

L'écosystème forestier de Basse-Californie : composition floristique, variables écologiques principales, dynamique

Marie-Françoise Passini et

Université Pierre-et-Marie Curie, Paris VI,
Laboratoire de Botanique tropicale,
12, rue Cuvier, 75005 Paris, France

José Delgadillo

Escuelas de Ciencias Biológicas,
U.A.B.C., Ensenada, B.C., Mexique

et Mario Salazar

ex E.C.B./U.A.B.C., actuellement au CICESE,
Groupe d'Ecologie terrestre
Ensenada, B.C., Mexique

RÉSUMÉ

L'écosystème forestier de Basse-Californie, qui occupe une grande superficie des Sierras Juarez et San Pedro Martir (Mexique), est soumis à un climat méditerranéen. Des relevés phyto-écologiques et un traitement informatique des données ont conduit à distinguer cinq formations ligneuses hautes, dans chacune d'elle l'une des espèces suivantes est dominante : *Abies concolor*, *Pinus jeffreyi*, *P. lambertiana*, *P. murrayana*, *P. quadrifolia*. Les relations entre la composition floristique et les principales variables écologiques (altitude, climat et sol) sont analysées. La dendrométrie et la régénération des peuplements forestiers sont décrites. Enfin, des orientations de recherche sont suggérées.

MOTS CLÉS : forêts méditerranéennes, composition floristique, dendrométrie,
Abies concolor, *Pinus jeffreyi*, *P. lambertiana*, *P. murrayana*, *P. quadrifolia*, Basse-Californie, Mexique.

ABSTRACT

This survey includes the floristic composition of the five most important forest formations of Sierra Juarez and Sierra San Pedro Martir (Baja California, Mexico). Most forests comprise one of this species of coniferous : *Abies concolor*, *Pinus jeffreyi*, *P. lambertiana*, *P. murrayana*, *P. quadrifolia*. The role of the ecological factors : altitude, climate and soil are disputed on the basis of relationships with floristic composition. Particular attention is given to dendrometric structures and regeneration of the five forest types. Futures investigations are recommended.

KEY WORDS: Mediterranean Forest, plant composition, dendrometry,

Abies concolor, *Pinus jeffreyi*, *P. lambertiana*, *P. murrayana*, *P. quadrifolia*, Baja California, Mexico.

INTRODUCTION

La végétation de l'Etat de Basse-Californie (Mexique) est bien connue au niveau de la flore, par contre le fonctionnement des systèmes écologiques qui la constituent a rarement fait l'objet d'une recherche propre. Il faut, peut-être, en trouver la raison dans la tendance à extrapoler à cette région les résultats obtenus en Californie (États-Unis), particulièrement ceux concernant le chaparral. La spécificité de cette région et la nécessité d'une recherche approfondie sont apparues récemment conduisant, en 1985, à la mise en place en Basse-Californie, d'un programme de recherches écologiques sur les milieux terrestres. Ce programme comprend un thème forestier qui s'est fixé l'objectif suivant : « Potentialités et processus de développement des strates arborescentes sur un gradient climatique aride à sub-humide méditerranéen de Basse-Californie ».

Les recherches liées à ce thème ont commencé, au cours de l'été 1986, par la réalisation de relevés phyto-écologiques et structuraux sur un réseau de stations représentatives des successions forestières des Sierras Juarez et San Pedro Martir. Cet article se propose de faire connaître les premiers résultats de cette exploration, à savoir la composition floristique, les variables écologiques principales, la structure et la dynamique des formations ligneuses hautes des deux Sierras.

AIRE ÉTUDIÉE

L'aire étudiée (fig. 1), située entre le 30°40' et le 32°45' de latitude nord d'une part, le 115°20' et le 116°30' de longitude ouest d'autre part, est constituée de deux massifs montagneux, de direction générale nord-ouest, sud-est : au nord la Sierra Juarez, au sud la Sierra San Pedro Martir qu'une faille orientée d'est en ouest sépare au niveau du cañon de San Matias. Leur flanc oriental est abrupt. Géologiquement, ces massifs montagneux sont constitués de roches plutoniques : gabbros, granodiorites, diorites et granites (GASTIL, 1971) et font suite aux grands batholites californiens. La Sierra Juarez prolonge les montagnes Cuyamaca et Palomar du sud-ouest de la Californie. Son relief est peu contrasté : elle ne dépasse pas 1 900 m d'altitude. On y rencontre des bassins fermés, des pentes, de petites vallées protégées. De 1 600 à 1 800 m d'altitude, des roches volcaniques affleurent, sur lesquelles se développent des formations à *Quercus peninsularis* et *Pinus quadrifolia*. Les pentes rocheuses permettent un drainage vers les zones de chaparral du versant nord (MINNICH, 1986). Le chaparral (formation de ligneux bas à *Adenostama*, *Rhus*, *Ceanothus* et *Quercus* pl. sp.) occupe une aire étendue de la Sierra Juarez, prenant la place d'anciennes formations arborées à conifères (HERNANDEZ *et al.*, 1957). La Sierra San Pedro Martir a, au contraire, un relief plus accentué et culmine à 3 095 m au Picacho del Diablo. A l'intérieur de cette Sierra se situe le Parc national San Pedro Martir.

Parmi les stations météorologiques de Basse-Californie, trois, seulement, se situent à l'intérieur des massifs montagneux, leurs données permettent de cerner les caractéristiques principales du climat auxquelles ils sont soumis. Le niveau des précipitations moyennes annuelles est faible : 134 mm à La Rumorosa, 254 mm à la Sierra Juarez. Mais il ne fait aucun doute que ces valeurs sont sous-estimées puisque ni les précipitations neigeuses, ni les brouillards qui se manifestent d'octobre à avril sur les deux Sierras ne sont mesurés (LONG, inédit). Comme l'écrivait MOSIÑO (1974), la partie supérieure des massifs montagneux reçoit probablement de 400 à 600 mm annuels. De plus, l'humidité atmosphérique est souvent élevée, dans la Sierra San Pedro Martir, au-dessus de 2 400 m, ce qui se traduit par une abondance d'*Usnea usneoides* sur les branches et les troncs de conifères. Le régime saisonnier moyen

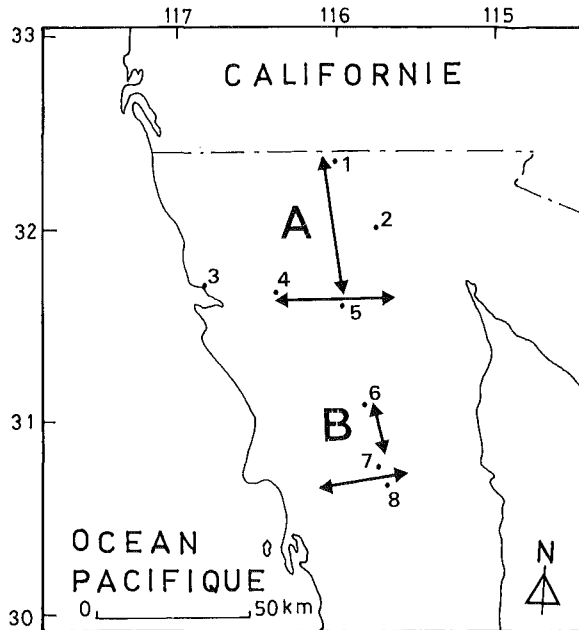


FIG. 1. — Aire étudiée: A. Sierra de Juarez; B. Sierra San Pedro Martir. 1. La Rumorosa. 2. Laguna Salada. 3. Ensenada. 4. Ojos Negros. 5. Laguna de Hanson. 6. Paso de San Matias. 7. Vallecitos. 8. Picacho del Diablo.

des précipitations se définit par un maximum en hiver, un minimum en été et un total des précipitations d'automne faiblement supérieur à celui du printemps.

La température moyenne annuelle atteint 15°C à La Rumorosa mais ne dépasse pas 11°C à la Sierra Juarez. A cette dernière station, les mois les plus froids sont dans l'ordre : décembre, janvier et février. Sur une période de 11 ans, la moyenne des températures minimales mensuelles a atteint -19°C (janvier 1970). Les mois les plus chauds sont septembre et juillet, la température maximale a été de +39°C (juillet 1973). L'amplitude thermique journalière, égale à l'amplitude thermique annuelle (MAULL, 1936; LAUER, 1973; PASSINI, 1982) y est de l'ordre de 13°C. A la Sierra Juarez, et, sans doute, dans la Sierra San Pedro Martir, au-dessus de 2 200 m, il gèle tous les mois sauf au mois d'août. La période thermiquement favorable à la croissance des végétaux se situe donc entre mai et octobre; elle correspond aux mois secs.

Ce climat méditerranéen de montagne est irrégulièrement soumis à des influences tropicales (DAGET et REYES, 1987) qui ne sont pas sans effet sur la végétation et, en particulier, sur la croissance et la fructification des espèces forestières.

MÉTHODE

Nous avons effectué, dans chacune des Sierras, des relevés phyto-écologiques et structuraux d'une superficie de 20 × 25 m distribués le long de deux transects orthogonaux (fig. 1). Un échantillonnage stratifié a été tenté que les difficultés d'accès ont parfois modifié (PASSINI, 1982).

A l'intérieur de la Sierra Juarez, le premier transect de direction ouest-est, coïncide avec la piste d'Ojos Negros (Real del Castillo Nuevo) à la Laguna de Hanson, qui se poursuit vers le Rancho San Luis. Le second, approximativement nord-sud, emprunte la piste de La Rumorosa au Rancho Agua de la Piedra. Dans la Sierra San Pedro Martir, le transect principal dirigé d'ouest en est coïncide avec la piste de l'Observatoire national, il se ramifie au niveau de Vallecitos, vers la Tasajera. Le second, plus court, de direction nord-sud, suit une piste qui conduit de l'ejido Lazaro Cardenas au rancho Las Tinajas. En juillet-août 1986, 45 placettes et leur voisinage ont été analysés en utilisant le formulaire proposé par GODRON *et al.* (1968), adapté à la végétation de Basse-Californie. Dans chaque placette, cinq groupes de variables sont considérés :

(1) les variables géographiques : latitude, longitude, altitude, exposition, topographie, pente, effets du vent, de la neige.

(2) les variables édaphiques : la nature et la réaction à HCl de la roche-mère, l'état de la surface du sol : pourcentage de blocs, de pierrailles, de terre fine, de végétation, de litière; le pH et la texture des horizons superficiels du sol;

(3) les variables phytologiques : la ou les espèces dominantes des différentes strates de végétation; les recouvrements des végétaux de plus de 2 m de haut, des végétaux de moins de 2 m, des herbacées, des succulentes; la composition floristique et la phénologie des espèces;

(4) les variables anthropiques : l'effet du feu, l'utilisation de la placette et de son voisinage, le type d'exploitation forestière;

(5) la faune : présence et influence des animaux sauvages ou domestiques.

Nous y avons ajouté des mesures spécifiques à la strate arborée dans son état actuel et dans son devenir, à savoir : le diamètre de tous les individus de conifères et de chênes présents dans la placette, la hauteur des différentes strates arborées ainsi que le nombre de plantules.

Toutes les espèces présentes à l'intérieur de chaque placette et dans une bande de 10 m en périphérie de celle-ci, ont été récoltées en double exemplaire et déposées à l'herbier de l'École des Sciences biologiques de l'Université Autonome de Baja Californie, à Ensenada. Le code de la flore de Basse-Californie (DAGET, inédit), qui ordonne alphabétiquement les 4 531 taxons de la flore de WIGGINS (1980) et quelques taxons déterminés à la suite des récoltes de 1986, a été utilisé pour numériser les données de terrain afin de les soumettre à un traitement informatique. Des méthodes statistiques ont été appliquées aux diamètres des conifères et des chênes, ainsi qu'au nombre d'individus jeunes et adultes.

RÉSULTATS

1. LES FORMATIONS LIGNEUSES HAUTES

Les données de l'ensemble des 45 relevés distribués dans les deux Sierras et des 111 espèces présentes dans 2 relevés au moins ont été l'objet d'une analyse des correspondances. Cette analyse tient exclusivement compte de la présence ou de l'absence de chaque espèce dans les différents relevés. Le plan des deux premiers facteurs (fig. 2) montre que sur le premier axe, les relevés à *Abies concolor*, *Pinus lambertiana*, *P. murrayana* s'opposent à ceux où *Pinus quadrifolia* et *Juniperus californica* sont présents. Les relevés à *P. jeffreyi*, seul, occupent une position intermédiaire. Le facteur correspondant à l'axe 1 semble être l'altitude qui provoque des changements mésoclimatiques (précipitation, froid). Successivement, *Juniperus californica*, *Pinus quadrifolia*, *Pinus jeffreyi*, et *Abies concolor* se distribuent le long du premier axe de l'analyse factorielle qui aurait, ainsi, la signification d'un gradient d'altitude et d'un gradient mésoclimatique. Les relevés correspondant à *Pinus monophylla* sont du même côté que ceux à *Pinus quadrifolia*. Le second axe exprimerait donc, quant à lui, une variation de la xéricité et oppose la sécheresse

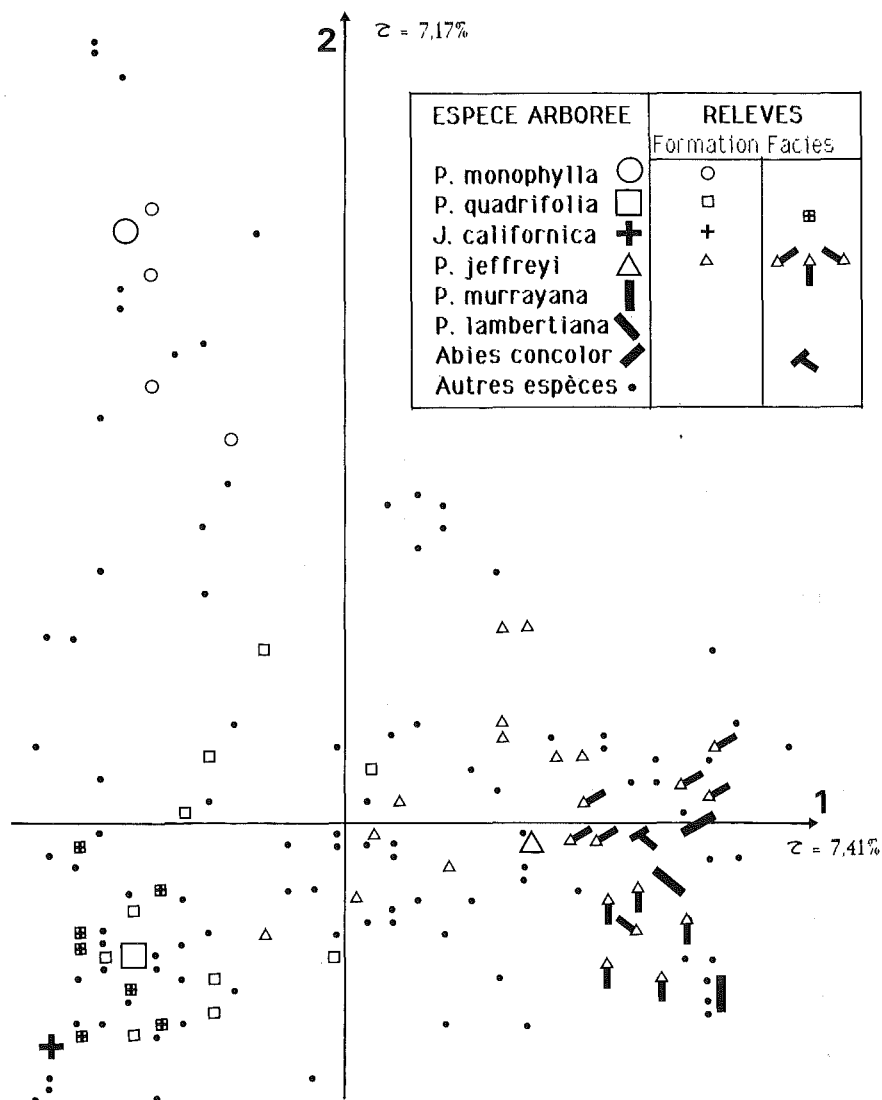


FIG. 2. — Distribution des espèces et des relevés dans le plan des axes 1-2.
Les espèces ligneuses hautes, les grands types de formation et leurs faciès ont été individualisés.

du flanc est ou nord-est à l'humidité du flanc ouest de l'ensemble montagneux. *Pinus monophylla* a, en effet, une tendance xérique plus marquée que *Pinus quadrifolia*, tendance que partagent les espèces compagnes : *Echinocereus engelmannii*, *Agave deserti*, *Rhamnus crocea* ssp. *crocea*. Sur l'axe 3, non représenté ici, *Pinus murrayana* occupe, en abscisse positive, une position extrême, les relevés où cette espèce est présente se détachent des autres. Le troisième axe aurait une signification proche

de l'axe 2 : un gradient sec-humide opposant des biotopes bien drainés à d'autres dont les sols conservent longtemps l'humidité. Il est important de noter que les relevés effectués dans la Sierra Juarez ne s'opposent pas à ceux effectués dans la Sierra San Pedro Martir, mais forment une suite continue. La forme à tendance parabolique des graphes, dans le plan des axes 1-3, traduit la dépendance des premiers axes entre eux (effet « Guttman », BENZECRI, 1982). Ni la xéricité (axe 2), ni l'humidité (axe 3) ne sont indépendantes du gradient d'altitude exprimé par l'axe 1 (LECOMPTE, 1987). Les gradients exprimés par les axes 2 et 3 sont perceptibles à des échelles différentes, le gradient exprimé par l'axe 2 traduit une variation climatique sensible à échelle moyenne; au contraire, le gradient exprimé par le troisième axe traduit une variation microclimatique.

A l'intérieur de l'écosystème forestier des Sierras Juarez et San Pedro Martir, on distingue, dans le sens du gradient d'altitude croissante, les formations ligneuses suivantes :

(1) une formation ouverte ou très ouverte, à *Pinus monophylla*, haute en moyenne de 8 m, elle s'étend sur le versant nord de la Sierra San Pedro Martir ainsi qu'au nord et à l'est de la Sierra de Juarez;

(2) une formation à *Pinus quadrifolia*, haute en moyenne de 12 m, elle présente dans le nord de la Sierra de Juarez (relevés 9, 10, 11, 12) un faciès à *Juniperus californica*;

(3) une formation à *Pinus jeffreyi* seul, haute de plus de 15 m. Elle présente divers faciès dont celui à *Calocedrus decurrens* est commun aux deux Sierras (MINNICH, 1987). Par contre, les faciès de la formation à *Pinus jeffreyi* dominant à *Abies concolor* et *Pinus lambertiana*, avec ou sans *Pinus murrayana* ne se rencontrent que dans la Sierra San Pedro Martir;

(4) une formation à *Abies concolor* dominant, avec ou sans *P. jeffreyi* et *P. lambertiana*;

(5) une formation à *Pinus murrayana* dominant.

Les deux dernières formations, hautes de plus de 15 m, ne se rencontrent que dans la Sierra San Pedro Martir, au-dessus de 2 300 m d'altitude, la formation à *P. murrayana* occupant des aires réduites au centre de la Sierra, à Vallecitos et en direction de la Tasajera.

Il existe, en outre, des formations peu étendues (MINNICH, 1987), telle la formation à *Populus tremuloides*, localisée sur le versant nord, à l'est de l'observatoire (LONG, comm. personnelle).

A cette échelle, la succession des formations ligneuses, dans l'une et l'autre Sierras, dessine la distribution des précipitations moyennes annuelles opposant, par exemple, le flanc nord-est de la Sierra San Pedro Martir, qui reçoit l'air desséché du désert du Sonora, aux parties hautes de la Sierra San Pedro Martir qui reçoivent des flux humides venant de l'ouest. De plus, comme le mentionnait, déjà, LECOMPTE (1987) pour l'Atlas marocain, les influences des températures et des précipitations ne peuvent être séparées à ce niveau.

2. COMPOSITION FLORISTIQUE

2. 1. Sierra Juarez

Les strates hautes de 8 à 32 m (strates VIII et IX) sont constituées par l'une des trois espèces ligneuses suivantes : *Pinus monophylla*, *Pinus quadrifolia* ou *Pinus jeffreyi*. *Pinus monophylla* qui participe à des formations mixtes de ligneux hauts et bas, ouvertes à très ouvertes, de 900 à 1 500 m d'altitude, au nord et à l'est de la sierra, coexiste avec *Pinus quadrifolia* dans la frange de contact des deux formations. *P. jeffreyi* et *P. quadrifolia* apparaissent, ensemble, sur le flanc ouest de la Sierra vers 1 300 m d'altitude. La frange écotone des formations à *Pinus jeffreyi* et *Pinus quadrifolia* est plus large à l'est qu'à l'ouest du transect.

Trois taxons caractérisent la strate II (5-25 cm) de la formation à *P. monophylla* : *Asclepias erosa*, *Penstemon centranthifolius*, *Physalis nicandroides*.

Les formations à *Pinus monophylla*, *Pinus quadrifolia* ainsi que le faciès à *Juniperus californica* ont en commun de nombreuses espèces des strates VI (2-4 m de haut) et V (1-2 m) : *Adenostoma sparsifolium*, *Arctostaphylos pungens*, *Ceanothus greggii* var. *perplexans*, *Quercus dunnii*, *Quercus turbinella*, présent aussi dans les formations à *Pinus jeffreyi*, *Yucca schidigera*, ainsi que trois espèces de la strate II (5 à 25 cm) : *Baccharis brachyphylla*, *Bromus rubens* et *Phlox austromontana* présentes aussi dans les formations à *Pinus jeffreyi*.

Dans le faciès à *Pinus quadrifolia* et *Juniperus californica*, la strate IV (50 cm à 1 m de haut) est souvent présente et caractérisée par les ligneux suivants : *Adenostoma fasciculatum*, *Arctostaphylos glandulosa* var. *crassifolia*, *Ceanothus cuneatus*, *Prunus ilicifolia*, *Quercus cedrosensis*, *Rhus integrifolia*, *Rhus ovata*, *Rhus trilobata* var. *anisophylla*, *Rhus trilobata* var. *simplicifolia*. Si la strate III (25-50 cm) est présente, deux taxons, *Baccharis emoryi*, *Quercus ajoensis* la composent. De plus, dans la strate I (0-5 cm) on note les taxons suivants : *Arabis perennans*, *Avena sativa*, *Cordylanthus filifolius*, *Cordylanthus nevini*, *Chorizanthe fimbriata*, *Cryptantha maritima* var. *pilosa*, *Euphorbia micromera*, *Gnaphalium microcephalum*, *Lotus nevadensis*, *Lupinus andersonii*, *Plantago erecta*, *Solanum xanthi*.

Quant aux formations à *Pinus jeffreyi* un groupe d'espèces présentes dans les strates basses (inférieures à 50 cm de haut : strates I, II et III) peuvent les caractériser, ce sont : *Achillea millefolium* var. *californica*, *Galium porrigens*, *Hulsea californica*, *Lotus scoparius* var. *dendroideus*, *Monardella linoides*, *Penstemon spectabilis*, *Solanum nodiflorum*, *Vicia americana* var. *linearis*.

2. 2. Sierra San Pedro Martir

Le long du transect principal, cinq espèces de conifères coexistent localement : ce sont : *Abies concolor*, *Pinus jeffreyi*, *Pinus lambertiana*, *Pinus murrayana* et *Calocedrus decurrens*. Les premiers individus de *Pinus jeffreyi* et de *Pinus quadrifolia* s'observent à 1 500 m dans une formation ligneuse basse à *Adenostoma fasciculatum*, *A. sparsifolium* et *Artemisia tridentata*. Dans les formations à *Pinus jeffreyi* et *Abies concolor*, la strate VII (4 à 8 m) est souvent inexistante ou peu dense, dans ce dernier cas elle peut comprendre les taxons suivants : *Arctostaphylos glandulosa*, *Calocedrus decurrens*, *Populus tremuloides*, *Quercus cedrosensis*, *Quercus oblongifolia*, *Quercus turbinella*, *Rhamnus californica* var. *ursina*. Dans les strates VI (2-4 m) et V, on trouve *Ceanothus cordulatus*, *Garrya grisea* et *Rhamnus californica* var. *tomentella*.

Les formations à *P. jeffreyi* et *P. murrayana* ont des strates basses (inférieures à 50 cm) denses que composent les espèces suivantes : *Astragalus circumdatus*, *Euphorbia palmeri*, *Geranium gracile*, *Monardella lanceolata* var. *microphylla*, *Sarcodes sanguinea*, *Salvia pachyphylla*.

Dans les formations à *Abies concolor*, les strates basses (inférieures à 25 cm) sont parfois denses, outre des mousses et des fougères, *Woodsia plumerae* par exemple, on y trouve les espèces suivantes : *Agrostis exarata*, *Allium eurotophilum*, *Descurainia obtusa* var. *obtusa*, *Eriochloa aristata*, *Eucrypta chrysanthemifolia*, *Lotus oblongifolius*, *Lupinus hirsutissimus*.

Les formations à *Pinus murrayana* dominant, qui croissent dans des aires planes et mal drainées sont caractérisées par une strate I (0-5 cm) assez dense dont les principaux constituants sont : *Cirsium foliosum*, *Eriogonum hastatum*, *Lepidium virginicum*, *Lotus hamatus*, *Plantago purshii* var. *oblonga*, *Schismus barbatus*, *Scirpus cernuus*.

La formation à *Pinus monophylla* n'est présente que sur le flanc nord et nord-est de la Sierra San Pedro Martir; la strate V (1 à 2 m de haut) y est constituée par *Rhamnus crocea* ssp. *crocea*, *Rhus ovata* et *Rhus trilobata* var. *simplicifolia*. Dans la strate IV (50 cm-100 cm) coexistent les espèces suivantes : *Acacia farne-siana*, *Agave deserti*, *Arctostaphylos glauca*, *Bromus mollis*, *Ephedra californica*. *Encelia farinosa* est présente dans la strate III (25-50 cm). La strate II, quant à elle, compte outre de nombreuses espèces de Cactacées : *Echinocereus engelmannii*, *Ferocactus acanthodes*, *Opuntia acanthocarpa*, *Opuntia erinacia*, *Opuntia phaeacantha* var. *discata*, les espèces suivantes : *Acacia greggii*, *Bouteloua aristoides*, *Chilopsis linearis*, *Euphorbia micromera*.

Les formations à *Pinus quadrifolia* et *Pinus monophylla* ont en commun deux espèces qui entrent souvent dans la composition de la strate V : *Adenostoma fasciculatum* et *Ceanothus greggii* var. *perplexans*.

Durant l'été 1986, 102 espèces, distribuées en 46 genres et réparties en 28 familles, ont été récoltées dans les différentes strates des formations à pins de la Sierra Juarez. La formation à *Pinus quadrifolia* comptait 84 espèces dont 55 communes aux formations de pins de la Sierra San Pedro Martir; tandis que le faciès à *Juniperus californica* ne comprenait que 42 espèces et se caractérise par l'abondance des Fagacées (5 espèces), des Cactacées (5 espèces), des Rosacées (5 espèces), des Composées (4 espèces) et des Anacardiées (4 espèces). Parmi les cinq espèces de la famille des Rosacées, présentes dans le faciès à *Juniperus californica*, *Adenostoma sparsifolium* et *A. fasciculatum* caractérisent les formations ligneuses basses secondaires (« chaparral »), qui pénètrent assez loin vers le sud du transect II (jusqu'au bloc transversal de « Pantalones »), s'enrichissant localement d'espèces de chênes. *Adenostoma sparsifolium* est, par contre, plus rare dans la formation à *P. jeffreyi*. Cette dernière formation comprenait, dans la Sierra Juarez, 61 espèces dont 16 n'étaient présentes que dans cette formation (en particulier, les espèces caractéristiques de la formation à *P. jeffreyi* mentionnées plus haut). A l'intérieur des formations à conifères de la Sierra San Pedro Martir, 154 taxons ont été récoltés, répartis en 85 genres et 44 familles, parmi lesquelles les Anacardiées, les Bignoniacées, les Gnétacées ne sont présentes que dans la formation à *P. monophylla*. Dans cette dernière, on notait 39 genres et 60 espèces dont une douzaine ne sont présentes que dans cette seule formation (Annexe 1). Enfin, on comptait 106 taxons dans la formation à *P. jeffreyi* contre 56 et 53 respectivement

dans les formations à *Abies concolor* et à *Pinus murrayana*. Cinq familles sont bien représentées dans la formation à *P. jeffreyi*, *P. lambertiana* et *Abies concolor*, ce sont les Légumineuses, les Composées, les Fagacées, les Polypodiacées et les Graminées.

Cette première étude fait apparaître qu'à l'intérieur de la Sierra Juarez, la formation à *Pinus quadrifolia* a une plus grande richesse floristique que la formation à *P. jeffreyi* qui, par contre, contient le même nombre de taxons que la formation à *P. monophylla*. Au contraire, la formation à *P. jeffreyi* de la Sierra San Pedro Martir offre un plus grand nombre d'espèces; cette richesse et cette diversité floristique sont, sans doute, liées à la grande extension altitudinale de cette formation (de 1 500 à 3 000 m). Une analyse statistique plus fine des variations de la composition floristique des différentes strates, selon un gradient ouest-est fournirait à ce sujet des indications utiles.

Les conifères : *Abies concolor*, *Calocedrus decurrens*, *Pinus jeffreyi*, *P. lambertiana*, *P. murrayana*, abondants en Californie, et particulièrement sur le flanc ouest de la Sierra Nevada atteignent la limite méridionale de leur aire actuelle dans la Sierra San Pedro Martir. Mais, parmi les espèces des strates inférieures à 5 m de haut, celles qui appartiennent au cortège floristique de ces forêts de conifères sont peu nombreuses. Nous mentionnerons quelques espèces présentes dans les forêts de *Pinus ponderosa* (MUNZ, 1974); ce sont : *Achillea millefolium* var. *lanulosa*, *Arctostaphylos patula* var. *platyphylla* et *A. pungens*, *Cordylanthus nevini*, *Draba corrugata*, *Heuchera leptomeria* var. *peninsularis*, *Hulsea californica*, *Lotus nevadensis*, *Lotus oblongifolius*, *Orthocarpus densiflorus*, *Penstemon labrosus*, *Populus tremuloides*, *Potentilla wheeleri*, *Sarcodes sanguinea*, *Salix lasiolepis*, *Trifolium wormskjoldii*. D'autres espèces sont signalées dans le "pinyon-juniper" du sud de la Californie (MUNZ, 1974); citons *Acacia greggii*, *Berberis higginsae*, *Bouteloua aristidoides*, *Eriastrum diffusum*, *E. eremicum*, *Eriodictyon angustifolium*, *E. trichocalyx*, *Galium wrightii*, *Philadelphus microphyllus*, *Plantago purshii* var. *oblonga*, *Quercus turbinella*. Enfin, on note huit espèces endémiques de la Basse-Californie : *Allium eurotophilum*, *Eriogonum hastatum*, *Galium martirensis*, *Nolina palmeri*, *Ophiocephalus angustifolius*, *Quercus cedrosensis*, *Quercus peninsularis* et *Trifolium wigginsii*. Seul, *Quercus cedrosensis* est présent dans les deux Sierras, les autres espèces n'ont été trouvées que dans la Sierra San Pedro Martir.

3. LES VARIABLES ÉCOLOGIQUES

L'information mutuelle (GODRON, 1968) a été calculée pour les cinquante espèces présentes trois fois et plus dans l'ensemble des relevés. La figure 3 associant la moyenne de l'information mutuelle espèce-facteur et l'entropie facteur fait apparaître les variables écologiques les plus actives, ce sont les variables géographiques : la latitude, l'altitude, la longitude, la pente et l'exposition. Latitude et altitude séparent les relevés de la Sierra Juarez de ceux de la Sierra San Pedro Martir, elles traduisent les variables climatiques que nous ne pouvons chiffrer faute de données météorologiques suffisantes. Au contraire, la pente et l'exposition ne prennent leur sens qu'à l'intérieur d'une aire géographiquement définie et restreinte, où les variations mésoclimatiques sont faibles.

La latitude et la longitude séparent les relevés de la Sierra Juarez et de la Sierra San Pedro Martir. La latitude croissante, à altitude égale, correspond, aussi,

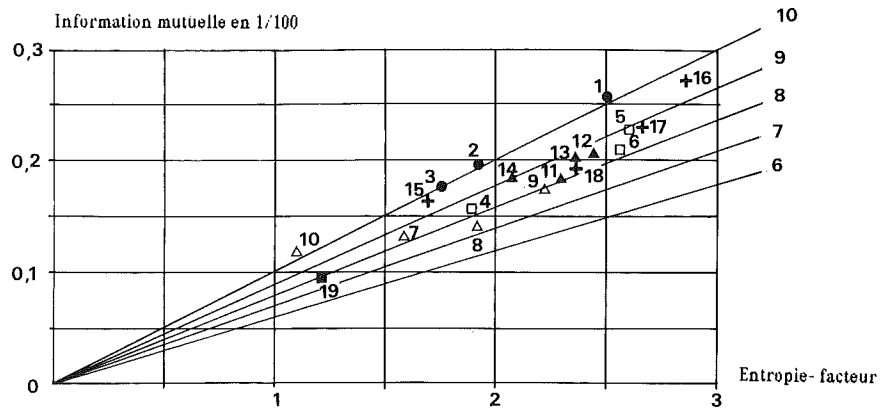


FIG. 3. — Relation entre l'information mutuelle moyenne espèce-facteur et l'entropie-facteur. Liste des variables: ●, 1. latitude, 2. altitude, 3. longitude; □, 4. topographie, 5. pente, 6. exposition; △, 7% végétation, 8% ligneux hauts, 9% herbacées, 10% succulent; ▲, 11% litière, 12% pierraille, 13% terre fine, 14% bloc; +, 15. nb. de plantules, 16. nb. de conifères d'un diamètre (d) < 5 cm; +, 17. $5 < d < 10$ cm, 18. $d > 10$ cm; ■, 10. feu.

à un gradient pluviothermique. Le caractère méditerranéen (pluviométrie hivernale supérieure à la pluviométrie estivale) du climat s'accroît vers le nord (DAGET & REYES, 1987). La végétation permet de préciser le gradient thermique nord-sud; en effet, tandis que, sur le flanc occidental de la Sierra de Juarez, *Pinus jeffreyi* et *Pinus quadrifolia* sont présents dès 1 300 m dans la formation ligneuse basse à *Adenostoma* pl. sp., ils n'apparaissent que vers 1 500 m sur le flanc ouest de la Sierra San Pedro Martir. L'étage de *Pinus quadrifolia* est très réduit sur le flanc occidental des deux Sierras mais à cela il faut, peut-être, chercher une cause anthropique.

L'analyse factorielle faite sur les 45 relevés de 1986 et l'ensemble des variables à l'exclusion de la latitude et de la longitude fait apparaître sur l'axe 1 un gradient d'altitude. Mais l'altitude participe, aussi, fortement aux troisième et quatrième axes. Ceci traduit un lien entre l'altitude et les autres variables géographiques, lien confirmé par l'analyse de l'entropie des descripteurs. Les relevés à pentes fortes sont plus nombreux en haute altitude bien qu'il en existe aussi à basse altitude. En général, exposition et pente sont indépendantes, cependant, dans l'ensemble des relevés traités, les pentes sont plutôt fortes sur l'exposition nord. Il est important de noter que des formations à *Abies concolor* se développent sur les versants nord mais aussi sur les versants sud.

Une analyse factorielle réalisée sur le sous-ensemble composé des espèces présentes plus de deux fois dans les 45 relevés et les variables relatives au recouvrement du sol par la végétation, la terre fine, la litière, les pierrailles et les blocs montre un groupe de plantes liées à un recouvrement de la terre fine inférieure à 10 % de la surface du sol. Ce sont : *Abies concolor*, *Allium eurotophilum*, *Cheilanthes fendleri*, *Draba corrugata*, *Holodiscus dumosus*, *Lotus argophyllus*, *Philadelphus microphyllus*, *Pinus lambertiana*, *Saxifraga eriophora*, *Thalictrum polycarpum*.

Au contraire, un groupe de plantes est préférentiel d'un recouvrement en terre fine supérieur à 60 %. Nous n'en citerons que quelques-unes : *Adenostoma sparsifolium*, *Cirsium foliosum*, *Eriogonum parishii*, *Penstemon labrosus*, *Phacelia ramosissima*.

Conjointement, les trois classes de recouvrement de la végétation se distribuent le long du troisième axe. Deux espèces : *Eriodyctyon angustifolium* et *Achillea millefolium* sont liées à un recouvrement de la végétation supérieur à 60 % (classe 3). Tandis que certaines espèces, au nombre desquelles *Quercus peninsularis*, *Quercus turbinella* et *Eriogonum thurberi*, semblent liés à un recouvrement de la végétation inférieur à 30 % (classe 1).

Le recouvrement des ligneux hauts est assez indépendant de l'altitude. Il n'en est pas de même du recouvrement des ligneux bas, qui est moyen ou fort aux altitudes basses, mais faible aux altitudes élevées.

Les variables édaphiques ne sont pas apparues déterminantes à l'échelle de cette analyse. Ce qui étonne peu si l'on sait que les sols des 45 relevés ont beaucoup de points communs. Leur profondeur est, souvent, comprise entre 20 et 50 cm. Les sols les plus épais (profondeur supérieure à 50 cm) se trouvent dans les formations à *P. jeffreyi* proches de la Laguna de Hanson (Sierra Juarez). Les sols des relevés effectués dans la Sierra San Pedro Martir sont peu profonds : la roche-mère est à 30-40 cm de la surface du sol.

L'ensemble des sols présente une texture sablo-limono-argileuse à limono-sablo-argileuse. Près de La Rumorosa, sur roche-mère calcaire le pH (mesuré au pH meter Helliger) de l'horizon superficiel est de 7,5. Ailleurs, dans la Sierra Juarez, le pH de l'horizon superficiel des sols sur schiste ou pegmatite, mais sous couvert végétal, est compris entre 4 et 5,5 et sa valeur médiane est de 5. Sur roche-mère de même nature, mais dans les zones brûlées, en 1985, le pH de l'horizon superficiel, mesuré dans les mêmes conditions, s'élève à 6. Les horizons superficiels des sols échantillonnés dans la Sierra San Pedro Martir sont légèrement plus acides : médiane à 4,5 et valeurs extrêmes 4 et 6.

Les variables anthropiques ne paraissent pas déterminantes à cette échelle. Cependant nous ne pouvons pas les passer sous silence. Le transect nord effectué dans la Sierra Juarez correspond, à peu près, à une « draille », ancien parcours de transhumance de moutons, utilisé jusqu'en 1940 (communication orale). Le long de ce parcours, se juxtaposent des mosaïques de formations ligneuses basses à *Adenostoma* pl. sp., à *Juniperus californica* et de formations ligneuses hautes à *P. quadrifolia*. Les formations fermées à *P. quadrifolia* occupent les versants à pente forte. Le long de ce parcours, se sont installées des entreprises agricoles où l'on pratique une agriculture à dominante de céréales et de légumes. Et de plus en plus, habitats de fortune et maisons secondaires se construisent dans la formation à *Pinus quadrifolia*. Quelques éleveurs de bovins défrichent la frange écotone à *Pinus quadrifolia* et *P. jeffreyi*. Pour que les arbustes fournissent des pousses tendres, alimentation peu coûteuse, les éleveurs mettent le feu aux formations ligneuses. En 1985, un incendie a ravagé des milliers d'hectares franchissant le point haut de « Pantalones » en direction de la Laguna de Hanson. Deux relevés ont été effectués dans cette aire brûlée où les conifères sont morts et les placettes correspondantes seront analysées dans les années à venir.

Le long du transect ouest-est de la Sierra Juarez, la forêt de *P. jeffreyi*, propriété « éjidale », a été exploitée pendant au moins quarante ans. L'emplacement

des scieries subsiste, occupé par un modeste habitat. Par ailleurs, sur ce flanc de la Sierra Juarez d'anciennes exploitations agricoles sont abandonnées tandis que d'autres s'installent au cœur de la formation à *P. jeffreyi*.

Aucune exploitation systématique de la forêt ne nous a été signalée et n'est visible dans la Sierra San Pedro Martir. Le transect ouest-est se situe à l'intérieur du parc de l'Observatoire national, où les formations ligneuses ne sont pas à l'abri des incendies qui pénètrent dans les étroites vallées de direction est-ouest et atteignent la cote des 2 300 m d'altitude. A Vallecito, les bovins des exploitations agricoles extérieures au parc paissent en liberté; il est clair qu'il en a été de même par le passé, en direction de la Tasajera. Sur le flanc nord de la Sierra San Pedro Martir de vastes exploitations agricoles sont installées depuis quelques décennies, d'autres tentent de s'implanter. Il faut, sans doute, voir là l'origine de l'incendie qui a dévasté, au printemps 1986, une large partie des formations à *P. monophylla* s'arrêtant à faible distance du creux des bassins fermés où croît *P. jeffreyi*.

4. STRUCTURE ET DYNAMIQUE DES PEUPELEMENTS A CONIFÈRES

4.1. Sierra Juarez

Dans les formations à *Pinus quadrifolia* de la Sierra Juarez, le nombre d'individus hauts de plus de 5 m (diamètre supérieur à 10 cm) est compris entre 200 et 440 à l'hectare, soit une densité médiane (*) de 280 arbres à l'hectare. Le nombre des individus hauts de 3 à 5 m (diamètre de 5 à 10 cm) varie de 5 à 50 % du nombre total d'individus de *Pinus quadrifolia* (toutes hauteurs confondues), la médiane est de 23 %. Celui des individus hauts de moins de 3 m (diamètre inférieur à 5 cm) est compris entre 3 et 35 %, la médiane de cette classe est de 23 % du nombre total d'individus. Parmi les onze relevés effectués dans les formations à *Pinus quadrifolia*, l'observation des profils de diamètres fait apparaître trois types principaux de structure (fig. 4). Le premier type présente un profil concave continu, traduisant une régénération progressive après coupe ou incendie, que l'on peut faire remonter à 50 ans ou plus. Un creux de régénération s'observe dans les quinze dernières années. Le second type montre un profil concave continu de 15 à 40 cm

(*) Comme notre propos relève plus de « l'analyse exploratoire » selon l'expression de TUKEY (1977) que de « l'analyse confirmatoire », nous utilisons la médiane de préférence à la moyenne, car, comme l'écrit BERTRAND (1986), « c'est une mesure de tendance centrale plus fiable et plus résistante aux valeurs aberrantes ». Un exemple justifiera notre choix. Dans la Sierra San Pedro Martir, les surfaces terrières (S) des 7 placettes à *P. jeffreyi* seul se distribuent ainsi :

valeur en m ² /ha	17	18	21	22	30	51	52
position	1	2	3	4	5	6	7

Calculons la moyenne et la médiane :

$$\text{Moyennes de (S)} : \frac{17 + 18 + 21 + 22 + 30 + 51 + 52}{7} = 30,4.$$

Médiane : elle correspond à la valeur de position $(1 + \text{nbre de données})/2$, ici 22.

La moyenne de (S) représente très mal la tendance centrale puisque toutes les données sauf une se situent en dessous de cette valeur. La médiane et les valeurs extrêmes caractérisent, mieux que la moyenne, la forme de la distribution de la surface terrière dans l'ensemble de la formation à *Pinus jeffreyi* seul.

de diamètre, un creux au niveau des diamètres de 10 à 15 cm mais une bonne régénération dans les quinze dernières années. Enfin, sur le troisième type, on observe deux sommets ce qui traduit, soit deux périodes plus intenses de régénération dont une dans les quinze dernières années, soit deux périodes d'intense activité humaine (coupe, pâturage).

À l'intérieur des formations à *P. jeffreyi*, le nombre d'individus hauts de plus de 8 m varie de 300 à 720 à l'hectare, soit une densité médiane de 340 arbres à l'hectare. Le nombre des individus hauts de plus de 25 cm (diamètre supérieur à 50 cm) est compris entre 3 et 47 % du nombre total d'individus de *P. jeffreyi*, mais la valeur médiane est de 8 % seulement. Celui des individus de *P. jeffreyi* hauts de 5 à 8 m (diamètre de 5 à 10 cm) varie de 5,5 à 29 % avec une valeur médiane de 25 %. Les individus hauts de moins de 5 m sont parfois absents; dans les deux relevés où ils sont présents ils représentent 2 à 9 % du nombre total d'individus de *P. jeffreyi*. De l'observation des classes de diamètre nous retenons trois types (fig. 4). Le premier type présente un profil concave assez régulier, une absence d'arbres de 45 à 50 cm puis au-delà de 55 cm de diamètre, ce qui traduit une absence d'arbres de 45 ans et plus (âge évalué d'après le comptage des anneaux de croissance sur des échantillons de bois prélevés à la tarière de Pressler). Cette placette se situe dans l'aire de la première exploitation forestière; après la coupe, la formation s'est régénérée. Le second type correspond à une aire de pâturage où les canopées des arbres sont jointives. Les arbres jeunes sont, alors, peu nombreux. Le troisième type présente un sommet correspondant à la classe de diamètre 35-40 cm et une concavité dirigée vers l'origine du graphe. Il correspond à une exploitation récente de la forêt et à un pâturage : les arbres jeunes (de diamètre inférieur à 35 cm) sont coupés. Quant à la régénération des quinze dernières années, elle est nulle. Tant les formations à *P. quadrifolia* que celles à *P. jeffreyi* apparaissent constituées d'un ensemble de mosaïque de l'un ou l'autre type décrit plus haut.

4.2. Sierra San Pedro Martir

La densité des formations à *P. jeffreyi* seul, est comprise entre 260 et 540 individus/ha d'un diamètre supérieur à 10 cm, la médiane étant de 260. La plus faible et la plus forte densité s'observent sur des aires planes, la première à 2 100 m d'altitude, la seconde à 2 400 m. Mais on note, aussi, de fortes densités sur des pentes de 30 %. La densité est à corrélérer, plus avec le couvert de la strate ligneuse basse, qu'avec la pente. Les individus hauts de plus de 25 m (diamètre supérieur à 50 cm), à l'intérieur du relevé effectué à 1 700 m, au nord de la Sierra San Pedro Martir, sur le transect ouest-est, représentent de 2 à 25 % du nombre et une médiane de 8 %. Les individus hauts de 2 à 5 m (diamètre compris entre 5 et 10 cm, s'ils sont présents, comptent 26 à 27 % du nombre total de *P. jeffreyi*. Sur les pentes de nombreux individus sont morts sur pied, d'autres sont tombés. La valeur de la surface terrière totale s'étend de 17 à 52 m², la valeur médiane est de 22 m²/ha.

Le faciès à *Abies concolor*, avec ou sans *P. lambertiana*, a une densité comprise entre 140 et 380 individus/ha, hauts de plus de 8 m (diamètre supérieur à 10 cm). Parmi eux, on compte de 89 à 53 % de *P. jeffreyi*, de 11 à 47 % d'*Abies concolor*; le pourcentage de *P. lambertiana* ne dépasse pas 15 %. La surface terrière de ce faciès varie de 17 à 44 m²/ha, sa valeur médiane étant de 29 m²/ha.

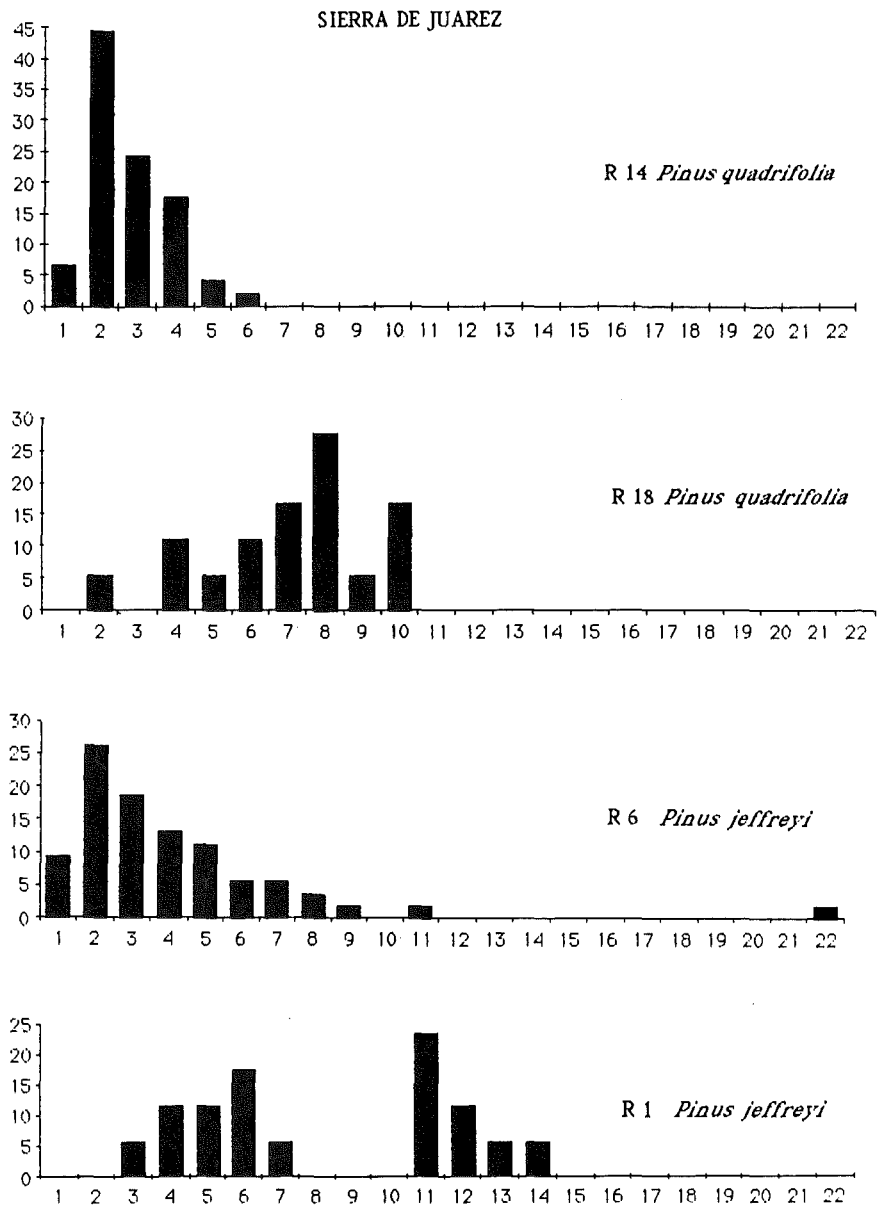
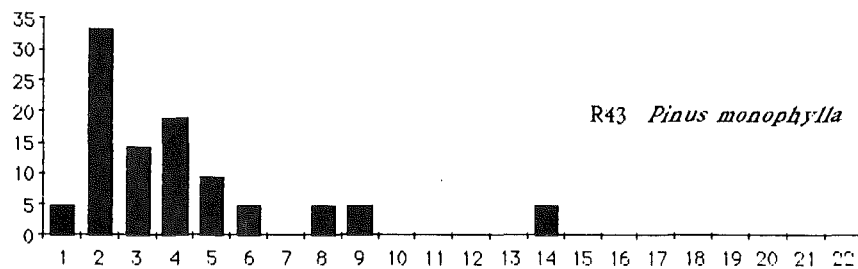
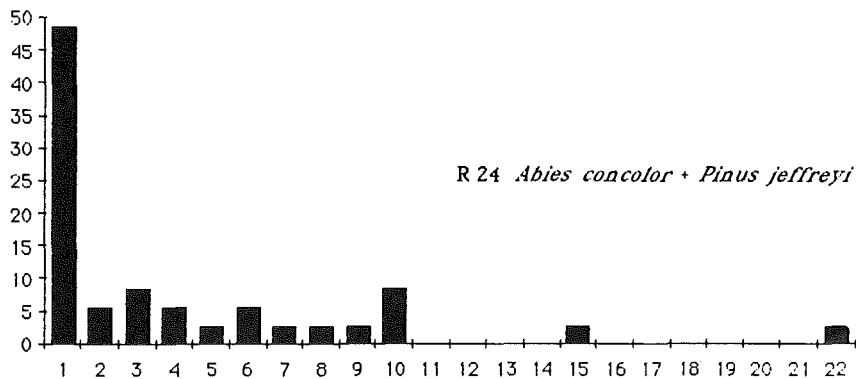
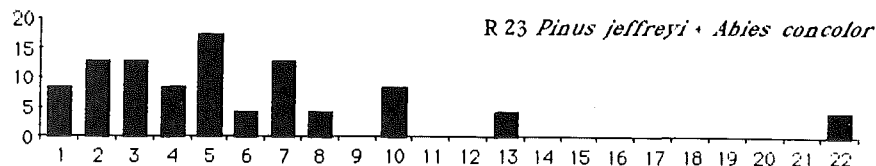
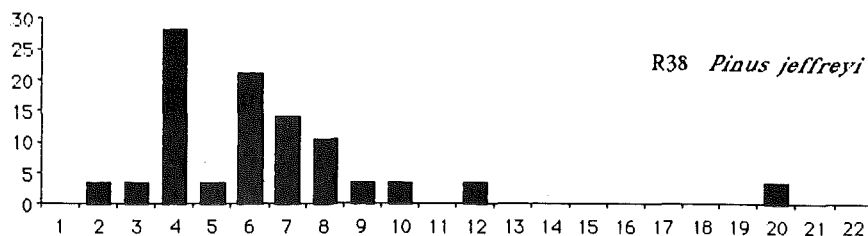


FIG. 4. — Principaux types de profils structuraux (en abscisse, les classes de diamètre d'une amplitude de 5 cm; en ordonnée, le nombre d'individus exprimé en % du total des individus présents dans une placette de 20 × 25 m).

SIERRA SAN PEDRO MARTIR



La densité de la formation à *Abies concolor* dominant est comprise entre 220 et 440 individus (diamètres supérieurs à 10 cm) à l'hectare. Le pourcentage d'*Abies concolor* varie de 95 à 55 %, la valeur médiane est de 81 %, celui de *P. jeffreyi* est compris entre 5 et 25 %. Ni le nombre des individus de *P. lambertiana*, ni celui de

Calocedrus decurrens ne représente plus de 9 % du nombre total des individus. Notons que les plus fortes densités de cette formation s'observent sur des versants à pente forte (60 %), au-dessus de 2 400 m d'altitude, là où l'humidité de l'air est élevée. La surface terrière de cette formation, comprise entre 48 et 61 m²/ha avec une valeur médiane de 51 m²/ha est la plus élevée de toutes les formations de conifères de la Sierra San Pedro Martir.

La densité de la formation à *Pinus murrayana* seul ou dominant se situe entre 140 et 320 individus de diamètre supérieur à 10 cm, à l'hectare. Le pourcentage de *P. murrayana* est compris entre 100 % (seule espèce arborée) et 60 %, la valeur médiane étant de 68 %. La surface terrière médiane de *Pinus murrayana* est de 20 m²/ha, sa valeur maximale de 38 m²/ha est atteinte dans une formation où cette espèce cohabite avec *P. jeffreyi* sur un sol presque plat (pente inférieur à 3 %).

Sur le flanc nord-est de la Sierra San Pedro Martir, entre 1 400 et 1 500 m d'altitude, la densité de la formation à *P. monophylla* varie de 200 à 380 individus à l'hectare, soit une surface terrière comprise entre 11 et 36 m²/ha.

Les résultats obtenus dans les deux Sierras sont à rapprocher de ceux de BORCHERT et HIBBERD (1984) dans les « western Transverse Ranges » du sud de la Californie. Ainsi, la formation à *Abies concolor*, *Pinus lambertiana* et *P. jeffreyi*, qui croît entre 1 920 et 2 135 m d'altitude compte 360 individus d'un diamètre supérieur à 5 cm. Leur surface terrière calculée est de 52,4 m²/ha. Cette valeur est très voisine de celle trouvée dans la formation à *Abies concolor* dominant (à *Pinus lambertiana* et *P. jeffreyi* en nombre variable) de la Sierra San Pedro Martir qui se développe à 2 400 m d'altitude et au-dessus. Les valeurs dendrométriques de la formation à *P. jeffreyi*, *Abies concolor*, avec ou sans *Pinus lambertiana* sont très proches de celles de la formation à *P. ponderosa*, *Abies concolor* et *Pinus lambertiana* de Californie qui compte 277 individus ($d > 5$ cm) et une surface terrière de 31,1 m²/ha.

Par contre, la surface terrière des formations à *P. jeffreyi* des « west Transverse Ranges » est plus élevée que celle calculée dans la Sierra San Pedro Martir; 60,8 m²/ha contre 22 m²/ha bien que le nombre d'individus soit sensiblement inférieur : 185 au lieu de 260. Cette dernière observation suggère que la formation de Californie comprend des individus d'un plus fort diamètre que ceux de San Pedro Martir et, peut-être, des arbres plus âgés. Des comparaisons plus fines seront fort utiles pour la connaissance de l'écosystème forestier à la limite de l'aire des espèces qui le constituent.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'écosystème forestier des Sierras Juarez et San Pedro Martir est complexe. La méthode utilisée, dans cette étude, a permis d'y discerner cinq types principaux de formations arborées qui s'imbriquent entre elles (fig. 5). Elle a montré, en outre, les relations entre composition floristique et principales variables écologiques : latitude, longitude, altitude et recouvrement du sol. Le rôle déterminant des trois premières variables permet de conclure que la distribution des formations de conifères dans les Sierras Juarez et San Pedro Martir est liée à l'existence de deux gradients climatiques orthogonaux. Ce sont d'une part, un gradient ouest-est essentiellement lié à la pluviométrie, d'autre part, un gradient nord-sud à dominante

thermique. L'altitude modifie ces gradients, en particulier en abaissant la température diurne. Cette conclusion rejoint celle que VASEK (1978) formulait à propos des forêts de *P. jeffreyi* à la limite nord de leur aire, en Californie. Cette convergence ne doit pas faire oublier que *P. jeffreyi*, seul ou accompagné d'*Abies concolor* et de *Calocedrus decurrens* croît, au nord de son aire, entre 1 280 et 1 850 m d'altitude et est soumis à un climat tempéré.

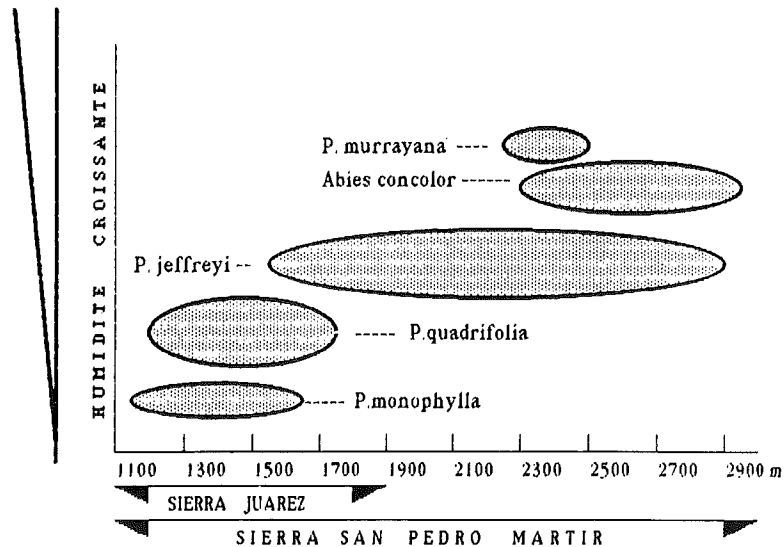


FIG. 5. — Synthèse: succession altitudinale des principales formations de conifères.

Quant à *Pinus quadrifolia*, il ne se rencontre que dans l'extrême sud de la Californie et en Basse-Californie. Au contraire, *P. monophylla* est présent dans l'Idaho, l'ouest de l'Utah, le nord-ouest de l'Arizona, le Nevada et la Californie (CRITCHFIELD & LITTLE, 1966). Souvent sympatrique avec *P. edulis*, il supporte mieux que lui les climats chauds et secs (TROMBULAK & CODY, 1980). Il semble donc que, en Basse-Californie, *P. quadrifolia* occupe vis-à-vis de *P. monophylla* la place de *P. edulis*, comme ce dernier il est mieux adapté que *P. monophylla* à l'humidité et au froid. Et à l'est de la Laguna de Hanson, on trouve des formations écotonales à *P. quadrifolia*, *P. jeffreyi* et *Artemisia tridentata* qui rappellent la formation à *P. edulis*, *P. ponderosa* et *Artemisia tridentata*, au nord du Grand Canyon dont HALBORSON (1972) explique la présence par l'existence d'un microclimat plus humide.

L'analyse des 45 relevés structuraux et les observations de terrain permettent de formuler les hypothèses suivantes sur la dynamique des formations à conifères des Sierras Juarez et San Pedro Martir. La formation à *P. jeffreyi* de la Sierra Juarez se trouve soit en fin de cycle (arbres vieux sans renouveau), soit dans une phase de rajeunissement (profil équilibré) après coupe. Après les coupes rases de *P. jeffreyi*, cette espèce se succède à elle-même, après un stade plus ou moins long de clairière à *Salvia pachyphylla*. Dans la Sierra San Pedro Martir, l'ensemble des

formations à conifères a dépassé la phase de maturité : les vieux arbres meurent sur pied et tombent tant sur les versants de forte pente que sur les aires planes. Les profils structuraux, rarement équilibrés (fig. 4), montrent un nombre élevé d'individus de faible diamètre, ce qui est l'indice du début de la phase de rajeunissement.

Toutes les espèces de conifères rencontrées ont des graines viables; en effet, en 1986, des plantules étaient observables, tant dans les formations à *P. quadrifolia* que dans les formations à *P. jeffreyi*. Cependant, on ne comptait un nombre de plantules supérieur à 10 que dans la Sierra San Pedro Martir où *P. jeffreyi* et *P. murrayana* fournissent un nombre de plantules plus élevé qu'*Abies concolor*.

L'écosystème forestier des Sierras Juarez et San Pedro Martir, qui associe des conifères d'origine tempérée, mérite une étude approfondie qui doit être entreprise, sans tarder, car la forêt est menacée par l'activité humaine : agriculture, loisir, prolifération de l'habitat individuel.

REMERCIEMENTS

Ce travail s'est déroulé dans le cadre des accords franco-mexicains C.N.R.S.-CONACYT. Nous remercions tous ceux qui tant au "Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada" (C.I.C.E.S.E.) qu'à la "Escuela de Ciencias Biológicas" de l'Université d'Ensenada (E.C.B./U.A.B.C.) ont facilité notre travail sur le terrain, particulièrement le Pr. ROJAS qui nous a accompagné à la Laguna Hanson, et les chercheurs du groupe d'Écologie terrestre du C.I.C.E.S.E. Nous remercions M. Maurice ROUX qui a assumé, avec bienveillance, le traitement des données et a apporté sa connaissance de l'A.F.C. Le traitement selon la méthode de l'information mutuelle a été fait par M. le Professeur Michel GODRON.

Nos remerciements s'adressent, aussi, à M. Gilbert LONG qui a relu attentivement le premier texte et a formulé des suggestions et des remarques positives et, enfin, aux deux lecteurs anonymes et au comité de rédaction de la revue.

BIBLIOGRAPHIE

- BENZECRI J. P. *et al.*, 1982. — *L'analyse des données. 2. L'analyse des correspondances*. Dunod éd., 632 p.
- BERTRAND R., 1986. — *Pratique de l'analyse statistique des données*. Presses de l'Université de Québec, 379 p.
- BORCHERT M. & HIBBERD M., 1984. — Gradient analysis of a North slope montane forest in the Western Transverse Ranges of Southern California. *Madroño*, **31**, 3, 129-139.
- CRITCHFIELD W. B., & LITTLE E. L. Jr., 1966. — *Geographic distribution of the pines of the world*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Miscellaneous Publication 991, 97 p.
- DAGET P. H. & REYES S., 1987. — *Influences tropicales sur les précipitations dans la Basse-Californie du Nord (Mexique)*. Communication présentée à MEDECOS, Montpellier (sous presse).
- GASTIL G., 1971. — Reconnaissance Geology of the State of Baja California. *Geological Society of America*, Memoir 140, 170 p.
- GODRON M., 1968. — Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. (Recouvrement, information mutuelle entre espèces et facteurs écologiques, échantillonnage.) *Æcol. Plant.*, **3**, 185-212.
- GODRON M. *et al.*, 1968. — *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu*. C.N.R.S., 292 p.

- HALBORON W. L., 1972. — Environmental influence on the pattern of plant communities along the north rim of the Grand Canyon. *Amer. Midl. Naturalist.*, **87**, 22-235.
- HERNANDEZ X. E., TAPIA J. C. & BULLER R. E., 1957. — Los pastizales del noroeste. *Agr. Tecn. Mèx.*, **3**, 6-7, 42-43.
- LAUER W., 1973. — Zusammenhänge zwischen Klima und Vegetation am Astabfall der mexikanischen Meseta. *Erdkunde*, XXVII, **3**, 192-213.
- LECOMTE M., 1987. — Essai de phytoclimatologie dynamique dans le Moyen Atlas marocain. *Acta Ecol./Ecol. Gener.*, **8**, 523-535.
- MAULL O., 1936. — Die Bestimmung der Tropen am Beispiel Amerikas. Festschr. 3. *Hunder-Jahrfeier d. Ver. f. Geogr. U. Statistik in Frankfurt a.m.*, **5**, 355-398.
- MINNICH R. A., 1986. — Ranges extensions and corrections for *Pinus jeffreyi* and *P. coulteri* (Pinaceae) in Northern Baja California, *Madroño*, **33**, 2, 144-149.
- MINNICH R. A., 1987. — The distribution of forest trees in northern Baja California, Mexico. *Madroño*, **34**, 2, 98-127.
- MOSIÑO P. A., 1974. — Los climas de la República Mexicana. *El Escenario geográfico. Introducción ecológico* (primera parte), I.N.A.H., México, 57-172.
- MUNZ P. A., 1974. — *A flora of southern California*. University of California Press, 1086 p.
- PASSINI M.-F., 1982. — *Les forêts de Pinus cembroides au Mexique*. Recherche sur les Civilisations (éd.), Cahier n° 9, 373 p.
- TROMBULAK S. C. & CODY Martin L., 1980. — Elevational distributions of *Pinus edulis* and *P. monophylla* (Pinaceae) in the New York Mountains, eastern Mojave Desert. *Madroño*, **27**, 2, 61-67.
- TUKEY J. W., 1977. — *Exploratory data analysis*. Addison Wesley, Reading, Mass.
- VASEK F. C., 1978. — Jeffrey Pine and Vegetation of the Southern Modoc National forest. *Madroño*, **25**, 1, 9-30.
- WIGGINS I., 1980. — *Flora of Baja California*. Stanford Univ. Press, 1 025 p.