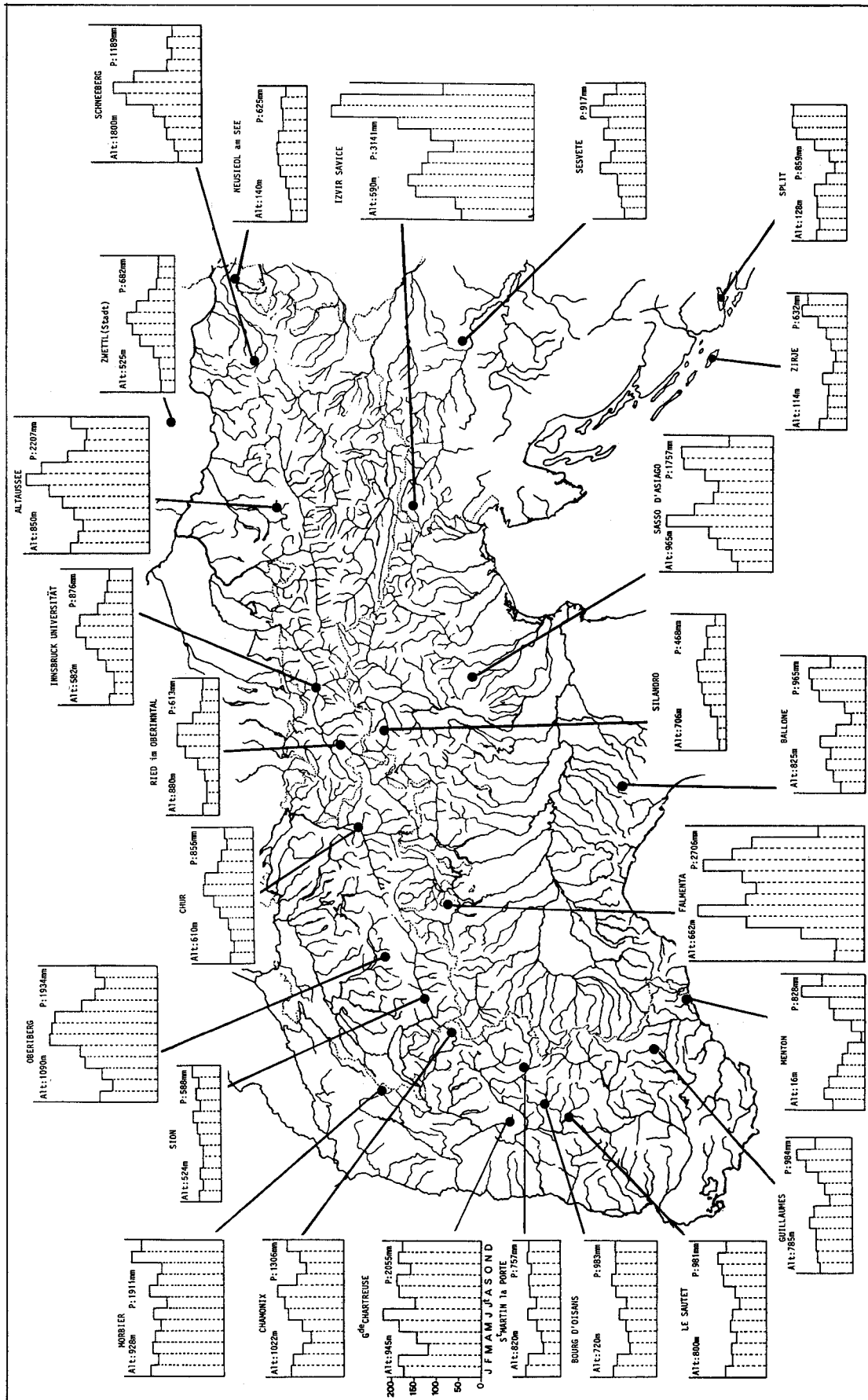


Fig.2.- Comparaison des tranches mensuelles de précipitations dans diverses zones bioclimatiques.
Pour les stations, indication de l'altitude et des précipitations annuelles.

Bien qu'à altitude égale, la haute vallée de l'Inn et les Alpes du sud reçoivent des précipitations annuelles de même ordre de grandeur; la sécheresse estivale de cette dernière région contraste avec les fortes précipitations d'été du Tyrol et cela rend compte de la différence de végétation potentielle.

Les précipitations estivales peuvent être caractérisées par les grandeurs suivantes :

- leur pourcentage par rapport aux précipitations annuelles;
- leur total;
- leur gradient altitudinal.

1 - Pourcentage relatif des précipitations estivales

L'observation de la figure 3 conduit aux remarques suivantes :

a) Un rapport inférieur à 25 % caractérise la plupart des régions au sud du 45^e parallèle avec un climat de type méditerranéen dont les remontées septentrionales atteignent de nombreuses vallées intra-alpines: Maurienne, Valais, Val d'Aoste.

Une frange encore plus typique (< 20 %) recouvre la Haute-Provence, les Alpes maritimes, le nord des Apennins, une partie de la plaine du Pô, les vallées du Sud-Piémont.

Le pourcentage tombe à moins de 10 %, le long de la zone côtière, de Toulon à Impéria.

b) Un rapport voisin de 25 % correspond à l'ouest des Alpes et à l'avant-pays jurassien, mais si ce pourcentage dépasse de peu celui des régions méditerranéennes, les totaux annuels, et par suite estivaux, y sont plus importants.

c) Un pourcentage supérieur à 30 % caractérise le climat continental du nord et de l'est des Alpes, le pourcentage s'accroît d'ouest en est, dépassant 40 % dans les Tauern. L'été est, partout, une saison relativement bien arrosée, même lorsque les précipitations annuelles fléchissent vers la zone interne; une légère sécheresse estivale fait cependant son apparition dans l'Engadine et le Haut-Adige. Remarque : le pourcentage estival dépend essentiellement des secteurs biogéographiques. Il subit, en outre, une légère augmentation altitudinale liée à la fréquence d'orages sur les sommets.

2 - Les gradients altitudinaux (estivaux et annuels)

Deux ensembles de stations ont été étudiés.

a) Stations proches d'une même verticale, se succédant, par exemple, le long d'un profil transversal de vallée et incluses dans le même secteur biogéographique. L'augmentation des précipitations, avec l'altitude, est de règle mais la valeur du gradient varie suivant les secteurs (fig.4). Il est plus élevé pour les Alpes du nord que pour les Alpes sud-occidentales. Cela contribue à défavoriser le bilan hydrique de ces dernières régions puisque se superposent un faible niveau de base et un gradient moindre.

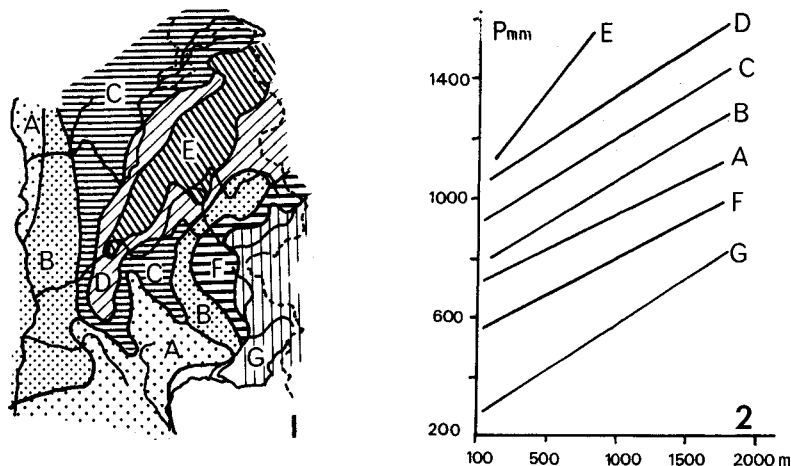


Fig.4.- Croissance des précipitations en fonction de l'altitude dans divers secteurs des Alpes occidentales (d'après CASTELLANI, 1983, in DOUGUEDROIT et de SAINTIGNON).

1 - Situation des secteurs; 2 - Courbes de croissance en fonction de l'altitude.

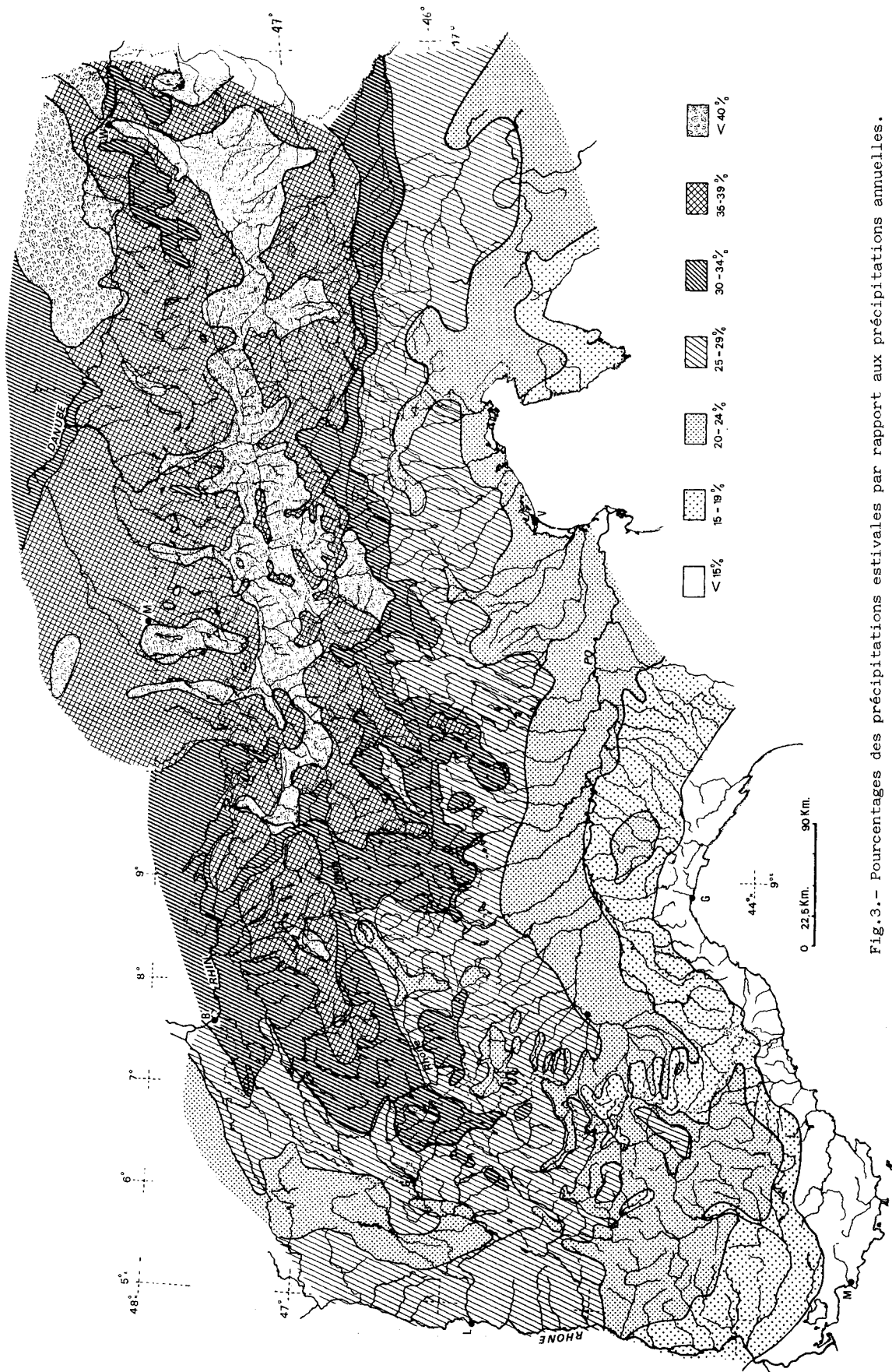


Fig.3.- Pourcentages des précipitations estivales par rapport aux précipitations annuelles.

Cependant, dans un même secteur, une grande variabilité dépend des situations topographiques qui perturbent la canalisation des flux aériens.

Le gradient pluviométrique est ainsi bien moins dépendant de l'altitude que le gradient thermique qui sera étudié au paragraphe suivant.

b) Stations échelonnées le long d'une vallée dont le cours peut traverser plusieurs zones biogéographiques (fig. 5).

Pour des vallées creusées entièrement dans la même zone, le gradient reste toujours positif. C'est le cas des vallées des chaînes externes où les précipitations croissent rapidement dès les premiers reliefs qui interceptent les précipitations, un tassement se manifeste cependant à l'arrière des premiers chaînons (fig. 5-1 et 5-2).

Pour de longues vallées qui traversent les zones alpines internes, intermédiaires puis externes, le gradient est fortement positif, de l'avant-pays aux chaînes bordières, une inflexion marque l'entrée dans une zone intermédiaire et un creux de la courbe caractérise les zones internes; la croissance du gradient réapparaît, à l'amont de la vallée, à proximité des hautes cimes, qui jouent le rôle de pôles de condensation mais le relèvement de la courbe hydrique est moins rapide que celui du profil topographique. Une certaine parenté rassemble les profils des vallées de l'Inn, de l'Adige (fig. 5-3 et 5-4) et de la Maurienne (38).

Les gradients sont globalement affaiblis pour les vallées des secteurs méditerranéens.

3 - Les isohyètes estivales (carte 1)

a) Remarques méthodologiques.

Deux démarches méthodologiques peuvent être envisagées.

- Partir des cartes de précipitations existantes et, en fonction des pourcentages relatifs de précipitations estivales établis précédemment, calculer, pour chaque isohyète annuelle et pour chaque région, la valeur estivale correspondante. Cette méthode, apparemment rapide, subit le handicap de l'hétérogénéité des documents publiés dans les divers pays alpins: cartes très détaillées pour la Suisse, le Tyrol; contours très schématisés pour les cartes italiennes, tranches pluviométriques supérieures à 2 000 mm non détaillées pour la France.

- Construire une carte d'isohyètes estivales à partir des valeurs mesurées dans les stations. Le réseau, dense du Collinéen au Montagnard, permet une bonne précision cartographique dans les principales vallées alpines et jurassiennes ainsi que dans les zones périphériques.

Par contre, l'extrapolation altitudinale devient délicate en raison de la variabilité du gradient pluviométrique; ce qui peut justifier les réserves émises par certains auteurs sur la validité des cartes d'isohyètes à haute altitude (35). Néanmoins, la présence, dans le Subalpin et l'Alpin, de stations établies par les Services de production hydraulique (51), les Centres d'études de la neige (53) permet de vérifier, en d'assez nombreux points, la validité des extrapolations.

Nous avons retenu la seconde méthode.

b) Résultats

La carte 1 met en évidence les faits suivants:

- Très grande indigence des pluies d'été sur la lisière méditerranéenne, spécialement entre Marseille et San-Remo (P estival inférieur à 100 mm); en arrière, une large bande recevant moins de 150 mm s'étend sur la basse vallée de la Durance et recouvre la plus grande partie de la vallée du Pô.

- Une xéricité estivale encore nette (P compris entre 150 et 200 mm), caractérise les fonds de vallées des Alpes maritimes, des Alpes de Haute-Provence, du Briançonnais. Plus au nord, elle atteint, sous forme d'îlots, la Maurienne, le Valais, le Val d'Aoste et, plus à l'est, le Haut-Adige.

Dans les régions péri-alpines, une sécheresse estivale modérée intéresse la moyenne vallée du Rhône, le nord du Piémont, la vallée de la Save, la vallée du Danube à l'aval de Wien.

On remarque que la plus grande densité de territoires à sécheresse estivale se situe au sud d'un parallèle Trieste-Milan-Grenoble.

- Atténuation du creux hydrique dans les vallées internes des Alpes orientales (Inn, Drau) en raison du maximum estival de précipitations, lié au régime continental.

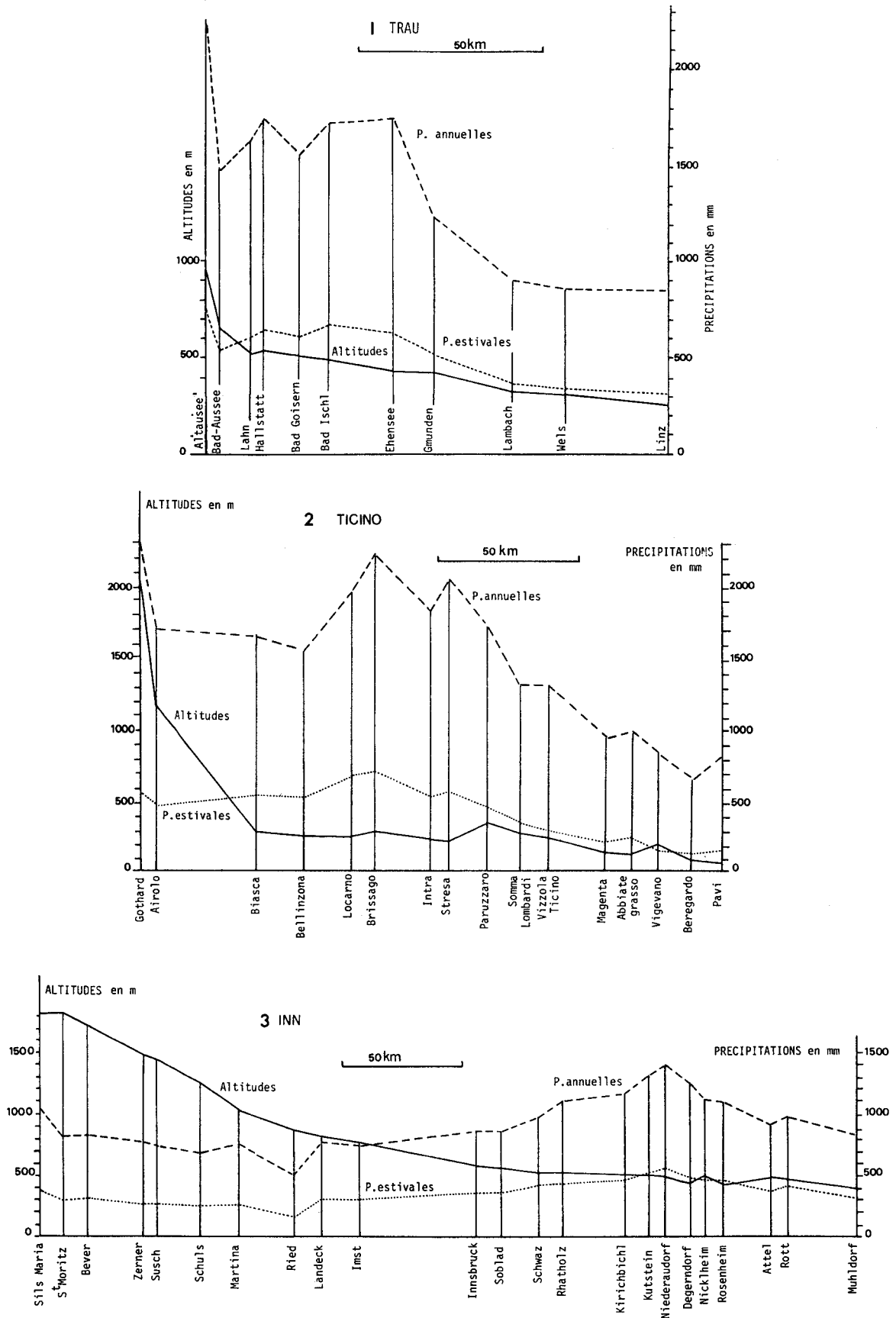


Fig.5 - Variation des précipitations avec l'altitude et la situation biogéographique dans quelques vallées des Alpes centrales et orientales
1: vallée du Trau; 2: vallée du Tessin; 3: vallée de l'Inn

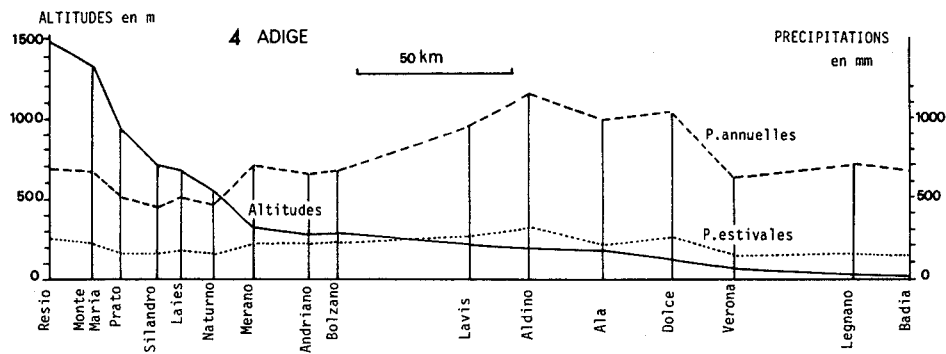


Fig.5 - Variation des précipitations avec l'altitude et la situation biogéographique (suite)
 4: vallée de l'Adige; 5: carte de situation

- Forte humidité estivale (P compris entre 500 et 600 mm) d'une part, sur toutes les chaînes du flanc nord (Préalpes, Jura, flanc nord des massifs cristallins externes), et, d'autre part, sur certains îlots de la face sud (Tessin, Karawanken, Alpes juliennes). Le seuil de 600 mm est franchi sur la plus grande partie des Préalpes nord-autrichiennes avec des pointes dépassant 800 mm dans les Préalpes de Salzbourg et les Alpes juliennes.

Les effets de pied-de-monts se font sentir sur tout le glacis bavaois: 400 mm à Munich.

Le tableau III met en évidence des précipitations estivales extrêmes, d'une part dépassant 700 mm à des altitudes comprises entre 800 et 1 100 m, d'autre part inférieure à 150 mm à des altitudes collinéennes.

TABLEAU III
 Exemples de précipitations estivales extrêmes

Stations	$P > 700$ mm	Stations	$P < 150$ mm
Schwarbachwach (Berchtesgaden) 848 m	737	San-Remo 9 m	64
Crana-Torricella (Tessin) 1 002 m	713	Ramatuel (Var) 110 m	65
Bodèle (Arleberg) 1 100 m	807	Les Mées (Moyenne Durance) 370 m	149
		Sion (Valais) 549 m	151

4 - Phénomènes de compensation

a) Des facteurs lithomorphologiques ou thermiques peuvent agir puissamment sur la mise à la disposition des végétaux de l'eau des précipitations. Par exemple, sur des calcaires lapiazés ou fissurés, la plus grande partie des précipitations s'infiltre vers des réseaux souterrains et, même dans une région très pluvieuse, une végétation à tendance xérophile pourra coloniser ces surfaces (exemple: le Kernero-Mugetum du Subalpin des Préalpes). Par contre, des sols profonds, à fine texture, ayant une bonne capacité en eau, peuvent porter une végétation mésophile dans des vallées à étés secs: bois de Frêne, d'Erable, de Tilleul dans le Collinéen de vallées intermédiaires ou internes. Les correctifs thermiques interviennent par leurs extrêmes: les étés chauds méditerranéens accélèrent l'évapotranspiration et rendent encore moins utilisables les faibles précipitations estivales.

b) Une alimentation hydrique secondaire estivale provient, souvent, en montagne, des eaux de fonte des névés et les territoires ainsi irrigués peuvent être favorables à une végétation hygrophile même dans des zones peu arrosées (exemple: une belle aunaie d'Aune vert s'installe à proximité du col du Lautaret, au bois de la Madeleine, dans une zone recevant moins de 250 mm d'eau, en été, mais bien irriguée par la fonte des neiges).

Les correctifs spectaculaires, cités précédemment, ne masquent cependant pas complètement l'influence décisive globale des facteurs climatiques généraux, mais leur action possible doit toujours être présente à l'esprit d'un observateur cherchant à comprendre un paysage végétal.

II - LES TEMPÉRATURES

A - LE GRADIENT THERMIQUE ALTITUDINAL (températures estivales)

La température, en montagne, est fonction essentiellement de l'altitude avec une modulation liée à la situation topographique (fond de vallée, orientation des versants), à la présence éventuelle de neige persistante en altitude et à l'hétérogénéité des masses d'air locales (DOUGUEDROIT et de SAINTIGNON) (12). Une détermination précise des gradients altitudinaux s'effectue à partir d'un réseau de postes testés au point de vue fiabilité et occupant des situations topographiques comparables: fonds de vallées ou adrets ou ubacs. DOUGUEDROIT et coll. ont calculé les valeurs mensuelles du gradient pour quelques régions des Alpes occidentales (fig.6). Une représentation graphique peut-être moins affinée mais plus globale de la décroissance altitudinale des températures estivales dans plusieurs secteurs de la chaîne alpine est représentée par les figures 7. Les nuages de points représentatifs encadrent un axe médian qui matérialise le gradient thermique pour l'ensemble des stations retenues qui ont surtout une position de fond de vallée.

L'examen des graphiques conduit aux conclusions suivantes:

- Les gradients estivaux oscillent entre 0,5° et 0,7°.
- Les valeurs élevées caractérisent les Alpes du sud et des vallées des massifs internes encadrées de sommets couverts de neige persistante comme la vallée de Chamonix.

- L'influence de la latitude se traduit par un décalage des courbes.

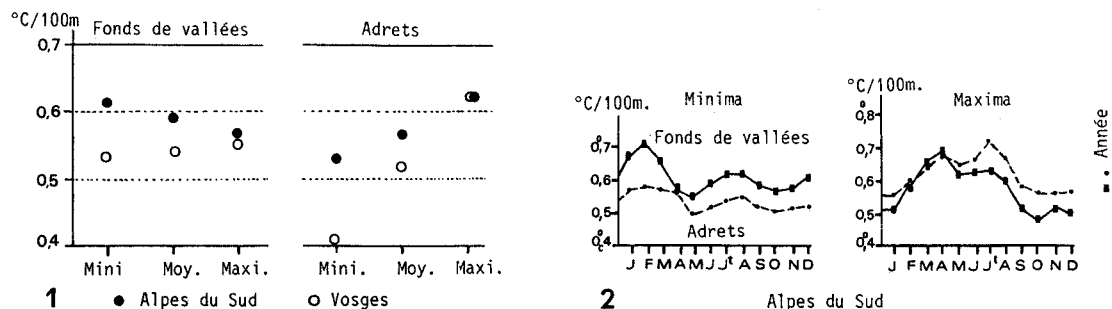


Fig.6.- Variations des gradients thermiques altitudinaux (d'ap. ER 30, CNRS, modifié)

1: Variations des gradients annuels suivant les situations topographiques et les massifs montagneux.

2: Variations des gradients mensuels suivant les situations topographiques.

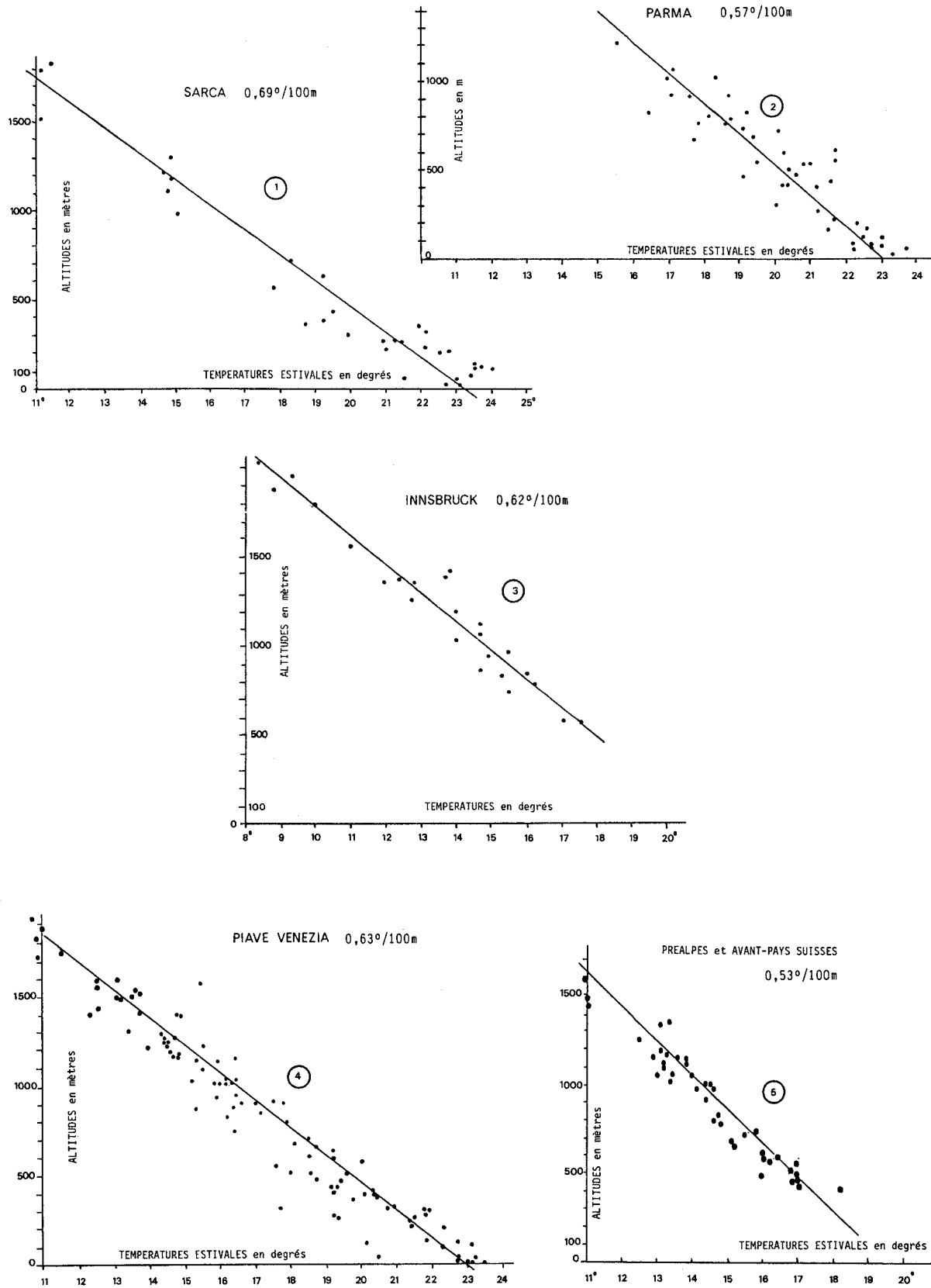


Fig.7a - Diminution des températures moyennes estivales, en fonction de l'altitude, dans diverses zones biogéographiques

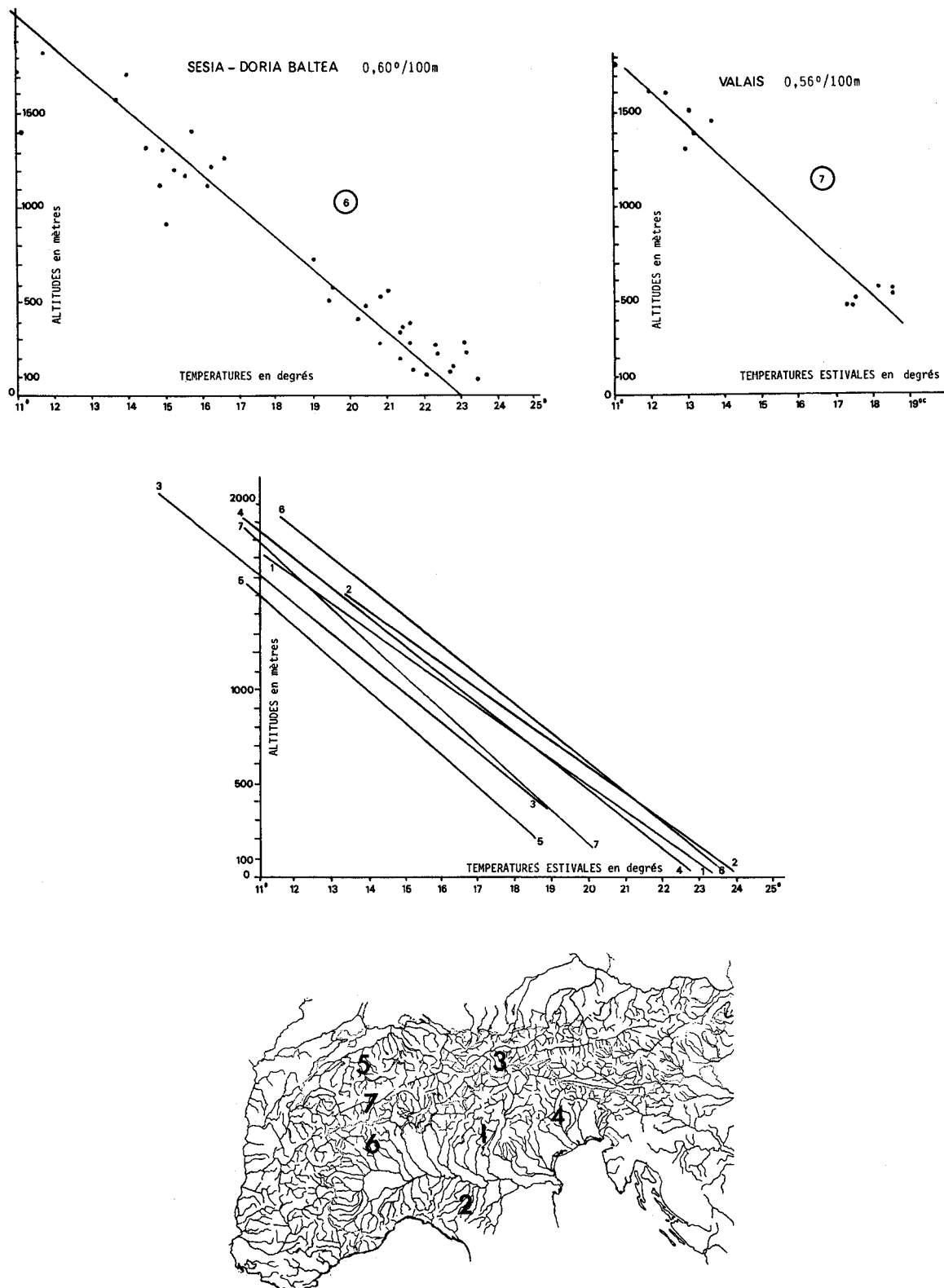


Fig.7b - Diminution des températures moyennes estivales, en fonction de l'altitude, dans diverses zones biogéographiques (suite). Comparaison des courbes de décroissance et situation des zones étudiées.

B - LA CARTE DES ISOTHERMES ESTIVALES

1 - Remarques méthodologiques

Une assez bonne corrélation entre altitude et températures permettrait, théoriquement, d'extrapoler les données recueillies par un ensemble réduit de stations de référence. Mais plusieurs difficultés apparaissent :

- Une modulation du gradient thermique, en fonction de la topographie locale (pente, orientation), ce qui nécessite d'être informé avec précision de la situation topographique des stations, recherche difficile quand on travaille sur un vaste ensemble territorial.

- Les stations "testées" constituent un réseau lâche insuffisant dans le Montagnard supérieur et le Subalpin et l'extrapolation thermique, en altitude, devient hasardeuse.

Mais est-il nécessaire, dans un premier temps, de pratiquer ces extrapolations ? En effet, dans l'optique d'une zonation biogéographique globale, nous savons déjà que, sur tous les sommets dépassant 2 200 m, les contraintes thermiques deviennent limitantes pour les espèces arborées d'où la présence d'un étage alpin. Par contre, une comparaison thermique des différentes vallées, aux altitudes collinéennes et montagnardes, permettrait de mieux comprendre les pénétrations relatives de diverses séries et d'affiner un découpage biogéographique.

Aussi, nous avons limité l'expression cartographique aux axes des principales vallées et aux régions péri-alpines. Dans les vallées, on a figuré la succession des moyennes thermiques de la station d'aval vers la station d'amont avec une extrapolation limitée relativement facile comme pour les masses montagneuses à topographie simple : Jura, Apennins.

2 - Résultats

La carte 2 rend compte de l'influence primordiale de l'altitude, celle encore nette de la latitude et du rôle plus diffus de l'orientation des masses montagneuses par rapport aux courants aériens dominants (bise, vents du sud).

- Les étés sont nettement chauds dans les parties basses des vallées méridionales, abritées des courants froids du nord, ainsi que sur les bordures méditerranéennes des Alpes: côtes sud des Maures, de l'Estérel, des Alpes maritimes.

- Des influences thermiques nettes remontent les larges vallées ouvertes sur les dépressions péri-alpines chaudes: plaine du Pô, bassin de la Save. Les vallées de la Doire Baltée, de la Brenta, de l'Adige, de la Save, entrent dans cet ensemble.

- Des flots de chaleur estivale caractérisent des fonds de vallées internes bien protégées à la fois de la bise et des précipitations (Maurienne, Valais, Haut-Adige et, dans une moindre mesure, vallées de l'Inn, du Drau). Il en est de même des stations les mieux protégées du sillon alpin et des cluses préalpines.

- Par contre, les étés sont frais dans les vallées des Préalpes et du Jura où pénètrent facilement les courants du nord et du nord-ouest générateurs de pluies estivales abondantes.

La carte 2 montre la faible longueur des tronçons "chauds" sur la moitié nord des Alpes, ainsi que dans les hautes chaînes cristallines à l'exception des cellules les plus internes.

Rappelons que l'on peut caractériser partiellement les séries de végétation par leurs températures moyennes mensuelles (RICHARD, 39).

III - INDICE DE CONTINENTALITÉ HYDRIQUE DE GAMS

A - BUT

Le document réalisé par GAMS (21) esquissait une zonation de la chaîne alpine rappelant celle des aires de groupements végétaux: coïncidence entre la

répartition des Mélézeins et des Cembraies et les indices de continentalité supérieurs à 60. Notre but a été d'affiner la représentation de GAMS en utilisant un stock plus important d'informations spécialement dans les hautes vallées.

L'indice de GAMS est significatif dans des tranches altitudinales supérieures à 800 m. Dans les stations basses, le rapport P/A (P en millimètres, A en mètres) augmente vite ce qui fait chuter l'indice au-dessous de 20 et l'influence des précipitations est fortement gommée. Par exemple, dans la cuvette lémanique, à 450 m d'altitude, dans une série potentielle de la Chênaie à Charme, l'indice descend à 20, comme dans les vallées montagnardes du massif de la Chartreuse, à 900 m d'altitude, dans la série du Hêtre. Mais si les valeurs absolues de l'indice de continentalité sont d'interprétation délicate dans le Collinéen, elles demeurent des moyens de comparaison intéressants. C'est ainsi qu'à 500 m d'altitude, le bassin lémanique offre une continentalité supérieure à celle de l'avant-pays dauphinois, ce qui est à rapprocher de la différence des séries potentielles de ces deux secteurs: Chênaies-Charmaies mésoxérophiles pour le Léman, Charmaies-Frênaies pour l'avant-pays.

Aux altitudes alpines on observe, pour des raisons inverses, une brusque augmentation de α qui est déterminée surtout par les fortes valeurs de A.

Malgré ces restrictions, la carte de l'indice de continentalité a été dressée pour l'arc alpin et ses marges, un grand nombre de stations de références, (plus de 3 000), comme pour la pluviométrie, facilitant les tracés.

B - RESULTATS

Sur les hautes masses montagnardes, les valeurs absolues de α donnent une zonation remarquable et définissent trois ensembles homologues des zones internes, intermédiaires et externes des biogéographes.

1 - La zone interne, où $\alpha > 60^\circ$ s'étend sur les chaînes centrales avec un étranglement au nord du Tessin et un effilochement dans les Alpes orientales. Elle forme deux noyaux, l'un allongé, des Alpes maritimes au Valais, l'autre plus oriental présentant une épaisseur maximum au niveau de l'Engadine.

2 - La zone intermédiaire ($40^\circ < \alpha < 60^\circ$) recouvre les massifs cristallins externes dans les Alpes nord-occidentales et déborde un peu sur les Préalpes à l'est du Léman; elle s'étend largement dans la région du Gothard, sur l'extrémité orientale des Tauern et, au sud, sur les Dolomites. Dans les Alpes sud-occidentales on la trouve bien développée au niveau de l'Embrunais, de la région de Digne, du Haut-Verdon. Elle est réduite à un liseré sur le Piémont.

3 - Les zones externes correspondent aux Préalpes. Sur la plupart des massifs subalpins du nord, du nord-ouest et de l'ouest, α oscille entre 30 et 40, valeurs que l'on retrouve dans les Préalpes gardésannes et vénitiennes et sur le rebord occidental du Piémont sous forme d'une étroite bande. L'indice s'affaiblit et tombe au-dessous de 20 dans les Alpes juliennes et au-dessous de 10 dans le Tessin !

Pour les parties périphériques, on notera l'homogénéité des pied-de-monts du nord et de l'ouest: Bavière, plateau suisse, avant-pays dauphinois où α est compris entre 20 et 30 et la chute spectaculaire de l'indice dans la plaine du Pô, le bassin de la Save.

La zonation de GAMS montre une certaine symétrie de part et d'autre des massifs centraux internes mais avec les remarques suivantes :

- au niveau des Alpes occidentales un télescopage laminaire de nombreuses zones sur la façade piémontaise;
- dans les Alpes orientales, les avant-pays bavarois et suisses assurent des transitions plus douces qu'au sud.

IV - INDICE D'ARIDITÉ DE DE MARTONNE ($i = P_{mm}/T^\circ + 10$)

A - REMARQUES METHODOLOGIQUES

L'indice d'aridité de DE MARTONNE associe deux facteurs fondamentaux agissant directement sur le développement du végétal. Il a été calculé en fonction des moyennes annuelles afin de permettre des comparaisons avec des travaux antérieurs: DE MARTONNE (28), RICHARD (39), PHILIPPIS (36), ce dernier ayant étudié

l'indice de LANG ($I = P/T$). Une expression estivale est en cours d'exécution qui pourrait d'ailleurs être comparée à une expression saisonnière de l'indice de GAMS, ce qui permettrait de mieux cerner les caractéristiques de la saison végétative.

Le pouvoir différenciateur de l'indice d'aridité est optimum dans le Collinéen et le Montagnard. Par contre, à plus haute altitude, la chute spectaculaire des températures et l'augmentation des précipitations donne des valeurs absolues très élevées pour i (> 100) et cela sur toutes les chaînes. La zone d'application est ainsi complémentaire de l'indice de GAMS.

La précision de l'expression cartographique est limitée par la faible densité de postes thermiques qui sont localisés, pour la plupart, dans des fonds de vallées. Aussi, comme pour les températures estivales, nous avons visualisé les valeurs de i , d'une part dans les principales vallées alpines, d'autre part dans les zones périphériques; les extrapolations altitudinales dans le Subalpin et l'Alpin n'amènent pas d'éléments nouveaux pour la distinction de secteurs biogéographiques.

B - RESULTATS (carte 4)

1 - Pour les chaînes alpines, le Jura et les Apennins.

La carte met bien en évidence les vallées présentant une xéricité plus ou moins marquée, territoires potentiels de séries mésothermophiles: Chêne pubescent et Chêne vert, Chêne pubescent, Pin sylvestre. La délimitation de ces zones, déjà esquissée par la carte des précipitations estivales, se trouve affinée par la prise en considération des facteurs thermiques.

Dans les Alpes sud-occidentales, la sommation de précipitations médiocres et de températures élevées fait chuter l'indice de DE MARTONNE dans toutes les basses vallées: Durance, Var. Il en est de même pour les Apennins. Les lisières méditerranéennes sont partout très arides.

Dans les Alpes nord-occidentales, des pôles de xéricité relative s'étendent sur les vallées internes, dans l'ordre croissant suivant: Tarentaise, Oisans, Maurienne, Val d'Aoste, Valais, Doria Riparia.

Dans les Alpes centrales et orientales, les vallées en position interne sont aussi des zones de sécheresse relative: Engadine, Haut-Adige, Adda, Eisak. Le phénomène est moins marqué dans les vallées transversales orientales: Drau, Gail, Mür.

Par contre, aucun indice de xéricité n'est décelable dans les secteurs nord-préalpins, jurassiens, ainsi que sur les chaînes très arrosées du flanc sud: Karawanken, Alpes juliennes, Tessin, où dans les vallées bien ouvertes aux influences océaniques, i dépasse rapidement 80.

2 - Pour les pied-de-monts et les dépressions péri-alpines.

L'indice de DE MARTONNE reste bas dans toutes les marges méditerranéennes (vallée du Rhône, bassin du Pô), ainsi que dans les plaines orientales (bassin de la Save, région du Neusiedler-See). Il traduit une xéricité élevée sur la Basse-Provence, la Riviera occidentale, les bordures adriatiques. Il est à remarquer que la xéricité climatique peut être masquée par des correctifs édaphiques: nappes phréatiques et irrigations dans la plaine du Pô.

Par contre, l'indice de DE MARTONNE s'élève sur tous les avant-pays nord-alpins.

V - RÉPARTITION OMBROTHERMIQUE DES STATIONS

Cette méthode, vulgarisée par REY (37) pour comparer les caractéristiques climatiques de diverses séries de végétation, utilisée ensuite par DOBREMEZ (11) et RICHARD (39) a été appliquée pour cinq ensembles de stations situées dans les cinq compartiments altitudinaux suivants: 500 m, 1 000 m, 1 500 m, 1 750 m et 2 000 m, en utilisant les moyennes estivales. Dans chaque ensemble, les différenciations altitudinales très atténuées permettent aux situations biogéographiques de bien s'exprimer. Dans la figure 8, les stations sont groupées en secteurs biogéographiques définis dans le tableau IV et sur la figure 9 dont la zonation rappelle celle proposée par OZENDA (32-33). Les cinq ensembles altitudinaux permettent d'avoir, globalement, un échantillonnage de tous les secteurs et sous-secteurs: par exemple, les vallées du secteur intra-alpin sont absentes de la tranche 500 m et bien représentées aux altitudes subalpines, alors que les pied-de-monts, les fonds

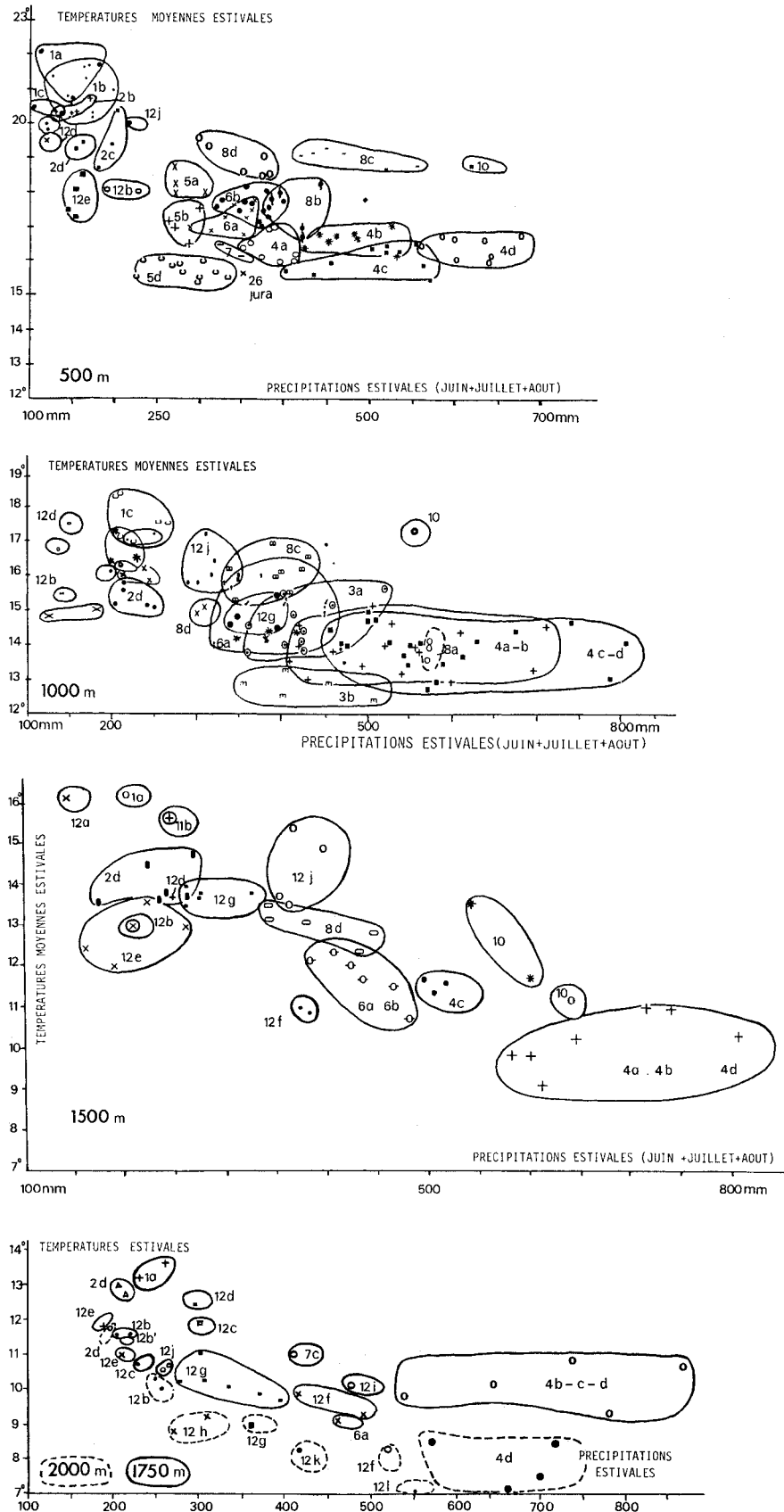


Fig.8 - Caractérisation ombrothermique des principaux secteurs biogéographiques à divers niveaux altitudinaux
 1: stations situées à 500m d'altitude; 2: à 800m; 3: à 1500m; 4: entre 1750 et 2000m

de vallées du Jura et des Préalpes sont mieux représentés aux altitudes collinéennes et montagnardes.

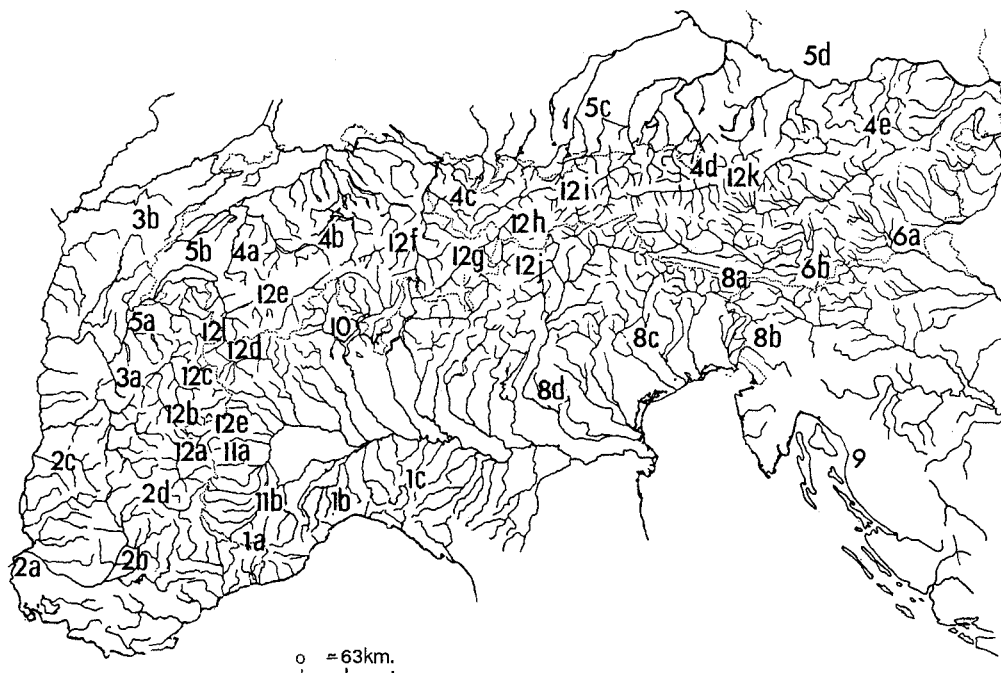


Fig.9.- Position des secteurs biogéographiques définis dans le tableau IV et la figure 8.

L'examen des graphiques conduit aux remarques suivantes :

1 - Les secteurs biogéographiques se disposent sur un axe concave vers le haut, rappelant l'arc alpin renversé, ce qui s'explique par deux ensembles de faits:

- la diminution des températures avec la latitude. Entre les Alpes maritimes et les Préalpes de Haute-Autriche, l'abaissement est de 6 à 7° dans le Collinéen. L'écart diminue dans le Subalpin;

- l'augmentation des précipitations estivales en passant des secteurs méditerranéens (Ligurie, Provence) aux secteurs continentaux et humides des Préalpes de Salzbourg.

2 - L'amplitude des écarts pluviométriques altitudinaux augmente avec l'altitude des tranches: 550 mm vers 500 m d'altitude, 700 mm dans le Subalpin; une rétraction observée dans l'Alpin, sur les graphiques, pourrait avoir comme origine des informations moins fiables.

3 - Les vallées internes des Alpes occidentales et centrales (Briançonnais, Val d'Aoste, Maurienne, Valais, Romanche, Val de Suse) offrent des affinités avec les secteurs méditerranéens et provençaux. Les vallées internes des Alpes orientales (Inn et Engadine, Haut-Adige) sont légèrement décalées vers la droite en raison de précipitations estivales plus fortes, phénomène qui s'accroît dans les vallées du Mür, du Drau.

4 - Au niveau des Alpes orientales, on repère une différence entre le secteur nord-préalpin aux étés frais et très humides et les secteurs des Préalpes du sud plus chauds et aux précipitations estivales moins intenses, l'optimum saisonnier passant en automne (Slovénie, bassin de la Piave).

Dans les Préalpes du nord, l'augmentation des précipitations estivales, d'ouest en est, est particulièrement nette dans le Collinéen et le Montagnard inférieur. Le Jura présente des températures plus basses.

5 - L'originalité du Tessin est bien mise en évidence par des étés très humides et relativement chauds qui se retrouvent dans les Alpes juliennes.

Cette représentation ombrothermique par tranches altitudinales permet à la fois une différenciation assez nette des secteurs biogéographiques et précise les degrés de parenté ou d'opposition. Sa fiabilité est liée au nombre de stations utilisables qui diminue au-dessus de 1 500 m d'altitude.

TABLEAU IV

Secteurs et sous-secteurs biogéographiques différenciés par les graphiques ombrothermiques de la figure 8. Caractérisation bioclimatique de ces facteurs.

SECTEURS BIOGEOGRAPHIQUES	FACTEURS CLIMATIQUES CARACTERISTIQUES
1 - SECTEURS PRELIGURES ET LIGURES 1a Alpes maritimes 1b Piémont ligure 1c Apennins ligures	Rapport p/P < 20 %. Dans le Collinéen: p < 150 mm t > 22°, i < 39°. Dans le Montagnard et le Subalpin: p > 250 mm, α > 40, P atteint 2 000 mm en 1c.
2 - SECTEUR DE HAUTE-PROVENCE 2a Plateau de Vaucluse 2b Alpes de Haute-Provence 2c Diois méridional 2d Gapençais 2e Verdon	Affinités avec le secteur 1 pour le Collinéen: aridité marquée dans les fonds de vallées (i < 30) t élevée, au sud: 12,1°, décroissant au nord: 19° dans Gapençais. Pas de hauts sommets, sièges de condensations importantes.
3 - SECTEUR DELPHINO-JURASSIEN 3a Massifs subalpins 3b Jura	p comprise entre 300 et 500 mm, répartitions saisonnières équilibrées. Dans le Montagnard à 1 000 m d'altitude: t < 13°, α < 40. Dans le Collinéen adrets thermophiles.
4 - SECTEUR NORD-PREALPIN 4a Préalpes de la Suisse occidentale 4b Préalpes de la Suisse orientale 4c Allgäu 4d Préalpes de Salzbourg (Salz Kammer) 4e Préalpes de Haute-Autriche	p > 400 mm, atteignant 800 mm dans le Montagnard p/P $\approx$ 40%, α < 40°. Températures fraîches (t < 17° à 500 m).
5 - SECTEUR DE PIEDS DE MONTS PREALPINS 5a Delphino-Jurassien 5b Suisse 5c Bavière 5d Weinsbergerwald	p $\approx$ 300 mm, maximum estival s'amplifiant vers l'est. Dans le Collinéen, t oscille entre 18°5 en 5a à 16° en 5d.
6 - SECTEUR DE STYRIE 6a Mur-Raab 6b Drau	p compris entre 300 et 500 mm, p/P variant entre 35 et 45 %, i se situant entre 40 et 60° dans les fonds de vallées et l'avant-pays.
7 - SECTEUR SUBPANNONIQUE	Xéricité marquée: i < 40°, p < 200 mm, régime continental
8 - SECTEUR DES PREALPES SUD-ORIENTALES 8a Karawanken 8b Alpes Juliennes 8c Préalpes vicentines 8d Préalpes bergamasques et gardésanes	Dans le Montagnard, p > 350 mm, dépassant 500 mm dans les Karavanken, maximum automnal, α < 30, P parfois > 3 000 mm. Aridité marquée dans les vallées orientales (Save) et sur la bordure padane.
9 - SECTEUR DES ALPES DINARIQUES	Relief très arrosé, p > 500 mm, P atteignant 3000 mm p/P < 20%. Bordure adriatique chaude (t > 22°) et aride
10 - SECTEUR INSUBRIEN	p > 500 mm, voire > 600 mm, p/P $\approx$ 30%, étés chauds dans les basses régions
11 - SECTEUR PIEMONTAIS 11a Turinois piémontais 11b Sud piémontais	i compris entre 40° et 60° dans les fonds de vallées, s'abaissant dans le Sud-Piémont.
12 - SECTEUR INTRA-ALPIN 12a Briançonnais 12b Maurienne 12b' Haut-Oisans 12c Haute-Tarentaise 12d Val d'Aoste - Doria Riparia 12e Valais 12f Haut-Rhin 12g Engadine 12h Otztaler 12i Inn 12j Haut-Adige 12k Hautes-Tauern 12l Massifs cristallins externes	α > 60 dans le Montagnard et le Subalpin des zones internes s.str., compris entre 40 et 60 dans les zones intermédiaires. i < 30 dans les fonds de vallées abritées des Alpes occidentales et centrales (1 à 2 mois sub-secs); aridité s'estompant dans les vallées des Alpes orientales. p/P allant de 20 % en 12a, à 45 % en 12k. Dans le Subalpin et l'Alpin, nette augmentation de P et p, surtout dans les Alpes orientales.

Abréviations : P : Précipitations annuelles; p : précipitations estivales; t : températures moyennes estivales; α : indice de GAMS; i : indice de DE MARTONNE.

VI - SÉCHERESSE ET SUB-SÉCHERESSE ESTIVALE

D'après la définition de GAUSSEN (2-25), un mois est sec lorsque $P_{mm} < 2t$ (t = température moyenne). Un mois "sub-sec" est défini par $2t < P_{mm} < 3t$ (REY 37).

Pour toutes les stations alpines, nous avons repéré le total éventuel des mois secs et des mois sub-secs et les résultats sont exprimés par les figures 10 et 11. Cette représentation offre quelques affinités avec celle de l'indice de DE MARTONNE.

Les stations aux étés secs se situent dans les secteurs provençaux, ligures, dinariques ainsi que dans les bassins environnants: basse vallée du Rhône, plaine du Pô. Trois mois secs sont de règle sur la lisière méditerranéenne, un mois sec caractérise de nombreuses vallées provençales ou des Alpes maritimes, jusqu'à 700 m d'altitude (fig.10).

La sub-sécheresse estivale pénètre parfois profondément dans les hautes vallées des Alpes sud-occidentales (Briançonnais, Diois, Var, Roya), des Apennins et de la lisière nord du Piémont et de la moyenne vallée du Rhône. Elle constitue des flots dans les vallées internes des Alpes occidentales et centrales (Maurienne, Valais, Val d'Aoste, Haut-Adige). La sub-sécheresse s'atténue ou disparaît même dans les vallées des Alpes centrales et orientales, en raison de l'optimum pluviométrique estival; par contre une sub-sécheresse automnale apparaît dans la plaine danubienne, en aval de Wien, et dans le bassin de la Save (fig.11).

Remarquons que la sub-sécheresse estivale atteint des stations dépassant largement 1 000 m d'altitude dans les Alpes sud-occidentales (Briançon 1 200 m), les Apennins ligures (San Stephano d'Aveto, 1 014 m), ce qui s'explique en partie par le faible gradient altitudinal des précipitations dans les massifs méridionaux.

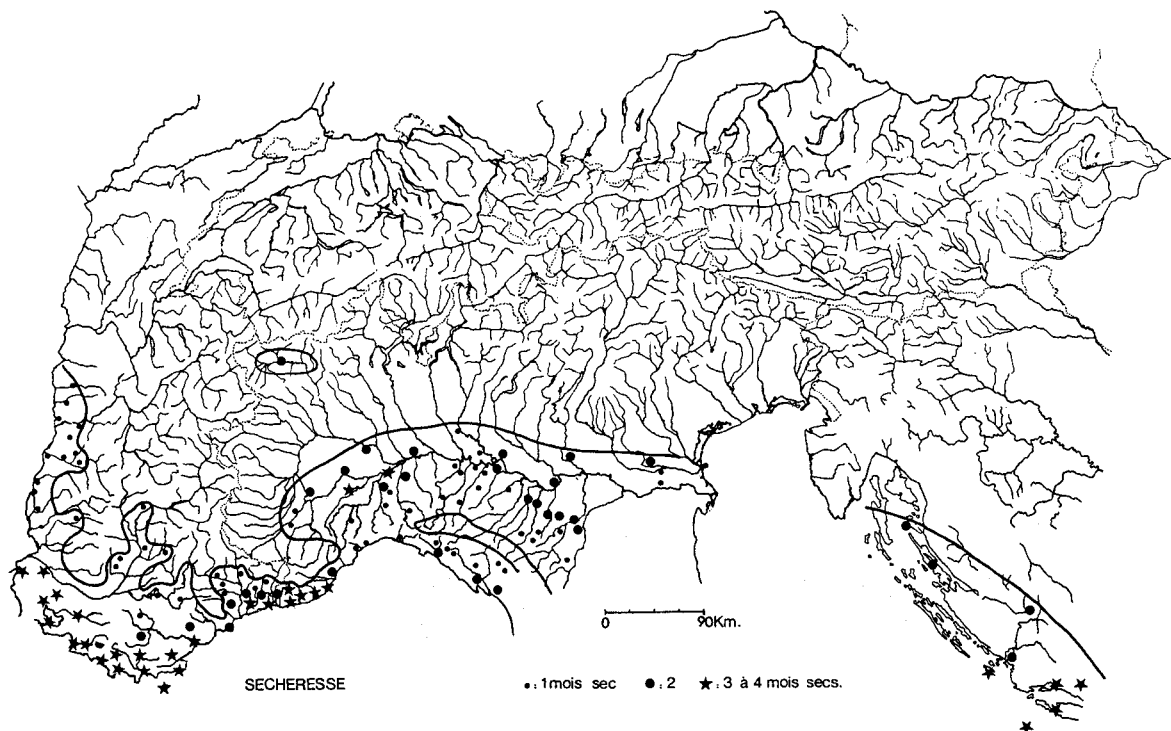


Fig.10.- Stations caractérisées par un ou plusieurs mois secs ($P_{mm} < 2 T^{\circ}$)

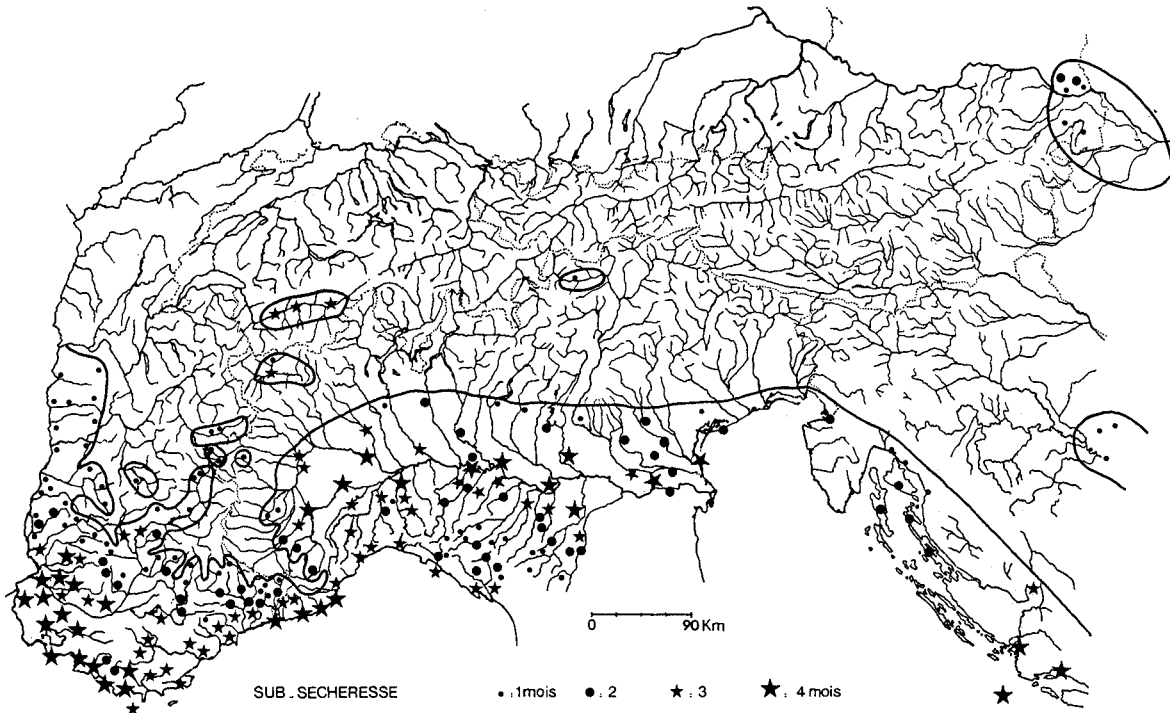


Fig.11.- Stations caractérisées par un ou plusieurs mois sub-secs ($P_{mm} < 3 T^{\circ}$)

VII - TRANSECTS BIOCLIMATIQUES

A - BUT

Préciser la zonation altitudinale et transversale des facteurs climatiques afin de mieux cerner les caractéristiques des secteurs biogéographiques. A cet effet, cinq axes ont été choisis des Alpes occidentales aux Alpes orientales (fig.12) et les résultats sont exprimés dans les figures 13 (fig.13-1 à 13-5); chacune d'elles superpose quatre ensembles :

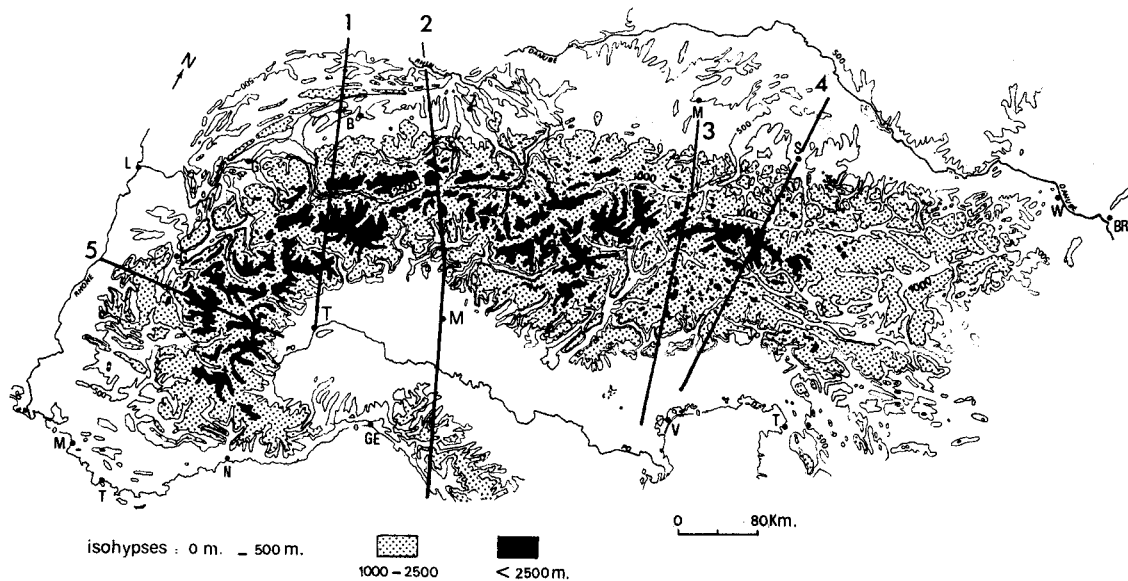


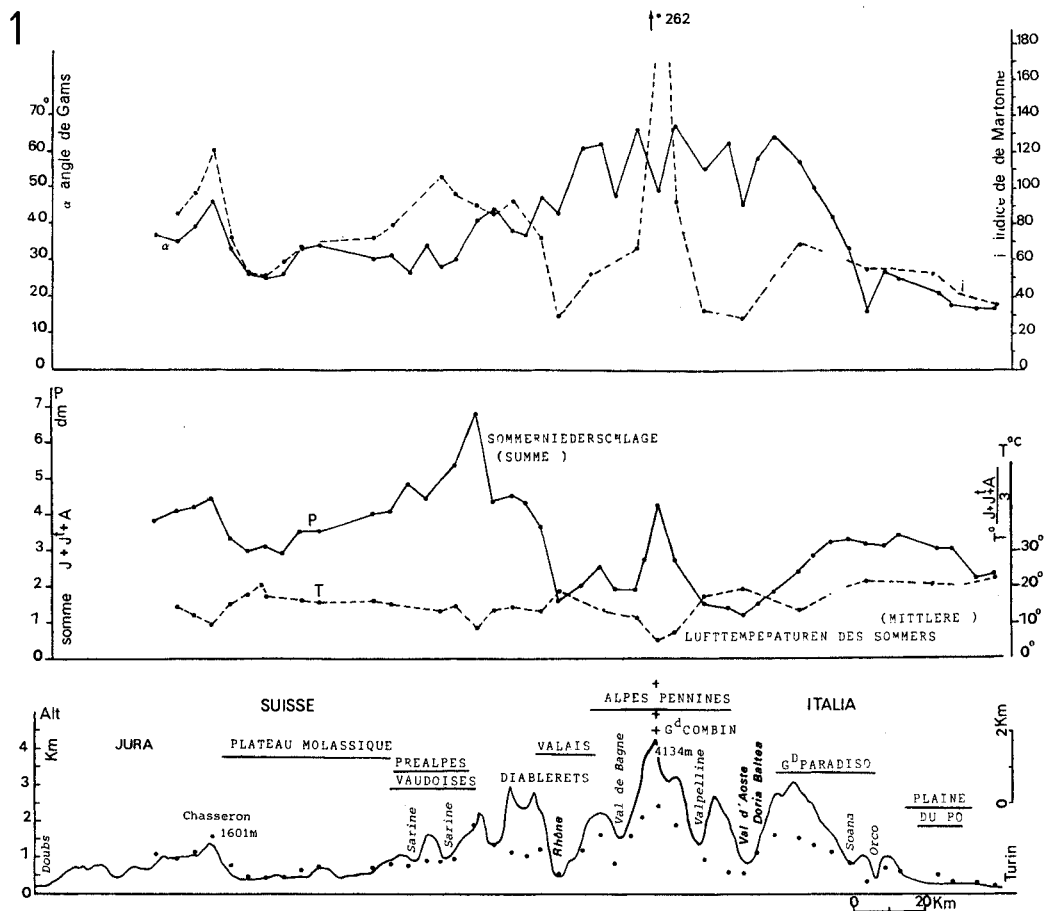
Fig.12.- Situation des cinq transects bioclimatiques de la figure 13.

- un transect topographique;
- les caractéristiques des stations situées sur le transect même ou de part et d'autre, à une distance maximale de 20 km; la position altitudinale des stations est figurée par un point, sur le profil topographique;
- un transect thermique et hydrique relatif à la période estivale;
- les variations des indices climatiques de GAMS et de DE MARTONNE.

En raison de la faible densité des informations thermiques, les courbes relatives aux températures estivales et à l'indice de DE MARTONNE ont un tracé moins affiné que celles des précipitations estivales et de l'indice de GAMS.

B - RESULTAT

1 - Transect Jura-plaine du Pô. (fig.13-1)



STATIONS	Alt(m)	°	i	mm p. est.	T moy. estivales
FERRIERES	1015	37	-	386	-
CHAUX DE FONDS	990	35	86	413	14,4
MONT SOLEIL	1183	39	97	422	12,1
CHASSERON	1601	46	121	444	9,5
CERNIER	790	33	73	336	15
NEUCHÂTEL	487	26	53	298	17,6
MURTEN	460	25	51	314	17,3
PAYERNE	450	26	-	292	-
FRIBOURG	477	33	59	353	16,1
ROMONT	764	34	66	353	15,8
MARSENS	721	30	72	400	15,9
VIUDENS	820	31	80	409	15,1
ALBEUVE	770	26	-	480	-
ROSSINIÈRE	920	34	-	446	-
LA TINE	910	28	106	496	13,8
LES AVANTS	980	30	97	530	14,6
ROCHERS DE NAYE	1982	41	90	680	8,5
LEYSIN	1350	44	87	436	13,3
LES DIABLERETS	1080	38	93	450	14,6
PLAN SUR BEX	1080	37	82	432	-
DALLY	1253	47	73	367	13,1
SION	549	43	30	159	16,6
HERMANCE	1205	61	-	205	-
BOURG ST PIERRE	1620	62	-	254	-
MONTAGNIER	840	48	-	199	-
ZERMATT	1610	66	66	190	11,9
GRANDE DIXENS	2166	-	67	276	-
GRAND ST BERNARD	2479	49	262	430	5,1
LAGO GOILLET	2420	67	92	279	7,3
VALPELLINE	950	55	33	151	17,5
ST NICOLAS	644	62	-	141	-
AOSTA	983	45	29	120	19,5
VIÈVES	1130	58	-	151	-
LILLAZ	1601	64	-	183	-
CERASO REALE	1579	57	69	282	13,6
CAMPIGLIO SOANA	1350	50	-	286	-
FORZO	1180	42	-	324	-
INGRIA	827	33	-	330	-
CASTELLAMONTE	343	16	55	317	21,3
CERES	704	27	-	312	-
CORIO	630	25	-	343	-
VAL DELLA TORRE	505	21	-	306	-
VILLANOVA CANAVES	50384	18	-	305	-
COLLEGNO	293	17	-	226	-
TORINO	238	17	35	238	22,5

Il correspond à une succession classique des zones biogéographiques: Jura-Pied-de-monts molassiques-Préalpes-massifs internes avec de profondes vallées (Val d'Aoste, Valais), bordure piémontaise-plaine du Pô (fig. 13-1).

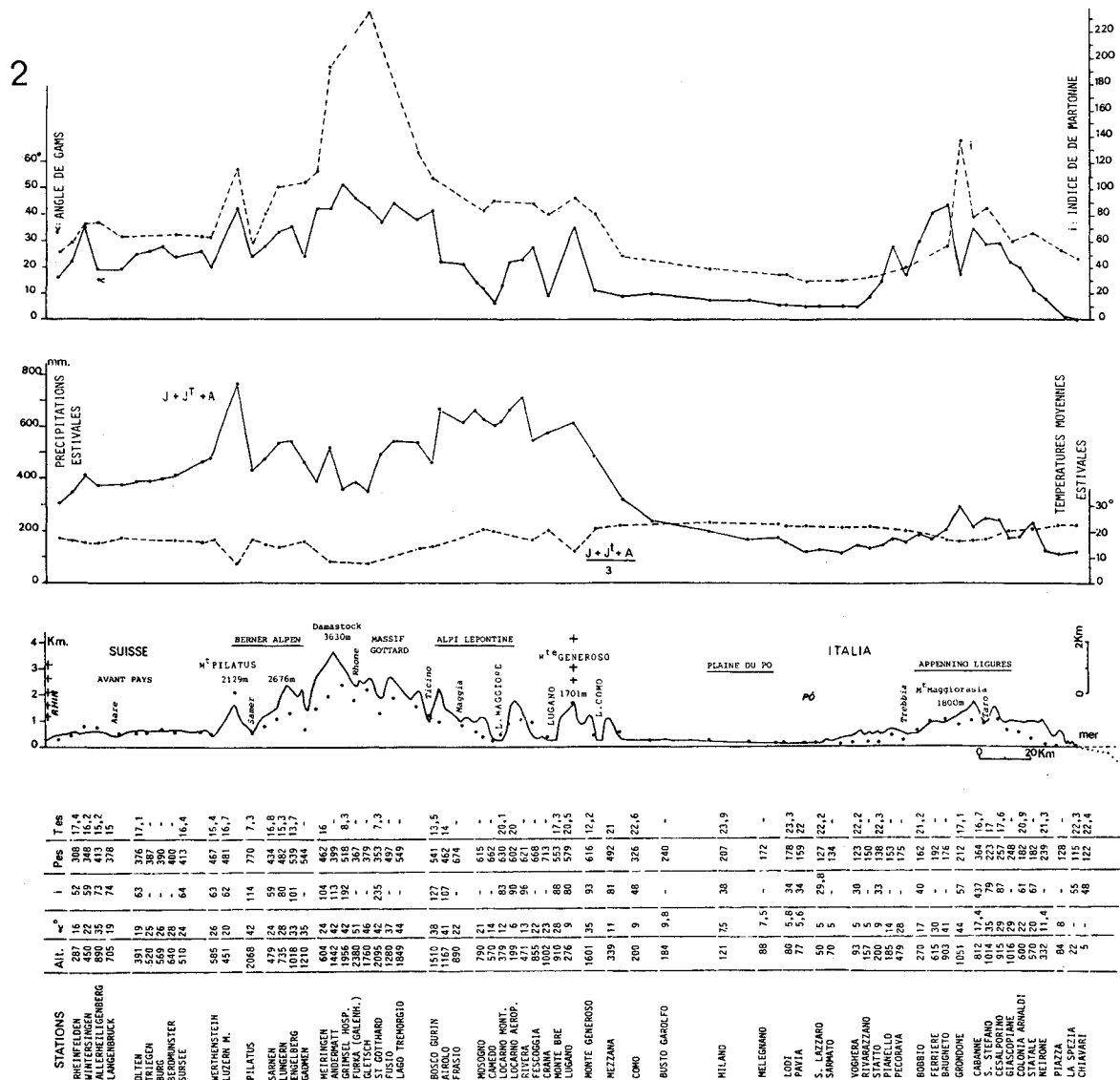
Les températures estivales, montrent, outre une bonne corrélation altitudinale, un accroissement net, à altitudes constantes de l'avant-pays aux vallées internes et au Piémont. Vers 500 m d'altitude, on note; 17,6° à Neuchâtel, 18,6° à Sion, 19,5° à Aoste.

Les précipitations estivales dépassent 400 mm dans le Jura, s'élèvent à 700 mm sur le bord nord-ouest des Préalpes pour subir une chute spectaculaire dans les fonds des vallées internes (moins de 160 mm); une petite remontée se manifeste sur la bordure du Piémont.

La courbe de GAMS met en évidence une zone interne à forte continentalité hydrique, du rebord oriental des Diablerets au Grand-Paradis avec, de part et d'autre, une bande de transition assez étroite (zone intermédiaire) vers les basses valeurs de la continentalité dans les Préalpes et la dépression du Pô.

L'indice de DE MARTONNE traduit bien "l'aridité" des vallées encadrant ou pénétrant les Alpes pennines, le Grand-Paradis, et à l'opposé, la fraîcheur des Préalpes et de l'avant-pays. L'opposition entre zones externes et zones internes est spectaculaire, la zone intermédiaire paraît laminée au nord du Valais, plus marquée au sud du Grand-Paradis.

2 - Transect Rheinfelden-Chiavari (fig.13-2)



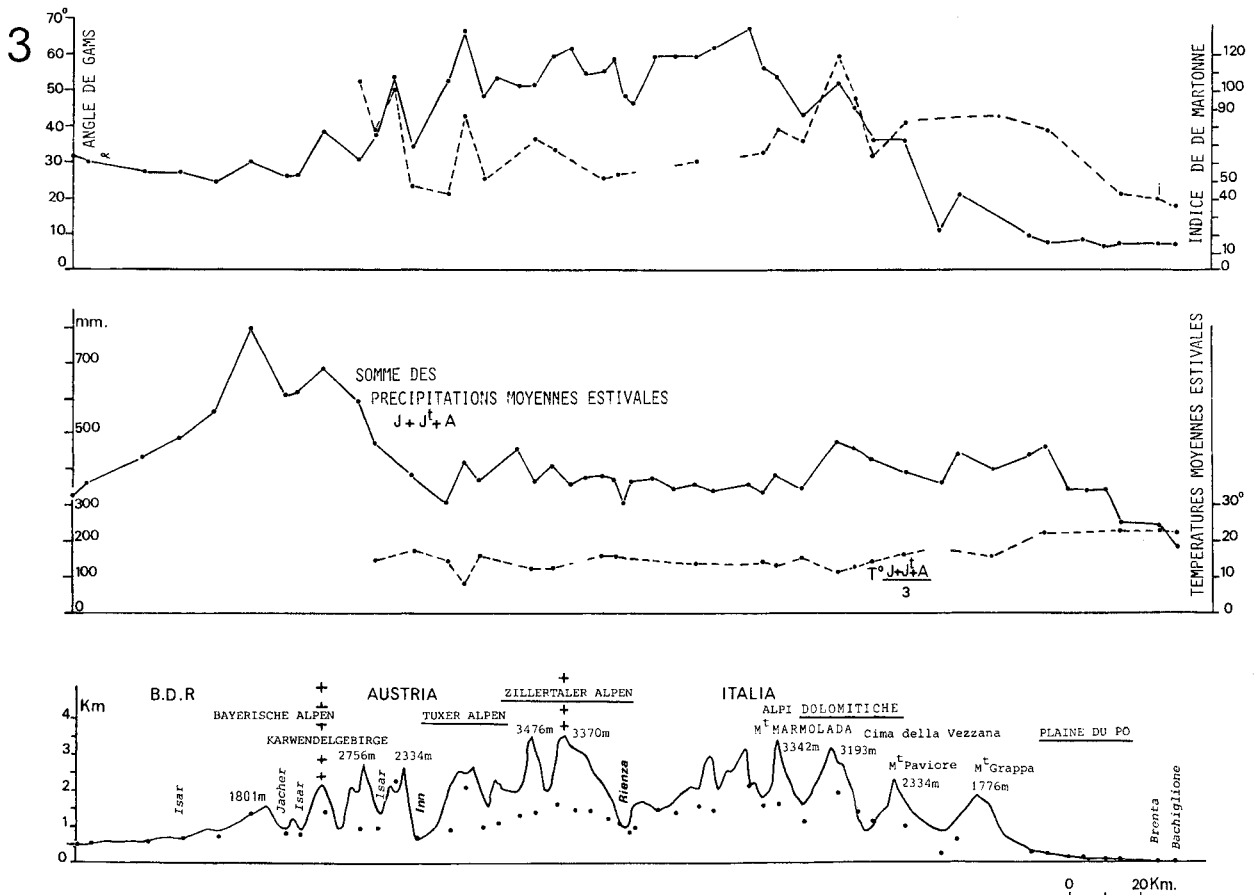
Situé à l'est du précédent, il joint l'avant-pays molassique suisse aux Apennins. La traversée des Préalpes bernoises rappelle ce qui a été vu pour les Préalpes vaudoises. Les faits originaux apparaissent plus au sud (fig. 13-2).

Les massifs cristallins (Gothard) ne montrent pas, à ce niveau, des fonds de vallées très encaissés, le Haut-Valais y débute, à la Furka, vers 2 000 m d'altitude et les phénomènes d'abri sont atténués. Par ailleurs, les précipitations sont plus élevées que dans les Alpes pennines, ce qui provoque une contraction de la zone interne et une extension de la zone intermédiaire.

Le secteur insubrien (région des grands lacs italiens) se caractérise par de très fortes précipitations comme dans les Préalpes du nord et par des températures estivales élevées faisant chuter l'indice de GAMS et n'élevant pas trop l'indice de DE MARTONNE. La transition est assez brutale avec la plaine du Pô, dépression aux étés chauds et arides.

Les Apennins ligures: l'augmentation altitudinale des précipitations estivales est moins marquée qu'au nord de la vallée du Pô; les températures s'élèvent. Il en résulte un massif relativement plus sec (sauf peut-être sur les crêtes) où une remontée de l'indice de GAMS induit un caractère intermédiaire (fig. 13-3).

3 - Transect Munich-Padoue (fig.13-3)



STATIONS	Alt	°	sort. Inoy. Isar
MÜNCHEN (FLUG)	507	31,5	327
FIRSTENRIED	556	30	362
WOLFRATSHAUSEN	577	27	430
KÖNIGSDORF	626	27	494
BAD-TÖLZ	660	24,5	568
TUTZINGERHÜTTE	1327	30	797
JACHENAU	791	26	608
VORDERIB	783	26	616
FISCHBACHALPE	1403	38	685
PERTISAU	933	30	589
SCHARNITZ	960	37	78
HAFFELKARSP	2220	53	14
INNSBRUCK	582	34	47
TELLES	895	52	381
PATISCHERKOFEL	2045	66	43
AMTREL-BRENNER	950	48	304
STEINACH	1068	53	85
LANERSBACH	1290	51,3	416
BRENNER	1385	51	51
RIVA DE TURES	1680	59	365
LAPPAGO	1435	54	369
ANTERSELVA	1230	55	375
VANDOOES	873	48	380
LUSON	972	46	306
SANTA MADDALENA	1398	59	367
SAN LEONARDO	1357	59	376
SAN CASSIANO	1545	59	342
SANTA CRISTINA	1428	61,5	60
PASSO PORDOI	2140	67	359
ANDRAZ	1520	56	65
ARABIA	1612	54	339
FALCADE	1150	43	78
PASSO DI ROLLE	1934	52	372
SAN MARTINO	1444	45	478
GOSALDO	1141	36	11
PASSO DI CROCE	1045	36	95
FELTRE	280	11	462
MILLES	685	21	12,8
ASTAGO	999m	31	64
CORDUNA	300	10	422
CRESPIANO	261	8,3	16,1
CISON VALMARINO	207	9,4	82
ASOLO	163	7,3	395
CORDUNA	44	8	363
CASTELFRANCO V.	15	8	438
TREVISO	12	8	84
PADOVA			407

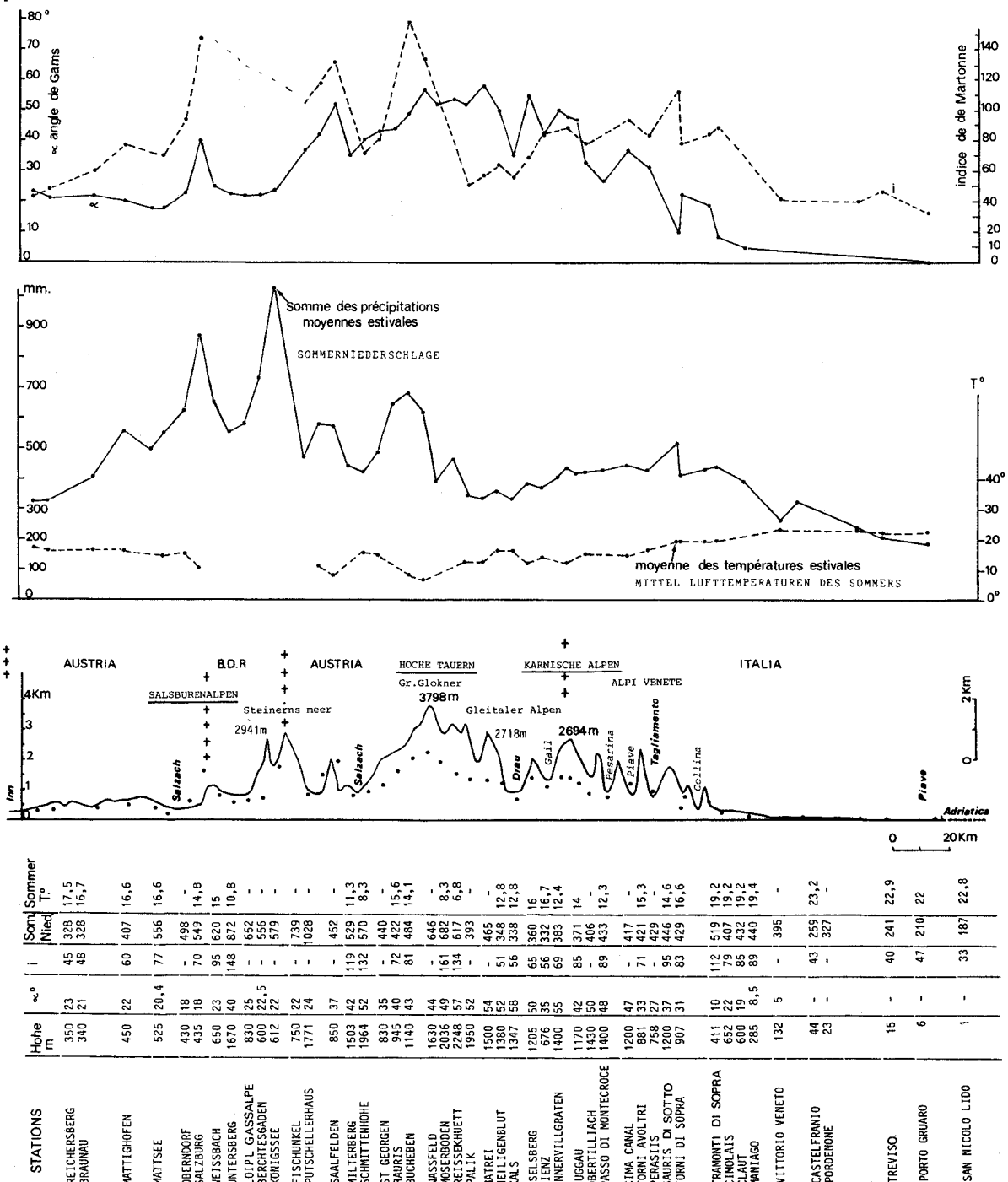
Il coupe des régions très contrastées: avant-pays, Préalpes bavaraises, massifs centraux du Haut-Tyrol avec des vallées encaissées, Préalpes du sud, dépression padane (fig. 13-3).

Les précipitations atteignent des valeurs très élevées, dans le secteur nord-préalpin, avec un effet de pied-de-mont très marqué sur le glacier bavarois. La chute est sensible sur l'axe cristallin où l'indice de GAMS dépasse souvent 60°, l'indice de DE MARTONNE ne présentant cependant pas les basses valeurs relevées dans des vallées à caractère plus interne (Valais).

Une légère remontée de l'humidité apparaît sur le secteur sud-préalpin. Sur ce transect la zone intra-alpine s'élargit et ses limites sont plus apparentes que dans les deux transects précédents, l'indice de DE MARTONNE y reste homogène.

4 - Transect Reicherseberg-San Nicolo Lido (fig. 13-4)

4



Son originalité réside dans la somme record des précipitations estivales sur les Préalpes de Salzbourg. Dans la partie centrale de la chaîne, des pôles d'humidité subsistent sur le nord des Tauern et, ce qui correspondrait le mieux à une zone interne, s'étend entre le sud des Tauern et la haute vallée du Drau où l'indice de DE MARTONNE subit un net fléchissement. Une zone intermédiaire pourrait avoir un développement appréciable sur le rebord septentrional des Tauern.

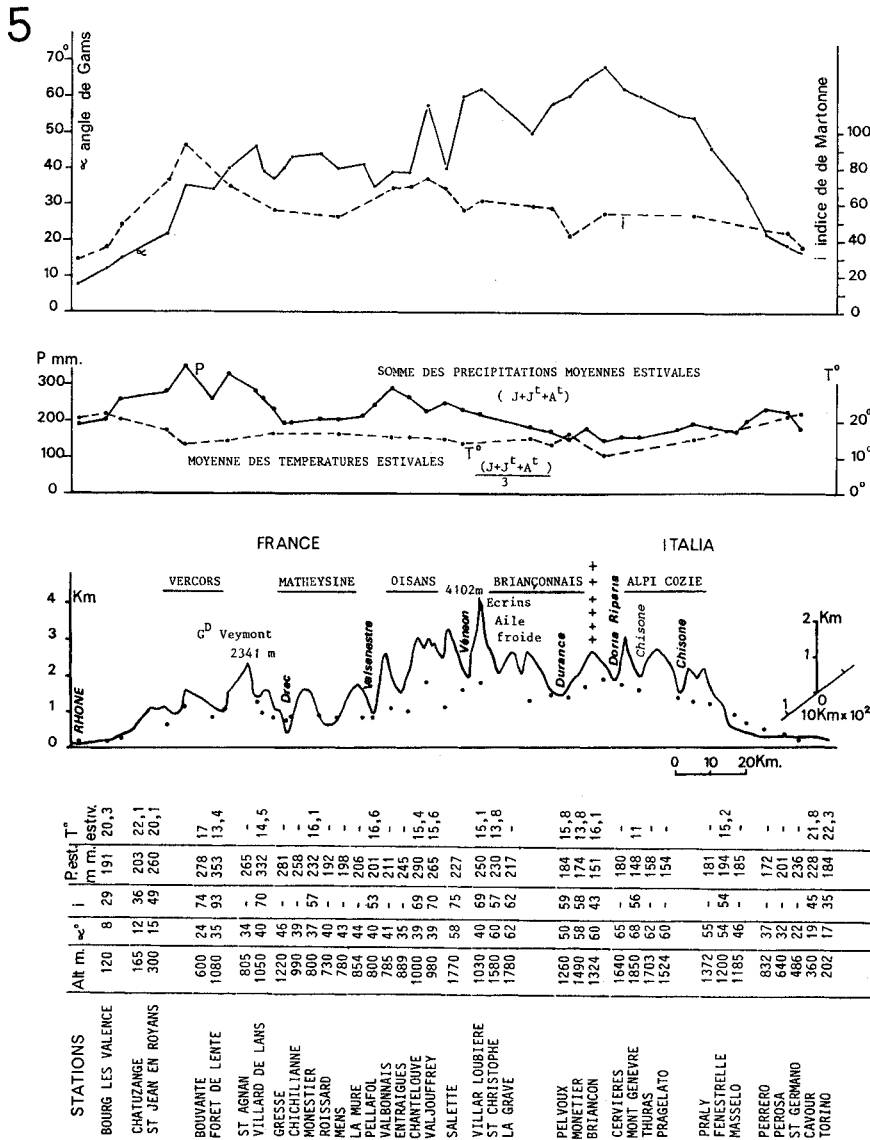
Vers le sud, le pic de précipitation auquel on pourrait s'attendre dans les Alpes juliennes est peu accentué en raison de l'absence de stations d'altitude.

5 - Transect Bourg-les-Valence - Torino (fig.13-5)

Il s'inscrit entre les Alpes sud-occidentales et les Alpes nord-occidentales, sa direction ouest-est permet de faire abstraction des variations latitudinales.

La courbe des précipitations reste pratiquement plate dans tout l'étage montagnard, marquant cependant un léger avantage sur le massif subalpin du Vercors et sur le rebord occidental de la plaine du Pô. L'indice de GAMS atteint des valeurs élevées (> 60) sur l'Oisans, le Briançonnais; l'indice de DE MARTONNE ne présente aucune des pointes qui, dans les transects précédents, décelaient des mésoclimats froids et humides.

Comme dans les coupes 1 et 3, on identifie une zone interne typique entre le Briançonnais et la Doria Riparia; une zone intermédiaire pourrait recouvrir une partie du Pelvoux et se trouve laminée sur le versant piémontais. Mais le sud-Vercors a plus d'affinités avec la Haute-Provence qu'avec les massifs préalpins du nord.



En conclusion, un examen comparatif des cinq transects montre les faits suivants :

a) Fraîcheur et humidité estivale caractérisent toutes les bordures nord et nord-ouest: Préalpes, massifs subalpins, Jura; un brusque changement apparaît au niveau du Vercors méridional.

b) L'indice de GAMS dépasse 60° sur les massifs centraux dont les vallées encaissées montrent une aridité marquée: zones internes bien individualisées au niveau des transects 1, 3 et 5. Ces caractéristiques deviennent moins nettes, d'une part, au niveau du Gothard, d'autre part, à l'extrémité orientale de la chaîne des Tauern: une continentalité moins élevée, une aridité à peine marquée définissent des zones intermédiaires qui, outre les noyaux précédents, constituent des lisières plus ou moins laminées ou enflées de part et d'autre de la zone interne.

c) Nette augmentation des moyennes thermiques sur les pourtours de la plaine du Pô où les précipitations forment des sites d'flots très arrosés (Tessin, Alpes juliennes) séparés par des secteurs moins humides (rebord sud des Préalpes gardésannes, Alpes cozie).

CONCLUSIONS

La complexité climatique de la chaîne alpine résulte des faits suivants:

- d'une part, une double zonation altitudinale et latitudinale. Les gradients sont assez réguliers pour les températures, variables pour les précipitations;

- d'autre part, des positions très diversifiées des divers secteurs alpins par rapport aux axes des perturbations et des courants aériens. La situation géographique des massifs, l'orientation des chaînes et des vallées, les situations d'abri jouent un rôle essentiel et les précipitations sont très modulées par ces facteurs.

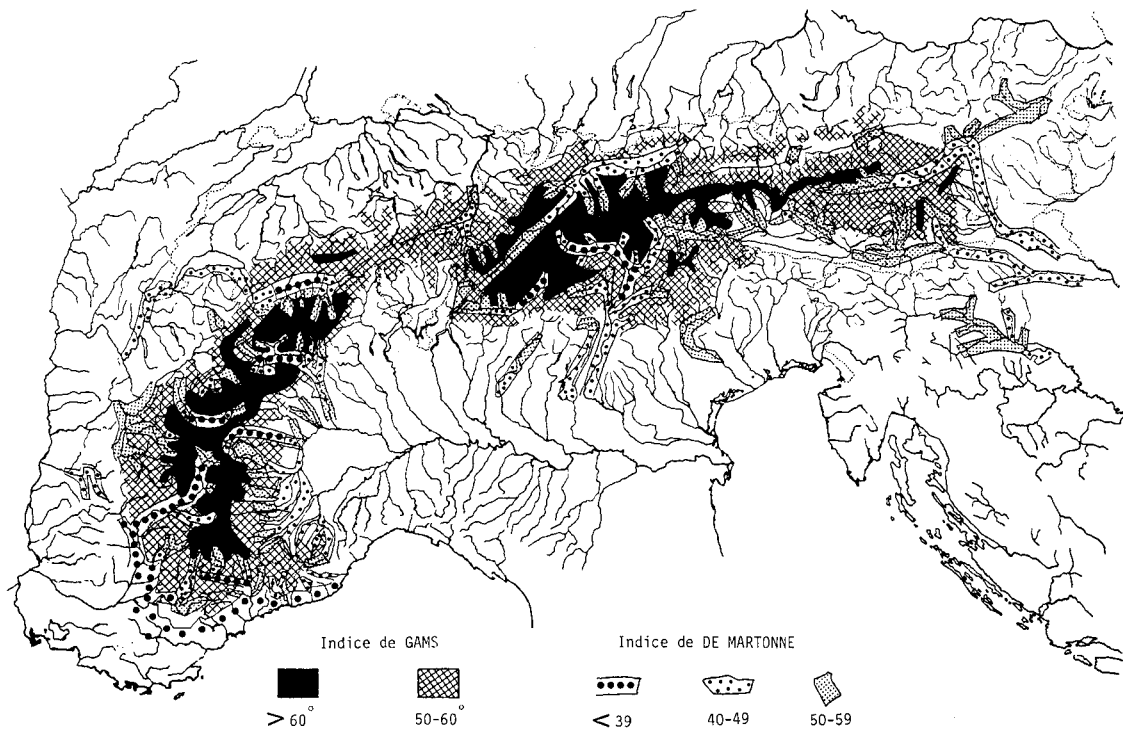
L'arc alpin s'étendant sur 5° de latitude et 12° de longitude, au contact de plusieurs domaines climatiques, la diversification climatique est grande et explique, en partie, la variété des séries de végétation potentielle. Pour que la zonation climatique rende compte de la zonation végétation, il importe de repérer les facteurs ayant une action déterminante sur le développement de la végétation. A cet effet, nous avons étudié précédemment les caractéristiques thermiques et pluviométriques de la période végétative et les indices climatiques de GAMS et de DE MARTONNE. Or, le domaine de validité biologique de ces facteurs varie dans l'espace: l'indice de continentalité a peu de signification à basse altitude où, au contraire, l'indice d'aridité s'applique bien. Nous avons, pour les principales zones biogéographiques, repéré le facteur qui joue un rôle essentiel dans la répartition des séries climatiques. Sur la figure 14-1 une zonation climatique synthétique résulte de la superposition de zonations empruntées aux documents établis antérieurement.

L'indice de continentalité de GAMS sert à définir les zones alpines intermédiaires et internes. L'indice d'aridité de DE MARTONNE permet, au sein des zones précédentes, une comparaison des vallées profondément encaissées, du Collinéen au Submontagnard; il donne, par ailleurs, une bonne zonation des secteurs piémontais, ligures, provençaux et est-alpins.

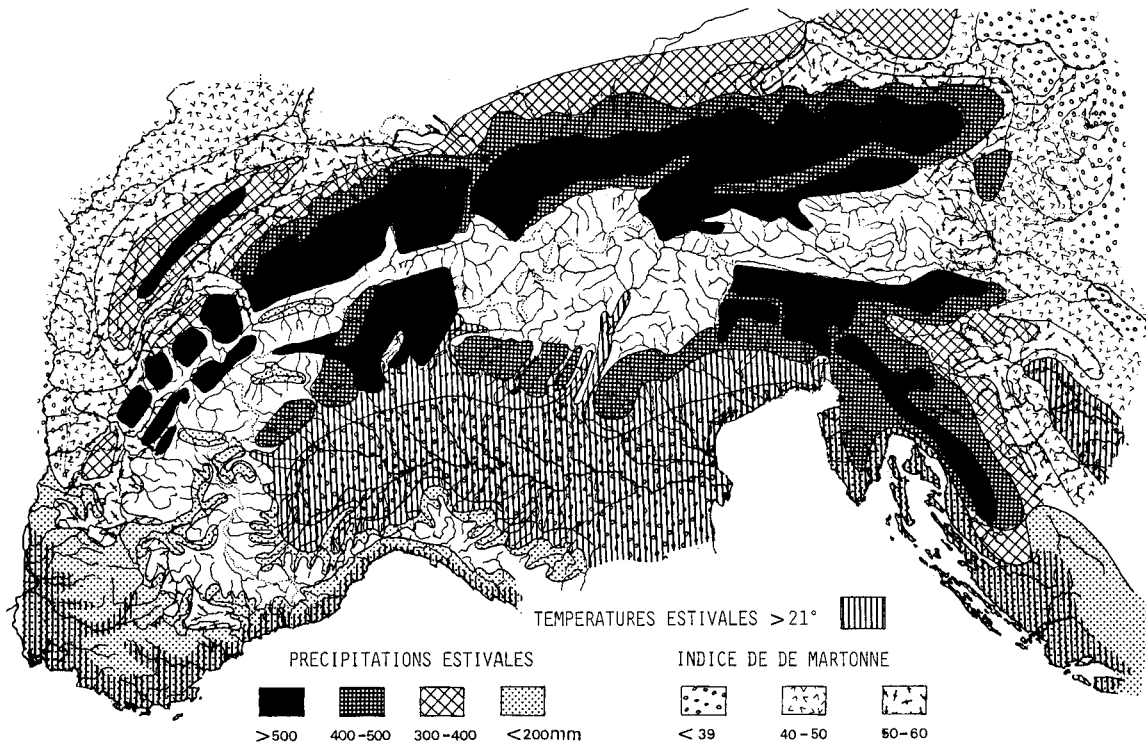
Les précipitations estivales deviennent déterminantes dans leurs valeurs extrêmes: précipitations supérieures à 500 mm, sur les secteurs nord-préalpins, le Jura, les Karavanken, les Alpes juliennes, le Tessin; tranches estivales comprises entre 400 et 500 mm, sur les avant-pays du nord, les Préalpes vénitiennes. Au contraire, des précipitations estivales inférieures à 100 mm caractérisent les lisières méditerranéennes (fig. 14-2).

Les températures estivales dépassant 21° sont typiques des séries les plus thermophiles.

Mais rappelons que les facteurs climatiques étudiés ne représentent qu'un des aspects du milieu, ils ne peuvent donc pas, à eux seuls, expliquer la zonation végétale. Cependant l'approche bioclimatique offre l'avantage d'une vision plus globale, plus comparative à l'échelle d'une grande chaîne montagneuse.



14-1: Distinction des zones internes intermédiaires et des vallées sèches internes par les indices de GAMS et de DE MARTONNE.



14-2: Différenciation des secteurs nord-préalpins sud-préalpins. Rôle dominant des fortes précipitations estivales dans les massifs préalpins, des faibles précipitations, des températures élevées et de l'indice de DE MARTONNE sur le versant sud et les marges méridionales et orientales.

Fig.14.- Les facteurs bioclimatiques déterminants dans la zonation écologique de la chaîne alpine et de ses marges.

BIBLIOGRAPHIE

1. ASCENSID (E.), 1983.- Aspects climatologiques de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Direction Climatologie, Monographies, n°2, 88 p.
2. BAGNOULS (F.) et GAUSSEN (H.), 1953.- Saison sèche et indice xérothermique. Doc. Carte Prod. Vég., III, 1-8.
3. BENEVENT (E.), 1926.- Le climat des Alpes françaises. Mémorial de l'ONM de France, Paris, 435 p.
4. BESSEMOULIN (J.), 1969.- Atlas climatique de la France. Ministère des Transports. Direction de la Météorologie. Paris, 45 pl.
5. BIROT (P.), 1970.- Les régions naturelles du globe. Masson, Paris, 380 p.
6. BROCHET (P.), DURAND (R.) et GERBIER (N.).- Recueil de données agroclimatologiques. Sommes des températures. Direction météorologie, Monographies, n°83.
7. BUCHOT (C.), 1978.- Le foëhn en Haute-Tarentaise. Direction de la Météorologie nationale, n°108, 78 p.
8. CASTELLANI (C.), 1983.- Régionalisation du gradient pluviométrique dans les Alpes du nord. Mémoire Mairise. Inst. de Géographie d'Aix-en-Provence, 99p.
9. CURE (P.), 1943.- Les essais de représentation synthétique des climats pour la géographie botanique. Doc. Carte Prod. vég., III, 1-53.
10. CURE (P.), 1945.- Carte synthétique des climats de l'Europe et de l'Australie. Doc. Carte Prod. Vég., Toulouse.
11. DOBREMEZ (J.F.) et VARTANIAN (M.C.), 1974.- Climatologie des séries de végétation des Alpes du nord. Doc. Cart. Ecol., XIII, 29-48.
12. DOUGUEDROIT (A.) et SAINTIGNON (M.-F. de), 1981.- Décroissance des températures mensuelles et annuelles avec l'altitude dans les Alpes du sud et en Provence. Eaux et Climats. Mélanges géographiques offerts à Ch.P. PEGUY. Grenoble, ER 30, 179-194.
13. DOUGUEDROIT (A.) et SAINTIGNON (M.-F. de), 1984.- Les gradients de températures et de précipitations en montagne. Rev. Géogr. alpine, LXXII, 2, 225-240.
14. EREDIA (F.), 1942.- La carta della temperatura media annua in Italia secundo. Scala di 1:6 milioni. Serv. Idrografico Ministero, LL.PP., Roma.
15. DRAJAN (Dr.) et RODIC (P.), 1979.- Geografija Jugoslavije. Univ. Beograd, 188 p.
16. FLIRI (F.), 1969.- Die Niederschläge in Tirol. Niederschlagskarten 1/600 000. Tirol-Atlas 1 Lieferung, Innsbruck.
17. FLIRI (F.), 1965.- Die Niederschläge in Tirol und den angrenzenden Gebieten im Zeitraum 1931-1960, Wetter und Leben.
18. FLIRI (F.), 1974.- Niederschlag und Lufttemperatur im Alpenraum. Wissenschaftlichen Alpenvereinshefte, heft 24, Innsbruck.
19. FLIRI (F.), 1975.- Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Univ. verlag Wagner, Innsbruck, München, 454 p.
20. GALLOY (E.), MARTIN (S.) et LE BRETON (A.), 1982.- Analyse des séquences de jours secs consécutifs. Application à 31 postes du Réseau météorologique français. La Météorologie, VI (28), 176-181.
21. GAMS (H.), 1932.- Die Verteilung der Kontinentalität in den Alpen. Beilage zur Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.
22. GARNIER (M.), 1964.- Valeur normale des températures en France (1921-1950). Direction de la Météorologie n°30, 48 p.
23. GARNIER (M.), 1970.- Valeur moyenne des hauteurs de précipitations en France, période 1951-1970. Direction Climatologie, n°91, 117 p.
24. GARNIER (M.), 1982.- Données statistiques sur les températures dans le sol en France. Direction Climatologie, Données et Statistiques, n°1, 198 p.
25. GAUSSEN (H.), 1939.- Carte de la pluviosité des Alpes, du Bassin du Rhône et de la Corse au 1/500 000. Min. Trav. Publ., Paris, 2ème éd.
26. GAUSSEN (H.) et BAGNOULS (F.), 1852.- L'indice xérothermique. Bull. Assoc. Géo. franç. (222-223) 10-16.
27. KNOCH (K.), 1952.- Klima-Atlas von Bayern, Deutscher Welterch US. Zone Bad-Kissingen.
28. MARTONNE (E. de), 1942.- Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. Ann. Géogr., 241-250.
29. MEYZENQ (Cl.), 1984.- A propos de la limite Alpes du nord - Alpes du sud. Rev. Géogr. alpine, LXXII, 2, 241-251.
- 29b. NEUBURGER (M.-Cl.), 1982.- Recueil et traitement d'une documentation scientifique sur le pays de Vanoise en tant que cellule représentative du système alpin. Trav. sci. Parc nation. Vanoise, XII, 141 p.
30. OZENDA (P.), 1960.- La température, facteur de répartition de la végétation en montagne. Ann. Biol., 31, 41-68.
31. OZENDA (P.), 1979.- Carte de la végétation des Etats membres du Conseil de l'Europe. Coll. Sauvegarde de la Nature, 16, 97 p.

- 31b. OZENDA (P.), 1981.- La cartographie de la végétation des Alpes, centre de gravité d'une étude phytogéographique des montagnes européennes Angewandte Pflanzensociologie, Veröffentlich. Fortlichen Bundesversuchsanstalt, 26, 113-133.
32. OZENDA (P.), 1981.- Végétation des Alpes sud-occidentales. Ed. CNRS, 258 p.
33. OZENDA (P.), 1983.- La végétation de l'arc alpin. Cons. de l'Europe. Coll. Sauvegarde de la Nature, 29, 98 p.
34. PEGUY (Ch.P.), 1961.- Précis de Climatologie, Paris, Masson, 347 p.
35. PEGUY (Ch.P.).- ER n°30 du CNRS. Carte climatique détaillée de la France au 1/250 000. Coupures: Annecy-Thonon (1980); Gap (1968); Lyon (1976); Marseille (1975), Nice (1970), Valence (1972). Ed. Ophrys, Gap.
36. PHILIPPIS (A. de), 1937.- Classification ed indici del clima in rapporto alle vegetazione forestale italiana. Firenze.
37. REY (P.), 1954.- Essai de Phytocinétique biogéographique. CNRS, Paris, 400 p.
38. RICHARD (L.) et PAUTOU (G.), 1982.- Alpes du nord et Jura méridional. Notice détaillée des feuilles 48 Annecy-54, Grenoble. Ed. CNRS, 316 p.
39. RICHARD (L.), 1983.- Nouvelles données pour la zonation écologique des Alpes nord-occidentales et contribution à la notice de la carte écologique à 1/50 000 "Saint-Gervais". Doc. Cart. Ecol., XXVI, 83-116.
40. SAINTIGNON (M.-F. de) et DOUGUEDROIT (A.), 1970.- Méthode d'étude de la décroissance des températures en montagnes de latitude moyenne: exemple des Alpes françaises du sud. Rev. Géogr. alpine, 453-472. LVIII, 3, 453-472.
41. SCHUEPP (M.), 1967.- Klimatologie der Schweiz, Lufttemperatur. Schweizerischen Meteor. Zentralanst., Zurich, 14 p.
42. THOURET (J.-C.), 1984.- Pour une perspective géographique de l'étagement dans les grands systèmes montagneux. Rev. Géogr. alpine, LXXII, 2, 189-212.
43. UTTINGER (H.), 1967.- Atlas de la Suisse. Climats et temps. II, 12, Serv. Topograph. féd., Wabern-Bern.
44. UTTINGER (H.), 1965.- Klimatologie der Schweiz. Niederschlag. Schw. Meteor. Zentralanst., Zurich, 124 p.
45. VIERS (G.), 1970.- Géographie zonale des régions froides et tempérées. 205 p., Nathan, Paris.
46. VIVIAN (H.), 1977.- Averses extensives et crues concomitantes dans l'arc alpin. Thèse Univ. Grenoble I, Tome I, 1-628; Tome II, 631-1309. (Librairie CHAMPION, Paris).
47. WALTER (H.) et coll., 1975.- Klimadiagramm-Karten der einzelnen kontinente und die Okologische Klimagliederung der Erde. Fischer, Stuttgart.

SANS NOM D'AUTEUR

48. Atlas Klima, SFR, Yougoslavie, 1971.
49. Atlas de la Suisse. 1970.- Climat et temps: 11- Températures; 12- Hauteurs et fréquences de pluie; 17- Végétation. Service topographique Fédéral, Wabern, Bern.
50. CNRS PIRDES (ER 30 et LA 6).- Atlas de Fréquences de l'insolation journalière.
51. Commission Météorologique Départementale. Bulletin et Annales de : Ain, Alpes maritimes, Alpes de Haute-Provence, Hautes-Alpes, Doubs, Drôme, Isère, Jura, Savoie, Haute-Savoie, Var, Vaucluse.
52. Deutscher Wetterdienst, Jahrbücher 1931-1960.
53. Direction de la Météorologie. Centre d'Etude de la neige. La neige et les avalanches dans les Alpes, les Pyrénées et la Corse. Hivers 1980-81; 1981-82; 1982-83; 1983-84.
54. Equipe de Recherche n°30 du CNRS St-Martin d'Hères. Documents d'archives (non publiés).
55. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, Wien.- Niederschlagskarte von Österreich für das Normaljahres 1901-1950, 1/500 000.- Lufttemperaturkarte von Österreich für das Jahresmittel des Normaljahres. 1901-1950, 1/500 000.- Lufttemperaturkarte von Österreich für das Jännermittel des Normaljahres 1901-1950, 1/500 000.- Lufttemperaturkarte von Österreich für das Julimittel des Normaljahres 1901-1950. 1/500 000.
56. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, Wien. Schneekarte von Österreich für die mittlerer maximalen Schneehöhen im Normaljahres, 1901-1950, 1/500 000.
57. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft Wien. Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich. Helf 38-39-40-42-43-46-47. Hydrographischer Dienst in Österreich. Beiträge zur Hydrographie Österreich.
58. Klima-Atlas von Bayern. 1952.
59. Magyar-Oszag Eghajlati Ailasz. 1960. Klima-Atlas von Ungarn, Budapest.

60. Ministère des Transports. Direction de la météorologie. Etablissement d'études et de recherches météorologiques. Centre d'Etude de la Neige. La neige et les avalanches dans les Alpes et les Pyrénées. Publication annuelle depuis 1976-1977.
61. Ministero dei Lavori pubblici. Servizio idrografico. Precipitazioni medie mensili et annue ed numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921-1950.
62. Ministero dei Lavori pubblici. Servizio idrografico. 1966.- Distribuzione della temperatura dell'aria in Italia nel trentennio 1926-1955. Fascicolo I, Italia settentrionale, Roma, 563 p.
63. Ministero dei Lavori pubblici. Consiglio superiore servizio idrografico. Carta della temperature medie annue vere in Italia trentennio 1926-1955. Scala 1/100 000.
64. Ministero dei Lavori pubblici. Consiglio superiore servizio idrografico. Carta delle precipitazioni annue medie. Periodo 1921-1950,. Scala 1/200 000.
65. UNESCO. Atlas climatique de l'Europe. I - Cartes des valeurs moyennes de la température et des précipitations.

COMPLEMENTS

66. BAUMGARTNER (A.), REICHEL (E.) et WEBER (C.), 1983.- Wasserhaushalt der Alpen: Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahres-durchschnitt für die Normal periode 1931-1960. Oldenburg Verlag, München, 343 p., 7 cartes.
 67. FLIRI (F.) et SCHUEPP (M.), 1984.- Synoptische Klimatographie der Alpen zwischen Mont-Blanc und Hohen Tauern (Schweiz, Tirol, Obertalien), Alpine Wetter-ungolagen und europaisch Luftdruckverteilung. Universitatverlag Wagner, Innsbruck- 29, 689 p, 459 cartes.
 68. OZENDA (P.), 1985.- La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen. Masson, Paris, 330 p., 1 carte couleur.
-