

LES MÉCANISMES DES PLUIES
ET LES TYPES DE TEMPS DE SAISON FRAÎCHE
AUX AÇORES

DENISE DE BRUM FERREIRA

L'archipel des Açores est situé dans l'Atlantique Nord entre les méridiens 25° et 31° W et entre les parallèles 37° et 40° N. Orienté WNW-ESE, il est constitué par trois groupes d'îles volcaniques, pour la plupart montagneuses. C'est sur le groupe central qu'a porté l'étude climatique dont on présente ici les résultats ⁽¹⁾.

Le groupe central est constitué par un ensemble de cinq îles assez proches les unes des autres (fig. 1). Graciosa est une île basse aux altitudes inférieures à 400 m et au relief aéré. Terceira, Faial et São Jorge atteignent les 1000 mètres d'altitude, mais leur physionomie n'est pas la même. A Terceira et Faial, les altitudes les plus élevées correspondent à des grands cônes effondrés en caldeira, aux flancs plus ou moins raides, tandis qu'à São Jorge ce sont de hauts plateaux allongés NW-SE et continus qui émergent brusquement des flots. L'île de Pico constitue dans l'ensemble de l'archipel açoréen une exception pleine d'intérêt. Elle porte dans sa moitié occidentale l'excroissance d'un gigantesque cône volcanique intact qui culmine à plus de 2300 m d'altitude.

⁽¹⁾ DENISE DE BRUM FERREIRA, *Contribution à l'étude des vents et de l'humidité dans les îles centrales de l'archipel des Açores*. Thèse de 3^e cycle, Dijon, 1980. Diffusée dans Relatório n° 9, Linha de Acção de Geografia Física, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 1980: vol. I (texte), 437 p. et vol. II (atlas), 192 p.

Les mécanismes des pluies et les types de temps de la saison chaude aux Açores feront l'objet d'un autre article, dans lequel on inclura une bibliographie.

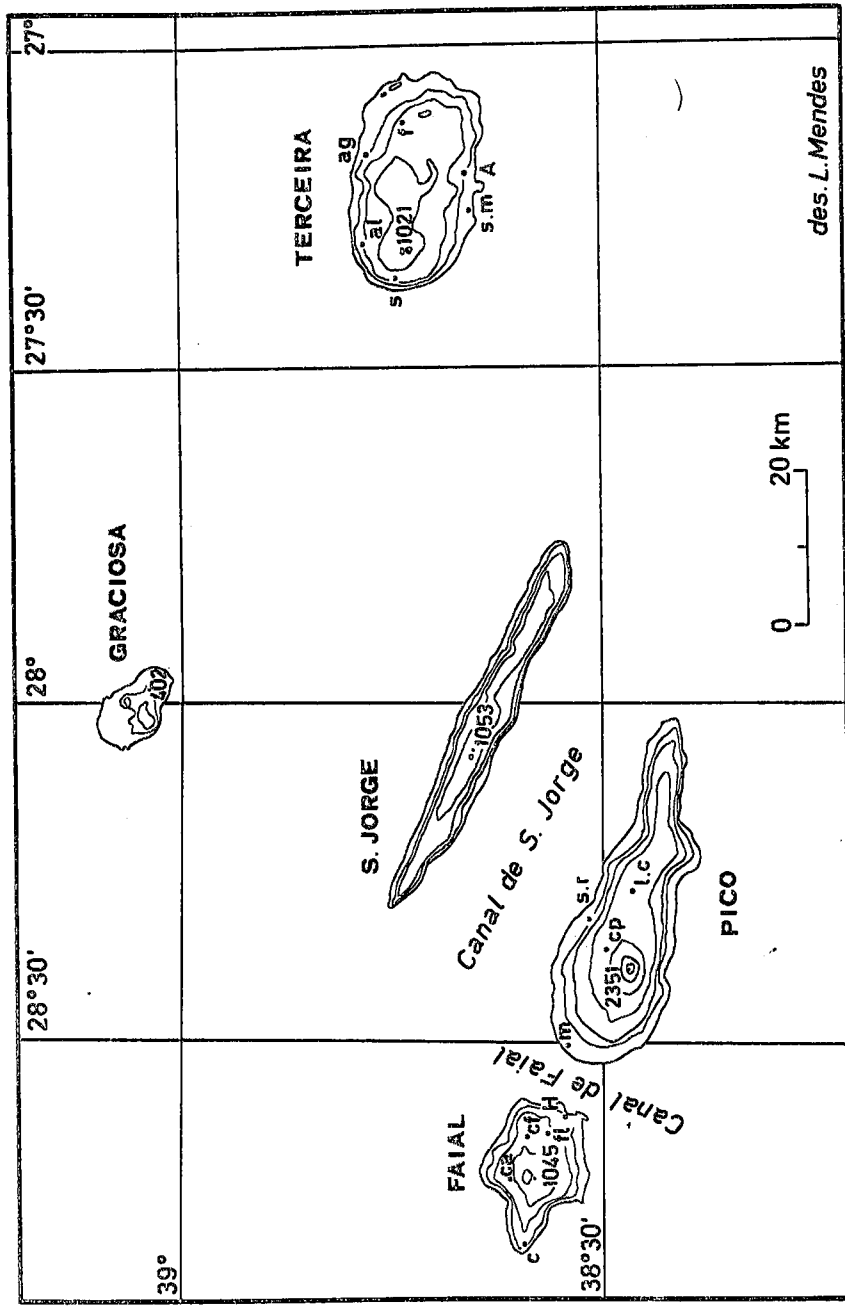


Fig. 1 — Les îles centrales de l'archipel açoréen. Les courbes de niveau de 100 m, 200 m, 500 m, 1000 m, 1500 m et 2000 m ont été tracées. Postes pluviométriques et stations citées dans le texte et dans les figures:

A, Angra do Heroísmo; s. m., S. Mateus; al, Altares; ag, Agualva; f, Fontinhas; H, Horta; c, Capelinhos; ca, Cabouco; cf, Chão Frio; fl, Flamengos; m, Madalena; s. r, S. Roque; cp, Lagoa do Capitão
l. c, Lagoa do Caiado.

De dimensions réduites et situées au centre d'un large bassin océanique ouvert en direction du pôle comme du tropique, les îles subissent l'influence écrasante du milieu marin. L'archipel n'est pas directement affecté par le Gulf Stream ni même par les branches les plus constantes de la Dérive Nord-Atlantique. Il est en quelque sorte sur leur marge méridionale. Les îles sont donc protégées des arrivées d'eaux superficielles froides de l'Atlantique Nord septentrional. La température de l'eau aux abords des Açores est toujours forte. En été seulement, entre juin et août, elle est légèrement inférieure à celle de l'air. Les flux de chaleur sensible (Q_h) sont donc presque toujours positifs et sont maxima en hiver ($50 \text{ cal/cm}^2/\text{jour}$). Ce réchauffement à la base entretient une instabilité thermique de l'air dont les conséquences sont des plus importantes sur les mécanismes des pluies en saison fraîche. Les flux de chaleur latente (Q_e) également forts, sont assez équitablement répartis tout au long de l'année (160 à $190 \text{ cal/cm}^2/\text{jour}$) et, en été, ils sont pratiquement exclusifs. En examinant les deux composantes principales du bilan énergétique (radiation globale et flux de chaleur globale $Q_h + Q_e$), on remarque un surplus radiatif en moyenne 9 mois par an pendant lesquels l'océan stocke de la chaleur. Il n'y a qu'entre novembre et janvier que l'océan libère de la chaleur vers l'atmosphère, dont le bilan radiatif est légèrement déficitaire. L'océan aux abords des Açores est donc une importante réserve de chaleur. Ce sont les conditions moyennes. Au jour le jour, les échanges d'énergie avec l'atmosphère se font en fonction de l'origine des masses d'air. Les plus froides arrivent forcément très instables sur les Açores puisqu'elles subissent un fort réchauffement et une humidification importante à la base, capables de se propager aux couches supérieures si elles sont entraînées dans une circulation cyclonique interdisant toute inversion thermique bien marquée. La moitié fraîche de l'année sera donc la plus convective et on doit s'attendre à ce que les mois qui connaissent la plus grande exportation d'énergie vers l'atmosphère soient les plus pluvieux. Dans toutes les îles, le rythme pluviométrique est le même. L'opposition entre une saison fraîche et pluvieuse et une saison chaude plus sèche est partout bien établie. Les pluies tombent surtout de la fin septembre

à la fin mars où se concentrent les deux tiers des jours pluvieux et 75 % du volume des précipitations. Les régimes de saison fraîche sont assez complexes avec l'apparition de maxima de faible amplitude. Janvier est presque toujours le mois le plus pluvieux de l'année mais mars et octobre ou novembre peuvent être tout aussi arrosés.

Ainsi le rythme pluviométrique açoréen s'explique-t-il par l'intervention de facteurs dynamiques, expression de la circulation atmosphérique générale, mais aussi de facteurs géographiques qui agissent conjointement. On ne doit jamais perdre de vue que les Açores constituent un archipel montagneux loin de toutes masses continentales et baigné par un océan chaud. C'est dans cette optique qu'on a abordé l'étude des mécanismes pluviogéniques et des types de temps durant la saison fraîche.

LES CONDITIONS GÉNÉRALES DE LA CIRCULATION AU-DESSUS DES AÇORES

Plus encore que pour les pays de la façade atlantique de l'Europe moyenne, on s'est aperçu que la seule prise en compte des éléments de surface n'expliquent pas le temps qu'il fait aux Açores. La présence d'un anticyclone au sol n'est pas toujours synonyme de beau temps et une surface frontale balayant les îles peut ne donner aucune pluie. Ces constatations montrent assez que la cause des phénomènes est à rechercher ailleurs, en particulier en altitude.

On sait que la circulation en altitude, dans la zone tempérée, est marquée par un courant d'ouest que l'on connaît sous le nom générique de jet stream. Cette structure du flux d'altitude est liée à la structure thermique de la troposphère. La localisation du courant jet à proximité des Açores est en premier lieu le reflet de l'agencement du bilan radiatif. En effet, c'est à partir de la latitude 35° qu'on passe rapidement, par l'intermédiaire d'une zone de fort gradient thermique, des régions tropicales, où le bilan radiatif est toujours excédentaire, à l'auge polaire au bilan radiatif toujours déficitaire. Cette zone est corrélativement marquée par un fort gradient de pression et la force de Coriolis y est assez puissante pour engendrer un vent circulant parallèlement aux isobares.

Ces noyaux de vents forts au-dessus des Açores, dans 70 % des cas, se situent entre 300 et 200 mb (9000 à 11 000 m d'altitude). L'évolution saisonnière de l'altitude des noyaux de vents forts est d'ailleurs très sensible. De décembre à avril, ils se situent vers 300 mb. Le reste de l'année, ils migrent à une altitude plus élevée, soit 200 mb ou même 150 mb.

L'analyse synoptique de la surface 500 mb a permis de localiser les courants d'ouest forts apparus à l'échelle de la journée. En hiver, au-dessus de l'Atlantique Nord, on en individualise plusieurs zones. Les plus fréquentes se situent sur le 40° parallèle et au nord du 50°. En été, la circulation d'altitude est plus simple. On n'observe qu'un seul flux d'ouest dont la trajectoire est rétractée en gros sur le 50° parallèle. Ces deux saisons extrêmes ont en commun la plus grande fréquence des trajectoires tendues au long des parallèles. C'est l'hiver, cependant, qui présente la plus grande variabilité interannuelle. En hiver, normalement, les Açores sont situées au sud du jet. Tout au plus, l'archipel se trouve en-dessous quand celui-ci a une trajectoire tendue et particulièrement rapide. En année normale, ce sont les crêtes anticycloniques qui dominent la circulation d'altitude au milieu du bassin atlantique et au sud du 42° parallèle. Ces variations dans la localisation des axes de vents forts comme leur plus ou moins grande concentration sont dues aux fluctuations de vitesse, elles-mêmes résultant de l'importance du gradient thermique, non seulement entre le pôle et le tropique mais également entre les cellules chaudes et froides juxtaposées dans la zone tempérée et matérialisées par les dépressions et les anticyclones. Ainsi les translations du jet ne sont-elles pas seulement des faits saisonniers. Dans le détail, toute nouvelle impulsion peut permettre de dépasser un seuil critique de vitesse au-delà duquel le courant glisse vers le sud, se divise, ondule. En fonction de la circulation dans la haute troposphère, il peut prendre une direction SW à S ou NW à N et ainsi se rapprocher des Açores ou au contraire s'en éloigner et disparaître. De ce fait, la connaissance des types de circulation en altitude et de leur évolution est fondamentale pour comprendre les situations synoptiques au sol et les types de temps dont la succession explique les régimes pluviométriques des îles et leur variabilité. Ainsi a-t-on été amené à dis-

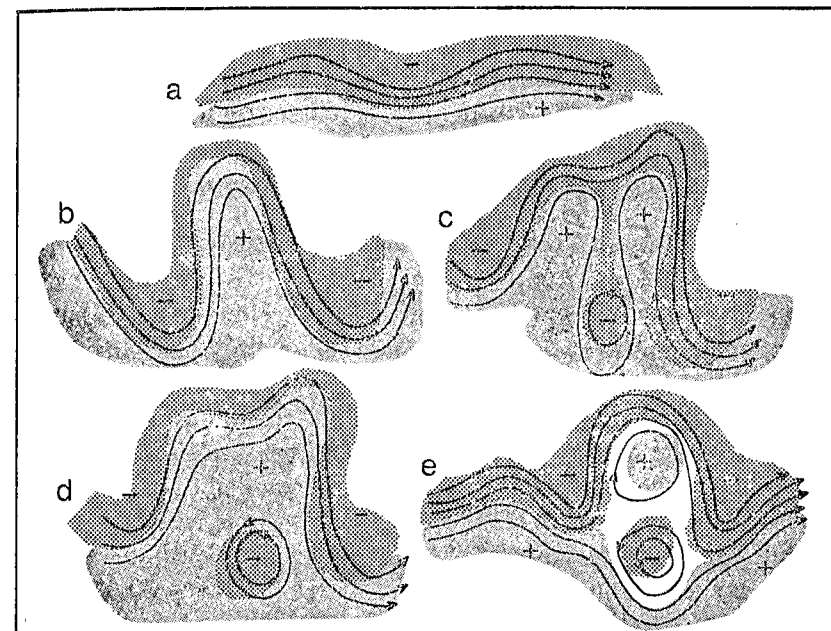
tinguer deux grands types de circulation: la circulation zonale rapide et la circulation méridienne. Cette dernière lorsqu'elle est très lente aboutit au blocage complet du courant jet dans la haute troposphère (fig. 2).

1 — La circulation zonale rapide

Au-dessus des Açores, c'est essentiellement une circulation hivernale. Elle intéresse alors un flux épais entre 30° et 45° N. Elle est matérialisée sur les cartes à 500 mb par des isohypses serrées et tendues au long des parallèles et une zone à fort gradient thermique qui marque le contact franc entre l'air froid, polaire, au nord et l'air chaud, tropical, au sud (fig. 2a). Cette discontinuité se marque jusqu'en surface. C'est le classique front polaire. Front polaire et jet sont donc toujours intimement liés, associés à une forte structure barocline de la troposphère. Il prend en écharpe les Açores en hiver alors que le jet a sa position la plus méridionale et il migre sur le 50° parallèle lorsque la circulation polaire est la plus retractée vers le nord en été. Il suit les régions de l'Atlantique Nord qui présentent le plus fort gradient thermique horizontal. En moyenne, le front polaire balaie donc une large zone orientée SW-NE entre le Cap Hatteras et la mer de Norvège en suivant la trajectoire du Gulf stream, justement là où les transferts d'énergie de l'océan vers l'atmosphère sont maxima en jalonnant les zones de convergence de masses d'air de nature différente. Vue la localisation des régions de cyclogenèses dans l'Atlantique Nord par rapport aux Açores, les perturbations n'arrivent que très rarement sur les îles en phase de jeunesse. Les plus fréquentes sont des perturbations nées sur la moitié occidentale de l'Atlantique Nord qui parviennent mûres sur les Açores et atteignent leur point d'occlusion sur les îles Britanniques. Ce sont donc toujours des cyclones à deux fronts bien individualisés. Avec le jet proche des Açores, ce sont les successions rapides de fronts froids et de fronts chauds qui déferlent sur les îles. C'est le cas le plus courant en hiver. Avec une migration particulièrement méridionale du jet, ce sont les points d'occlusion qui affectent le plus l'archipel et même il peut être entièrement baigné dans l'air polaire cyclonique sous le flanc nord du jet quelques jours par an.

2 — La circulation méridienne

Les ondulations du courant d'ouest naissent dès que la vitesse décroît (fig. 2b). En situation moyenne, on observe sur l'Atlantique Nord centrale une crête de l'ondulation bordée par deux vallées, l'une sur le Canada et l'autre sur l'Europe.



des L. Mendes

Fig. 2 — Représentation schématique des grands types de circulation du courant d'ouest d'altitude. Les lignes de flux sont en traits pleins, l'air froid en pointillé sombre et l'air chaud en grisé.

a — circulation zonale rapide; b à e — circulation méridienne; b — disposition en oméga; c — exagération des ondulations en circulation méridienne très lente; d — isolement d'une goutte froide; e — blocage diffluent.

Les vallées canadiennes apparaissent très tôt en automne (septembre) certainement associées aux premières chutes de neige dans le Grand Nord. La persistance de vallées sur la façade orientale de l'Amérique du Nord résulte également de la déviation cyclonique du flux d'ouest sous le vent des Montagnes Rocheuses. Ainsi la superposition d'effets thermiques et dynamiques sur les mêmes lieux engendre-t-elle

l'existence d'une vallée permanente. Sur le continent européen, les vallées persistantes existent également balayant une vaste zone entre la façade atlantique et le 25° E.

Dans ce dispositif, les Açores appartiennent souvent à la crête de l'ondulation matérialisée en surface par la présence d'une cellule anticyclonique alors que les dépressions axées sur les vallées polaires atteignent les Bermudes et la Péninsule Ibérique. En circulation méridienne la plus lente, des apophyses polaires de l'anticyclone des Açores se construisent. Cependant ce schéma n'est pas statique. Lorsqu'une ondulation cyclonique naît sur la façade orientale de l'Amérique, elle se propage vers l'est sous l'impulsion du courant en entraînant des cyclones migrants. Plus, une vallée du courant d'ouest ne descend pas en latitude en suivant rigoureusement les méridiens, mais elle est déviée vers l'est. On voit l'importance de ce phénomène pour les Açores. Un cyclone né sous une vallée canadienne ou groenlandaise de quelque amplitude a beaucoup plus de chance de balayer l'archipel qu'un autre accompagnant une vallée islandaise ou scandinave. C'est ce fait qui explique que les jets de sud-ouest et de nord-ouest sont plus fréquents au-dessus des Açores que ceux franchement méridiens. C'est pourquoi également la source canadienne et groenlandaise représente 42 % des coulées froides aboutissant aux Açores. La source islandaise représente encore 30 % mais les vallées scandinaves et d'Europe centrale sont indigentes: 9 et 7 % respectivement. Les coulées canadiennes sont typiques de la saison froide entre décembre et avril. Les groenlandaises et les islandaises surviennent tout au long de l'année avec un maximum de fréquence de fin de saison froide pour les secondes. Les scandinaves et encore plus celles originaires d'Europe centrale n'existent qu'aux périodes d'enneigement maximum du continent soit en mars et avril. Les variations interannuelles semblent être fortes. Elles dépendent surtout de l'excentricité du vortex polaire. Un tourbillon polaire anormalement déplacé vers le sud ou se scindant en plusieurs noyaux est particulièrement favorable au glissement des coulées froides à des latitudes plus méridionales que de coutume.

Les vallées polaires canadiennes ou groenlandaises ont un effet plus perturbateur sur le temps que les islandaises puisqu'elles atteignent les Açores par leur flanc oriental. Les

axes de vallée et leurs versants orientaux sont des zones de divergence donc le siège de cyclogenèse au sol tandis que les axes de crête comme leurs versants occidentaux subissent une convergence de l'air qui dissipe les dépressions en surface. Ainsi, en circulation méridienne, même quand l'air polaire baigne les Açores, et que le jet surmonte l'archipel, il suffit d'une convergence sur la bordure occidentale d'une vallée d'altitude pour stopper l'instabilité dans la dépression de surface.

Ce type de circulation lente évolue vers un autre type, cellulaire, où le courant zonal est partiellement détruit. L'exagération des ondulations provoque un grand étirement des vallées polaires en direction du sud et des crêtes aux hautes latitudes (fig. 2c). Aux extrémités des coulées se détachent des gouttes froides (fig. 2d), tout comme des cellules chaudes sont isolées des langues d'air tropical. Gouttes froides et cellules chaudes évoluent ensuite séparément puisqu'elles cessent d'être guidées par le courant zonal.

Les gouttes d'air froid apparaissent fréquemment au-dessus des Açores et revêtent une importance capitale dans l'étude des précipitations comme de certaines modifications soudaines des trajectoires des dépressions de surface. A 500 mb, les gouttes froides ont au moins -20° en hiver et -15° en saison chaude. La durée moyenne d'une goutte froide est très variable. Elle dépend non seulement de sa température mais encore de la circulation dans laquelle elle se trouve isolée. Détachée, certes, mais encore logée dans une vallée de l'ondulation, elle conserve une forte courbure cyclonique, maintient une température basse assez longtemps et se déplace au gré de l'évolution de l'onde planétaire. Si elle est totalement isolée au sud du jet, elle perd rapidement son tourbillon et ses caractéristiques thermiques. Dans ce cas, elle stagne plus fréquemment que dans le type précédent mais elle est plus éphémère. Comme pour les coulées froides, la principale source est le Groenland. Ce sont aussi les plus froides, avec les canadiennes. La source scandinave prend une importance accrue sur l'Atlantique oriental et de même les gouttes originaires d'Europe centrale parviennent beaucoup plus fréquemment au-dessus des Açores que les coulées elles-mêmes. La répartition mensuelle montre que les gouttes froides sont plutôt caractéristiques du début et de la fin de la saison froide

ainsi que de l'été, mais la variabilité interannuelle semble être grande.

La réalité, en fait, est complexe et il est très fréquent de voir évoluer simultanément au-dessus de l'Atlantique Nord deux gouttes froides d'origine différente bordant à l'ouest et à l'est une étroite crête anticyclonique. On obtient ainsi une disposition caractéristique du flux d'altitude en «omega», où les gouttes ont tendance à étrangler de plus en plus la base de la crête anticyclonique. Au sol également, l'oméga est marqué par une cellule anticyclonique bordée à l'ouest et à l'est par des dépressions froides, allant à l'encontre l'une de l'autre. Ces dépressions finissent par fusionner. Au terme de l'évolution, on obtient donc aux hautes latitudes un anticyclone surmonté par une cellule chaude complètement isolée de sa racine subtropicale («cut-off high») et flanquée au sud d'une seule dépression froide. Le flux d'ouest est alors défecté en deux branches diffluentes et la circulation zonale est totalement interrompue aux latitudes moyennes (fig. 2e). Ces blocages de la circulation d'ouest peuvent affecter les Açores directement d'octobre à avril avec un maximum de fréquence en début et en fin de saison froide. Dans les blocages diffluentes, les Açores sont surtout situées sous la branche cyclonique du jet. Ceci se comprend si l'on se souvient qu'en circulation zonale rapide, les trajectoires du jet passent en moyenne au nord de l'archipel. Donc, lors du passage de la circulation zonale rapide à la circulation bloquée, la division du flux d'ouest s'effectue au nord des Açores et c'est la branche défectée vers le sud qui les affecte directement.

Il existe d'autres types de blocages. Dans certains «cut-off highs» la portion septentrionale du courant d'ouest peut prendre une courbure anticyclonique tandis que sa portion méridionale conserve une trajectoire tendue au long d'un parallèle. Dans tous les cas, les Açores sont situées en surface dans la crête anticyclonique qui prolonge en direction du nord celle d'origine subtropicale. Les dépressions d'ouest se trouvent ainsi bloquées contre le flanc occidental de la cellule anticyclonique et amorcent leur remontée vers le nord. Ce phénomène active l'occlusion des fronts. La plupart des fronts occlus qui aboutissent à proximité des Açores arrivent selon ce schéma. Les anticyclones évoluant en «cut-off high» sont relativement stables

et sont capables d'affecter les Açores pendant plus d'une semaine.

Dans les «cut-off lows» provoqués par la coupure d'une coulée froide par accélération du jet sur sa racine, on obtient des dépressions froides particulièrement actives. C'est ce type de situation qui fournit une bonne part des grosses dépressions atlantiques très creusées qui s'immobilisent aux abords des Açores en saison fraîche comme en été.

On comprendra donc aisément que la part que prennent au long de l'année les deux types extrêmes (zonale rapide et méridienne) autour desquels oscille la circulation d'altitude au-dessus de l'Atlantique, détermine les principales caractéristiques climatiques des Açores. Les mois où dominent les échanges méridiens ont des caractéristiques très différentes de ceux où règne la circulation zonale rapide et, surtout, pour ce qui nous intéresse ici, les mécanismes des pluies ne sont pas les mêmes dans l'un ou l'autre type. En circulation méridienne, des dépressions polaires balayent les Açores qui seraient la plupart du temps sous l'influence de la marge nord de l'anticyclone subtropical en circulation zonale rapide. Les circulations méridiennes contribuent également à accroître le nombre de jours anticycloniques au sol en stabilisant des cellules de hautes pressions au milieu de l'Atlantique Nord en saison fraîche alors que l'anticyclone subtropical a sa position la plus méridionale. Les dispositions isobariques de surface au jour le jour dépendent donc de la position des vallées polaires et des dispositifs de blocages en altitude. Si, au bout du compte, ce sont les pressions élevées qui sont l'une des caractéristiques du climat des îles c'est que, même en circulation méridienne, l'archipel conserve encore un certain abri aérologique dont la plus ou moins grande fréquence en saison fraîche explique la variabilité pluviométrique.

Ainsi, en dépouillant systématiquement les bulletins météorologiques journaliers, surtout sur trois années pluviométriquement très différentes (1967 à 1969), on a effectué une première classification des situations synoptiques en fonction des types de circulation en altitude. On a étudié ensuite leur influence à l'échelle locale en privilégiant l'intervention des facteurs géographiques particuliers que représentent des îles montagneuses et un océan chaud. Les types

de temps pluvieux sont la caractéristique principale de la saison fraîche et les répit pluviométriques correspondent à l'installation de crêtes anticycloniques. Cependant, les types de temps anticycloniques sont très variés et méritent une attention particulière.

LES TYPES DE TEMPS PLUVIEUX DE LA SAISON FRAICHE

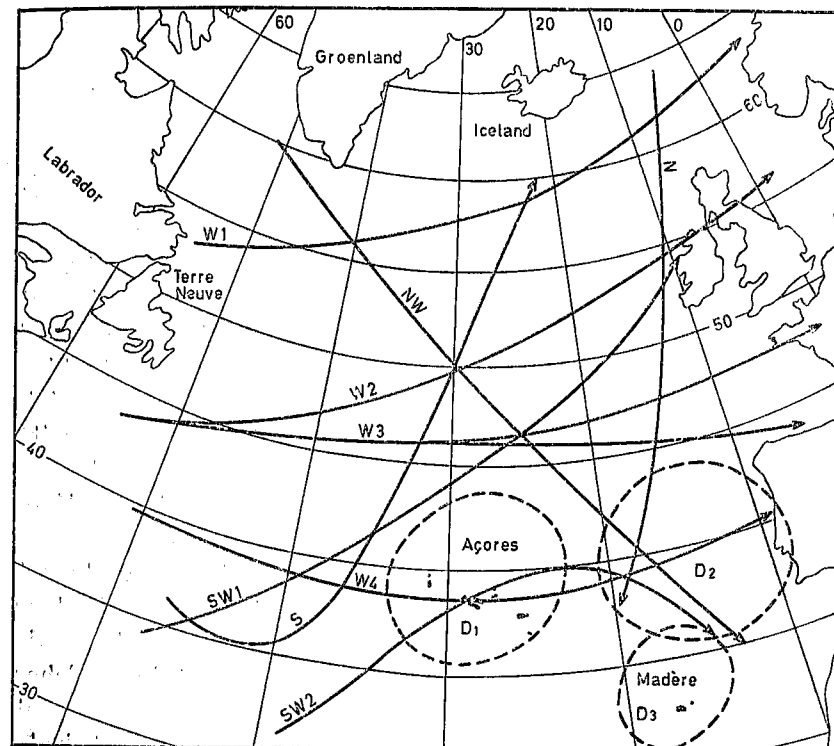
I — LES TYPES DE TEMPS PLUVIEUX D'OUEST

Ce sont les types de temps associés au passage de dépressions qui se déplacent sur l'Atlantique Nord. Ces dépressions jalonnent le flanc septentrional du courant d'ouest d'altitude et en général leur centre passe assez loin des Açores. Cependant, au coeur de l'hiver, en circulation zonale rapide, ou à n'importe quel moment de l'année, en circulation lente (avec une fréquence accrue dans la moitié froide), ces centres dépressionnaires se rapprochent de l'archipel. Il est alors balayé par des familles de perturbations qui provoquent un temps maussade et pluvieux.

1 — Les courants perturbés d'ouest

Les perturbations frontales affectant le plus les Açores sont surtout liées aux dépressions qui traversent l'Atlantique entre Terre-Neuve et les îles Britanniques selon deux voies principales W_2 et W_3 (fig. 3). Par voie W_1 , très fréquente en toute saison sur l'Atlantique Nord puisqu'elle est liée à la présence semi-permanente de la dépression d'Islande, l'archipel n'est guère affecté par les perturbations (accroissement de nébulosité). La voie W_4 moins fréquente (une dizaine de jours par an), alors que le jet a une position très méridionale, place le front polaire au sud des Açores. L'archipel est alors entièrement baigné dans un air polaire cyclonique. Ces quatre voies correspondent à une circulation zonale rapide en altitude. Avec le ralentissement de la circulation et l'accroissement de l'amplitude des ondulations cycloniques du jet, les trajectoires des dépressions au sol prennent une direction franchement SW à S ou NW à N, dont l'influence sur le temps des Açores a une importance primordiale.

Les perturbations du front polaire, quelle que soit la trajectoire suivie, provoquent toujours une dégradation du temps, avec l'apparition d'une forte nébulosité, des pluies parfois intenses, des vents changeants et des sautes de température.



des. L. Mendes

Fig. 3 — L'activité cyclonique aux Açores.

W_1, W_2, SW_1 : trajectoire des courants perturbés lointains; NW, W_3, W_4, SW_2, S : trajectoire des courants perturbés proches des Açores; D : les principales zones dépressionnaires se stabilisant aux abords des Açores. D_1 , dépression açoréenne; D_2 , dépression portugaise; D_3 , dépression madéroise.

Il est malaisé de définir les caractères généraux des perturbations d'ouest, tellement les types de temps qu'elles engendrent sont variables. Les points communs des types de temps qu'on peut espérer trouver sous le front polaire en circulation zonale rapide sont les suivants: températures en moyenne assez douces liées aux caractères de la masse d'air du secteur

chaud (Tm ou Pm de retour) et à ceux du secteur froid toujours constitué d'air polaire maritime ayant fait un long séjour sur l'océan aux latitudes moyennes avant d'atteindre les Açores. Les vents sont variables mais toujours proches de la direction ouest. La convergence entre l'air chaud et l'air froid est modérée. L'air chaud a toujours une forte humidité relative tandis que le secteur froid connaît une baisse modérée. Les perturbations d'ouest ont une succession de types de temps caractéristiques où les pluies les plus fortes et les plus concentrées correspondent en général au passage du front froid ou à son approche. Le front chaud, quant à lui, est accompagné de précipitations plus modestes et même, dans bien des cas, il n'est souligné que par l'apparition d'une forte nébulosité, de stratus bas. Cependant, ces caractéristiques ne s'appliquent pas de façon indiscriminée à tous les secteurs chauds. Ceux-ci peuvent être très pluvieux et connaître des vents forts bien avant l'arrivée du front froid. C'est d'ailleurs sur les précipitations extrêmement variables en quantité et en intensité que porte la plus grande diversité d'une perturbation à l'autre.

Les pluies dépendent en premier lieu du stade de l'évolution de la perturbation. Ce sont les perturbations mûres, en début d'occlusion, qui déversent le plus de pluie. La plupart arrivent sur l'archipel justement dans cette phase de leur évolution. Ce sont celles qui prennent naissance au large de Terre-Neuve. Cependant, certaines ondulations très fraîches nées dans un flux d'ouest épais, perturbé et rapide, peuvent engendrer des épisodes très pluvieux si elles se forment juste sur les îles. Tel a été le cas de la perturbation des 27 et 28 janvier 1968 où les totaux pluviométriques ont été supérieurs à 10 mm dans toutes les îles. On pourrait citer encore le cas de celle du 8 mai 1969 qui a déversé au moins 10 mm sur tous les pourtours et entre 20 et 50 mm dans les massifs.

La structure verticale du secteur chaud est toujours un facteur important de diversité pluviométrique d'une perturbation à l'autre. Le passage d'un secteur chaud peut être accompagné de faibles pluies ou, au contraire, être le siège d'une grande instabilité. Les secteurs chauds des perturbations du 17 et du 22 janvier 1967 offrent une bonne illustration, et les sondages dévoilent une structure verticale très différente dans l'un et l'autre cas. Le 17 janvier 1967, l'air du secteur

chaud est subsident au-dessus de 1000 m (fig. 4, sondage A). L'inversion thermique bloque les ascendances et l'activité du front froid est entravée (catafront). La zone d'inversion thermique est soulignée par une couche de stratocumulus d'où tombent quelques pluies fines (0,1 à 2 mm sur les plateaux). Dans le deuxième cas, il s'agit d'une colonne d'air chaud et humide sur une grande épaisseur (fig. 4, sondage B). L'instabilité règne dans toute la masse d'air et la vitesse du vent croît rapidement avec l'altitude. La plus grande instabilité est attestée par la présence de nuages cumuliformes et des averses copieuses. Tous les littoraux des îles centrales reçoivent de 5 à 10 mm et les massifs entre 20 et 60 mm. L'instabilité s'aggrave encore plus sous le front froid où la convergence avec l'air chaud est accentuée (anafront). L'air chaud est alors violemment soulevé. Ces deux types de structures des secteurs chauds permettent de classer rapidement des perturbations d'ouest. Leur grande variabilité pluviométrique dépend en grande partie de ce facteur, la nature thermique et hygrométrique des masses d'air qui entrent en jeu fournissent un complément d'explication.

Cette structure des secteurs chauds est liée aux caractéristiques du courant d'ouest dans la moyenne troposphère. La position, l'épaisseur, la force et la phase de l'ondulation du jet influent de manière décisive sur l'activité frontale au sol. Deux situations perturbées apparemment identiques au sol mais l'une surmontée par un jet rapide et épais et l'autre guidée par un courant septentrional auront des effets bien différents. La rapidité du flux d'ouest en accord avec l'accroissement de la structure barocline de l'atmosphère active les ascendances. En gros, on a constaté que lorsqu'un jet rapide circule au sud du 45° parallèle, les deux fronts des perturbations affectent les îles et les pluies qu'ils engendrent sont accrues. Les perturbations guidées par un jet trop septentrional effleurent seulement l'archipel. Seul le front froid atteint alors les îles en provoquant tout de même un accroissement de la nébulosité et parfois quelques pluies. Dans le détail, le flux zonal qui surmonte le front polaire n'est pas rectiligne et ce sont les perturbations nées sur la bordure orientale de l'ondulation cyclonique d'altitude qui engendrent les pluies les plus intenses.

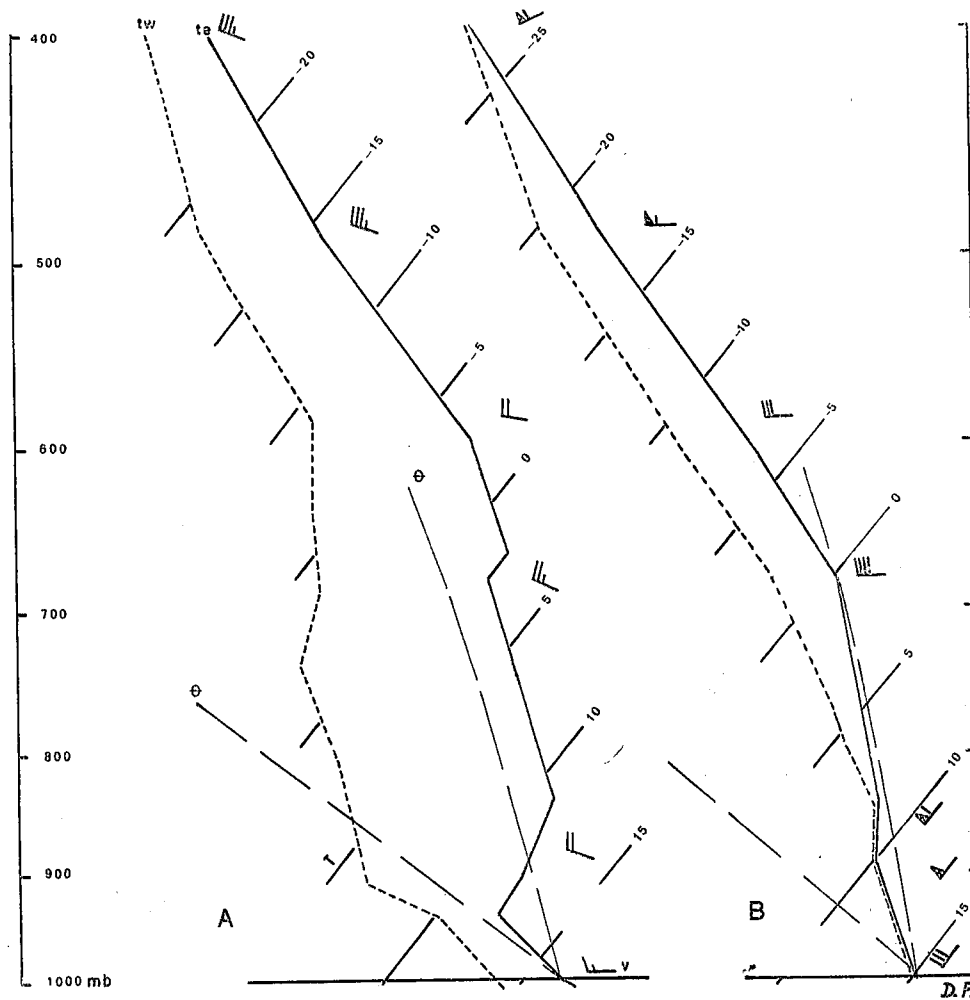


Fig. 4 — La structure verticale des secteurs chauds.

A: coupe dans un secteur chaud de faible activité, le 17 janvier 1967, 12 TMG; B: coupe dans un secteur chaud actif, le 22 janvier 1967, 12 TMG.

Légende générale des sondages: Tous les radiosondages présentés sont ceux effectués à Lajes dans l'île Terceira.

te: courbe d'état; tw: courbe de la température pseudopotentielle du thermomètre mouillé; θ : adiabatique; θ' : pseudo-adiabatique; 900: niveau isobarique en mb; T: isotherme en °C; V: vent; une barbule vaut 10 noeuds; une demi-barbule vaut 5 noeuds; un triangle vaut 50 noeuds; c, calme.

Lorsque le flux zonal se trouve déporté très bas en latitude (de janvier à mars), les Açores sont intéressées par sa face nord. Les perturbations du front polaire sont ainsi reportées au sud. Les fronts occlus passent alors sur les îles. C'est une situation assez originale puisque, ordinairement, en circulation zonale, les occlusions dans l'Atlantique Nord intéressent surtout les latitudes élevées (50° parallèle). En général les fronts occlus sont aussi pluvieux que les fronts froids et sont accompagnés d'épaisses formations nuageuses cumuliformes. Les totaux pluviométriques supérieurs à 10 mm par jour ne sont pas rares sous les fronts occlus mais les points hauts ne sont pas toujours les plus arrosés. On pourrait multiplier les exemples: le front occlus du 7 mars 1969 déversa 27 mm à Capelinhos, 55 mm à S. Roque do Pico mais seulement 15 mm à

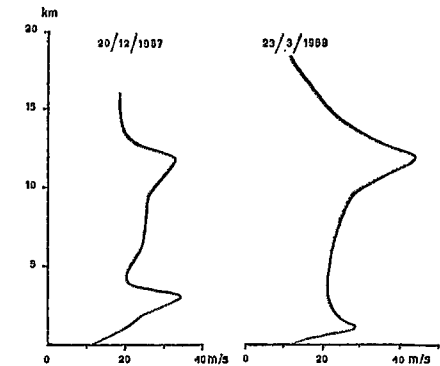


Fig. 5 — Profils verticaux de vitesse de deux jets superposés.

Chão Frio et 18 mm à Lagoa do Caiado, sur les massifs. Le 15 mai 1969, une disposition semblable donne 15 mm à S. Mateus, 17 mm à Agualva, 10 mm à Capelinhos et à 800 m d'altitude 6,3 mm à Lagoa do Caiado mais 17 mm seulement à Lagoa do Capitão. Ceci tient à l'instabilité de l'air froid dans les très basses couches vite stoppée par l'air chaud refoulé en altitude, devenant subsident. L'air chaud d'altitude est en effet beaucoup plus sec que dans le secteur chaud. Il est de plus en plus assimilé à l'air polaire.

La structure-même du jet a une importance capitale. Non seulement c'est sous les jets les plus épais et les plus rapides que l'activité frontale est la plus nette, mais encore la disposition en deux jets superposés (fig. 5) est responsable des très fortes précipitations que l'on observe juste à l'avant des fronts froids. Dans tous les cas observés, les intensités sont étonnantes surtout dans les massifs. Le 20 janvier 1967, les littoraux de Terceira, Faial et Pico ont enregistré entre 20 et

40 mm dans ces conditions. Le sommet du Massif de la Caldeira à Faial a connu des totaux de près de 50 mm et le plateau de Pico, de 100 mm. Le 23 mars 1968, les pluviomètres ont débordé sur la montagne de Pico vers 800 m d'altitude et tous les postes exposés au nord et au nord-ouest ont enregistré entre 30 et 70 mm. Cette structure particulière accélère l'ascendance de l'air chaud et accentue la vigueur de la convergence des masses d'air au long du front froid. A la manière d'une cheminée, ce «cisaillement» vertical du vent assure le tirage.

L'anarchie apparente des totaux pluviométriques d'une perturbation à l'autre se clarifie un peu si l'on tient compte de la manière dont les différents fronts heurtent les versants montagneux (vitesse et direction). Dans cette analyse détaillée des effets locaux, c'est surtout la direction du front froid qui importe puisque c'est son approche qui provoque la plus grande instabilité. Dans les perturbations d'ouest, les mouvements de l'air dans le secteur chaud se font par l'ouest et le sud-ouest. Le front froid se déplace avec une légère composante NW et dans le secteur postérieur froid, cette direction devient prédominante.

En avant du front froid, le flux pluvieux aborde donc de plein fouet les longues échines NW-SE des îles São Jorge et Pico où les ascendances sont soutenues sur près de 700 m contre les reliefs les plus hauts et davantage encore aux abords du grand volcan de Pico (2000 m). Ce qui explique les totaux diluviens que recueille le poste de Lagoa do Capitão. On remarque aussi que les versants méridionaux des massifs de Faial et Terceira sont, dans l'ensemble, davantage touchés par les fronts et secteurs chauds des perturbations d'ouest. Il n'est pas rare relever déjà quelques pluies pré-frontales et de fronts chauds sur les pentes sud de ces deux îles alors que les littoraux orientaux et septentrionaux restent secs.

Avec le passage du front froid, les dissymétries se renversent et ce sont les versants NW qui sont les plus arrosés. Ceci est surtout bien mis en évidence à Terceira. Cependant ce chéma est loin de représenter la règle générale surtout dans le régime d'averse du front et secteur froids. En effet, les nuages à développement vertical (cu, cb, nb) déversent de fortes pluies mais sur des espaces réduits.

2 — Les tempêtes cycloniques d'ouest

Elles correspondent à d'énormes cellules cycloniques qui apparaissent au large de Terre Neuve et passent sur les Açores en engendrant des vents forts d'ouest et de grosses pluies. Normalement, ce genre de dépression, après être né sur l'Atlantique occidental, suit une trajectoire septentrionale par le sud du Groenland et l'Islande ou tout au plus le 50° parallèle en aboutissant sur les îles Britanniques (voies W_1 ou W_2 de la figure 3). Une recrudescence de l'activité cyclonique sur l'Atlantique central, également marquée par une poussée polaire d'altitude généralisée, fait migrer à des latitudes méridionales des dépressions mobiles très creusées ou la dépression semi-permanente d'Islande elle-même.

Du 8 au 22 mars 1969, par exemple, l'Océan Atlantique Nord dans son entier s'est trouvé enveloppé dans une immense auge cyclonique correspondant à un déplacement anormalement méridional de la dépression d'Islande (fig. 6). Celle-ci était centrée par 47° N/41° W soit plus de 1000 km au sud de sa position normale. L'anticyclone des Açores fut alors réduit à une cellule très localisée, faible (1019 mb) et centrée sur les Canaries.

Aux Açores, la pression a présenté une anomalie négative de 15 mb. Les vents d'ouest ont soufflé avec force durant deux semaines. À Horta, la vitesse moyenne journalière du vent a toujours été supérieure à 35 km/h et, du 8 au 13 mars, elle a même dépassé les 50 km/h avec des rafales de plus de 100 km/h. Le mauvais temps a été généralisé avec de grosses pluies parfois orageuses. La vitesse du vent entre 9000 et 11 000 m dépassait les 100 noeuds (fig. 6). C'est cette vigueur de la circulation au-dessus des Açores qui explique l'abondance des pluies recueillies. L'air froid surplombe l'archipel. Les échanges de chaleur entre l'océan et l'air se renforcent. Ce sont des masses d'air très convectives qui déversent de copieuses averses dès qu'elles parviennent à saturation. Le maintien d'un fort gradient thermique avec l'altitude se marque bien sur le sondage du 20 mars. Le point de congélation est atteint vers les 2000 m d'altitude et l'ascendance forcée au long des pentes fortes du Pico est suffisante pour saturer l'air à cette

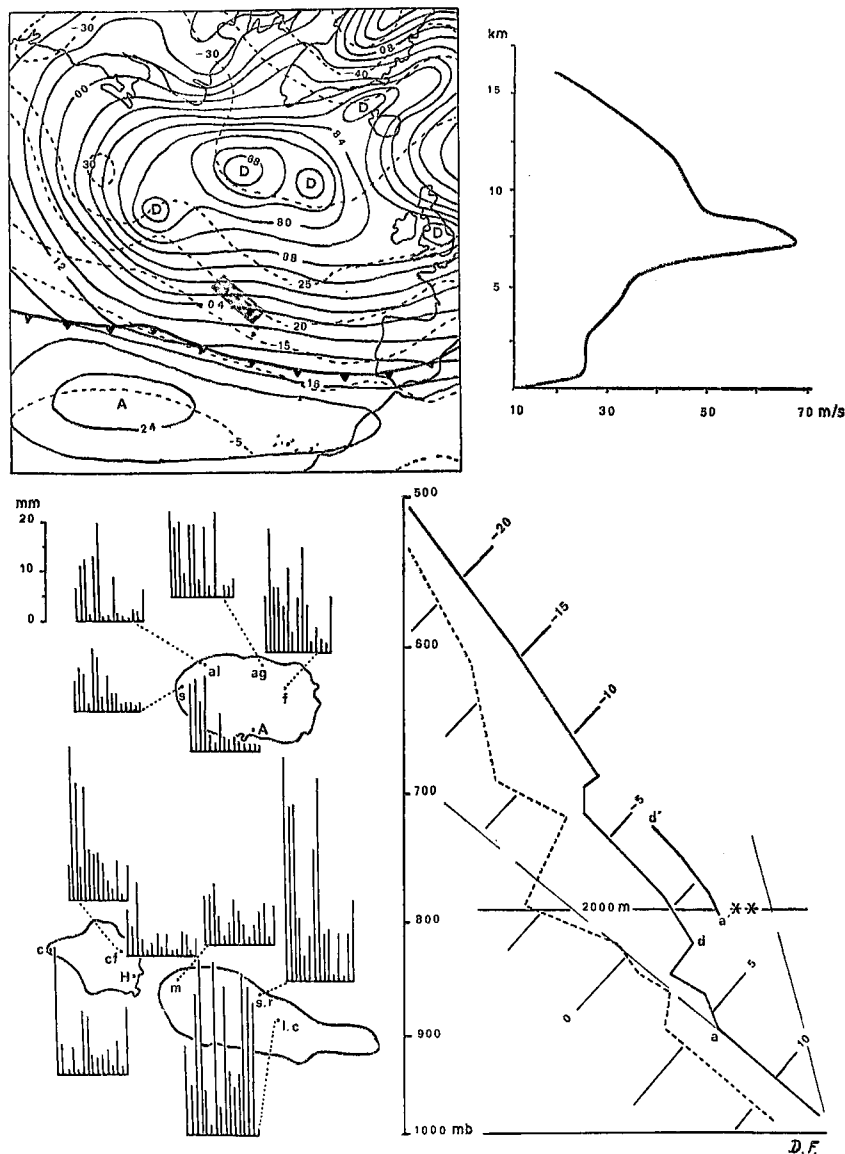


Fig. 6 — Les tempêtes d'ouest: l'exemple du 8 au 22 mars 1969.

En haut et à gauche: la situation isobarique au sol, le 13 mars 1969 et les isothermes à 500 mb (équidistance des isobares, 4 mb et des isothermes, 5° C; la position de l'archipel est soulignée par un rectangle sombre); en haut et à droite: profil vertical de la vitesse du vent le 16 mars 1969; en bas et à gauche: distribution des pluies à Terceira, Faial et Pico du 8 au 22 mars 1969; en bas et à droite: sondage du 20 mars 1969, 12 T.M.G. L'étoile indique la neige. a' d' est la nouvelle courbe d'état après soulèvement de la masse d'air de 900 mètres entre a et d.

altitude. Les conditions sont remplies pour que la neige apparaisse au sommet du volcan.

Contrairement aux types de temps perturbés d'ouest, les dissymétries pluviométriques entre les différentes portions des îles lors des grandes tempêtes d'ouest sont étouffées. Ce sont les îles dans leur ensemble qui sont copieusement arrosées.

II — LES COURANTS PERTURBÉS DE SUD-OUEST

On a désigné sous ce terme les types de temps associés au déplacement de fronts (voies SW et sud) et de masses d'air maritime de SW en circulation méridienne ou bloquée. Ce sont des systèmes dépressionnaires qui provoquent un temps souvent doux très pluvieux et des vents violents. Ils sont responsables d'une bonne part des grandes tempêtes de saison froide aux abords des Açores. Les bourrasques de SW apparaissent dès octobre, de façon fugitive durant quelques jours; puis, en novembre et décembre elles peuvent devenir très persistantes (15 à 20 jours consécutifs) et elles ne disparaissent que vers le mois de mai.

Elles sont engendrées par trois types principaux de disposition isobarique. Ce sont tout d'abord *les systèmes dépressionnaires mobiles nés sous le versant oriental des vallées planétaires de grande amplitude* provenant du Groenland ou du Canada et qui s'étirent vers les basses latitudes à l'ouest de l'archipel. C'est une situation qui arrive lorsque la circulation polaire est ralentie surtout en début d'automne ou au printemps. Un second type, plus persistant, correspond aux ondulations frontales développées sous *le versant oriental des vallées d'altitude bloquées* sur le méridien des Açores par une crête anticyclonique couvrant tout l'Atlantique oriental. Cette situation typique en circulation méridienne bloquée peut affecter les Açores une bonne partie des mois de décembre à avril. Ce sont les dispositions isobariques en oméga dans lesquelles les Açores sont placées sur la bordure occidentale de l'anticyclone de blocage.

Les courants perturbés de sud-ouest sont également dirigés par *des dépressions stabilisées au sud des Açores*, axés sur une goutte froide. Réalisées en situation de blocage de la circulation d'altitude, elles jalonnent le flanc sud d'un anticyclone

et dirigent des vents violents de sud et de sud-ouest. Quoique plus rare, cette situation mérite néanmoins d'être signalée.

1 — Quelques exemples de types de temps perturbés de sud-ouest

a — *Les dépressions mobiles.* — Du 9 au 12 mai 1969, une dépression s'approche des Açores par l'ouest, passe sur l'archipel et s'éloigne vers l'est en direction de la Péninsule Ibérique, en suivant le 45° parallèle. Cette trajectoire marque le déplacement ouest-est dans la moyenne troposphère d'une coulée froide groenlandaise (fig. 7). Le déroulement du temps durant cette période se calque exactement sur l'évolution des masses d'air d'un secteur à l'autre de la dépression et du passage de l'air froid en altitude.

Le 9 mai, le temps est doux à Terceira (minimum matinal de 14°) et très humide. Un toit épais de strato-cumulus dès 150 m d'altitude cache entièrement le ciel. Le vent vient du SW; d'abord modéré (20 km/h), il se renforce dans l'après-midi et surtout les rafales deviennent plus âpres (75 km/h). Des pluies fines tombent depuis le matin (0,2 à 1 mm). Les cartes synoptiques montrent que l'archipel est placé dans le secteur SE d'une dépression (990 mb) surmontée tout d'abord par le versant occidental de la crête chaude d'altitude puis par le versant oriental de la vallée froide où circule un courant de SW particulièrement fort (55 noeuds dès 700 mb et 100 noeuds vers 425 mb). Le sondage du 9 mai (sondage A) à 12 TMG effectué à l'approche de la vallée froide d'altitude montre que les Açores baignent dans une masse d'air tropical très humide sur plus de 2500 m. Elle est très instable surtout vers les 2000 m où elle est attaquée par un coin d'air froid. Dans l'après-midi, les pluies deviennent copieuses (supérieures à 10 mm sur les littoraux et entre 20 et 35 mm en altitude). Avec l'arrivée du corps de la vallée planétaire le 10 mai, l'archipel est placé dans la colonne dépressionnaire. L'air tropical est remplacé par un air polaire froid sur toute l'épaisseur de l'atmosphère (chute de température peu marquée sur le littoral mais de 5° vers 1000 m d'altitude) et c'est un tout autre type de temps qui s'installe sur les îles.

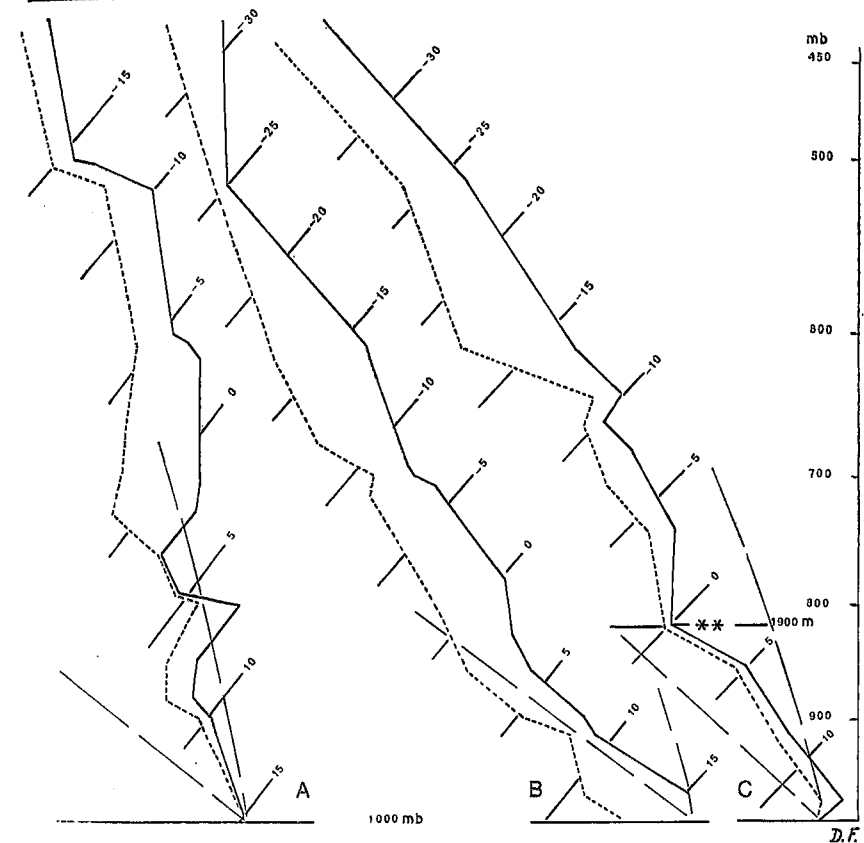
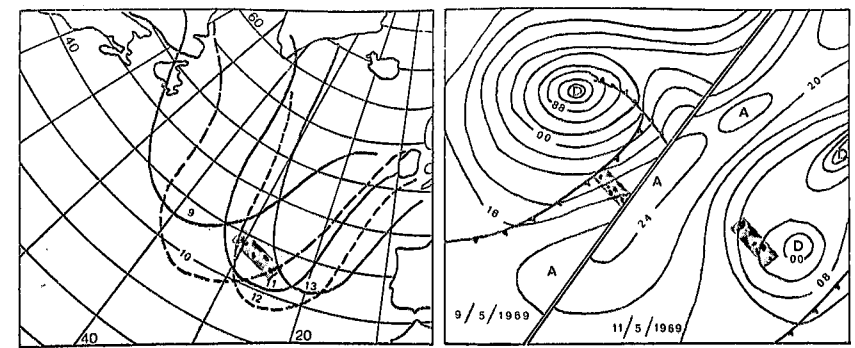


Fig. 7 — La dépression mobile du 9 au 12 mai 1969.

En haut et à gauche: le déplacement de la vallée polaire d'altitude entre le 9 et le 13 mai 1969 matérialisé par l'évolution de l'isotherme — 20° à 500 mb; en haut et à droite: la situation synoptique au sol le 9 et le 11 mai 1969; en bas: A — sondage du 9 mai 1969, 12 TMG dans le secteur SW de la dépression à l'approche de la vallée froide d'altitude; B — sondage du 10 mai 1969, 12 TMG dans l'aire dépressionnaire sous la vallée polaire; C — sondage du 11 mai 1969, 12 TMG, dans le secteur postérieur de la dépression sous le versant occidental de la vallée d'altitude.

b—*Les courants perturbés de sud-ouest persistants.*— La période du 6 au 20 décembre 1967 a connu de façon ininterrompue le passage de courants perturbés de sud et de sud-ouest. Une dépression stagnait à l'ouest des Açores, bloquée contre un anticyclone qui occupait tout l'Atlantique oriental au nord du 30° parallèle (fig. 8). A 500 mb, souffle un jet de SW rapide (de 50 à 75 noeuds) sur le versant oriental d'une vallée polaire qui s'étire du Groenland aux latitudes subtropicales. Du 6 au 10 décembre, l'advection d'air tropical maritime sur la bordure occidentale de l'anticyclone s'accompagne d'un temps très doux et humide (minimum à Angra de 15° et 98 % d'h. r.). Le plafond nuageux stratiforme est bas et épais. Des pluies éparses tombent sur les littoraux exposés au sud et au sud-ouest (0,5 à 1 mm par jour dans toutes les îles centrales). C'est dans cet air chaud et humide et à l'approche d'un front froid que commencent à tomber les pluies les plus fortes les 10 et 11 décembre. Tous les littoraux indépendamment de leur exposition reçoivent au moins 30 mm et les 100 mm sont atteints au sommet de la Caldeira de Faial et sur le plateau de Pico. Ces précipitations abondantes s'expliquent par l'extrême instabilité de l'air chaud et humide sous le front froid, et par la vigueur de la circulation de SW du versant oriental de la vallée polaire d'altitude qui surmonte l'archipel. Cette situation se maintient jusqu'au 17 décembre et provoque des pluies intenses dans tout l'archipel avec de très fortes lames journalières (fig. 8).

2—*Les caractéristiques des courants perturbés de sud-ouest*

Les types de temps associés aux courants perturbés de SW ont tous un point commun: *leur virulence pluviométrique.* Celle-ci s'explique avant tout par les conditions de circulation dans la moyenne troposphère. La distance qui sépare le centre dépressionnaire des Açores joue donc de façon décisive sur les précipitations.

Quand la dépression est éloignée, l'archipel appartient encore à la bordure occidentale de la crête anticyclonique qui dirige un flux de sud relativement stable (subsidence). Avec le rapprochement du versant oriental de la vallée froide

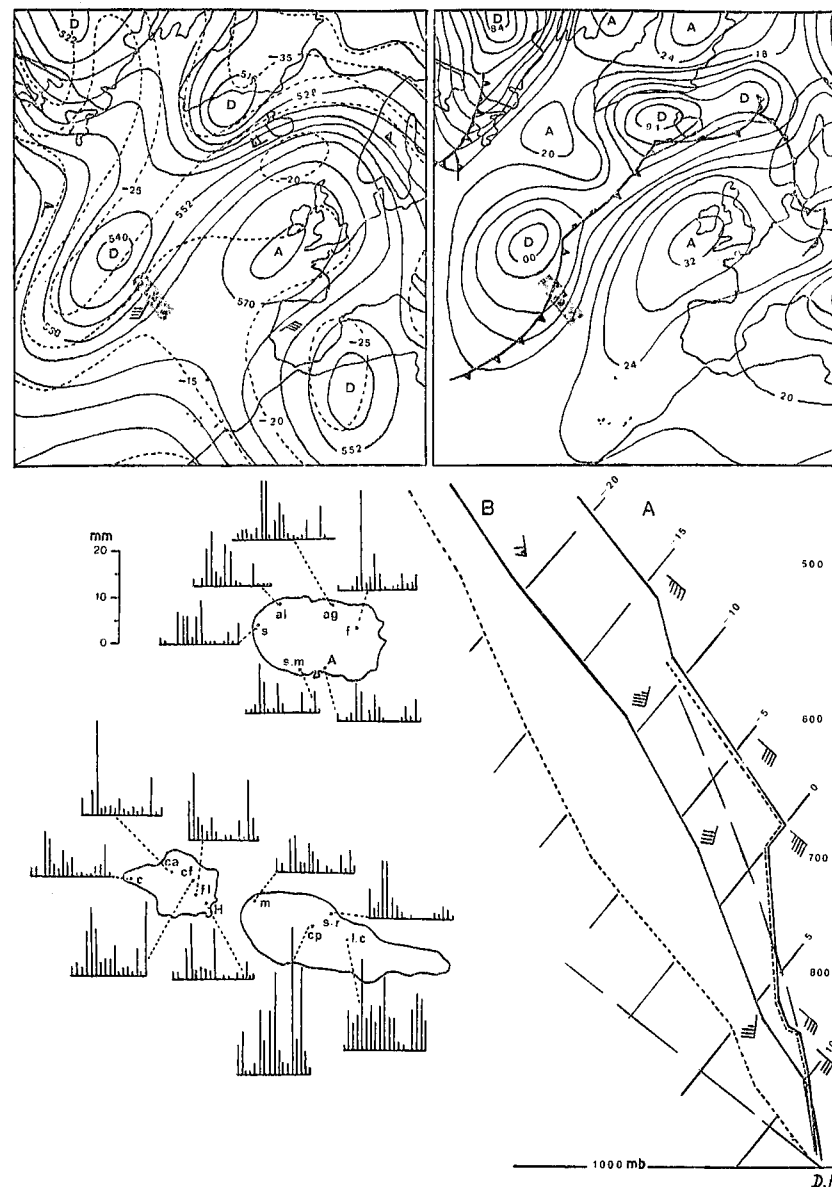


Fig. 8—Le courant perturbé de SW persistant de décembre 1967.

En haut et à gauche: la surface 500 mb du 13 décembre 1967 (équidistance des isallobares, 4 dam et des isothermes, 5°); en haut et à droite: la situation synoptique au sol correspondante; en bas et à gauche: les pluies du 6 au 23 décembre 1967; en bas et à droite: A — sondage du 14 décembre 1967 dans l'air tropical maritime du secteur chaud de la perturbation; B — sondage du 15 décembre 1967 dans l'air polaire de retour par le SW du secteur postérieur de la dépression.

d'altitude, où coule en général un jet de SW fort, les îles sont plus engagées dans le secteur oriental de la dépression de surface; elles connaissent des vents forts et le mauvais temps très pluvieux surtout au passage des fronts froids, d'autant plus actifs que l'advection polaire d'altitude est rapide et puissante. Dans ce cas extrême, le front froid devient un front surplombant le secteur chaud; ce qui provoque une très forte instabilité convective, des pluies diluviennes et des orages. C'est ainsi que les bourrasques les plus virulentes accompagnent toujours les coulées froides de grande amplitude dont l'axe s'étire immédiatement à l'ouest de l'archipel jusqu'aux latitudes subtropicales, en circulation méridienne lente. Elles deviennent très fréquentes à partir de novembre et persistantes. Ce sont elles qui expliquent l'importance des vents de SW aux Açores, non seulement dans la première moitié de la saison pluvieuse mais également dans les moyennes annuelles (20 % à Angra). Dans la moyenne troposphère, aussi on a noté une fréquence appréciable des trajectoires SW des jets (40 jours/an), direction qui marque bien la position relativement constante de l'archipel sur le versant oriental des vallées groenlandaises et canadiennes, les seules capables d'engendrer des bourrasques de SW sur les îles du groupe central. Dès lors, on comprend la précocité de ces types de temps en automne et début d'hiver et leur abondance pluviométrique, puisqu'à cette époque de l'année, en circulation lente, les premières coulées groenlandaises bien alimentées en air froid parviennent au-dessus de l'Océan Atlantique subtropical, particulièrement chaud. Une forte instabilité barocline avec l'établissement d'un jet de SW violent apparaît alors sur la bordure orientale de la vallée d'altitude dont l'axe n'est jamais très éloigné à l'ouest du fuseau des Açores. Les plus grandes lames d'eau recueillies en automne par ces types de temps sont donc parfaitement expliquées. Il faut ajouter que le blocage fréquent des systèmes perturbés de SW contre une crête anticyclonique centrée sur l'Atlantique Oriental à partir de décembre contribue grandement à augmenter les totaux pluviométriques, à condition que les courants perturbés n'évoluent pas sous la crête chaude d'altitude.

L'orientation des axes montagneux et les conditions topographiques locales expliquent ensuite, à une échelle plus fine,

la diversité pluviométrique. Beaucoup d'accidents topographiques aux Açores ont une orientation NW-SE. C'est tout d'abord l'orientation générale des îles de Pico et São Jorge, puis celle d'un grand nombre d'alignements des cônes volcaniques. Pico et São Jorge s'orientent donc perpendiculairement au flux pluvieux dans les bourrasques de SW. Les pentes très escarpées exposées de plein fouet aux vents de SW toujours rapides ne peuvent que renforcer les ascendances dans un air déjà instable. Il s'agit d'un véritable soulèvement en bloc de plus de 600 m des masses pluvieuses au-dessus des plateaux. Pour Faial et Terceira, aux pentes moins agressives, le phénomène doit jouer, mais dans une moindre mesure. Leur forme ovale facilite de leur côté une certaine division du flux autour des îles; on a remarqué que, justement, les secteurs NE sous le vent, mais situés dans le tourbillon cyclonique du flux de SW contournant les îles de Terceira et Faial, étaient bien arrosés. À Faial, ce qui semble jouer surtout c'est le Canal de Faial, orienté SW-NE, où converge le flux pluvieux. L'accélération des vents de SW est nette dans le Canal. Ceux-ci doivent représenter non seulement les vents accompagnant les perturbations comme ceux défectés contre le flanc sud du volcan de Pico. Convergence et accélération ne peuvent qu'accroître les ascendances sur la portion orientale de Faial et même sur le littoral nord de l'île de Pico.

Enfin, les perturbations de SW ne sont pas toujours responsables de temps plus chauds que celles d'ouest. Seules celles accompagnant les dépressions nées sous les vallées de grande amplitude provoquent des températures plus hautes que la normale et, dans ce cas, l'air qui se situe à l'arrière des fronts froids est tiède et souvent aussi humide que l'air du secteur chaud. Ceci tient à son long parcours maritime avant d'atteindre les îles par le SW. Lorsque les perturbations accompagnent une dépression polaire centrée au NW des Açores, le réchauffement, comme l'humidification des basses couches, reste très modéré. Les différences de températures entre les secteurs chauds et froids sont alors beaucoup plus sensibles, à la manière des perturbations d'ouest.

On a regroupé sous ce terme les types de temps accompagnés d'une baisse sensible des températures dans les îles, pluvieux sur les littoraux et bien souvent neigeux en altitude. Ils correspondent aux courants perturbés de NW et de N ainsi qu'aux advections d'air polaire maritime direct en circulation cyclonique. Ces types de temps pluvieux de NW et de N ont une importance accrue aux Açores à partir de janvier et on les retrouve souvent jusqu'à la fin du mois de mai. Ils correspondent à trois grands types de dispositions isobariques. Ce sont tout d'abord les dépressions mobiles sur les Açores accompagnant une vallée planétaire en migration vers l'Est. Ils matérialisent ensuite les trajectoires NW-SE des dépressions accompagnant le front polaire dérivé du nord des Açores. Enfin, ils résultent de dépressions froides immobilisées au N ou au NE de l'archipel qui sont axées sur des gouttes froides polaires ou arctiques.

1 — L'enchaînement des types de temps engendrés par une dépression mobile sur les Açores

Reprenons le cas de la dépression mobile qui affecta les Açores du 9 au 12 mai 1969 (fig. 7). En quelques jours, en passant d'un régime de SW à un régime de NW, les îles ont été soumises à des types de temps très différents. Le secteur antérieur de la dépression engendre un temps doux, humide, un ciel bas de stratus et strato-cumulus qui ne déversent des pluies que lorsque le versant oriental de la vallée d'altitude surmonte les Açores. L'air et l'océan ont des températures voisines qui limitent beaucoup les transferts de chaleur et d'énergie. Quand la dépression passe sur l'archipel, avec la rotation des vents au NW, l'arrivée d'une masse d'air maritime froid sur l'océan chaud et la présence dans la moyenne troposphère d'air glacé surplombant, les ascendances deviennent très actives. L'évaporation est forte, des cumulo-nimbus envahissent le ciel et crèvent en averses froides sur l'ensemble des îles. La neige fait son apparition sur les sommets dès que la température tombe à 0°. Sur le secteur postérieur de la dépression, déjà sous le versant occidental de la vallée

d'altitude, l'air polaire froid qui déferle par le NW reste convectivement instable (sondage c de la figure 7). Des averses copieuses crèvent encore de gros nuages d'instabilité verticale et les éclaircies ne deviennent prédominantes qu'avec l'arrivée de l'ondulation anticyclonique dans la moyenne troposphère.

Les effets des perturbations du front polaire dérivé sont semblables à ceux des secteurs postérieurs des dépressions mobiles; ils sont tout simplement plus durables. Les pluies tombent au plus près des fronts froids et d'autant plus intensément que le versant occidental de la vallée froide d'altitude surmonte les îles. Les effets des masses d'air convectives qu'on vient de décrire se renforcent lorsque, pendant plusieurs jours, une dépression froide stagne au NE de l'archipel.

2 — Les dépressions stabilisées au NE des Açores

Elles sont axées sur des gouttes froides (cut-off low) issues de coulées islandaises, scandinaves et même arctiques. Les Açores sont alors atteintes par leur secteur SW. Cette situation se maintient tant que la goutte froide d'altitude garde ses caractéristiques. Leur originalité réside dans la persistance du type de temps pluvieux de NW et le renforcement du caractère froid lorsque c'est de l'air arctique qui parvient sur l'archipel. Ces advections d'air arctique ne sont pas rares sur les Açores. Elles surviennent toujours de la même manière en circulation cyclonique à composante nord surmontée par la vallée froide de la branche orientale des «oméga». Elles affectent surtout le mois de février. L'arrivée de l'air arctique est soulignée par des fronts froids successifs marquant l'afflux en cascade d'air de plus en plus froid.

Du 17 au 22 février 1969 (fig. 9) avec la stabilisation d'une dépression arctique à l'est des Açores, les températures ont été bien inférieures à la normale. Les moyennes journalières n'ont pas dépassé 10° (la normale de février est 14°). Les maxima sont restés autour de 11° (anomalie négative de 5°) et les minima vers 7° représentent les températures les plus basses qu'on peut trouver avec quelque fréquence aux Açores par temps froid. Elles s'expliquent par le fort refroidissement nocturne. La nébulosité est rythmée sur le régime des averses et des éclaircies et, la nuit, le moindre dégagement du ciel

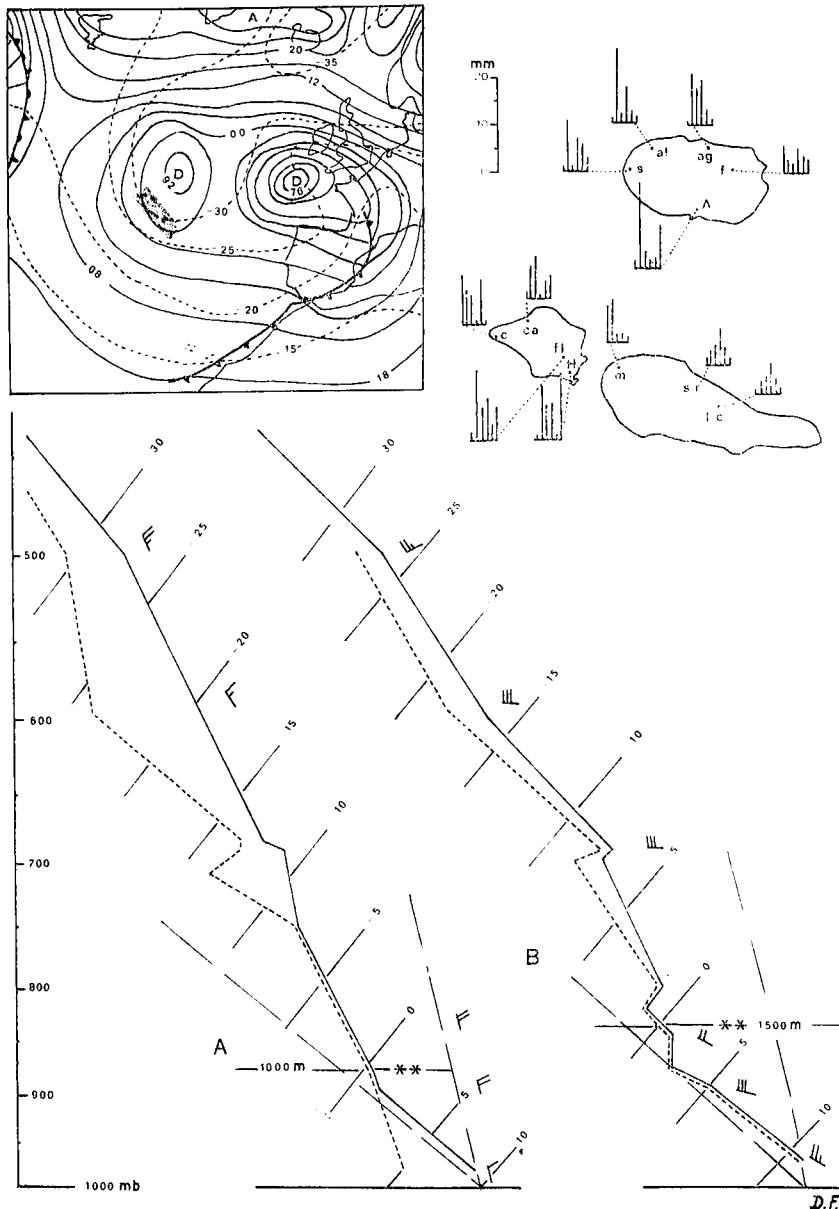


Fig. 9 — La dépression froide de février 1969.

En haut et à gauche: la situation synoptique au sol le 19 février 1969 et les températures au niveau 500 mb; en haut et à droite: les pluies du 17 au 22 février 1969; en bas: A — sondage du 19 février 1969, 12 TMG, effectué au début de l'invasion d'air arctique; instabilité absolue sur les 900 premiers mètres dans un air relativement sec; B — structure verticale de l'air le 20 février 1969. Gradient suradiabatique sur 1000 mètres dans un air saturé.

dans cet air glacé fait tomber les températures même en bordure de mer. Les précipitations n'atteignent jamais des valeurs spectaculaires: 2 à 5 mm sur les littoraux et 15 à 20 mm en montagne. Ceci tient au fait que l'air froid a une faible capacité hygrométrique et que l'instabilité est entravée sous le versant occidental de la vallée d'altitude. Cependant les averses sont possibles car dans son trajet maritime l'air arctique a subi des transformations thermodynamiques importantes dans les basses couches. Les sondages effectués dans cet air cyclonique (fig. 9 A et B) montrent qu'en circulant sur des eaux de plus en plus chaudes, il s'est réchauffé et humidifié sur près de 900 m. Le gradient thermique vertical est accentué et l'instabilité absolue est atteinte dans les basses couches. Cette structure explique le développement de nuages cumuliformes à caractère orageux et les averses sur les pourtours concomitantes de chutes de neige sur les sommets. Le point de congélation peut même se trouver au-dessous de 1000 m d'altitude. Tel fut le cas du 18 février 1969 où la neige tombait sur le sommet des caldeiras de Faial et de Terceira ainsi que sur les hauts plateaux de Pico et São Jorge. Cette particularité ne se reproduit pas tous les ans et accompagne les invasions polaires les plus puissantes. Sur 25 hivers consécutifs de la période 1951-1976, on a dénombré 13 cas de chutes de neige à 1000 m d'altitude, tous en janvier ou février. A 1500 m, il peut déjà neiger une quinzaine de jours par an entre décembre et mars. Au sommet du Pico, vers 2000 m, les conditions pour qu'il neige sont remplies une soixantaine de jours entre novembre et mai. La variabilité interannuelle est cependant très forte et elle s'explique par la plus ou moins grande fréquence des coulées polaires vigoureuses. Les types de temps générateurs de neige sont en majorité ceux de N et de NW en faisant affluer l'air polaire direct ou arctique sur les Açores. Toujours froids et humides, ils s'individualisent nettement des types de SW. Dans les types perturbés de NW, les directions suivies par les fronts favorisent les versants NW et ouest tandis que dans ceux de SW, les fronts attaquent les îles par le SW. On a donc une inversion des contrastes pluviométriques régionaux. Cependant cette inversion n'est pas aussi brutale qu'on pourrait le penser. Certes, ce sont les versants nord et NW qui sont arrosés en premier lieu mais le style très différent

des précipitations en type de NW contribue à nuancer le schéma général. C'est une succession d'éclaircies et d'averses tombant dans un air polaire direct dont la capacité hygrométrique est moindre que celle de l'air tropical ou polaire de retour. C'est pourquoi, malgré leur grande instabilité, les types de NW ne déversent pas toujours plus de pluie que ceux de SW au point de renverser les dissymétries.

LES TYPES DE TEMPS ANTICYCLONIQUES DE SAISON FRAÎCHE

L'abondance et la persistance des pluies est la principale caractéristique de la saison fraîche. Celle-ci connaît néanmoins quelques répit pluviométriques qui correspondent toujours à l'installation de dorsales barométriques sur les Açores. Elles peuvent être très éphémères, pendant une journée voire quelques heures, ou, au contraire, s'installer une bonne partie du mois. D'ailleurs, pendant la saison fraîche, les mois qui présentent les plus fortes anomalies pluviométriques négatives sont ceux qui connaissent le plus grand nombre de jours anticycloniques.

Cependant, il ne faut pas conclure hâtivement que les situations anticycloniques sont dépourvues de précipitations car les types de temps qui les accompagnent sont tout aussi variés que ceux des situations cycloniques. Ils dépendent non seulement de la structure verticale des anticyclones mais également des masses d'air dont ils sont alimentés. Des variations apparaissent en fonction de la position de l'archipel par rapport à la cellule de hautes pressions. Ainsi, on a classé les situations anticycloniques en deux grandes familles: celles qui engendrent un temps nuageux et humide, voire pluvieux et celles accompagnées par du beau temps; les températures permettant ensuite dans chaque famille de dégager quelques sous-types.

1 — LES TYPES DE TEMPS ANTICYCLONIQUES HUMIDES

Le type de temps anticyclonique le plus fréquent en saison fraîche mais aussi le plus éphémère est celui qui marque les décharges froides à l'arrière des perturbations du front polaire.

C'est le ciel de traîne qui conditionne le temps jusqu'à l'arrivée de la perturbation suivante.

Outre ce type de temps frais et nuageux des décharges polaires post-frontales, on a relevé deux autres types de temps anticycloniques humides toujours liés à la proximité du courant d'ouest dans la moyenne troposphère.

1 — *Le temps anticyclonique frais ou froid à giboulées*

Du 3 au 6 mai 1968, un anticyclone très étiré en latitude atteint les Açores par son flanc oriental, surmonté tout d'abord par le versant d'une vallée polaire. Cette cellule est soudée à l'anticyclone subtropical centré assez loin au SW de l'archipel (fig. 10). À Angra déferle un vent de N modéré (20 km/h) avec des rafales qui atteignent 50 km/h. Ce flux de nord est épais puisque dans la moyenne troposphère souffle également un vent rapide de nord sur le versant occidental de la vallée. C'est un air polaire froid et assez sec (50 à 60 % d'humidité relative) qui parvient sur les îles. Le 3 mai, des cumulo-nimbus déversent encore des averses mais les éclaircies sont de plus en plus fréquentes. Ces conditions d'instabilité, pourtant en circulation anticyclonique, tiennent au fait que l'air polaire dans son parcours maritime vers le sud s'est réchauffé à la base. Sur le sondage du 4 mai, le gradient vertical est très fort dans les basses couches (fig. 10). Cependant l'instabilité est vite stoppée en altitude. Dans les îles montagneuses toutefois, où les ascendances forcées au long des pentes provoquent la destruction de l'inversion thermique et la saturation hygrométrique de l'air, les conditions sont parfois remplies pour qu'il neige. Ce type de temps froid à averses est particulièrement fréquent en mars, avril et même en mai et il contribue à maintenir des températures basses jusqu'à la fin du printemps. Plus encore que le faiblissement dans l'activité cyclonique, c'est la disparition de ce type de temps lié à l'existence d'un anticyclone maritime fortement étiré en latitude, en circulation méridienne de nord, qui marque définitivement le passage à la saison estivale.

2 — Le temps anticyclonique doux et humide

a — Sur la marge nord de l'anticyclone des Açores — Les situations de marge anticyclonique sont nombreuses. En circulation zonale rapide, les Açores se trouvent dans bien des cas sous la bordure méridionale du jet et elles sont alors à peine effleurées par les perturbations du front polaire sur la marge nord de l'anticyclone subtropical où circule un air tropical maritime toujours très humide qui donne un temps doux et moite, même en saison fraîche. C'est que les masses d'air ont eu un long parcours maritime à des latitudes assez méridionales et ceci surtout lorsque l'anticyclone se présente en cellule unique sur l'Atlantique.

Ce type de situation peut engendrer un temps simplement doux, humide et très nébuleux avec une mauvaise visibilité et du brouillard ou bien un temps déjà pluvieux. Tout dépend de la structure verticale de l'atmosphère. Dans le premier cas, l'archipel est encore surmonté par la bordure de la crête chaude d'altitude. Les perturbations du front polaire passent au nord. Ce n'est qu'avec le rapprochement des ondulations frontales que le plafond de stratus descend et enveloppe les îles dans un crachin persistant. Tel a été le cas du 22 et du 23 novembre 1968 (fig. 11) où, sur l'ensemble des îles, même dans les montagnes, brouillards et crachins ont totalisé entre 0,1 et 1 mm dans la journée. L'air était saturé, le vent d'ouest faible et l'évaporation était nulle. Le sondage montre un air saturé sur 400 m dans les très basses couches le 23 novembre à 12 TMG alors que le front chaud du courant perturbé septentrional est au plus près des Açores. Ce dispositif est surmonté par de l'air chaud subsident, donc plus sec, de la bordure de la crête d'altitude.

Lorsque l'archipel est déjà surmonté par le courant d'ouest, les épisodes pluvieux deviennent plus fréquents et les intensités augmentent. C'est la présence de ce courant d'ouest au-dessus de la marge nord de l'anticyclone qui semble être à l'origine de la recrudescence des pluies. Le 16 décembre 1968 une telle situation provoqua 3 à 7 mm de pluie sur les littoraux et déjà 15 à 20 mm sur les pentes de la Caldeira de Faial et sur le plateau de Pico. L'instabilité des basses couches était

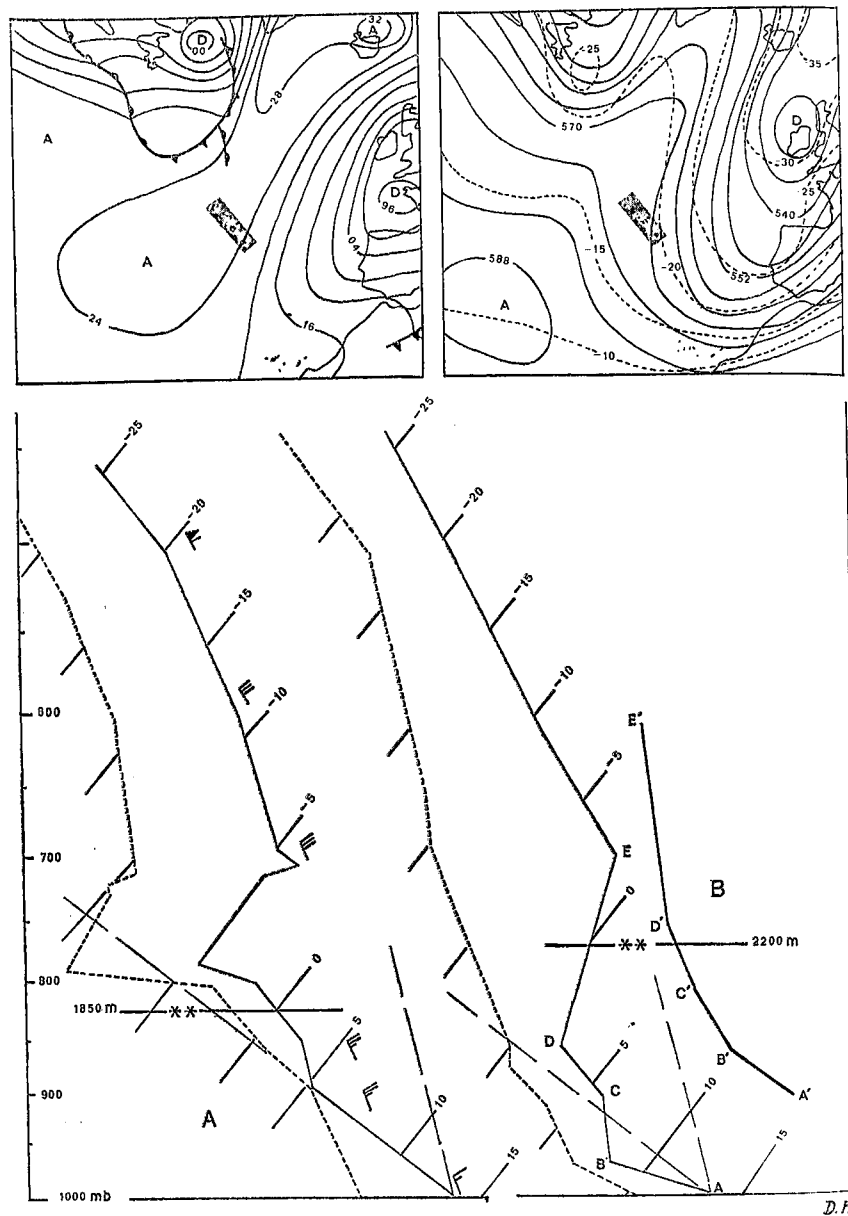


Fig. 10 — Le temps anticyclonique froid à giboulées du 3 au 6 mai 1968.

En haut et à gauche: la situation synoptique au sol le 4 mai 1968; en haut et à droite: la surface 500 mb correspondante; en bas: A — la structure verticale de l'anticyclone le 3 mai 1968 sous le versant occidental de la vallée planétaire; B — coupe verticale dans l'anticyclone surmonté par la crête planétaire le 4 mai 1968. A' E' est la nouvelle courbe d'état après avoir effectué un soulèvement de la masse d'air de 800 mètres entre A et E. L'inversion thermique a disparu. La masse d'air est saturée et en état d'instabilité conditionnelle.

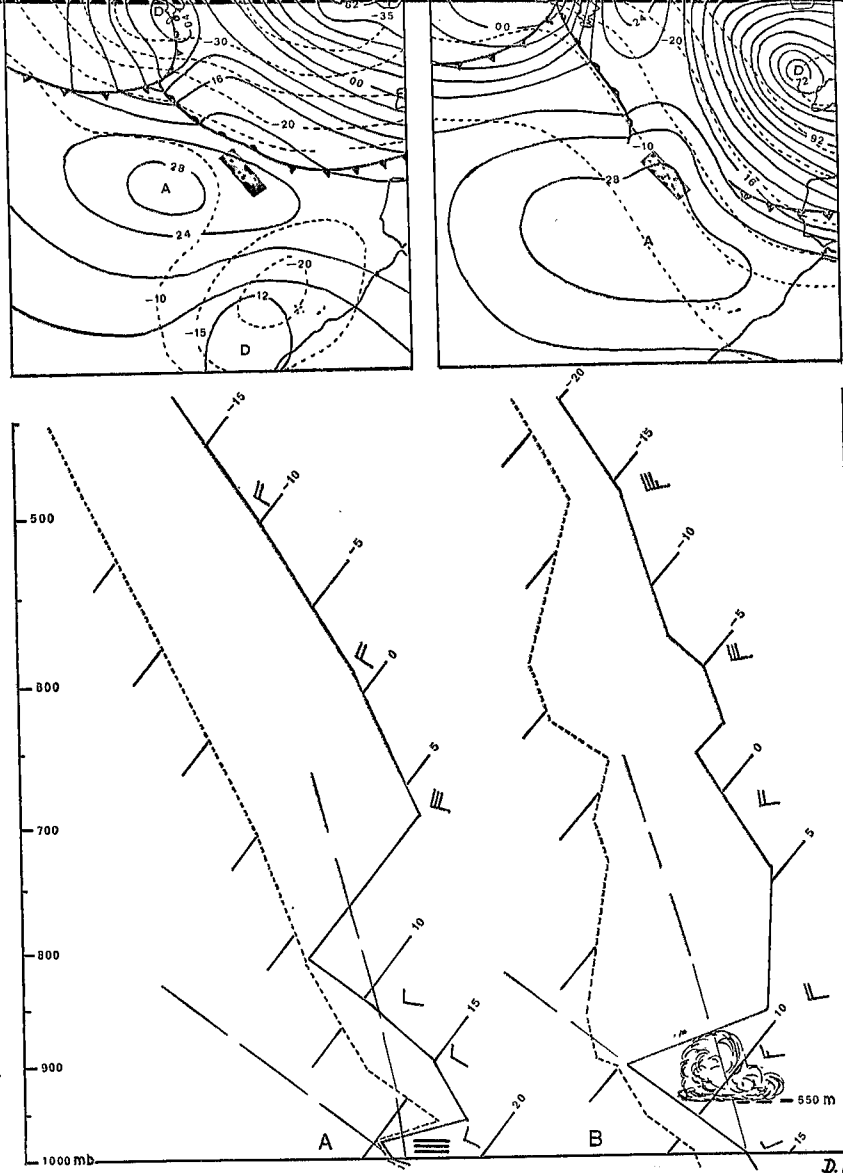


Fig. 11 — Le type de temps doux et humide de la marge nord de l'anticyclone des Açores.

En haut et à gauche: situation de marge immédiatement au sud d'un courant perturbé le 23 novembre 1968 (carte synoptique de surface et isothermes à 500 mb); en haut et à droite: situation de marge anticyclonique surmontée par le courant d'ouest dans la moyenne troposphère le 16 décembre 1968 (carte synoptique au sol et isothermes à 500 mb); en bas: A — structure verticale dans la marge anticyclonique du 23 novembre 1968 expliquant les brouillards persistants de la journée (les trois traits superposés indiquent le brouillard); B — sondage du 16 décembre 1968; basses couches en instabilité absolue; formation de strato-cumulus sous la surface d'inversion thermique provoquant des pluies dans toutes les îles.

activée par la présence d'air encore froid en altitude sous l'inversion thermique.

Ce type de temps anticyclonique doux et humide se trouve souvent en novembre-décembre et à la fin de l'hiver lorsque les invasions polaires sont moins puissantes et que l'anticyclone des Açores est en migration vers le nord. Cependant, même en plein hiver, il est présent quelques jours chaque mois et accompagne la reprise de la circulation zonale sur l'Atlantique.

b — Dans le secteur occidental des anticyclones de blocage — C'est un type de temps doux et humide fréquent aux Açores, lorsqu'en circulation méridienne s'installe une crête anticyclonique sur l'Atlantique oriental (fig. 8). Celle-ci dirige un air maritime de sud-ouest particulièrement humide puisqu'il provient des latitudes subtropicales après un parcours exclusivement océanique. Il s'agit la plupart du temps d'un air tropical qui reste relativement stable lorsqu'il est surmonté par le bord occidental de la crête anticyclonique d'altitude. Cependant sa stabilité est très fragile: il suffit d'une ascendance forcée contre les reliefs pour qu'il déverse des pluies copieuses en bénéficiant en premier lieu des versants sud et sud-ouest des îles.

Ces courants de sud-ouest nombreux en début d'hiver, contribuent à entretenir des températures élevées jusqu'en décembre, à augmenter la part des tranches de précipitation fines dans les totaux des mois d'octobre à décembre sur les littoraux et à transporter chaleur et humidité en direction des hautes latitudes.

II — LE BEAU TEMPS ANTICYCLONIQUE

1 — Le beau temps frais des anticyclones de fin de famille et des anticyclones mixtes

Ce type de temps est plus durable et plus beau que celui que l'on trouve dans les secteurs postérieurs froids des perturbations d'ouest. Il accompagne les expulsions polaires qui s'étalent vers le sud après le passage d'une famille de perturbations. Il se distingue du ciel de traîne par la disparition progressive des nuages, des températures fraîches et surtout un refroidissement nocturne important, une visibilité excellente.

La situation du 1^{er} au 4 février 1968 offre un bon exemple. Après le passage d'une famille de cinq membres, le 1^{er} février, les Açores sont situées dans une cellule anticyclonique forte (1028 mb), alimentée en air froid à la base (température maximum de 15°) et en air chaud dans la moyenne troposphère, dans une crête anticyclonique du courant d'ouest. C'est cette structure stable qui explique sans aucun doute l'installation du beau temps. Bien des journées anticycloniques d'hiver aux Açores où le fond de l'air reste frais, au ciel parsemé de cumulus de beau temps, correspondent à ces anticyclones mixtes et non à l'installation de l'anticyclone des Açores.

Ils sont d'ailleurs accolés à la cellule anticyclonique des Açores dont ils sont souvent séparés par une discontinuité frontale interne. Il suffit qu'une poussée d'air chaud en altitude accroisse l'ondulation anticyclonique du courant d'ouest pour accentuer encore l'épaisseur de l'anticyclone. L'air froid des basses couches devient de moins en moins épais et s'assimile peu à peu à l'air chaud. C'est alors un type de temps beaucoup plus doux qui s'installe sur les îles. Cette évolution qu'on vient de décrire se répète avec fréquence au printemps et en automne, jusqu'en décembre. Les anticyclones maritimes ont une structure assez complexe résultant de l'accolement de plusieurs cellules à alimentation différente. C'est ainsi que les types de temps anticycloniques sont très changeants, tantôt frais et secs mais avec des accroissements momentanés de la couverture nuageuse, des brouillards voire des bruines au passage des discontinuités frontales internes, tantôt beaucoup plus agréables, doux et ensoleillés, avec l'installation des cellules alimentées en air chaud.

2 — *Le type de temps doux de l'anticyclone atlantique*

C'est le type de temps qui existe lorsqu'un anticyclone maritime est centré sur l'archipel depuis quelques jours. Cet anticyclone est souvent assimilé à celui des Açores. Il semble être le plus fréquent d'octobre à décembre et c'est lui qui contribue à faire apparaître un minimum pluviométrique relatif sur décembre. A partir de janvier, l'influence polaire est trop vigoureuse et la persistance d'un tel anticyclone sur l'Atlantique est plus rare.

Dans la moyenne troposphère, il est surmonté par une crête chaude suivant une ondulation anticyclonique très ample du courant d'ouest. Le jet polaire passe donc loin au nord des îles et repousse les perturbations souvent jusqu'au 50° N, comme en plein été.

En décembre 1969, un tel anticyclone s'installe sur l'Atlantique Nord, centré sur les Açores pendant presque tout le mois, en provoquant un arrêt presque total des précipitations (fig. 12). Les températures sont douces, surtout pendant la deuxième partie du mois, et les amplitudes journalières sont faibles. L'humidité de l'air est plus forte que dans les anticyclones à alimentation froide récente. Comme l'air est stable, les ascendances ne se marquent que par un accroissement du couvert nuageux la nuit en accord avec celui de l'humidité relative. Dès que l'insolation augmente, les températures croissent, l'humidité de l'air devient moindre et le ciel se dégage. Seuls subsistent quelques strato-cumulus au-dessus des îles montagneuses marquant les ascendances forcées de l'air marin au long des pentes. Ces conditions ne sont nettes que lorsque l'anticyclone est centré ou légèrement déplacé au nord-est des îles. Il suffit d'un léger déplacement de l'axe de la cellule pour faire parvenir sur l'archipel un air maritime de sud-ouest plus chaud et plus humide qui engendre un tout autre type de temps. Des nuances apparaissent également en fonction de l'extension de l'anticyclone et de sa structure verticale. Des sondages répétés dans l'anticyclone de décembre 1969 montrent combien sa structure peut être changeante d'un jour à l'autre (sondages fig. 12). Certes, dans la moyenne troposphère, l'influence de la crête chaude se marque bien mais les basses couches sous l'inversion thermique sont très diversement alimentées. Pendant quelques jours après l'installation de l'anticyclone, les températures restent fraîches dans les îles. Ce qui montre bien l'alimentation récente des basses couches en air froid. Avec le renforcement de la subsidence par afflux d'air chaud en altitude et la stagnation sur place de l'air froid au-dessus d'un océan chaud, l'assimilation devient rapide. Toutefois, pendant longtemps encore subsiste une sorte de stratification de l'atmosphère, mais qui ne rompt pas la stabilité générale et le temps reste doux et lumineux.

3 — Le beau temps frais des cellules anticycloniques atlantiques étendues à l'Europe

Le caractère frais et sec s'accroît encore lorsque l'anticyclone atlantique se soude à une cellule européenne d'origine thermique. Chaque année, au printemps, se forment ainsi de vastes aires de hautes pressions particulièrement fortes, très stables et étirées en longitude au point de recouvrir l'Atlantique

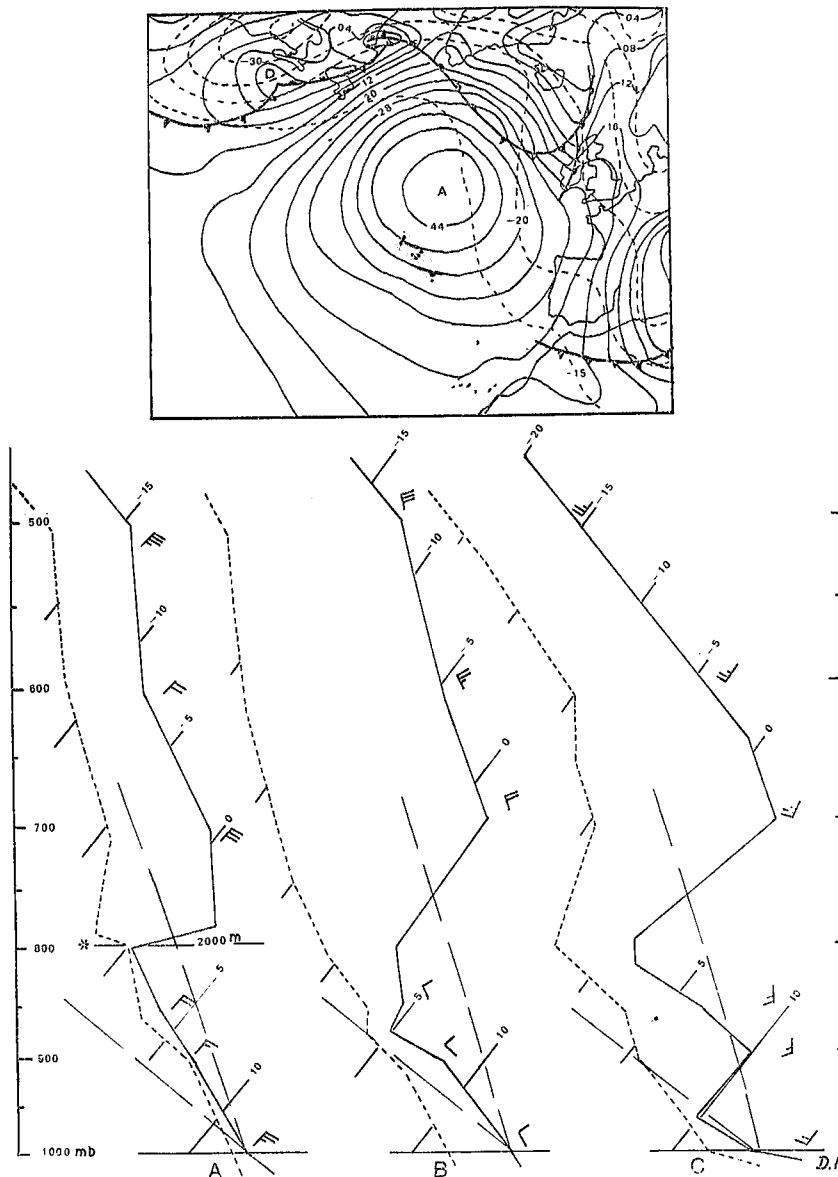


Fig. 12 — Les anticyclones atlantiques persistants: l'exemple de décembre 1969.

En haut: situation synoptique au sol le 5 décembre 1969 et isothermes à 500 mb; en bas: coupes verticales effectuées dans l'anticyclone: A — alimentation froide épaisse des basses couches le 5 décembre 1969; B — crête chaude d'altitude bien marquée et air froid des basses couches en voie d'assimilation le 13 décembre 1969; C — structure stratifiée de l'anticyclone le 19 décembre 1969 résultant d'un nouvel afflux d'air froid dans les basses couches.

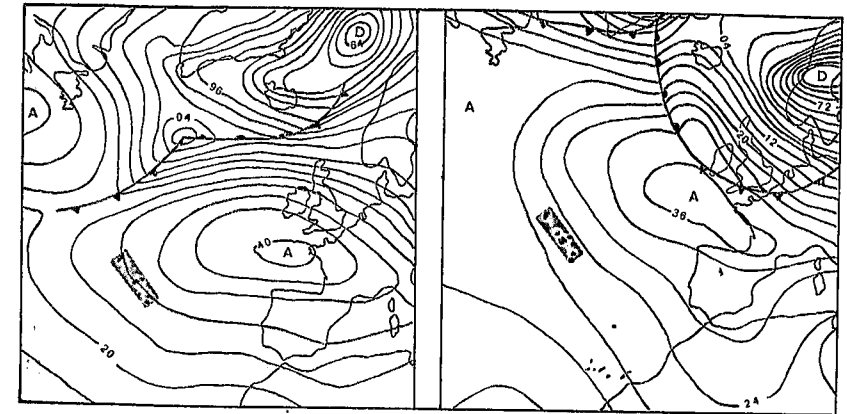


Fig. 13 — Le temps frais et sec des anticyclones atlantiques étendus à l'Europe ou à l'Afrique.

En haut et à gauche: la situation synoptique au sol le 20 mars 1967 avec une arrivée d'air polaire continental sur les Açores; en haut et à droite: la situation synoptique au sol du 25 mars 1967 provoquant un afflux d'air tropical continental sur les Açores; en bas: la direction moyenne journalière du vent et la pression à Angra pendant le mois de mars 1967.

oriental et l'Europe. Les Açores sont presque toujours situées dans leur secteur méridional où coulent des vents à composante est modérés. Ce sont des masses d'air polaire continental qui arrivent sur les îles encore relativement sèches, malgré leur parcours maritime. En mars 1967, trois semaines entières

ont été dominées par ce type de temps (fig. 13). Ce fut un temps sec avec une humidité relative basse, inférieure à 70 %. Au bout du mois, on a relevé tout juste 10 mm de pluie dans les montagnes. Ce fait est d'autant plus remarquable que, une année sur deux, le mois de mars est aussi pluvieux que janvier.

A ce type de temps succède souvent un autre plus doux lorsque la cellule anticyclonique déborde sur l'Afrique de Nord. L'air saharien qui parvient alors sur les îles n'a pas été tout à fait dénaturé par son parcours maritime (humidification à la base sur 800 m tout au plus). C'est une situation que l'on retrouve quelques jours par an en début et en fin de saison fraîche et qui engendre un temps très agréable, doux mais très éphémère. C'est le type de temps «d'alizé» de saison fraîche.

4 — *Le temps froid et sec des apophyses polaires de l'anticyclone des Açores*

Il est typique du printemps. Ces apophyses sont construites par expulsions polaires ou arctiques sous les versants occidentaux des vallées d'altitude. C'est le type de temps anticyclonique qui succède à celui marqué par les giboulées lorsque l'archipel se situe au centre de l'anticyclone froid et non plus sur sa marge orientale (fig. 10). La pression est toujours forte et, malgré la subsidence de l'air dans la cellule, les températures restent basses, inférieures à la normale (14° de moyenne journalière avec des minima inférieurs à 10°). Pourtant l'insolation est très forte (80 %) et le vent est nul. L'air est particulièrement sec (entre 55 et 65 % d'h. r.). Dans ces conditions de stabilité et de sécheresse de l'air froid, le ciel est clair et les précipitations sont impossibles. C'est la fréquence de ce genre d'anticyclone construit en circulation méridienne très lente qui explique la forte variabilité des précipitations des mois d'avril et de mai. Leur persistance sur l'Atlantique Nord explique la chute brutale des pluies à la fin de la saison fraîche.

Cette analyse rapide des types de temps anticycloniques de saison fraîche montre bien leur grande complexité. Tous les anticyclones qui apparaissent aux Açores ont une origine dynamique. Ils se forment rapidement dès que naît une ondulation positive du courant d'ouest dans la moyenne tro-

posphère. L'alimentation des basses couches, quant à elle, peut être très diverse. C'est ce qui explique les variations dans la structure verticale et la variété des types de temps anticycloniques. L'apparition d'une inversion thermique basse en altitude (tout au plus 1500 m) est un point commun. Elle impose une limite assez sévère aux ascendances d'où leur caractère peu pluvieux. Toutefois, la première cause de cette inversion n'est pas le refroidissement des basses couches de l'air subsident au contact du milieu océanique. En fait, en situation anticyclonique de saison fraîche, l'océan a une température presque toujours plus forte que celle de l'air. Cette constatation renforce l'idée que les basses couches sont alimentées en air polaire maritime récent. Celui-ci provient des expulsions froides qui continuent à se produire à l'arrière des perturbations refoulées aux latitudes plus élevées et aussi aux courants de nord qui circulent au long des flancs orientaux des crêtes anticycloniques. Cet étalement de l'air froid en surface comme son humidification sur l'océan chaud contribuent à accroître le caractère frais et nuageux des anticyclones atlantiques d'hiver. Aussi les types de temps anticycloniques ont-ils un ciel rarement dégagé aux Açores. Au-dessus des îles et de la mer environnante s'amoncellent des strato-cumulus et, une fois de plus, la plus grande opposition régionale concerne les littoraux et les massifs. Ceux-ci baignent le plus souvent dans la couche nuageuse dont la base se situe selon les cas entre 800 et 1500 m. Seul le sommet du volcan de Pico peut émerger de la «mer de nuages» et baigne dans l'air sec suçant.

CONCLUSION

En saison fraîche, l'abondance des pluies s'explique par la fréquence des types de temps cycloniques (deux jours sur trois). Ils sont liés à l'installation de dépressions polaires à proximité des Açores et au passage répété de perturbations. C'est du nombre et de la vigueur des dépressions polaires que dépend l'importance des précipitations et leur intensité.

Dans la première partie de la saison pluvieuse (octobre à décembre), les types de temps pluvieux de sud-ouest dominent nettement. Ils sont toujours liés à une circulation méridi-

dienne de sud en altitude. L'installation de vallées polaires au-dessus de la portion occidentale d'Atlantique est assez régulière d'une année à l'autre. Les principales sources de froid sont le Groenland et le Canada. Les coulées s'étirent alors vers le tropique à une époque de l'année où l'océan connaît ses températures les plus fortes. L'activité des perturbations de sud-ouest tient justement au fait qu'elles atteignent l'archipel dans des conditions dynamiques favorables aux ascensions et qu'elles sont bien alimentées en air chaud et humide dans les basses couches. On peut estimer qu'elles fournissent près de 60 % du volume des pluies d'octobre à décembre. C'est leur fréquence accrue qui explique la brusque augmentation des pluies dès octobre, le report sporadique du maximum pluviométrique de l'année sur les mois d'automne et la part des intensités modérées de 5 à 10 mm/jour dans le bâti du régime. Inversement, il suffit que ces types de sud-ouest faiblissent au profit des anticyclones chauds soit par une modification de l'onde planétaire soit par la persistance d'une trajectoire zonale septentrionale de la circulation polaire pour que le temps reste sec et lumineux.

Dès la fin décembre et jusqu'en février, l'établissement d'une circulation zonale rapide devient fréquente. Les types de temps perturbés d'ouest se succèdent rapidement, entrecoupés par d'éphémères périodes anticycloniques et les grosses tempêtes cycloniques d'ouest typiques des hautes latitudes glissent au coeur de l'Atlantique. Aussi, les jours pluvieux sont-ils nombreux, entrecoupés de quelques rares répités des crêtes migratrices et de quelques anticyclones de fin de famille qui, en réalité, ne sont jamais dépourvus de pluie. Les types de temps pluvieux sont variés mais ils donnent toujours une ambiance fraîche liée à l'arrivée d'air polaire humidifié par son passage sur une surface océanique tiède. C'est ce caractère convectif des masses d'air et la vigueur de la circulation polaire d'altitude qui explique l'importance des pluies de forte intensité au coeur de l'hiver et le maximum pluviométrique axé sur janvier.

Avec l'arrivée du mois de mars, la vitesse du courant zonal diminue et le retour à une circulation méridienne dominante amène un nouveau changement du temps. C'est l'activité des cellules cycloniques stabilisées aux abords des Açores

et des crêtes anticycloniques qui définit le rythme pluviométrique de la fin de la saison fraîche. Toutefois, le type de circulation n'est pas le symétrique de celui du début de la saison pluvieuse. Le flux zonal conserve une grande vitesse sur l'Amérique du Nord enneigée et c'est sous le vent du Groenland que se creusent la plupart des vallées qui s'étirent ensuite jusqu'à Gibraltar, en prenant en écharpe la moitié orientale de l'Atlantique. Il en résulte une circulation méridienne de nord et de nord-ouest sur les Açores qui dirige des types de temps perturbés jalonnant les invasions polaires et même arctiques et des types de temps cycloniques liés à l'isolement de gouttes très froides en altitude. Ils engendrent les températures les plus froides de l'année, l'apparition de la neige sur les sommets et des régimes d'averses parfois copieuses. C'est que l'océan conserve des températures encore douces et, en fournissant humidité et chaleur aux basses couches, il rend cet air froid particulièrement instable, quoiqu'il arrive dans des conditions dynamiques défavorables (versant occidental des vallées planétaires). Ainsi, les précipitations de la deuxième partie de la saison pluvieuse sont soutenues et se prolongent jusqu'en avril avec de fortes intensités. Cette forme de circulation méridienne lente favorise également l'implantation d'anticyclones à alimentation froide qui s'accolent à celui des Açores. Comme en début de saison pluvieuse, l'archipel a une position critique. Il suffit que les vallées polaires d'altitude se bloquent plus à l'est que de coutume pour qu'il reste abrité pendant de longues périodes sous une crête anticyclonique. C'est pourquoi la variabilité pluviométrique interannuelle est-elle forte en mars et avril. La chute des quantités de précipitations dès la fin mars n'est donc pas due, comme on l'a souvent écrit, à une remontée du front polaire en direction des hautes latitudes et à l'installation de l'anticyclone subtropical. Celui-ci est rare sur les Açores en mars et avril. Les cellules anticycloniques sont d'origine mixte, alimentées en air froid dans les basses couches et en air chaud en altitude, à la faveur d'une circulation méridienne très lente. C'est la disparition de ce type d'anticyclone au profit des cellules chaudes qui marque définitivement le passage à la saison estivale.

RESUMO

Os mecanismos das chuvas e os tipos de tempo de estação fria nos Açores. Nas ilhas do grupo central do arquipélago dos Açores, as chuvas caem essencialmente de Outubro a Março, concentrando-se neste período dois terços do número de dias de chuva e três quartos do total das precipitações.

Este ritmo pluviométrico explica-se por factores dinâmicos, que ocorrem à escala do Atlântico Norte, e por condições geográficas próprias de um arquipélago montanhoso, distante dos continentes e banhado por um oceano relativamente quente. O estudo dos mecanismos pluviogénicos e dos tipos de tempo responsáveis pelas abundantes chuvas de estação fria foi abordado nesta óptica, procurando-se definir as situações sinópticas em função dos grandes tipos de circulação na média troposfera sobre o Atlântico Norte e tendo em conta, na caracterização dos tipos de tempo, as influências geográficas regionais e locais.

No Outono (Outubro a Dezembro) dominam claramente os tipos de tempo chuvosos de sudoeste, ligados à instalação de um vale planetário na parte ocidental do Atlântico. A actividade das perturbações de sudoeste resulta de duas condições favoráveis: uma de natureza dinâmica, atendendo a que o fluxo de sudoeste corresponde ao sector oriental do vale planetário; outra de origem térmica, devido à alimentação de ar quente e húmido na baixa troposfera. Estas perturbações de sudoeste são responsáveis por cerca de 60 % do total das precipitações de Outubro a Dezembro.

Desde os fins de Dezembro até Fevereiro, torna-se frequente o estabelecimento de uma circulação zonal rápida, a latitudes vizinhas dos Açores. Nestas condições, o arquipélago fica sujeito à passagem repetida de depressões de oeste, às vezes muito cavadas, ligada à actividade da frente polar. É sobretudo o grande vigor da ascendência ciclónica que explica a importância das chuvas de forte intensidade do meio do Inverno e o máximo pluviométrico de Janeiro.

Nos princípios de Março, a velocidade da corrente zonal diminui e o retorno a uma circulação meridiana dominante origina uma nova modificação dos tipos de tempo. É uma circulação meridiana de norte e noroeste que projecta sobre os Açores perturbações ligadas às invasões de ar frio polar directo e mesmo ártico, ou origina células ciclónicas devido ao isolamento de gotas de ar frio em altitude. Esta circulação dá origem aos tipos de tempo mais frios do ano, com aguaceiros por vezes copiosos e quedas de neve nos cumos mais elevados das ilhas (particularmente no Pico). Esta circulação meridiana lenta pode igualmente favorecer a instalação de anticiclones frios que se justapõem ao anticiclone subtropical dos Açores. Daí a forte variabilidade pluviométrica interanual de Março e Abril. É o desaparecimento deste tipo de anticiclone, alimentado em ar frio na baixa troposfera e em ar quente em altitude, e a sua substituição pelas células quentes subtropicais que marcam definitivamente o início da estação estival.

SUMMARY

Pluviogenic mechanisms and types of weather in the Azores cold season. Rain occurs mainly from October to March in the central islands of the Azores Archipelago. Two thirds of the number of rainy days and three quarters of the total rainfall come within this period.

This pluviometric rhythm is explained both by dynamic factors that occur in the Northern Atlantic region and by the geographical conditions that are peculiar of a mountainous archipelago lying in a fairly warm ocean and far from continental mainlands. Study of pluviogenic mechanisms and the types of weather responsible for this heavy rainfall in the cold season has therefore been approached from this standpoint. The synoptic situations are then defined in function with the main flow patterns in the upper troposphere over the Atlantic; the regional and local geographical influences are also taken into account when characterizing the types of weather.

In Autumn (from October to December), southwest types of rainy weather are predominant and these are connected to the installation of a tropospheric trough in the Western Atlantic. The activity in the southwest frontal systems results in two favourable conditions: the first has a dynamic nature given the fact that the southwest flux corresponds to the eastern section of the tropospheric trough; the second has a thermic origin due to its being fed on the hot, humid air of the lower troposphere. These southwestern frontal systems are responsible for about 60 % of the total rainfall registered from October to December.

From the end of December up to February, the setting in of a strong zonal flow at the neighbouring latitudes of the Azores becomes increasingly more frequent. Under these conditions, the archipelago is subjected to a repeated pathway of western lows that are extremely deep at times, and which are connected to polar front activities. However, and above all, the vigorous cyclonic upward motion increase explains the importance of heavy rainfall in mid-winter as well as the maximum rainfall in January.

At the beginning of March, the zonal flow speeds is reduced and a meridional flow returns giving rise once again, to a change in weather patterns. The north and northeastern meridional flow over the Azores either projects frontal systems connected to the invasion of cold polar air directly from the Arctic, or gives rise to cyclonic eddies due to the cut-off of upper cold troughs. This flow causes the coldest weather in the year with heavy showers at times and snow fall on the highest parts of the islands (particularly over Pico). This slow meridional flow can similarly favour the setting in of cold highs that juxtapose the Azores subtropical cell. This explains the great rainfall inter-annual variation in March and April. The disappearance of this kind of highs fed on the cold air of the lower troposphere and on warm air of the higher, as well as its replacement by hot subtropical high-pressure cells mark the beginning of the summer season.