

Institut Royal Colonial Belge

SECTION DES SCIENCES NATURELLES
ET MÉDICALES

Mémoires. — Collection in-4°. — Tome II,
fascicule 2

Koninklijk Belgisch Koloniaal Instituut

AFDEELING DER NATUUR- EN GENEESKUNDIGE
WETENSCHAPPEN

Verhandelingen. — Verzameling in-4°. —
T. II, aflevering 2

Les Précipitations dans le Bassin du Kivu et dans les Zones limitrophes du Fossé tectonique

(AFRIQUE CENTRALE ÉQUATORIALE)

COMMUNICATION PRÉLIMINAIRE

PAR

H. SCAËTTA

DOCTEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES,
CHEF DE LA MISSION D'ÉCOLOGIE AGRICOLE AU KIVU (AFRIQUE ÉQUATORIALE).



BRUXELLES

Librairie Falk fils,

GEORGES VAN CAMPENHOUT, Successeur,
22, Rue des Paroissiens, 22.

—
1933



Les Précipitations dans le Bassin du Kivu et dans les Zones limitrophes du Fossé tectonique

(AFRIQUE CENTRALE ÉQUATORIALE)

COMMUNICATION PRÉLIMINAIRE

PAR

H. SCAËTTA

DOCTEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES,
CHEF DE LA MISSION D'ÉCOLOGIE AGRICOLE AU KIVU
(Mission conférée par le Ministère des Colonies de Belgique.)



Mémoire présenté à la séance du 19 novembre 1932.

Les Précipitations dans le Bassin du Kivu et dans les Zones limitrophes du Fossé tectonique

(AFRIQUE CENTRALE ÉQUATORIALE)

INTRODUCTION

La mission qui nous a été confiée en 1927, par le Ministère des Colonies de Belgique, avait pour but d'établir expérimentalement les bases biologiques sur lesquelles doit s'organiser économiquement la colonisation agricole.

L'agriculture moderne ne peut plus se contenter de la méthode routinière des expériences empiriques, toujours de longue durée et toujours coûteuses, mais doit de plus en plus se baser sur les méthodes de la recherche scientifique pour en déduire les applications rationnelles.

La plante cultivée n'est plus le terme ultime des recherches de l'agronomie; elle devient l'instrument perfectionné par lequel nous voulons exploiter, aux fins économiques, un climat et un sol déterminés.

La prémisse inéluctable pour travailler dans la bonne voie est la connaissance approfondie du milieu, expression d'une signification biologique complexe. Il faut pouvoir discerner, dans la physionomie d'un territoire, entre les facteurs climatiques et les facteurs édaphiques qui concourent à constituer ce milieu; et entre leurs actions variables en intensité et diversement prépondérantes, tendant toujours à déterminer un équilibre stable, il faut pouvoir discerner celles qui, au moment de notre investigation, tendent à prévaloir.

Climat et sol agissent l'un sur l'autre comme deux complexes distincts, mais en corrélation d'équilibre.

Par leur action sociale, la végétation, l'homme et, dans une certaine mesure, les animaux herbivores — termites, etc., — superposent leur intervention à celle du climat et du sol et souvent se montrent capables de les influencer en modifiant l'état d'équilibre.

Une économie agricole devant s'établir dans un territoire qui nous est inconnu ou imparfaitement connu sera déterminée par l'*aptitude du climat et du sol* à la production (aptitude qui sera modifiable à notre profit entre des limites à rechercher) et par la *capacité* des cultures à utiliser ces aptitudes et à résister à l'action des facteurs adverses.

Ceci montre nettement la voie que doit suivre toute investigation relative à l'étude du milieu.

Le climat a attiré le premier notre attention. Il serait vain de vouloir parler de tel ou tel phénomène, de tel ou tel résultat obtenu dans les essais expérimentaux, sans connaître au préalable les éléments du milieu qui ont concouru à les produire.

L'observation des effets ne nous intéresse que dans la mesure où elle peut servir à la découverte des causalités. C'est à la source même des phénomènes que nous devons remonter.

Par ce travail nous commençons ainsi l'examen des éléments du climat de la région qui a été l'objet de notre exploration systématique.

Pour un pays de haute montagne, comme celui qui nous occupe, le climat est un ensemble de phénomènes liés aux formes du terrain dans le cadre général des lois physiques propres à la situation géographique du territoire.

Notre premier objectif est de trouver les limites d'extension de ce climat régional et d'en préciser la portée par rapport au climat géographique.

Pour y parvenir, nous utiliserons des documents fournis par le réseau climatologique établi ⁽¹⁾ et nous essaierons d'isoler les divers éléments, afin de bien en comprendre la nature. En même temps nous séparerons les formes topographiques principales du terrain : chaînes de montagne,

(¹) H. SCAËTTA, Première organisation d'un réseau de climatologie agricole sur les dorsales Congo-Nil. (*Bull. de la Soc. belge d'Astronomie de Météorologie et de Physique du Globe*, 1931.)

massifs, hauts plateaux, vallées, lacs, pour en étudier l'influence réciproque et l'action sur chacun des éléments principaux du climat.

Nous n'épuiserons pas un problème aussi complexe, mais nous comptons y apporter une modeste contribution préliminaire, dans l'espoir d'en amorcer les grandes lignes générales et d'ouvrir la voie à des recherches ultérieures.

La répartition et l'extension des formes biologiques de la végétation sont en partie liées aux variations multiples dont se compose un climat de montagne.

Nous serons amenés à déceler comment les influences dominantes, climatiques ou biologiques, parviennent à prévaloir et nous essaierons, dans les cas les plus caractéristiques, de voir leur concomitance ou leur antagonisme.

La connaissance d'un équilibre établi est d'un intérêt primordial pour l'économie d'une région climatique. L'industrie agricole y trouve les facteurs potentiels de rendement dont elle sera appelée à profiter par la technique.

Les géographes et les pédologues s'accordent pour reconnaître à l'intervention du climat en général et des pluies en particulier une action tout à fait prépondérante, non seulement dans la détermination des variations climatiques localisées, mais l'évolution même des processus aboutissant à la formation du sol superficiel.

Dans les pays chauds, l'interdépendance du climat et du sol est étroite et notre conception de les considérer comme un complexe biologique est de plus en plus confirmée par l'expérience.

Ainsi nous avons estimé qu'il était opportun de faire précéder l'étude du climat par une analyse aussi détaillée que possible des précipitations et de leur action particulière.

Le réseau suffisamment serré (tout en présentant des lacunes inévitables) dont a bénéficié le bassin du Kivu nous permettra de voir les variations multiples auxquelles est soumise la manifestation de la pluie et comment ces variations sont favorisées par la position continentale du relief et les particularités de l'hypsométrie.

Au cours de notre exposé nous serons forcément amenés à parler de l'action d'autres éléments météorologiques ayant souvent avec la pluie

des rapports de cause à effet, mais nous le ferons dans la limite stricte de leur action sur la production de la pluie, nous réservant de parler avec plus de détails de leur rôle dans la manifestation du climat, dans des communications ultérieures.

*
**

Ce travail a pu être rédigé grâce au concours du Ministère des Colonies et avec l'aide financière du *Fonds National de la Recherche Scientifique*. Il a fallu nécessairement dépouiller et élaborer une masse considérable de documents.

Nous avons l'agréable devoir d'exprimer notre gratitude :

à M. J. Jaumotte, directeur de l'Institut Royal Météorologique de Belgique, qui nous a assisté constamment de ses conseils éclairés et qui a bien voulu vérifier et approuver tous les documents que nous lui avons soumis ;

à M. le Prof^r E. De Wildeman, directeur honoraire du Jardin Botanique de l'État, membre de l'Académie Royale des Sciences de Belgique, qui a bien voulu nous donner son avis sur des questions relatives à la biologie végétale des associations de haute montagne ;

à M. Maury, ingénieur en chef et directeur du Service cartographique du Ministère des Colonies, qui a mis à notre disposition le matériel cartographique et nous a fourni une partie des graphiques insérés dans le texte et bon nombre de renseignements ;

à M. le Prof^r H. Humbert, professeur de la Chaire de Phanérogamie au Muséum d'Histoire naturelle de Paris, qui a été notre compagnon de travail et d'exploration en Afrique pendant plusieurs mois et nous a assisté en toutes occasions de ses conseils avec un intérêt et une cordialité fraternels.

M. Humbert a bien voulu nous faire part de son avis sur les problèmes de biologie végétale qui découlent nécessairement de notre travail.

Qu'il nous soit permis, en dernier lieu, de rendre ici un pieux hommage à la mémoire d'un de nos collaborateurs d'Afrique parmi les plus dévoués, le Frère Rodriguez (M. Gehelen), de la Mission catholique de Nyundo, de l'Association des Pères blancs d'Algérie.

Le Frère Rodriguez a été pendant quatre ans l'observateur de la station météorologique de Nyundo. Ce missionnaire a poursuivi des observations météorologiques dans le Ruanda depuis 1907 et a conservé jalousement les relevés et une bonne partie des observations faites par les Missions catholiques allemandes jusqu'au jour où il a voulu nous les donner en nous permettant de les publier.

Il était en Afrique depuis trente ans. Après son apostolat de charité, l'étude de la météorologie a été la passion de sa vie d'humilité. Jusqu'aux derniers jours de sa vie, les instruments qui lui avaient été confiés le préoccupèrent vivement. Il mourut le 18 novembre 1931 et son désir, selon que nous l'a écrit le Père Pagès, supérieur de la Mission, fut de reposer à côté de la Mission, à l'ombre de la croix et sous un tapis de violettes, dont il aimait le symbole.

CHAPITRE PREMIER

Schéma orographique de la région.

Nous sommes en présence de la branche occidentale des dislocations tectoniques de l'Afrique centrale et orientale. Entre 1°33' S. et 2°30' S., le fossé est occupé par le lac Kivu, qui représente une superficie évaporante de 2,300 km² à une altitude de 1,463 mètres.

Les côtes du lac sont fortement découpées, particulièrement sur la rive orientale. Des baies profondes et encaissées, des îlots et des presqu'îles montrent que ce lac n'est qu'une immense vallée noyée.

Approximativement au centre, par 29°7' long. G., se trouve l'île Idjwi, d'une longueur totale S.-N. de 40 kilom. et d'une superficie de 275 km², partagée en deux versants par une chaîne dorsale de l'altitude moyenne de 1,930 m. : le versant oriental face au Ruanda et le versant occidental face à la dorsale congolaise. Le sommet le plus élevé de l'île atteint 2,203 m. d'altitude.

Il est peut-être opportun de faire remarquer que nous ne pouvons nous occuper ici que des formes du relief jouant un rôle dans l'apparition des pluies, renvoyant aux ouvrages plus proprement géographiques ceux qui désirent connaître d'une façon plus détaillée la nature et l'origine de ce relief.

A l'Est une longue chaîne dorsale borde la rive du lac, suivant une direction générale S.-N. et dont le faitage se maintient à une distance moyenne de 50-70 km. de la rive.

Dans le secteur Nord du lac et dans le secteur Sud la ligne de crête approche de 3,000 m. d'altitude; au centre et plus au Sud, vers l'Urundi, elle s'abaisse. Elle atteint 2,955 m. d'altitude à Bigugu par 2°26'34" de lat. S. et 29°14'54" long. G. en correspondance du terminus méridional du lac et elle s'abaisse à 2,650 m. à Twinyoni par 2°40'58" de lat. S. et 29°19'40" de long. G. Il est très important de retenir ces particularités du faitage pour pouvoir comprendre ensuite l'influence de cette chaîne sur le régime pluviométrique des zones d'altitude situées à l'Ouest de la vallée de la Ruzizi, l'émissaire du lac Kivu vers le Tanganyika.

Cette chaîne, par sa ligne de crête, forme le rebord occidental du vaste massif cristallin du Ruanda.

Ce massif a pour limite orientale la vallée de la Kagera, vers laquelle il plonge par une faille à pente très raide. Il est constitué par une série de plateaux mamelonnés sans saillies importantes, capables de différencier localement l'action générale du massif. Ces élévations atteignent ou dépassent de peu l'altitude de 2,000 mètres, de façon que la dorsale reste la seule ligne de montagne pouvant barrer et dévier les courants aériens de l'Est, avant qu'ils n'arrivent au-dessus du lac.

La coupe verticale du massif le long du 2° parallèle S., représentée par le profil n° 1 (v. page 10), donne une idée suffisante de l'allure de ces plateaux du Ruanda, compris entre la rive du lac Kivu et la ligne frontière avec la colonie du Tanganyika Territory (bassin du Victoria Nyanza).

La pente générale du massif depuis le faitage jusqu'à la Kagera, sur le deuxième parallèle S., se maintient aux environs de 8 pour 1,000, tandis que la pente entre la ligne de crête et la rive du lac Kivu (versant occidental du Ruanda), toujours sur le deuxième parallèle S., atteint une inclinaison moyenne de 19 pour 1,000, soit plus du double.

Nous avons choisi le deuxième parallèle Sud comme étant une position moyenne respectivement à l'étendue du lac orienté N.-S. et nous retiendrons les valeurs indiquées comme des moyennes générales applicables à tout le massif.

La rive congolaise du lac est également bordée par une dorsale très importante, *grosso modo* parallèle à sa congénère du Ruanda et dont la distance en ligne droite de la côte se maintient autour de 19-20 km.

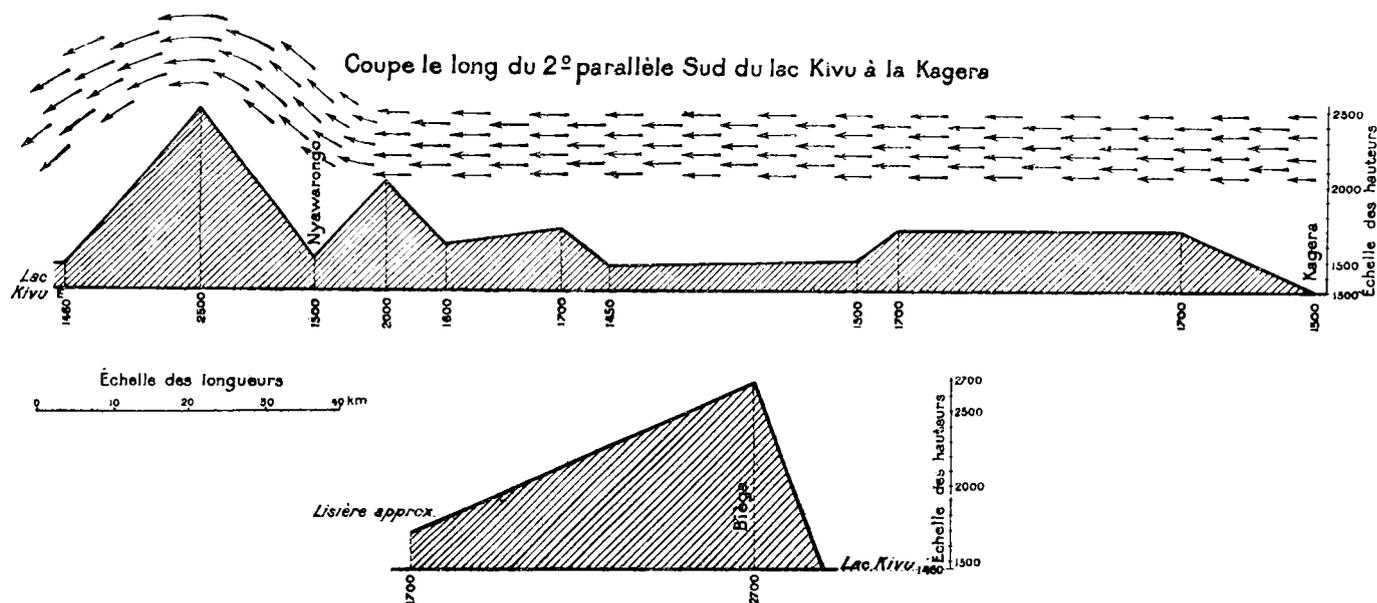
La ligne de faite pour l'une et pour l'autre dorsale ne suit pas rigoureusement la direction méridienne, mais *se décompose en segments faisant un angle variable avec le méridien*. Le fractionnement est plus accentué pour la dorsale du Ruanda que pour la dorsale congolaise.

Ce fait est d'une importance capitale pour déterminer l'orientation des chaînes exerçant une action de barrage vis-à-vis des courants orientaux. Ceux-ci, s'identifiant avec l'alizé de SE. et l'alizé de NE., ont une direction sensiblement constante. *L'action de déviation de la dorsale sera, par suite, très variable selon la direction du secteur contre lequel les cou-*

rants aériens viennent buter. Il est bien connu que leur déviation sera d'autant plus forte que l'angle formé par la direction du courant et la direction de la chaîne de barrage approche de la normale.

Dans la carte n° 6 (v. page 13), sur les indications fournies par le Service cartographique du Ministère des Colonies, nous montrons l'allure des lignes de faitage (des arêtes les plus élevées) par rapport aux méridiens

PROFIL 1.



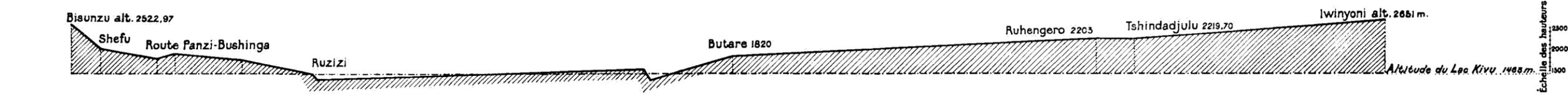
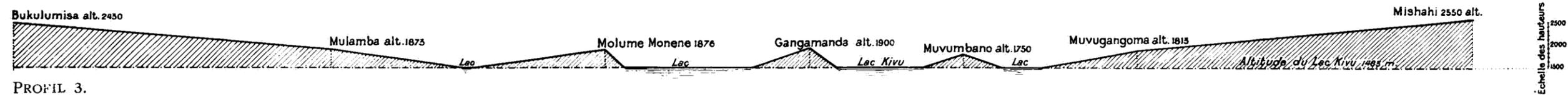
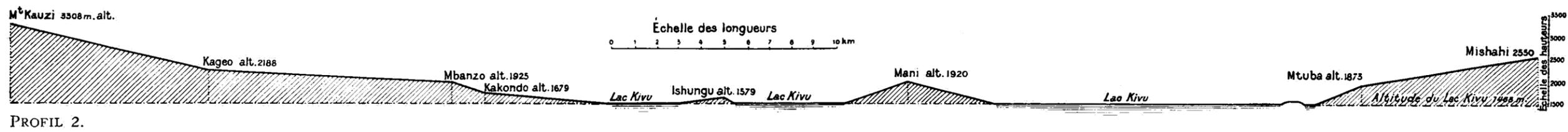
(Dessiné par le Service cartographique du Ministère des Colonies.)

diens et par rapport à la direction des deux alizés. L'angle sous lequel ces courants arrivent contre les dorsales apparaît clairement.

La distance du faite des rives du lac varie par rapport à l'orientation et à l'extension des côtes. *Grosso modo*, à partir du deuxième parallèle et dans le secteur septentrional du lac, le faite approche des rives et les pentes y sont généralement plus abruptes.

Dans son ensemble, la dorsale congolaise est plus élevée que la dorsale du Ruanda : son altitude moyenne est évaluée autour de 2,700 m. (1). L'altitude maximum est atteinte dans sa partie centrale au

(1) Le Service cartographique du Ministère des Colonies a établi cette donnée sur la base des triangulations déjà accomplies. La partie septentrionale de cette dorsale n'a pas encore été relevée et l'on sait pourtant que c'est la plus élevée de



(Dessinés par le Service cartographique du Ministère des Colonies.)



pic Kahuzi, par 2° 14' 59" lat. S. et 28° 41' 11" long. G., à 3,308 m. et dans son secteur méridional, par le mont Muhi, à 3,198 m. et plus au Sud par le mont Kima, à 3,300 m.

Les profils n^{os} 2, 3, 4 et 5 (voir planche ci-contre) montrent la coupe verticale du bassin à la hauteur de points différents choisis en correspondance des stations pluviométriques les plus importantes du réseau.

L'inclinaison des pentes entre les deux faîtes du bassin et la proportion en altitude et en étendue des montagnes situées au milieu du lac sont bien mises en évidence.

Contrairement à la dorsale du Ruanda, relativement uniforme, la dorsale congolaise montre des solutions de continuité.

La plus importante est au Sud du pic Kahuzi, occupée par le vaste marais Kánzibi, d'une longueur approximative de 10 km. et se terminant contre les monts Bièga, dont le dôme plus élevé atteint 2,790 m. d'altitude. Le marais est drainé par la rivière Mosisi, qui prend sa source plus au Nord, au pied du Kahuzi. Cette dépression, d'une altitude moyenne de 2,200 m., est parmi les marais à *Cypéracées* (*Papyrus*?) les plus élevés du Congo.

Une deuxième dépression est constituée par la cuvette des lacs Mokoto (le niveau du Ndalala est à 1,715 m.). La chaîne Dalinghi s'arrête brusquement au lac Ndalala par un éperon, le mont Bugoy, de 2,230 m. d'altitude, par 1° 20' 35" de lat. S., 29° 15' long. G., sur le sommet duquel nous avons placé un pluviomètre totalisateur.

La cuvette des Mokoto, singulièrement compliquée dans sa structure topographique par la présence du volcan Nyamalagira et par des captures opérées par les affluents du Congo, est un couloir ouvert vers l'Occident aux courants de l'Est (voir les photos 1 et 2).

Au Nord des Mokoto la dorsale continue par la chaîne des monts Kisale et la chaîne approximativement parallèle des Bwito. Les sommets les plus élevés atteignent encore 2,405 m. (mont Ilonge), mais le faitage s'abaisse sensiblement en correspondance de la vallée septentrionale de la Rutshuru et n'atteint plus ici que près de 2,000 mètres d'altitude.

la chaîne : elle comporte des pitons assez nombreux approchant de 3,000 m. Il est probable, par conséquent, que l'altitude moyenne de 2,700 m. susindiquée soit révisée par la suite.

Entre le massif Kahuzi et les Mokoto, la ligne de faite montre une suite ininterrompue de crêtes dont les points culminants atteignent et dépassent 3,000 m. d'altitude, constituant une véritable arête qui forme écran pour les courants orientaux.

Au Sud des monts Bièga, dont le dôme principal — comme nous avons vu — atteint 2,790 m., la dorsale s'abaisse progressivement jusqu'à rejoindre la série de montagnes formant un seuil entre le bassin du Kivu et le bassin du Tanganyika. Dans ce secteur le faitage W.-E. n'a plus qu'une altitude moyenne de l'ordre de 2,300 m.

Ce n'est que plus au Sud que la dorsale s'élève à nouveau le long de la rive occidentale du lac Tanganyika et atteint une altitude maximum de près de 3,300 m. au mont Kima. Ce sommet et le pic Kahuzi sont les plus élevés de toute la dorsale depuis le Ruwenzori jusqu'au Katanga.

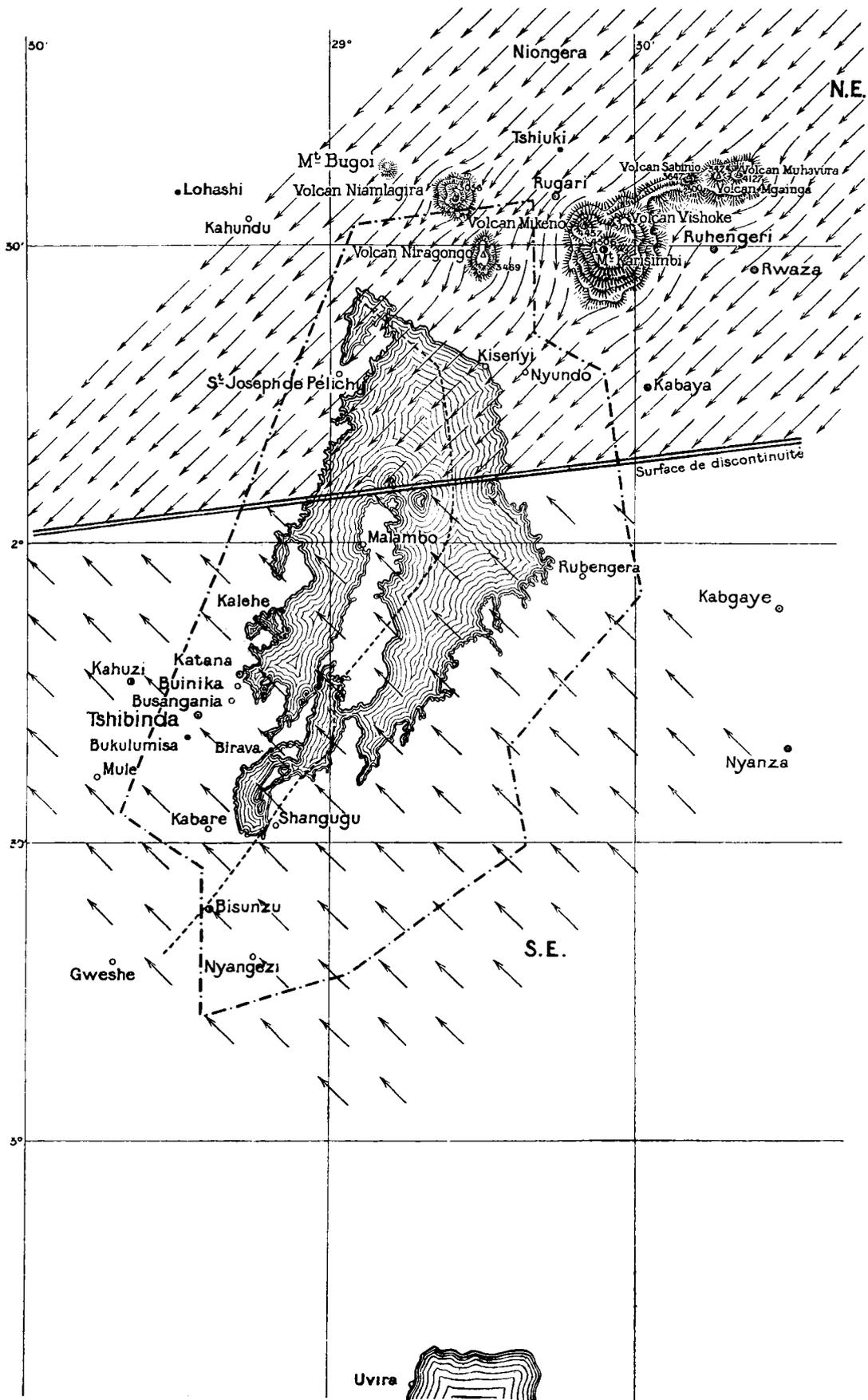
Un facteur important marque une différence essentielle entre les deux dorsales : à l'Est du faitage du Ruanda (le faite Congo-Nil) existe un immense massif ondulé d'une profondeur moyenne de 150-170 km., auquel se rattachent les régions élevées du Victoria Nyanza (voir photo 3), tandis qu'à l'Ouest du faitage congolais le versant baisse rapidement vers la cuvette congolaise (voir photo 4).

L'action érosive des affluents du Congo apparaît beaucoup plus active que celle des affluents du Nil, ce qui explique le modelé très tourmenté du versant congolais de la dorsale Ouest, les innombrables vallées à profil très jeune, les ruptures de pente et les captures assez nombreuses qu'on y observe.

Cette activité nous est apparue particulièrement intense également à l'Ouest des Dalinghi (région des Mokoto); puis dans la zone Dalemwa et à l'Ouest du seuil Kivu-Tanganyika (chefferies Moganga et Mubeza).

L'épaisseur de la dorsale congolaise apparaît donc assez variée. Elle atteint un maximum, approximativement entre 2°2' et 1°20' de lat. S., par une série de plateaux très élevés d'une altitude variant entre 2,200 et 2,500 m.; elle se rétrécit entre 2°1' et 2°8' de lat. S., pour s'amincir encore entre 2°30' et 2°45' lat. S. Nous verrons par la suite comment à ces formes particulières du terrain correspondent des avancées ou des reculs de la forêt équatoriale de haute montagne.

CARTE 6.



--- direction des lignes de failage des segments dorsaux.

Une autre particularité très importante de la dorsale congolaise est d'avoir une ligne de pente (évaluée entre le faîtage et la rive) beaucoup plus raide que la correspondante du Ruanda. Cette pente est de 80.9 pour 1,000 à la hauteur du pic Kahuzi, le long du 2°14'59" parallèle S. et de 78 pour 1,000 en correspondance de Kalehe, par 2°6'30" de lat. S. Nul n'ignore que l'inclinaison de la pente d'un versant joue un rôle très important dans l'élévation des courants soufflant dans le sens normal ou approchant de la normale à la direction du faîtage. L'inclinaison, selon qu'elle est faible ou abrupte, l'uniformité ou la rugosité, la continuité ou la discontinuité d'une pente font varier ce qu'on appelle la *hauteur verticale d'influence d'une chaîne de montagnes*. (Voir les profils du 1 au 5 aux pages 10 et 11.)

Au Nord du Kivu s'élève l'imposant massif volcanique des Mufumbiru (fumée blanche), que la réserve du Parc National Albert a rendu célèbre. Il est constitué par une série principale de neuf sommets, dont le plus élevé — le Karisimbi, par 1°30'23" de lat. S. et 29°26'54" de long. G. — atteint 4,506 m. Sur cette cime nous avons placé un pluviomètre totalisateur.

L'orientation générale de ces volcans est dirigée de l'Est à l'Ouest, comme on peut le voir sur la carte n° 6, à la page 13 et par ce fait ils ne constituent pas pour les courants orientaux une barrière d'arrêt comparable aux dorsales. Les courants sont déviés localement par chacune des montagnes, lesquelles paraissent n'exercer qu'une influence restreinte à une surface relativement limitée (voir les photos 1 et 5).

Deux de ces volcans sont en activité : le Niragongo, en phase strombolienne et le Nyamalagira, en phase de solfatare.

Par l'émanation continuelle de vapeur d'eau et de gaz lourds, contenant probablement des poussières et par le rayonnement calorifique, ces deux volcans paraissent influencer fortement l'atmosphère locale par une action thermique principale et une probable action secondaire d'ionisation.

Au Sud du lac nous retrouvons un large massif élevé qui présente une série de sommets atteignant 2,500 m. d'altitude et dont les vallées montrent une orientation générale N.-S. qui se termine au seuil du bassin du Tanganyika.

Ce massif est compris entre le faîtage du Ruanda à l'Est, dont —

nous l'avons vu — l'altitude moyenne est de 2,650 m. et le faitage occidental de la dorsale congolaise, qui ne dépasse pas, dans ce secteur, 2,400 mètres d'altitude.

Le relief se présente ici formé de trois grands alignements de crêtes, *grosso modo* parallèles, orientés N.-S., dont le plus élevé est la dorsale du Ruanda.

Sur un des sommets les plus élevés de l'arête centrale, sur le mont Bisunzu (Buzezu), à l'altitude de 2,523 m. par 2°36'52" S. et 28°41'45" long. G. (le plus rapproché du lac Kivu), nous avons installé un pluviomètre totalisateur.

L'alignement congolais, le plus occidental des trois, tout en n'atteignant dans cette partie qu'une altitude inférieure aux deux autres, s'érige comme un barrage continu normalement aux courants orientaux.

Parmi les particularités qui peuvent intéresser le climat local, nous mentionnerons encore les quatre lacs Mokoto, d'une étendue totale de 9.75 km², situés — comme nous avons vu — à l'Ouest du volcan Nyamalagira, à une altitude de 1,715 m. (voir photos 1 et 2), et les deux lacs de barrage Muleru et Ruhondo, respectivement de 1,874 et 1,750 m. d'altitude, situés à l'Est et au Sud-Est du volcan Muhavura (voir la photo 6).

D'autres lacs importants, tels le Bunyoni, à 1,974 m. d'altitude, le lac Mutanda, à 1,798 m. d'altitude, situés à l'Est de la frontière avec l'Uganda, sont disposés en forme de croissant autour des volcans orientaux du massif des Mufumbiru.

Parmi les vallées, les seules pouvant avoir une importance locale à notre point de vue sont: la vallée de la Kagera, qui limite à l'Est le massif du Ruanda et qui présente d'énormes expansions marécageuses; la vallée de la Rutshuru, au Nord des Mufumbiru, à une altitude moyenne de 1,100 m.; la vallée étroite de la Ruzizi (l'émissaire du lac Kivu vers le Tanganyika). Aux vallées de la Rutshuru et de la Ruzizi font suite respectivement les vastes plages de transgression du lac Édouard et du lac Tanganyika.

Nous estimons que les indications schématiques de ces formes principales du relief sont suffisantes pour une première analyse du régime pluviométrique. Ensuite, lorsque nous aurons occasion de parler du climat

dans l'ensemble de ses relations avec les formes du terrain, nous pourrions voir avec quelque détail l'influence des formes particulières du terrain sur le climat local et sur la distribution de la végétation.

CHAPITRE II

Répartition actuelle de la forêt.

Nous sommes persuadés que notre travail présenterait une lacune grave si nous omettions de parler des superficies encore occupées par la forêt dans toute la région qui est l'objet de notre examen.

Au terme de « forêt » nous donnons ici une signification extensive, y comprenant toutes les associations, de n'importe quel type ou stade, constituées principalement par des essences ligneuses.

Nous l'avons vue et parcourue cette forêt, le long du pourtour du bassin du Kivu et successivement sur les deux versants orientaux et les versants occidentaux, jusqu'à sa limite avec la grande forêt ombrophile de la cuvette congolaise.

Les géographes et les climatologistes savent parfaitement que le relief agit sur certains éléments météorologiques avec une intensité différente, selon qu'il est ou non couvert de forêt en étendues considérables.

Il y a des raisons de croire que la couverture végétale agit plus ou moins efficacement selon la composition et les formes de l'association.

Nous estimons ne pas devoir nous étendre maintenant sur les détails de la succession des associations forestières, étant donné le but limité auquel ces indications doivent servir. Nous y reviendrons plus utilement en parlant du climat et surtout des rapports qui paraissent évidents entre les conditions météorologiques extérieures et les types du sol.

Le massif du Ruanda est dénudé dans sa presque totalité (voir photo 3). Les formes xérophiles de savane que l'on rencontre par-ci par-là dans sa partie orientale et centrale ne peuvent exercer aucune influence appréciable. Peut-être l'action thermique du massif est-elle exagérée par la prédominance des formes convexes de sa topographie (photo 3).

Dans le secteur Nord de la dorsale, la forêt mésophile (forêt de

haute montagne) couvre des étendues assez considérables, mais elle est entachée en plusieurs points et son équilibre primitif est modifié par des stades régressifs de la brousse.

L'action destructive est ici anthropique, comme nous avons essayé de le montrer dans notre communication préliminaire sur *Les Famines périodiques dans le Ruanda*.

La forêt de bambous se réfugie de plus en plus sur les sommets plus élevés de la ligne de crête.

Dans la partie centrale, la forêt a presque totalement disparu. Des bouquets d'arbres, bien souvent réduits à quelques témoins de forêt secondaire, survivent encore en de rares points : la forêt est remplacée sur de très vastes surfaces s'étendant sur l'un et sur l'autre versant, par des brousses à *Pteridium aquilinum*, qui à l'époque des incendies apparaissent comme de sinistres taches noires.

Dans le secteur méridional, approximativement entre 2°20' et 2°45' de lat. S., la forêt primitive subsiste encore sur les deux versants en massifs compacts et assez étendus, mais elle y est également menacée de tous côtés par les indigènes en quête de terres humifères et par les exigences souvent exagérées des colons européens.

La dorsale congolaise est bien plus intéressante à ce point de vue. A partir de 2°25' S. et de là vers le Nord, la forêt mésophile couvre tout le faitage en massifs denses et compacts jusqu'à sa périphérie orientale. Depuis 2,200 mètres d'altitude jusqu'à 2,900-3,000 m. c'est le domaine normal de la forêt de bambous suivie de l'étage à Ericacées et les étages successifs : sub-alpin à Seneçons géants et alpin à *Deschampsia flexuosa*.

La limite entre ces étages n'est évidemment pas rigoureuse. Des décalages se montrent entre l'un et l'autre, parfois de 200 à 300 mètres d'altitude. Nous les attribuons en premier lieu à une distribution locale particulière des pluies et secondairement à des raisons d'ordre édaphique. Les causes sociologiques (lutte entre les associations et les espèces pour la conquête du terrain) ne sont, à notre avis, que la conséquence de l'action des facteurs climatologiques qui favorisent ou qui dépriment la capacité de progression d'une association ou d'une espèce en concurrence avec d'autres associations et d'autres espèces du même étage climatique.

La forêt de bambous couvre en massifs compacts tout le faitage sep-

tentrional jusqu'à 1°45' S.; au delà, elle est remplacée par une forêt claire d'une espèce sclérophylle d'altitude, la *Myrica salicifolia*, qui descend jusqu'à 2,200-2,100 m. dans la région des Mokoto (cirque de Gandhjo). Cette zone conserve des massifs importants de la forêt primitive dans sa partie orientale, sur les monts Nyamitava, Kirolirwe et sur les pentes occidentales du Nyamalagira; ailleurs la forêt est morcelée profondément par des formations secondaires ou par des brousses préforestières d'altitude. Ces modifications ont ici une signification purement anthropique nettement établie. La forêt de bambous n'occupe plus que des sommets plus élevés.

Plus à l'Ouest, au delà de la chaîne Dalinghi, la forêt, représentée par des associations subxérophiles à *Myrica salicifolia* dans les parties les plus élevées, passe sans transition à la prairie à *Pennisetum typhoides* jusqu'à la rivière Loashi, au delà de laquelle, par une courte transition, nous entrons dans le domaine encore intact de la forêt ombrophile.

Au Nord des Mokoto on passe rapidement à la brousse à *Pennisetum*, puis, par des associations régressives de prairie sur la chaîne des monts Bitwa et Kisale, à la savane macrotherme de la plaine du lac Édouard (climat soudanien).

Du point de vue climatique le versant occidental de la dorsale congolaise est très intéressant. Nous l'avons parcouru à pied en longeant approximativement le 20°35' méridien. A partir de 2°45' S., le paysage végétal est, dans son ensemble, franchement forestier. La forêt mésophile y domine jusqu'à une altitude inférieure de 1,200 m. environ; plus bas, par des formes caractéristiques de transition, elle passe à la forêt ombrophile, qui s'annonce par l'apparition de l'*Elaeis guineensis* (voir photo 7).

Localement, mais toutefois avec une certaine continuité N.-S. et un certain parallélisme au faitage, existent de longues clairières établies à flanc de coteau, occupées par une forêt très claire à *Myrica salicifolia* (l'arbre d'altitude autochtone de l'Afrique centrale et orientale). Cette espèce semble préférer des stations généralement très ventilées, ayant un caractère évident d'aridité.

D'autres clairières, à des altitudes inférieures, sont occupées par une brousse à *Pennisetum*, d'une densité extrême. Normalement, le *Myrica*

n'est pas associé à cette espèce, mais à des graminées de moindre exigence au point de vue de l'humidité et de la fertilité du sol.

Dans les vallées sciées profondément (par exemple la vallée de la Nyabarongo) on observe des galeries de type ombrophile sur les thalweg, à 1,000-1,100 m. d'altitude et des associations xérophiles sur les pentes. Ceci montre que dans les parties élevées de cette zone existe une cause permanente d'aridité.

A un moment donné nous avons supposé que les sols extrêmement pauvres, sols rocheux de granits, de gneiss et de quartz de différentes variétés, en étaient la cause, mais l'étude successive de zones où se présentent les mêmes associations monophytes à *Myrica* ou les mêmes formations de savane sur des terrains d'une fertilité normale (par rapport aux associations qui les occupent) et même très fertiles (terrains d'altération de basaltes) nous a fait supposer que d'autres causes pouvaient favoriser le maintien de ces associations en le protégeant contre la concurrence d'associations plus exigeantes et que le facteur édaphique n'intervenait dans ce cas qu'accessoirement.

Ces clairières, que nous pouvons considérer comme une solution de continuité dans le paysage forestier du territoire, représentent un recul de la forêt mésophile du moment que celle-ci est séparée des étages climatiques qui doivent normalement lui succéder par une formation étrangère, tandis que par ailleurs, à cause de situations spéciales que nous examinerons, la forêt mésophile allonge des saillants dans l'étage supérieur.

Si nous établissons un rapport entre la distribution en altitude de la pluie et ces aspects des lisières de contact entre les étages climatiques, nous verrons que des liens étroits existent entre l'étendue altitudinale de ces formations et la répartition verticale des pluies.

Sur la rive Nord du Kivu, dans la zone d'influence du massif volcanique des Mufumbiru, la couverture forestière se montre sous des formes et des aspects variés.

L'étendue et la composition des différents étages climatiques sont particulières à chaque montagne et à chaque versant dans des limites assez larges, variables par rapport à la hauteur de la montagne et à la hauteur verticale des pluies le long des pentes.

Un même type de forêt xérophile couvre la rive Nord du lac sur une

profondeur de quelques kilomètres, ainsi que la large expansion de laves situées sur le faite septentrional, entre les volcans occidentaux et orientaux des Mufumbiru.

Tenant compte de l'altitude et de la hauteur de pluie, l'existence d'un tel type de forêt a ici une cause édaphique, tandis que sur la rive du lac, tout en ayant le même sol (coulées de laves), les causes climatiques dominant, comme nous le prouverons par la suite et la déterminante édaphique n'y est qu'accessoire.

Il est intéressant de retenir que la forêt se décompose ici en trois bandes parallèles : une première constituée d'essences à port bas et d'arbustes épineux (ficus, euphorbia, oléacées [*Jasminum dichotomum* Vahl., etc.]); une deuxième avec des essences à port plus haut entraînant une raréfaction des arbustes épineux (*Myrica salicifolia* Hocst, *Olea chrysophylla* Lam., etc.); une troisième bande de transition à *Acanthus* sp. (*Erythrina tomentosa* R. B., *Nuxia congesta* R. Br., etc.) donnant passage à la futaie mésophile de la base du Niragongo (1).

Du point de vue bio-géographique, les deux volcans Nyamalagira, de 3,050 m. d'altitude, et le Niragongo, de 3,469 m., ont des analogies

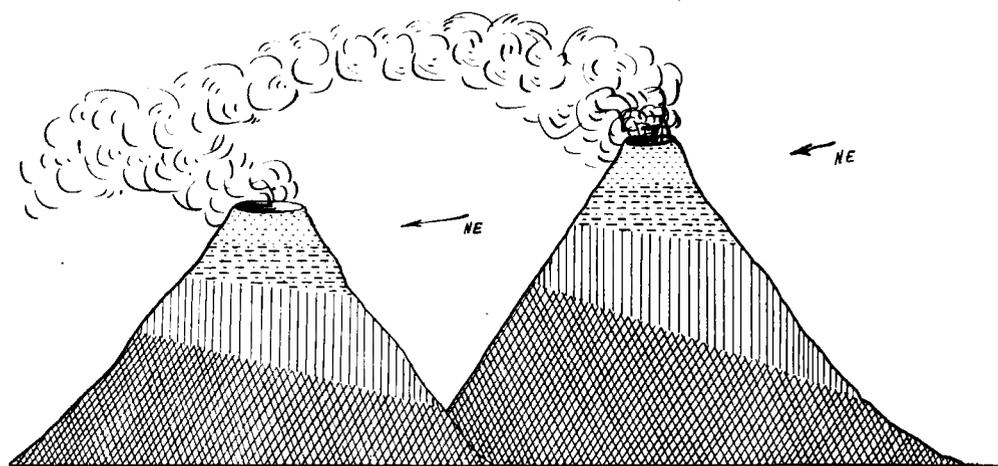
(1) W. ROBYNS, dans sa communication sur *La Colonisation des laves récentes du volcan Rumoka*, ouvrage cité dans l'index bibliographique, affirme que « toutes les phanérogames colonisatrices des laves du Rumoka sont des plantes héliophiles des stations plus ou moins arides, présentant, comme les conditions climatériques et édaphiques le faisaient d'ailleurs prévoir, un caractère nettement xérophytique, fleurissant et fructifiant abondamment ». — « Le caractère xérophytique de la flore phanérogamique des laves du Rumoka se retrouve dans la végétation des anciennes laves qui encerclent de toutes parts la coulée du Rumoka » (pp. 17-18).

W. Robyns, commentant la progression de la colonisation par des groupes végétaux particuliers, affirme que dans cette zone la progression du peuplement est lente, fait d'autant plus surprenant que « ces laves sont entourées presque de toutes parts par une végétation assez dense, qui peut fournir les éléments nécessaires à la colonisation... Elle se comprend cependant si l'on se rappelle que les conditions climatériques et surtout édaphiques sont fort défavorables à la végétation » (p. 25).

Il est intéressant de retenir ces constatations de M. Robyns, pour mieux comprendre l'explication que nous donnons dans la suite d'un phénomène climatérique particulier à cette région et qui certainement n'est pas étranger à son peuplement végétal. M. Robyns donne un premier inventaire de la flore de la région et une carte phyto-topographique.

qu'il convient de faire ressortir. Sur le versant occidental (exposition N.-NW.-W.-SW.) la forêt mésophile atteint une extension maximum en altitude suivie par quatre étages successifs : le premier à *Agauria salicifolia*; *Podocarpus milanjanus*, etc., le deuxième à Ericacées; le troisième à Seneçons et à Lobelia géants; le quatrième à Graminées, dont l'expansion verticale est fort réduite.

Si nous imaginons de séparer ces étages climatiques par des plans et si nous les représentons graphiquement, comme dans le croquis représentés aux pages 20 et 21, il nous apparaîtra qu'ils sont inclinés de SW.



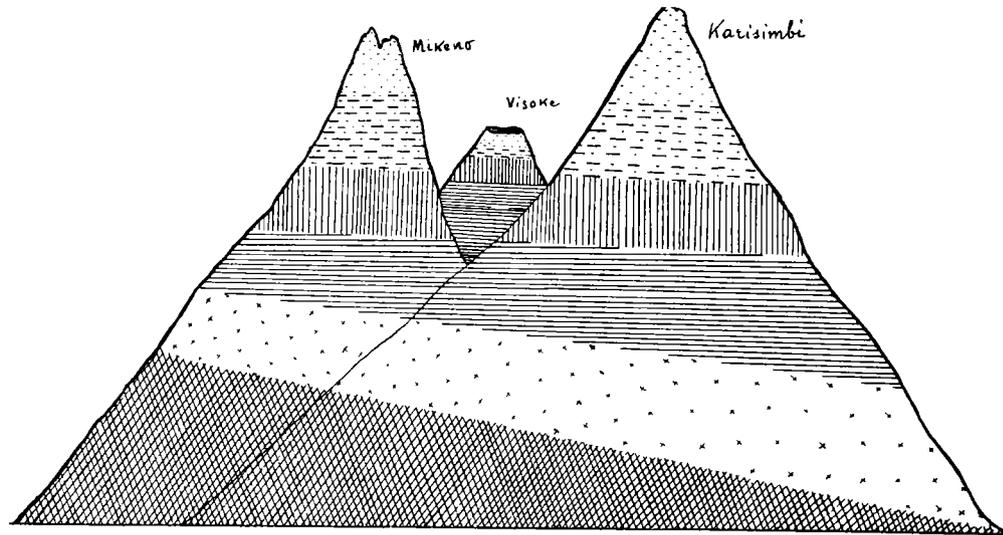
CROQUIS N° 7. - Répartition en altitude de la forêt climatique sur les volcans Nyamalagira et Niragongo.

-  futaie mésophile.
-  étage sub xérophile à *Agauria salicifolia* sp.; *Podocarpus milanjanus* sp.; *Myrica salicifolia*; *Cornus Volkensii* etc.
-  étages xérophiles à Ericacées et à Seneçons géants (deux étages dans le texte; réunis en un étage dans le graphique).
-  étage alpin à Graminées (*Deschampsia flexuosa* etc.).

à NE., de façon à présenter sur le versant oriental (exposition de NE., E., SE.) une expansion verticale maximum des associations xérophiles et microthermes. La grande forêt mésophile n'y est plus représentée que par des massifs de peu d'importance. Une particularité intéressante, dépendant de causes non climatiques, est l'absence ou l'extrême rareté du bambou sur ces deux volcans.

Cette répartition altitudinale des étages forestiers climatiques est tout à fait analogue à celle que nous observons sur les autres volcans du secteur oriental, avec quelques variantes relatives au nombre des étages et à leur position, étant donnée la plus grande altitude des montagnes.

L'ensemble des trois volcans : Mikeno, de 4,437 m. d'altitude; Karisimbi, de 4,506 m., et Visoke, de 3,711 m., nous offre sous ce rapport un exemple saisissant que nous essayons de représenter dans le croquis 8.



CROQUIS N° 8. - Répartition de la forêt climatique sur les volcans Mikeno, Visoke et Karisimbi (Parc National Albert).

-  futaie mésophile.
-  étage à bambous (*Arundinaria alpina*).
-  étage à *Hagenia abyssinica* et *Hypericum lanceolatum*.
-  étage à Ericacées.
-  étage sub-alpin à *Senecio Erici-Rosenii* et à *Lobelia Wollastoni*.
-  étage alpin à *Poa glacialis* (?) et à *Deschampsia flexuosa*.

La selle entre le Mikeno et le Karisimbi (selle de Kabara à 3,230 m. d'altitude) et la large vallée entre ces deux montagnes et le Visoke sont protégées par ce dernier contre les courants orientaux (voir photo 5).

Dans toute l'étendue où le barrage fait sentir ses effets, l'étage à

Hagenia abyssinica et à *Hypericum lanceolatum* envahit le versant oriental et y monte jusqu'à une altitude de 3,300 m. environ. Son aspect est luxuriant : nous y avons observé des troncs de *Hagenia* de près de deux mètres de diamètre. Cet étage est l'habitat préféré des gorilles du Parc National Albert.

Dépassée la hauteur d'influence du Visoke, la succession des étages reste soumise à la même loi de décroissance occidentale et d'expansion orientale, déjà observée pour les volcans occidentaux.

Deux particularités sont dignes de retenir l'attention : sur le flanc Est du Mikeno, à une altitude de 4,200-4,300 m., les touffes de *Deschampsia flexuosa*, dépassant le tapis enchevêtré des Alchemilles, prennent une forme pulvinaire dessinant une arête orientée approximativement de l'Est à l'Ouest. Ces coussins sont bien la preuve de la constance d'un vent dominant ainsi que l'indice d'une aridité subaérienne.

Sur le sommet du Kahuzi, à 3,308 m. d'altitude, occupé par cette graminée en association avec des *Sphagnum*, le phénomène se répète dans des formes identiques, avec une variante dans la direction des arêtes des coussins pulvinaires, comme le montre la photo 8.

Entre 3,100 et 3,500 mètres les arbres de l'étage correspondant (*Podocarpus milanjanus* sur le Kahuzi; *Hypericum* et *Hagenia* sur le Karisimbi) se couvrent de longues barbes d'*Usnea*, ce qui montre la persistance, à cette altitude, du plafond nuageux. La photo 9, que nous présentons, montre clairement l'aspect curieux de ces lichens suspendus aux branches des arbres.

A partir de l'altitude de 3,900-4,000 m. l'influence des formes du terrain sur les climats locaux est exagérée et détermine des micro-climats, particuliers non seulement à l'exposition ou à la forme des surfaces, mais aux associations végétales et aux espèces. En parlant du climat du Kivu nous aurons l'occasion d'y faire allusion brièvement.

Le volcan Muhavura, de 4,127 m. d'altitude, est entièrement dénudé sur toute l'exposition orientale. Il ne subsiste plus que l'étage subalpin à *Senecio Erics-Rosenii* et à *Lobelia Wollastoni*, qui parvient à former des massifs arborescents compacts sur le versant occidental jusqu'à une altitude inférieure de 3,500 m., à laquelle se trouve la jonction normale avec les Ericacées et les bambous du Mgainga et du Sebinyo.

La disposition des étages est encore conforme à ce que nous avons constaté pour les autres montagnes du massif.

L'île Idjwi est particulièrement intéressante au point de vue de son manteau forestier. On y voit distinctement trois zones : une zone méridionale se terminant à la pointe Kagi par 2° 17' S., couverte d'une forêt basse nettement xérophile, ayant une analogie frappante avec celle que nous avons signalée pour la rive septentrionale du lac Kivu.

Cette étrange forêt, du port général de la garigue méditerranéenne, est formée dans sa quasi-totalité d'essences épineuses arbustives, par endroits très serrées et enchevêtrées de lianes épineuses qui en rendent la pénétration impossible sans l'emploi de moyens énergiques. Les indigènes attribuent des vertus thérapeutiques à certaines de ces essences.

La garigue s'étend sur la rive orientale jusqu'à l'isthme de Kasseraboba. A l'altitude de 1,600-1,700 m., jusqu'à proximité du faitage, elle est remplacée par une forêt basse subxérophile à *Agauria salicifolia*, donnant passage sur l'arête dorsale à la forêt mésophile. Cette dernière occupe le versant occidental de la partie centrale de l'île et descend jusqu'à proximité de la rive sans l'atteindre.

Des formations de savane font transition de part et d'autre entre l'association humide (la futaie) et l'association aride (la garigue). Nous ne croyons pas devoir décrire ces formes de transitions à cause des interventions anthropiques qui en ont altéré la signification climatique. Par contre, un détail curieux nous semble intéressant à signaler comme indice d'aridité : l'existence de prairies denses à *Tricholaena rosea* dans les clairières de la garigue épineuse. La graminée a dans cette station une tige très velue exsudant une huile fortement odorante. Après quelques minutes de marche nos vêtements et nos souliers étaient devenus huileux et luisants comme s'ils avaient été enduits de graisse.

En correspondance de l'isthme de Kasseraboba la futaie mésophile a disparu totalement pour faire place à une savane modifiée qui passe sur la rive orientale à la garigue épineuse déjà mentionnée.

La partie septentrionale de l'île est dénudée, si l'on excepte de courtes galeries forestières le long des torrents du versant occidental. L'enchevêtrement des lianes, les épiphytes et la présence de fougères arborescentes révèlent encore le caractère équatorial de la forêt, bientôt remplacée

par une forêt subxérophile qui occupe la rive du lac sur une bande d'un à deux kilomètres de largeur.

Cette forêt de *Ficus* et d'*Acacia Piptadenia* à feuillage très tendre paraît se trouver ici dans sa station originale (1); nous ne l'avons jamais observée en dehors des côtes septentrionales de l'île et des îlots qui lui font couronne. Il est probable qu'ailleurs, dans les stations similaires (rives du lac et abords), cette belle association a été détruite et remplacée par des espèces concurrentes de la savane de basse altitude, de moindre exigence.

Le large massif au Sud du Kivu est totalement dénudé; la prairie à herbes courtes y domine sans contraste.

Les hautes montagnes de la dorsale au Sud et à l'Ouest du seuil Kivu-Tanganyika présentent un intérêt spécial.

Nous avons visité le mont Muhende (Muhi?) par 3°08'12" lat. S. et 28°56'01" long. G. à 3,198 m. d'altitude. Au-dessus de 2,500 m. apparaît la forêt de bambous. Elle y est réfugiée dans des creux de la montagne où le feu n'a pas su l'atteindre. Il faut monter à 2,800-2,900 m. et abandonner l'exposition septentrionale, pour la voir en massifs importants et denses s'étendre en direction Sud sur les parties dominantes du faîtage du lac Tanganyika. Au-dessus de cet étage, vers 3,000 m., apparaît une brousse érocoïde assez pauvre et très basse à laquelle succèdent sur le sommet, à près de 3,100 m., les graminées ordinaires d'altitude (*Avenastrum* sp., *Poa* sp., *Deschampsia flexuosa*).

L'ensemble de cette végétation révèle un certain indice d'aridité. Nous n'y avons observé ni les *Podocarpus*, ni les *Seneçons*, ni les *Lobelia* de l'étage subalpin du Kahuzi et des Mufumbiru. Nous avons rencontré de rares *Lobelia* du groupe *Giberroa* à proximité d'un marais près du petit lac Kano, à 2,300 m. d'altitude.

En descendant le versant occidental de la montagne il nous a été donné d'observer de larges bandes de bambous (*Arundinaria alpina*) en fleur. La forêt, entièrement jaune, faisait penser au premier abord à un incendie. Ce ne fut qu'après l'avoir pénétrée que nous nous aperçûmes

(1) H. HUMBERT estime qu'elle y constitue déjà par endroits un type dégradé (secondaire) de forêt subxérophile avec sous-bois d'*Acanthacées*, *Urticacées*, etc., constitué par les mêmes essences et dont il y a des témoins qu'il a étudiés.

qu'il s'agissait d'un massif annonçant par sa floraison la fin du cycle de végétation.

Les clairières laissées libres par les bambous morts sont occupées par une formation basse à *Hypericum lanceolatum* et autres essences subxérophiles déjà observées sur le faitage du Ruanda à une altitude correspondante, où la forêt avait été détruite par le feu.

Parvenus à l'altitude normale de la forêt mésophile, des bosquets témoins, disséminés dans les vallonnements à l'abri du feu, montrent qu'elle y est remplacée par une forêt claire héliophile de type subxérophile analogue aux formations d'altitude du versant oriental du Nirangongo. Cette végétation, tout en faisant une part aux influences édaphiques, y est certainement autochtone et indique une aridité permanente.

A des altitudes inférieures à 1,600-1,500 mètres (chefferie Mubeza) on traverse une forêt typique de transition. Entre 1,200 et 1,100 m. la forêt ombrophile de la cuvette congolaise s'annonce par des espèces suborophiles telles que les *Parasoliers* et l'*Elaeis guineensis*. La colonisation de cette dernière espèce y est probablement favorisée par les cultures indigènes (voir photo 7).

Au confluent des rivières Ulindi et Kadubu, à une altitude de près de 900 m., il nous a été donné d'admirer un panorama forestier des plus prenant. Trois types de forêts, trois étages altitudinaux, trois expressions climatiques différentes associent leurs espèces : la grande forêt équatoriale (*Elaeis*, *Dracaena*, etc.), la forêt équatoriale mésophile de montagne et, entre les deux, la forêt de transition avec des Acacias à parasol de la savane chaude.

La forêt de transition ne dépasse pas 1,400-1,500 m. d'altitude; souvent elle est remplacée sur des stations particulières par des brousses dégradées à *Agauria salicifolia* et à *Philippia* cf. *Johnstoni*, d'un facies nettement steppique et qui paraît adaptée au feu de brousse.

Ce n'est qu'à une altitude de 1,850-1,900 m., par 2°35' S., que la forêt mésophile apparaît dans sa constitution primitive. A des altitudes inférieures et à l'Ouest on remarque encore de larges clairières occupées par une forêt claire d'essences subxérophiles d'altitude (*Myrica*) tout à fait analogues à celles déjà signalées pour ce versant.

L'existence de ces zones arides à une altitude comprise entre 1,800 et 1,500 m., longeant le versant occidental de la dorsale à une distance à peu près constante du faîtage, est d'une signification très importante au point de vue climatique.

Sur la dorsale du Tanganyika la zone aride gagne en altitude et en extension, mais son étude sort du cadre territorial de notre travail.

CHAPITRE III

Action des alizés.

Tout le développement ultérieur que nous pourrons donner à nos observations et à l'étude des documents fournis par le réseau climatologique est conditionné par l'action constante d'éléments géographiques et climatiques dominants : deux systèmes parallèles de montagnes élevées orientées N.-S., longeant le fossé tectonique; le lac situé à 1,463 m.s.n.m. et d'une superficie de 2,300 km²; des sommets isolés très élevés; des massifs forestiers importants et deux courants aériens permanents : l'alizé boréal ou de NE., l'alizé austral ou de SE.

Ces deux vents se rencontrent dans le bassin du Kivu en partageant le territoire et chacun caractérise d'une façon marquante sa propre zone d'influence. Pour cette raison nous avons estimé opportun d'insister sur quelques détails relatifs à la disposition du relief et à la couverture végétale, afin d'en déduire la démonstration des effets que ces particularités géographiques ont sur les constantes météorologiques représentées par les alizés.

L'alizé boréal domine presque toute l'année au Nord du parallèle 1°52' S. et sa prédominance est démontrée par certains faits que nous allons décrire brièvement.

La dorsale congolaise en correspondance de la baie de Sake, sur tout son versant oriental, montre, à partir de la rive, de larges bandes de lapilli jusqu'à une altitude de près de 2,200 mètres. Il n'y a pas de doute qu'ils y ont été projetés à la suite de différentes éruptions du Niragongo et du Nyamalagira sous la poussée de l'alizé de NE.

Les cendres, qui constituent de vastes couches de terre arable dans les environs de Rutshuru, y ont été transportées par un phénomène

analogue. Parvenues par leur faible poids à des couches élevées de l'atmosphère (8,000-10,000 m.), elles ont été prises dans le courant du contre-alizé et transportées en direction de NE.

Il est facile de constater sur place le triage qui a été fait par la pesanteur et par le transport entre les matériaux légers et les matériaux plus lourds des explosions éruptives. Les lapillis, à cause de leur poids et de leur volume, n'ont vraisemblablement pas dépassé en altitude la zone atmosphérique du domaine de l'alizé et cela nous explique leur distribution par rapport à la direction de ce courant modifié localement par l'action des courants occasionnels des couches inférieures de l'atmosphère.

A l'intérieur du vaste cratère circulaire du Nyamalagira il est aisé d'observer un étage supérieur affleurant la marge occidentale, à l'aspect d'une courte plaine, formé d'une couche épaisse de lapilli, demeurée superficiellement incohérente et bosselée par des ondulations rappelant les dunes, toutes orientées de NE. à SW.

La formation quasi symétrique de ces dunes embryonnaires exige la prédominance de deux courants opposés d'une intensité suffisante pour déplacer ces fragments rocheux plus lourds que le sable désertique.

Les deux vents de directions contraires sont l'alizé de NE. et un courant local qui doit se produire vraisemblablement à l'occasion des orages presque journaliers qui se forment au-dessus du sommet du volcan. Dans ces orages, nous aurons l'occasion de le montrer par la suite, on a presque toujours une inversion nette du courant. Poussés par l'alizé de NE., ils produisent un courant local de SW.

Nous avons mentionné l'existence de coussins à *Deschampsia flexuosa* sur le flanc oriental du Mikeno. Leur arête médiane dirigée NE.-SW. ne peut s'expliquer que par l'action d'un courant de direction constante ou prédominante, en l'occurrence par l'alizé boréal, dont la vitesse au-dessus de 3,000 m. est grande.

Une dernière preuve à la portée de tout observateur est la direction des fumées blanchâtres du Niragongo et du Nyamalagira, dirigées presque toujours de NE. à SW. Ces traînées de vapeurs et leurs direction sont visibles dans la photo 1.

Au Sud du 1°52'-55' parallèle, le domaine appartient sans conteste

à l'alizé de SE. Les observations poursuivies pendant cinq ans à l'Observatoire de Tshibinda le prouvent incontestablement. La photo n° 8, montrant les touffes de *Deschampsia*, modelées en forme d'arêtes orientées parallèlement de SE. à NW., est un document bien probant de la constance de l'alizé austral.

Dans la zone de rencontre des deux alizés, approximativement par 1°52'-55' de lat. S., nous supposons l'existence d'une surface de discontinuité dont le courant chaud est vraisemblablement constitué par l'alizé de NE. et le courant froid par l'alizé de SE.

Ce dernier, qui provient de l'océan Indien et traverse des régions élevées de l'Afrique orientale, est moins chaud et plus humide que l'alizé boréal, qui provient des régions désertiques chaudes et traverse la zone continentale de l'équateur thermique. Dans la carte n° 6 (v. page 13) nous reproduisons schématiquement la position de la trace de cette surface de discontinuité.

Elle apparaît à peu près stationnaire avec des oscillations de faible amplitude en rapport avec le passage du soleil aux équinoxes. Nous croyons que le déplacement méridional de la surface de discontinuité ne dépasse jamais le deuxième parallèle Sud et que l'amplitude de l'oscillation est de l'ordre de 1°30', au maximum, ce qui limite les empiétements de l'alizé austral dans le domaine de l'alizé boréal.

Nous ne pouvons, malheureusement, indiquer la durée des oscillations, n'ayant pu établir des postes principaux d'observation dans la zone élevée du Nord du Kivu, mais nous estimons qu'elles sont de courte durée, en rapport surtout avec les différences de densité des couches d'air qui en constituent les deux masses.

L'observation de la végétation en marge des cônes des deux volcans actifs, sur le Niragongo particulièrement, montre un stationnement périodique de gaz lourds émanés du cratère dans des directions autres que la normale de SW. La cause en est probablement la poussée de l'alizé austral se substituant à certaines époques à l'alizé boréal et les courants d'inversion se produisant à l'occasion du passage des orages (1).

(1) M. M. ROBERT, professeur de géographie à l'Université de Bruxelles, deuxième rapporteur auprès de la section des Sciences naturelles et médicales de

Par rapport à la division territoriale naturelle établie par l'action des deux alizés, nous groupons les stations du réseau en deux systèmes : l'un appartenant au régime de l'alizé austral, l'autre au régime de l'alizé boréal. Nous établissons un troisième groupement pour certaines stations du Ruanda qui ne subissent pas, à cause de leur position géographique *et surtout de l'altitude*, — comme nous le montrerons plus loin, — l'action de l'alizé, mais qui appartiennent quand même au climat d'altitude.

Nous attribuerons à l'une ou à l'autre division celles parmi les stations du Ruanda qui par leur position géographique *et altitudinale* sont soumises à l'un ou à l'autre alizé.

Dans le cadre de cette première division nous grouperons encore les différentes stations selon leur exposition : au vent et sous le vent; selon leur altitude; de la rive du lac, de moyenne altitude, de haute altitude.

l'Institut Royal Colonial Belge sur notre travail, a exprimé une réserve au sujet de la présence de l'alizé boréal dans la région septentrionale du Kivu.

M. Robert demande s'il ne s'agit plutôt d'un vent local que de l'alizé de Nord-Est. Cette réserve a été insérée dans le n° 3 du *Bulletin de l'Institut Royal Colonial Belge* de 1932, à la page 633.

La question des vents supérieurs de l'atmosphère est traitée par nous de façon très sommaire. Dans l'introduction à la page 5 nous avons déclaré que nous parlons des éléments météorologiques autres que la pluie dans les limites indispensables pour faire comprendre leur action spécifique de cause à effet sur la production de la pluie.

De ce fait les vents régionaux ne sont pas mentionnés dans cette communication préliminaire, mais nous avons été obligés d'intervenir dans le régime des courants supérieurs de la troposphère puisque nous les reconnaissons à l'origine du régime des pluies pour des niveaux de haute altitude de la région du Kivu.

N'est-il peut-être pas superflu de rappeler qu'en parlant de pluies produites ou réglées par les alizés, nous nous référons à des zones situées au-dessus de 2,200 jusqu'à 4,500 mètres d'altitude? Pour les régions placées en dessous de cette limite altitudinale nous déclarons en maints endroits que l'intervention des alizés dans la production de la pluie est nulle ou tout au moins très indirecte.

Un exposé plus détaillé de la question des alizés, qui nous aurait obligé de résumer les théories sur la circulation générale de l'atmosphère, nous aurait entraîné loin des limites qu'il convient d'observer pour l'argument tout particulier et restreint à un seul élément du climat, ayant fait l'objet de notre communication préliminaire.

Ces lacunes, qui apparaissent d'une exposition forcément incomplète, nous ont fait limiter ce travail à une communication préliminaire.

Dans le travail que nous présenterons bientôt et qui complétera, par l'étude des

Pour les stations appartenant au régime de l'alizé austral nous ferons un sous-groupement pour les stations des hauts massifs situés entre les deux dorsales du fossé tectonique. Nous verrons, plus tard, la raison qui nous oblige à maintenir cette distinction.

Pour chaque station du réseau nous indiquerons la position géographique et l'altitude; la moyenne annuelle de pluie en millimètres; le nombre de jours de pluie et la période d'observation, qui sera indiquée entre parenthèses. Cette période n'est pas égale pour toutes les stations, mais en rapport nécessaire avec les dates différentes de leur établissement.

Le schéma que nous venons d'indiquer et qui est représenté dans la carte n° 6 nous paraît rationnel, étant fondé sur des facteurs géographiques et météorologiques immuables. Nous le maintiendrons pendant tout le développement ultérieur de notre étude et nous espérons qu'il servira à la compréhension des particularités du climat et de ses variations, en traçant dès le début les limites de son champ d'action.

autres éléments du climat, les investigations sur l'origine et la manifestation de la pluie, l'argument des vents supérieurs et des vents inférieurs trouvera une exposition plus complète, sans toutefois interférer sur des questions d'ordre général et du domaine courant de la Science, dont la place est dans les traités de météorologie dynamique.

La Science admet aujourd'hui la théorie selon laquelle les deux alizés se manifestent tantôt au Nord, tantôt au Sud de la ligne d'équateur par rapport aux accidents et aux reliefs des masses continentales.

A ce propos peut être consultée l'étude de Ludwig Weickmann, *Mechanik und Thermodynamik der Atmosphäre*, insérée dans *Lehrbuch der Geophysik* du Dr Gutenberg. (Verlag G. Borntraeger, Berlin, 1929.)

Les couches inférieures de l'atmosphère restent soumises à la théorie des calmes équatoriaux. Nous ne pouvons pas présenter des mesures et des chiffres (étude réservée à une organisation scientifique future de la Colonie), mais nous sommes persuadés que la forme et l'étendue des terres en concordance avec le passage du soleil au zénith, modifient temporairement la hauteur verticale des alizés.

La légitimité de notre thèse a été reconnue formellement par M. J. Jaumotte, directeur de l'Institut météorologique de Belgique et par M. Ch. Brazier, directeur de l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Paris). M. Robert lui-même ne conteste aucun des faits que nous présentons à l'appui de la théorie énoncée; il se limite à les attribuer à un vent local, de caractère permanent ou quasi permanent, autre que l'alizé boréal.

Nous ne croyons pas, comme M. Robert, à la possibilité d'un vent local permanent sur des sommets isolés de 3,500 à 4,500 mètres d'altitude.

Régime de l'alizé austral.*Stations de la rive du lac Kivu — au vent :*

BIRAVA, 2°20'30'' lat. S. — 28°54' long. G. — 1,555 m. alt.

mm. 1,088.2; jours pluvieux : 123 (1928-1931).

KATANA (Mugeri), 2°12'50'' lat. S. — 28°51'30'' long. G. — 1,500 m. alt.

mm. 1,429.4; jours pluvieux : 126 (1911-1920).

KALEHE, 2°6'30'' lat. S. — 29°55'10'' long. G. — 1,500 m. alt.

mm. 1,461.3; jours pluvieux : 136 (1928-1931).

Stations de la rive du lac — sous le vent :

SHANGUGU, 2°29' lat. S. — 28°53'35'' long. G. — 1,500 m. alt.

mm. 1,1215.0; jours pluvieux : ? (1930-1931).

Stations de moyenne altitude — au vent :

BUSANGANIA, 1,610 m. alt.

mm. 1,231.6; jours pluvieux : 156 (1928-1931).

BUINIKA (Kavumu), 1,710 m. alt.

mm. 1,375.9; jours pluvieux : 148 (1928-1931).

Stations de moyenne altitude — sous le vent :

DENDEZI, 2°26'45'' lat. S. — 29°02'40'' long. G. — 1,650 m. alt.

mm. 1,834.9; jours pluvieux : ? (1925-1931).

RUBENGERA, 2°02'45'' lat. S. — 28°24'30'' long. G. — 1,700 m. alt.

mm. 1,050.5; jours pluvieux : 130 (1928-1931).

Stations d'altitude — au vent :

TSHIBINDA, 2°19'20'' lat. S. — 28°45'25'' long. G. — 2,115 m. alt.

mm. 1,811.4; jours pluvieux : 192 (1928-1931).

MONT BUKULUMISSA, 2,430 m. alt.

mm. 2,294.0; jours pluvieux : 211 (1928-1931).

Stations de haute altitude — au vent :

MONT KAHUZI, 2°14'59'' lat. S. — 28°41'11'' long. G. — 3,308 m. alt.

mm. 1,559.9; jours pluvieux : inconnu (13 nov. 1929-13 nov. 1931).

Stations de moyenne altitude du versant Ouest de la dorsale congolaise — sous le vent :

MULE, 1,850 m. alt.

mm. 1,763.5; jours pluvieux : 211 (1929).

Stations de faible altitude en marge de la forêt équatoriale — sous le vent :

MOGOMBE, 1,000 m. alt. (?).

mm. 2,155; jours pluvieux : 211 (nov. 1928-octob. 1929).

STATIONS DES HAUTS PLATEAUX AU SUD DU LAC ENTRE LES DEUX DORSALES.

Stations d'altitude — au vent :

KABARE (Tshibimba), 2°29'30'' lat. S. — 28°48'00'' long. G. — 1,925 m. alt.

mm. 1,260.3; jours pluvieux : 131 (1928-1931).

NGWESHE, 2°42' lat. S. — 28°38'30'' long. G. — 1,730 m. alt.

mm. 1,334.9; jours pluvieux : 156 (1928-1931).

Stations de moyenne altitude à la base Nord du seuil Kivu-Tanganyika :

NYA-NGEZI, 2°41'25'' lat. S. — 28°51'55'' long. G. — 1,600 m. alt. (environ).

mm. 1,268.8; jours pluvieux : ? (1929).

Stations de haute altitude — au vent :

MONT BISUNZU (Buzezu), 2°36'52'' lat. S. — 30°25'45'' long. G. — 2,523 m. alt.

mm. 1,065; jours pluvieux : inconnu (3 juin 1929-3 juin 1931).

Station de référence sur le lac Tanganyika :

UVIRA (Mission protestante), 3°24'25'' lat. S. — 29°08'30'' long. G. — 800 m. alt.

mm. 896.2; jours pluvieux : 74 (1928-1931).

Régime de l'alizé boréal.

Stations de la rive du lac — au vent :

BOBANDANA (St. Joseph de Pélichy), 1°42'30'' lat. S. — 29°01' long. G. — 1,550 m. alt.

mm. 1,417; jours pluvieux : 143 (1928-1931).

Stations d'altitude (sur un haut plateau) — au vent :

KAHUNDU, 1,925 m. alt.

mm. 1,454.1; jours pluvieux : 172 (1928-1930).

MONT BUGOY (bassin des lacs Mokoto), 1°20'35'' lat. S. — 29°515' long. G. — 2,230 m. alt.

mm. 1,817.0; jours pluvieux : inconnu (18 mars 1930-18 mars 1931).

Station d'altitude de la dorsale orientale — au vent :

KABAYA, 1°44'10'' lat. S. — 29°31'25'' long. G. — 2,025 m. alt.

mm. 1,360; jours pluvieux : ? (1930-1931).

STATIONS INFLUENCÉES PAR LE MASSIF VOLCANIQUE DES MUFUMBIRU.

a) *en bordure du lac* :

KISSENYE, 1°42'05'' lat. S. — 29°15'18'' long. G. — 1,470 m. alt.
mm. 1,112.0; jours pluvieux : ? (1929-1931).

b) *de moyenne altitude — sous le vent* (dorsale orientale) :

NYUNDO, 1°42'16'' lat. S. — 29°19'22'' long. G. — 1,880 m. alt.
mm. 1,501.1; jours pluvieux : 199 (1928-1931).

c) *de moyenne altitude — au vent* (exposition orientale) :

RUHENGARI, 1°30' lat. S. — 29°38' long. G. — 1,850 m. alt.
mm. 1,235.5; jours pluvieux : ? (1928-1931).

d) *de moyenne altitude — exposition septentrionale* (bassin du lac Édouard) :

LULENGA (Rugari), 1°24'40'' lat. S. — 29°22'20'' long. G. — 1,800 m. alt.
mm. 1,927.1; jours pluvieux : 218 (1928-1931).

e) *de haute altitude — au centre du massif* (au vent) :

SOMMET DU KARISIMBI, 1°30'23'' lat. S. — 29°26'54'' long. G. — 4,506 m. alt.
mm. 932.0; jours pluvieux : inconnu (20 février 1930-20 février 1932).

Stations du massif du Ruanda.*Stations de la bande occidentale* :

RWAZA, 1°32' lat. S. — 29°42' long. G. — 1,850 m. alt.
mm. 1,125.1; jours pluvieux : ? (1924-1928).

Stations de la bande centrale :

RULINDO, 1°43'12'' lat. S. — 29°55'25'' long. G. — 1,850 m. alt.
mm. 1,050.6; jours pluvieux : 150 (1910-1914).

KABGAYE, 2°05'59'' lat. S. — 29°45' long. G. — 1,867 m. alt.
mm. 1,167.5; jours pluvieux : 133 (1925-1931).

ISSAVI, 2°33'13'' lat. S. — 29°46'20'' long. G. — 1,755 m. alt.
mm. 1,247.5; jours pluvieux : ? (1907-1913).

ASTRIDA, 2°36'22'' lat. S. — 29°44'17''6 long. G. — 1,753 m. alt.
mm. 1,034.4; jours pluvieux : 109 (1928-1931).

NYANZA, 2°34'46''56 lat. S. — 29°43'02''28 long. G. — 1,834 m. alt.
mm. 980.0; jours pluvieux : 114 (1927-1931).

KIGALI, 1°56'45'' lat. S. — 30°03'25'' long. G. — 1,450 m. alt.
mm. 1,073.0; jours pluvieux : 119 (1927-1931).

Stations de la bande orientale :

NZAZA, 2°08'25" lat. S. — 30°03'25" G. — 1,515 m. alt.

mm. 818.2; jours pluvieux : 111 (1908-1916) (1920-1921).

GATZIBU : 1°35'10" lat. S. — 30°14'00" long. G.

mm. 980.0; jours pluvieux : 114 (1927-1931).

Des conditions climatiques bien diverses apparaissent dans cette classification des stations. Nous essaierons d'analyser les causes qui déterminent des différences aussi profondes dans des limites de territoire relativement restreintes.

CHAPITRE IV

Action dynamique des dorsales sur les alizés.

Nous avons estimé qu'il était de la plus grande importance d'établir la position exacte des chaînes de montagnes principales par rapport à la direction des deux alizés.

Si nous avons considéré les systèmes montagneux dans leur ensemble sans séparer leurs traits essentiels, l'action mutuelle que les formes du relief exercent réciproquement nous aurait induit en erreur en nous masquant l'action propre de ces formes du relief qui par leur masse, par leur orientation et par leur structure sont capables d'exercer une action détaillée.

Les dorsales, à cause de leur orientation générale NS., barrent la voie aux alizés, mais cette action est loin d'être uniforme sur toute leur étendue. Celle-ci variera en rapport direct avec leur hauteur, avec leur direction, avec la pente et enfin avec la couverture végétale.

Ainsi, dans notre carte n° 6 (p. 13) nous indiquons la position de la ligne de partage des deux dorsales, qui se trouve orientée en segments de directions différentes par rapport au méridien.

Pour chacun de ces segments nous pouvons établir sous quel angle l'alizé aborde la dorsale. Nous savons que l'action de déviation verticale d'une chaîne de montagnes sur un courant d'air est maximum quand la direction du courant approche de la normale à la direction de la chaîne.

L'alizé austral, dès son arrivée sur le continent, est forcé de s'élever par suite de l'élévation du socle et par la convection.

La forme accidentée, l'étendue et l'altitude de cette partie du continent l'obligent à se maintenir à un certain niveau assez élevé qui lui permet de passer au-dessus du massif du Ruanda sans que celui-ci, dépourvu d'aspérités saillantes et dont la pente générale est de l'ordre de huit pour mille, puisse le dévier notablement.

Le courant doit heurter la ligne de faitage de la dorsale pour subir une première déviation verticale qui sera d'autant plus forte qu'il abordera la barrière montagneuse sous un angle approchant de la normale.

Nos observations sur la formation des nuages et du plafond nuageux nous permettent de croire que la déviation verticale des filets d'air chaud produite par les barrières dorsales commence entre 2,000 et 2,200 mètres d'altitude et que la perturbation doit s'étendre à une altitude au-dessus du faitage égale à quatre à cinq fois la hauteur de l'obstacle.

Sur le profil n° 1 (p. 10), reproduisant une coupe verticale du Ruanda le long du deuxième parallèle Sud, entre la Kagèra et le lac Kivu, nous avons tracé la hauteur approximative suivant laquelle se produit la déviation verticale des masses d'air sous la poussée de l'alizé de SE. Le massif, considéré dans son ensemble, paraît ne devoir exercer aucune action perturbatrice suffisante pour provoquer la condensation.

L'action générale d'élévation verticale des masses d'air chaud est modifiée en correspondance des sommets isolés et quand l'orientation de l'écran montagneux fait un angle trop petit avec la direction de l'alizé. Dans ce dernier cas les filets d'air sont déviés vers le Nord ou vers le Sud et ne subissent qu'une déviation verticale très faible. *La déviation sera enfin nulle si la ligne de faitage est plus basse que la limite altitudinale d'action reconnue pour la chaîne montagneuse ou si elle lui est égale* (1).

Nous avons indiqué schématiquement les formes principales du relief qui peuvent intéresser au point de vue de leur action dynamique.

(1) Dans le Sahara, où l'humidité atmosphérique est extrêmement pauvre, un relief important provoque la formation des pluies par l'action de déviation qu'il exerce sur les courants aériens. M. LASSERRE relate les condensations provoquées par le plateau calcaire de Talmaït et par le massif du Hoggar. « Les observations du Père de Foucauld en 1911 montrèrent en juillet, août, septembre un régime de petits orages de montagnes presque quotidiens, donnant des gouttes ou un peu de pluie mesurable, mélangée parfois de fine grêle » que l'on explique par la détente provoquée par les courants aériens forcés de franchir le massif.

Les plus caractéristiques sont les hauts sommets isolés des Mufumbiru. Les filets d'air de l'alizé heurtant ces montagnes sont déviés latéralement et vont se rejoindre à une certaine distance du versant sous le vent; une partie seulement du courant est déviée verticalement.

Le niveau auquel l'action de déviation verticale devient sensible varie pour chaque montagne. Il sera le plus bas quand aucun obstacle n'aura dévié le courant avant qu'il bute contre la montagne et d'autant plus élevée sera la déviation verticale au-dessus du sommet.

L'écran oriental constitué par le Karisimbi, par le Mikenno et par la masse isolée du Nyamalagira paraît remplir les conditions idéales pour que les déviations latérale et verticale des courants soient maxima.

Par contre, la ligne de faitage entre le bassin du Kivu et le bassin du lac Édouard ne paraît jouer qu'un rôle tout à fait secondaire sur les courants de NE, à cause de l'orientation du faite par rapport à la direction de l'alizé.

Dans la carte n° 6 ces conditions particulières du relief sont mises en évidence.

L'alizé, après avoir été dévié par la dorsale orientale, traverse la vallée du Kivu occupée par le lac et va heurter la dorsale congolaise. Il y subit une nouvelle déviation d'intensité variable selon que la hauteur du barrage dépasse ou non la hauteur de l'écran oriental et la courbe d'ascendance sera d'autant plus importante que l'obstacle à surmonter est plus élevé et uniforme et la vitesse horizontale du courant plus forte.

Les conditions idéales pour une déviation verticale très forte sont réalisées lorsqu'un courant arrive en sens normal contre une chaîne de montagnes après avoir traversé une plaine.

Baldit relate que, selon les expériences d'Idrac près de Biskra, dans le Sud algérien, la disposition d'un terrain type donnant l'ascension la plus forte et la zone la plus étendue des vents ascendants sont celles d'une pente ayant une inclinaison de 40° environ sur l'horizon, se raccordant dans le bas avec une plaine et dans le haut avec un plateau par arrondis graduels.

Dans ces conditions l'élévation des masses d'air peut atteindre une altitude égale à dix fois la hauteur de la montagne.

Notre situation orographique est bien différente. L'alizé, qui nous

arrive à un niveau déjà élevé, n'est dévié qu'à partir de 2,000-2,200 m. d'altitude; ainsi, la barrière, exerçant une action dynamique, n'a que quelques centaines de mètres de hauteur.

Il en résulte que l'altitude des arêtes du faitage et l'inclinaison des pentes au vent, entre le faite et la courbe de niveau de 2,000 mètres, sont d'une importance capitale pour que l'action de déviation y soit plus ou moins importante ⁽¹⁾.

Passé le barrage oriental, l'alizé tombe dans la vallée profonde du Kivu pour remonter sur la dorsale congolaise et retomber encore au delà de la chaîne en direction de la cuvette du Congo. Nul autre obstacle ne peut ici le dévier; aussi son action, par rapport à la production de la pluie, cesse-t-elle complètement.

Dans l'élévation des masses d'air, la vitesse à laquelle le courant heurte l'obstacle concourt à établir l'importance de la vitesse ascendante. Les alizés n'ont pas une vitesse constante toute l'année; nous croyons qu'elle augmente sensiblement lors du passage du soleil au zénith, c'est-à-dire aux saisons équinoxiales, pendant lesquelles l'action dynamique des dorsales atteint son maximum d'intensité ⁽²⁾.

La météorologie de relief admet couramment que, sous le vent d'une chaîne de montagnes et à une certaine distance de la ligne de crête, le courant élevé dans le sens vertical par l'action de l'écran montagneux tend à retrouver sa position horizontale et engendre un courant descendant qui intéresse surtout la partie inférieure des filets d'air en mouve-

⁽¹⁾ Les travaux de triangulation de cette partie de la dorsale étant encore en cours, il nous est impossible d'indiquer l'inclinaison moyenne des pentes orientales (au vent) de ce secteur important du Ruanda où l'action dynamique des chaînes montagneuses est la plus marquée. Nous nous proposons de combler cette lacune dans notre communication prochaine sur le « climat des hautes dorsales Congo-Nil ».

⁽²⁾ G. DEDEBANT et G. ROCHE, parlant des pluies au Maroc, relatent qu'aux limites de la période sèche (mai-juin et septembre-octobre) pouvant être identifiées avec les époques équinoxiales, « la surface de discontinuité entre alizé et contre-alizé, qui effectue une oscillation annuelle d'axe N-S, se meut le plus rapidement. On observe alors des orages généraux liés à des fronts de discontinuité ».

Pourrait-on voir une analogie entre ces phénomènes et un accroissement de vitesse des alizés de la bande équatoriale aux époques des équinoxes?

ment. Le phénomène est bien connu dans la zone alpine européenne, où il prend le nom de foehn.

L'alizé, tombant dans la vallée du Kivu à une certaine distance de la ligne de crête de la dorsale orientale, doit y produire un courant descendant tout à fait analogue au foehn.

Le long développement des dorsales dans le sens des méridiens, la largeur de la vallée séparant les deux chaînes et qui atteint 53 km. au niveau du deuxième parallèle, l'absence de relief important au delà de la dorsale occidentale nous font croire à l'existence de deux zones : l'une à peu près centrale, respectivement dans l'axe S.-N. du lac; l'autre à l'Ouest de la dorsale congolaise; ces deux zones sont le siège permanent de courants descendants qui disparaissent à l'apparition de perturbations orageuses pour se reformer aussitôt le calme rétabli.

Une troisième zone ayant les mêmes causes doit exister au Sud-Ouest de la ligne de faitage Kivu-lac Édouard.

Ce phénomène de foehn nous donnerait l'explication de la faible pluviosité de la station de haute altitude du mont Bisunzu ou Buzezu ⁽¹⁾ à 2,523 m., pour laquelle la forte élévation du massif ne paraît jouer aucun rôle et de l'existence d'une végétation à xérophilie fortement accusée sur la pointe méridionale de l'île Idwi, sur une grande partie de son versant oriental, ainsi que des formations xérophiles ou subxérophiles du versant occidental de la dorsale congolaise et des associations xérophiles de la rive Nord du lac.

La dorsale de l'île, dont l'altitude moyenne est inférieure à celle du secteur oriental correspondant, ne peut exercer aucune action importante sur l'élévation des courants.

La distance sous le vent de cette zone de foehn, par rapport à la ligne de crête des dorsales, n'est évidemment pas constante, mais varie selon l'allure des pentes et principalement selon la hauteur atteinte par la courbe ascendante des courants.

Prenant pour base la distance directe entre la station du mont

⁽¹⁾ Bien souvent les noms attribués à certaines localités diffèrent à cause de la façon différente dont ils sont prononcés par les indigènes de l'endroit ou par le personnel indigène à la suite du topographe, ce qui peut induire facilement en erreur celui qui doit les transcrire.

Bisunzu et le faite du secteur oriental correspondant, la zone de foehn sur le lac se place à environ 35 km. de la ligne du faitage oriental mesurée dans chaque point sur un même parallèle.

Si nous reportons cette distance sur la carte forestière du Comité National du Kivu, nous constaterons que la zone de foehn coïncide assez bien avec la distribution sur l'île Idjwi de la végétation xérophile.

Sur notre carte n° 6 la ligne de foehn est indiquée par un trait interrompu. Il devient ainsi compréhensible que les stations du réseau situées sur le massif au Sud du lac, influencées par cette ligne de foehn, aient été réunies en une subdivision du groupe des stations de l'alizé austral.

La zone de foehn à l'Ouest de la dorsale congolaise apparaît plus rapprochée du faitage à cause vraisemblablement de l'inclinaison beaucoup plus abrupte que les pentes sous le vent de la dorsale orientale. Elle est marquée approximativement par les associations subxérophiles à *Myrica salicifolia*, situées à mi-côte du versant occidental à des altitudes comprises entre 1,500 et 1,700 m. et que nous avons décrites au chapitre II sur la répartition actuelle de la forêt.

Entre la zone de ressaut ou des vents descendants au-dessus du lac et au-dessus du versant congolais et les faites existent à une distance variable sous le vent des sommets, des *tourbillons à axe horizontal* donnant une composante verticale ascendante le long des pentes sous le vent, dont la résultante est une zone de courants ascendants située entre la ligne de foehn et la courbe d'ascendance du vent.

Après avoir dépassé la ligne de foehn à l'Ouest de la dorsale congolaise, l'alizé reprend graduellement sa position horizontale, qui ne sera plus troublée par le relief. La circulation des masses d'air de la cuvette congolaise n'aura plus de rapports avec les alizés.

CHAPITRE V

Origine dynamique de la pluie.

La connaissance préalable des effets mécaniques que les formes géométriques du relief exercent continuellement sur les courants atmosphériques s'impose tout naturellement avant de considérer l'action thermique générale et les influences secondaires qui en dépendent.

Le relief en lui-même est simple et son action peut être facilement reconnue grâce au réseau assez serré de stations pluviométriques qu'on y a installées.

Nous nous efforcerons de voir séparément les trois actions principales auxquelles on attribue généralement la production de la pluie et chaque fois que les documents recueillis le permettront, nous essaierons d'indiquer laquelle de ces trois actions est prédominante.

Ces investigations sont toujours difficiles et demandent un outillage et des moyens autrement étendus que ceux dont nous avons pu disposer. Ainsi nos observations ne constituent qu'une toute première contribution à l'examen de certains phénomènes dont la manifestation nous est démontrée par l'expérience, sans aucune prétention d'offrir une analyse assez complète, ni une synthèse définitive.

Tout de même nous espérons parvenir, par ce travail et les suivants, à des résultats suffisants pour jeter les bases de la connaissance du milieu en vue de leur application à des recherches écologiques sur les grandes cultures de la colonisation européenne.

En dehors des deux alizés il n'y a pas de vents constants ou prédominants qui soufflent sur les montagnes ou dans la grande vallée tectonique du Kivu. Les courants qui parfois se produisent dans des directions différentes sont liés à la manifestation des orages ou sont en dépendance de formes particulières du terrain (vallées transversales, gorges, etc.) et d'une influence toujours très localisée.

La configuration orographique du bassin du Kivu, dominée par des formes géométriques relativement simples, nous permet de schématiser les rapports venant s'établir entre le relief et l'atmosphère en quelques notions fondamentales d'une compréhension facile. Le bassin peut être considéré comme une large vallée allongée dans le sens du méridien et bordée sur ses flancs par des parois élevées et abruptes.

L'action dynamique sur les alizés de ce long et double barrage méridien ne peut s'exercer qu'à l'exposition orientale des faîtes. Au-dessus de la courbe de niveau de 2,000-2,200 m. jusqu'à une altitude au-dessus des crêtes évaluable à non moins de quatre fois la hauteur de la partie de la chaîne agissant comme obstacle, s'établit une zone de l'atmosphère dans laquelle les courants au vent des crêtes ont une composante verti-

cale permanente et sous le vent des crêtes sont animés de mouvements tourbillonnaires ascendants sur le flanc de la montagne.

Comme nous l'avons dit, certains segments des dorsales sont orientés plus que certains autres dans un sens proche de la normale à la direction des alizés et, au-dessus de ces parties des dorsales, l'ascendance des courants par action mécanique est plus forte.

La détente produisant le refroidissement adiabatique des masses d'air, obligées de s'élever rapidement sous l'effet du relief, engendre la condensation et la formation de nuages qui sera d'autant plus active qu'elle se produira dans les secteurs où la vitesse verticale atteint son maximum.

Ces secteurs deviennent, par ce fait, les noyaux de formation du plafond nuageux et les centres d'où s'étendent les nuages et les fronts orageux.

Étant donnée la direction constante des courants supérieurs, il est aisé de comprendre comment la plus forte épaisseur du plafond est dirigée et maintenue, par la seule action du transport, au-dessus des zones orographiquement plus actives et se trouvant sur le parcours normal des alizés.

Ailleurs, où le relief agit faiblement ou n'agit pas du tout à cause de son orientation ou de la moindre altitude du faitage ou de l'état du revêtement végétal, ou encore des formes particulières de ses pentes (comme sur la dorsale orientale à l'approche de la surface de discontinuité; voir la carte n° 6), la condensation par détente de relief est beaucoup moindre.

Il en résulte que des situations pluviométriques très différentes se présentent dans des régions analogues quant à l'altimétrie et à la nature du sol, par la seule cause dynamique, abstraction faite des autres causes pouvant marquer davantage ou atténuer les effets de cette action.

Dans le massif des Mufumbiru la condensation a plusieurs centres localisés, principalement dans les zones de jonction sous le vent des montagnes isolées, des filets d'air ayant été déviés latéralement; secondairement (et ce par rapport à l'altitude des cimes) au-dessus des sommets.

La masse de la montagne, la hauteur de son influence verticale et la distance de son influence horizontale établissent pour chacune l'étendue des zones où la condensation est la plus active. Nous avons vu, parlant de la répartition des étages forestiers sur les pentes des volcans,

que ces zones ont une limite territoriale bien caractérisée. (Voir les croquis 7 et 8 aux pages 21 et 22.)

Le faite entre le Kivu et le bassin du lac Édouard ne paraît jouer qu'un rôle secondaire, à cause de son orientation et de ses pentes douces et uniformes, mais son influence s'ajoute cependant à l'action dynamique des volcans.

Son influence est par contre plus évidente dans l'établissement de la ligne de foehn, qui suit plus ou moins fidèlement la rive Nord du lac. Les volcans ne concourent qu'indirectement à la production de ce phénomène par la formation des brises de montagne.

CHAPITRE VI

Origine thermique de la pluie.

Dès le lever du soleil, l'évaporation est sollicitée sur toute l'étendue du lac, immense réservoir de vapeur d'eau. L'échauffement, distribué inégalement sur le lac et sur la terre ferme, met en mouvement des courants d'air chaud *dont la vitesse ascendante diffère* selon la température de l'air échauffé et selon la quantité de vapeur d'eau que ces courants transportent.

Toute la masse d'air au-dessus du bassin est ainsi sollicitée par un mouvement ascensionnel dont la vitesse verticale augmente avec la progression horaire de l'insolation.

Cette vitesse est inégalement répartie. Initialement elle est moindre au-dessus de l'eau (dont le pouvoir d'échauffement est moindre), et maximum au-dessus des pentes des montagnes et au-dessus des plateaux dénudés.

Indiscutablement, la nature du sol, selon qu'il s'agit de terrains dénudés ou de terrains couverts de végétation, de terrains sablonneux ou argileux, de roches calcaires ou cristallophiliennes et selon les particularités topographiques du terrain (sols rugueux ou unis, vallonnés ou en saillie, plateaux convexes ou dépressions), agira de façons différentes sur l'échauffement des couches inférieures de l'atmosphère.

Tous ces terrains divers cèdent par évaporation de la vapeur d'eau

en quantités différentes. Évidemment, elle sera maximum au-dessus du lac, au-dessus des marais et des forêts.

Dans un deuxième temps la vitesse ascensionnelle s'accroît au-dessus du lac, qui bien qu'ayant une capacité thermique plus grande que les terres, finit cependant par s'échauffer.

L'augmentation de vitesse du courant ascendant est due, pour une part, au fait que, l'air étant quasi saturé, la détente adiabatique conduit rapidement à la condensation. Dès lors, le refroidissement par détente n'atteint plus qu'environ 0,5° par 100 m. d'altitude, alors qu'il est de 1° pour 100 m. dans l'air non saturé.

Dans un troisième temps il n'y a plus qu'un seul courant ascendant qui, du lac, gagne les pentes des montagnes.

Ces phases sont bien visibles par l'observation de la formation des nuages. Dès les premières heures du jour des cumulus se forment au-dessus du lac; leur niveau de condensation se maintient relativement bas, pour s'élever par la suite et les cumulus approchent de la dorsale (sous le vent); d'autres cumulus se forment au-dessus de la ligne de crête (comme, par exemple, au-dessus du mont Bukulumissa) à un niveau plus élevé que les précédents, par rapport au lac. Les cumulus augmentent progressivement leur masse par l'apport de nouvelle humidité.

L'élévation des masses d'air humide par effet de l'insolation perd son caractère particulier aussitôt que les nuages condensés (les cumulus) entrent dans la zone d'ascendance dynamique.

Le mouvement ascensionnel est accentué à partir d'un niveau que nous avons indiqué à environ 2,200 m. d'altitude sur les pentes des montagnes. De nouvelles condensations apparaissent produisant l'épaississement et l'extension du plafond nuageux formé auparavant et les cumulus font place, dans des zones de ciel de plus en plus étendues, à des cumulonimbus.

Par l'effet thermique la circulation de l'air en correspondance des courants verticaux au vent des dorsales et des tourbillons sous le vent des crêtes est fortement accélérée. La vitesse ascensionnelle des courants dynamiques et tourbillonnaires engendre un fort brassage d'air qui tend à répartir uniformément la chaleur, transporte rapidement la vapeur

d'eau à de grandes altitudes. Les conditions nécessaires pour une chute abondante de pluie sont ainsi réalisées.

Ces mouvements d'air particulièrement intenses ont leur siège naturel dans les segments, qui par leur position et par leur forme exercent une impulsion dynamique plus forte. *Ces zones deviennent par ce fait les centres de production et de distribution de la pluie* pour les territoires soumis à l'influence de chacun des deux alizés.

Dans le croquis schématique n° 9, nous montrons la circulation générale de l'air telle qu'elle doit se produire entre les deux segments dorsaux soumis au régime de l'alizé austral, considérés selon une coupe transversale orientée de NW. à SE. Les principales stations de l'un et de l'autre versant du lac y sont comprises. (Voir la carte 6.)

Une zone au vent correspondant au niveau à hauteur duquel l'action de déviation des pentes devient sensible et une zone sous le vent correspondant à la partie ascendante du tourbillon horizontal bénéficient de pluies abondantes. La vapeur d'eau apportée par les masses d'air saturé en ascension au-dessus du lac y est rapidement condensée et déversée sous forme de pluie le long des pentes jusqu'à une altitude à laquelle la concordance des causes de condensation détermine une intensité maximum dans la chute des précipitations.

Au-dessus de cette limite et suivant les lignes de faitage, les masses d'air, déjà déchargées d'une grande partie de leur humidité, ne donnent plus que des pluies de moins en moins abondantes. Par conséquent, *pluies faibles et fines au-dessus des arêtes du faite*.

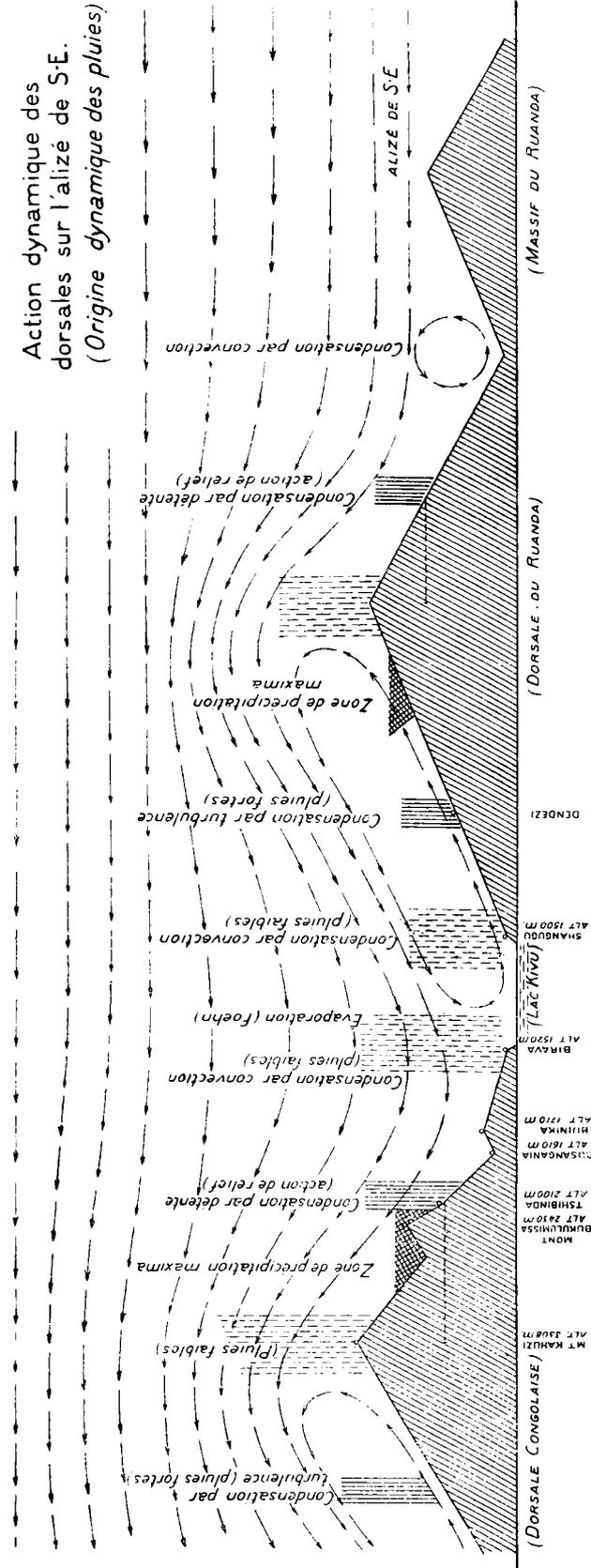
Au delà des crêtes de partage, le tourbillon horizontal sous le vent apporte de nouvelles masses d'air saturé, la condensation y est de nouveau activée le long des pentes et, à une certaine distance des sommets, la pluie tombe parallèlement à la courbe ascendante du tourbillon. La pluie diminuera en intensité au fur et à mesure que l'ascendance des filets d'air en mouvement sera moins sensible. Elle deviendra faible à la fin de la circulation tourbillonnaire. (Voir les photos 10, 11, 12 et 13.)

Il est évident que la présence de marais ou de vastes forêts dans les zones d'élévation maximum des filets d'air et le long du parcours ascendant des tourbillons sous le vent augmente la quantité des précipitations.

Près des rives du lac et sur une bande peu large à l'intérieur du

CROQUIS SCHÉMATIQUE 9.

Action dynamique des dorsales sur l'alizé de S.E.
(Origine dynamique des pluies)



bassin, au-dessous du niveau d'action dynamique des pentes au vent et en correspondance de la partie descendante du tourbillon sous le vent de la dorsale orientale, l'action de condensation est moins importante et les pluies y sont faibles.

La présence de courants descendants sous le vent des dorsales, cause permanente d'évaporation et par conséquent de diminution de l'épaisseur du plafond nuageux, concourt à entretenir une faible pluviosité. L'action thermique, tout en pouvant être forte, ne peut avoir son effet entier, à cause de l'insuffisance ascensionnelle des courants. (Voir le croquis schématique 9.)

Au-dessus des hauts plateaux au Sud du lac, influencés surtout dans leur partie centrale par la zone de foehn et sur les plateaux insolés du Ruanda, dont l'altitude est au-dessous du niveau dynamique de déviation de l'alizé, les précipitations sont réglées par la convection thermique et, comme l'apport de vapeur d'eau de ces surfaces est relativement faible, les pluies y sont peu abondantes. Nous ne tenons pas compte des situations particulières pouvant modifier localement la hauteur des pluies, ni de l'apport de pluie donné par le passage des orages qui ont pris naissance ailleurs où se présentent des conditions plus favorables.

A la station de Mogombe, en marge de la forêt équatoriale, toute action dynamique du relief ayant cessé, c'est encore la convection thermique qui règle les précipitations, mais l'apport important de vapeur d'eau donné par l'évaporation de l'immense forêt de la cuvette congolaise explique la hauteur considérable atteinte par la pluie.

A l'ascendance des masses d'air chaud et humide concourt encore la brise de vallée ou brise de lac, dont l'origine est en rapport strict avec l'action thermique de l'insolation.

Par temps calme la brise est régulière sur toute l'étendue du lac; elle y a une direction de l'Ouest à l'Est sur les rives orientales, du Nord au Sud dans la baie de Costermansville, de l'Est à l'Ouest sur les rives occidentales et du Sud au Nord sur les rives septentrionales.

Ce courant, qui a une direction presque constante, orientée dans le sens de la plus forte altitude des chaînes de montagnes et qui épouse la forme des pentes dans son parcours, a certainement une part importante dans le transport des couches d'air saturé au contact du lac.

La brise cesse entièrement ou voit son action fortement réduite quand le plafond nuageux est parvenu à une forte épaisseur et au-dessus du lac s'établit alors une turbulence orageuse annonciatrice d'averses.

CHAPITRE VII

Action du sol et de la végétation.

Le sol a une influence météorologique sur les précipitations, car il intervient indirectement pour modifier les effets de l'insolation et l'intensité de l'état d'instabilité des couches basses de l'atmosphère.

La forme principale de son intervention est donnée par son degré d'humidité. Celui-ci est sujet à varier selon la structure physique, la constitution, l'état de dispersion du sol, selon son pouvoir filtrant, sa capacité d'adsorption, l'activité circulatoire de l'eau de filtration, facteurs qui concourent à déterminer sa capacité de céder, par évaporation, de l'eau à l'air environnant.

La seconde forme d'influence est son pouvoir de céder à l'air des quantités plus ou moins grandes de chaleur. Lorsque nous devons nous occuper des terrains du Kivu, nous verrons plus en détail les proportions et la valeur pratique de ces influences.

Il est certain que ces actions étendues à des superficies suffisamment vastes et qui pourront être exagérées ou modérées par les formes du profil (surfaces arrondies, planes, convexes, etc.) sont de nature à modifier l'*intensité* de la convection qui entretient le phénomène des précipitations.

Nous avons déjà fait allusion à l'action des modifications plus marquantes du sol, telles que lacs, marais, rivières, etc., bien connue des climatologistes.

La végétation superpose à l'influence météorologique du sol une influence qui lui est propre. Un massif forestier étendu, par son évaporation, diminue la température de l'air ambiant et fournit des masses de vapeur d'eau dont le niveau de condensation (à cause de la température plus faible) sera plus proche de la surface du sol que si l'ascension de la masse d'air humide se produisait au-dessus du sol nu. La simple observation de la formation matinale des cumulus au-dessus des sommets

boisés met ce phénomène bien en évidence. Ce sont les premiers *nuages thermiques*.

La forêt offre encore un obstacle mécanique au passage des courants horizontaux et tout retard causé sur la partie inférieure d'un filet d'air provoque un mouvement vertical qui se traduit par une condensation. Ainsi, l'alizé austral, qui s'est échauffé vraisemblablement pendant le passage au-dessus des plateaux du Ruanda, parvenu au-dessus des montagnes boisées de la dorsale, y rencontre des masses d'air plus froides.

Cet écoulement d'une masse chaude et humide au-dessus de la forêt établit une *surface de discontinuité thermique* qui détermine la condensation corrélative à un mouvement ascendant. L'*état d'instabilité* existant au-dessus des dorsales par l'effet thermique et dynamique de la circulation générale sera donc exagéré par la présence de la forêt (1).

La forêt entretient un climat interne qui est modifié dans son entité par le type de la végétation et un climat externe dont nous venons d'indiquer le rapport avec la production de la pluie. Nous omettons dans cette étude d'envisager l'action de la masse forestière sur les éléments du climat autres que la pluie.

Les deux secteurs qui sont le siège d'un état prédominant d'instabilité (segment *a* pour la partie méridionale du lac; segment *b* au Nord de la surface de discontinuité et le massif des Mufumbiru) sont ceux qui possèdent les surfaces boisées les plus étendues. (Voir la carte 6.)

Est-ce la forêt qui entretient l'instabilité, cause de pluies abondantes, ou bien l'instabilité est-elle provoquée par les facteurs météorologiques et la forêt y trouve-t-elle l'habitat le plus favorable à son existence?

A notre avis et comme il nous paraît démontré par notre étude, les facteurs météorologiques et du relief maintiennent un *état permanent* qui est favorable ou défavorable à l'apparition des pluies.

(1) Quelque auteur prétend que l'excès de pluie d'une région forestière, par rapport à une région déboisée, augmente avec l'altitude à laquelle est située la forêt. Nous croyons pouvoir confirmer cette opinion tout en la limitant entre des niveaux altitudinaux relatifs et l'expliquer par l'exagération produite par la forêt de la diminution de température due à l'altitude.

Cette exagération dans la baisse de température s'explique par une augmentation de l'évaporation, dont la cause première serait un accroissement de l'énergie solaire, filtrée à travers une masse d'air et de vapeur d'eau moindres que plus bas.

La végétation ne fait que s'adapter à ces conditions de climat (le « climax » de Braun-Blanquet). Si aucune autre intervention ne trouble ces rapports spontanés du climat et de la végétation, un type forestier déterminé occupera les zones dans lesquelles l'ambiance est rendue favorable par le climat et dans ce domaine territorial pourra vaincre aisément la lutte d'associations concurrentes. L'extension d'une formation forestière exercera alors, par sa masse, si nous pouvons nous exprimer ainsi, une action d'exagération des facteurs du climat qui favorisent sa propre existence.

La nature des associations végétales intervient sûrement dans la condensation dans l'air libre par l'apport d'humidité qu'elle peut donner dans les premières heures du jour aux couches de l'atmosphère en contact avec le sol ⁽¹⁾.

La rosée se condense en de très fortes quantités sur certaines formations. Ceux qui ont voyagé dans la brousse, comme par exemple les brousses à *Pennisetum purpureum*, où les herbages dépassent parfois cinq mètres de hauteur, savent qu'il faut attendre que l'évaporation ait séché les herbes pour pouvoir s'y aventurer, sous peine de voir les vêtements mouillés comme s'ils avaient été trempés.

La condensation de la rosée diffère énormément entre les types différents de brousse, de prairie, de savane. Si une pente de montagne, un plateau élevé, une ligne de crête est couverte par l'une ou l'autre de ces formations, les quantités d'eau qu'elle offrira à l'évaporation sont certainement diverses. Les autres facteurs du climat restant invariables, ces quantités de vapeur d'eau fournies aux courants en ascension ont une influence proportionnelle.

⁽¹⁾ E. DE WILDEMAN, dans sa communication : *La forêt équatoriale congolaise; ses problèmes biologiques*, considère que « les arbres et les arbrisseaux à enracinement profond amènent plus d'humidité à l'air que la végétation herbacée ou le sol nu et qu'ils favorisent les pluies en dehors des saisons régulièrement humides ».

Cette action bienfaisante que l'auteur relate se manifesterait par l'action directe exercée sur le sol par les végétaux à enracinement profond: ameublissement du sous-sol et une meilleure circulation des eaux d'infiltration. Une activation générale des fonctions de transpiration et un pouvoir d'absorption plus fort du terrain fourniraient à l'air de plus grandes quantités de vapeur d'eau.

CHAPITRE VIII

Distribution verticale et horizontale de la pluie.

L'installation des stations pluviométriques à de très fortes altitudes nous a servi d'abord à démontrer l'existence d'un phénomène permanent de foehn sous le vent des dorsales, qui annule l'action normale d'un massif élevé sur l'augmentation des pluies (station du mont Bisunzu), puis à prouver la progression jusqu'à une limite maximum des précipitations, suivie par une décroissance assez rapide, partout où l'action du relief n'est pas troublée.

La connaissance de ces aspects de la répartition altitudinale des précipitations est de grande importance pour l'étude des climats particuliers aux étages végétaux de haute montagne: au point de vue agricole, pour pouvoir déterminer les espèces économiques qui permettront d'utiliser ces territoires d'altitude; au point de vue de la navigation aérienne, pour établir la zone de fréquence maximum des orages et de la production des grandes averses.

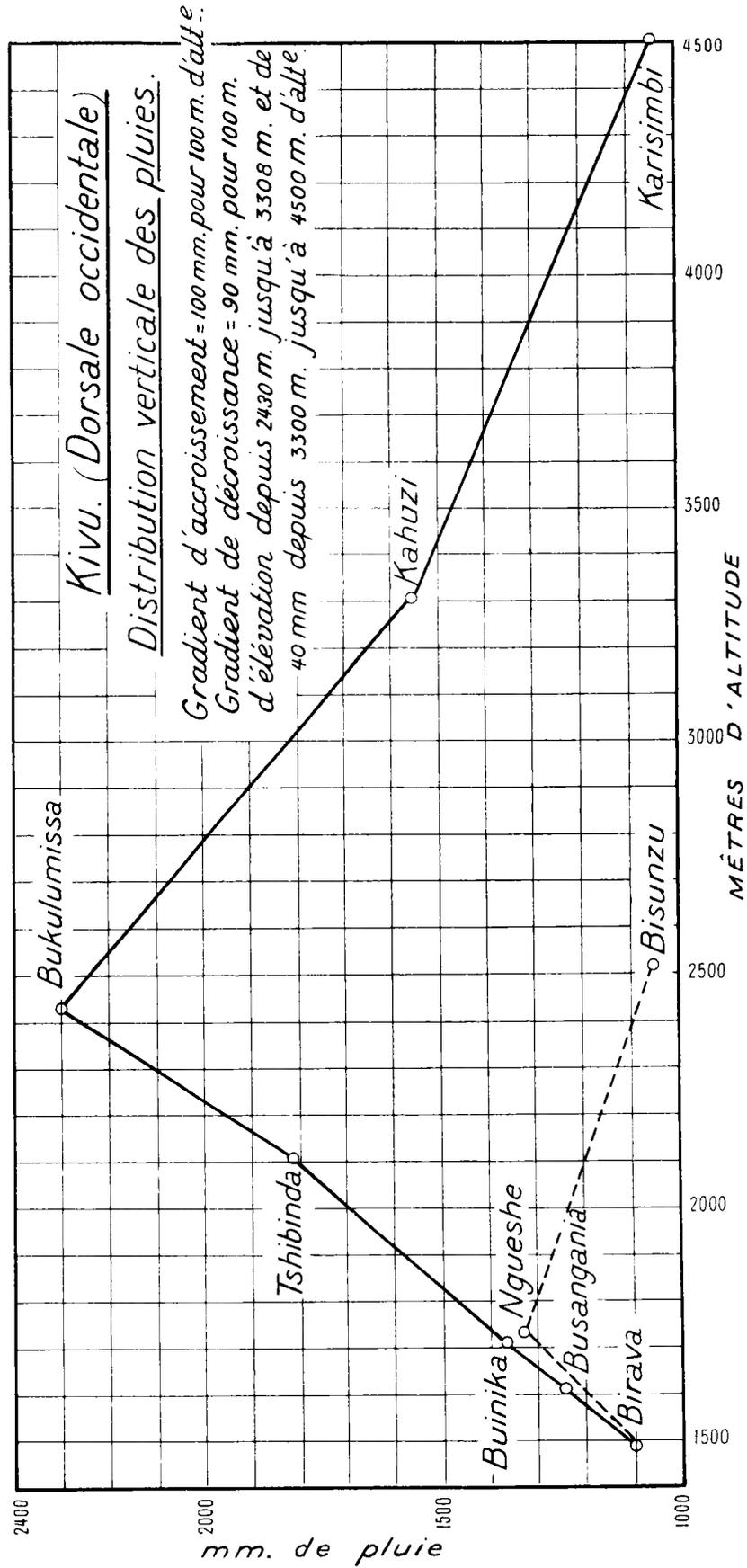
Une situation topographique idéale pour étudier la répartition verticale et horizontale des pluies sous l'influence des chaînes de montagnes est donnée par la série de stations distribuées sur les deux dorsales du secteur méridional du Kivu, dans l'axe de direction de l'alizé austral et que le croquis n° 9 représente schématiquement. (Voir page 46.)

L'inclinaison moyenne des pentes est de 19 pour mille sous le vent de la dorsale orientale; de 50,9 pour mille mesurée entre le mont Bukulumissa et Birava; de 80,9 pour mille mesurée entre le Kahuzi et Katana (78 pour mille entre le faitage et Kalehe); de 31,6 pour mille entre le dôme Biega et la station de Mule (sous le vent). (Voir les profils 2 et 3 planche pages 10-11).

En d'autres endroits cette fonction naturelle du relief d'augmenter la hauteur des précipitations est troublée par la disposition et l'orientation mêmes des montagnes. La pluviosité de la station de Rubengera nous en offre un exemple typique.

Dans le bassin du Kivu, la prédominance de l'un ou de l'autre phénomène météorologique ou de l'une ou de l'autre forme du relief

GRAPHIQUE 10.



La ligne à traits interrompus établit une comparaison entre Birava, stations du bord du lac, Ngweshe, station d'altitude du plateau central au Sud du lac et le mont Bisunzu, station de haute altitude également au Sud du lac. — Tandis que la droite de Birava à Ngweshe montre une augmentation normale des pluies par effet de l'altitude, mais tout de même avec une progression moindre par comparaison aux pentes au vent de la dorsale du lac, la faible pluviosité de la station du Bisunzu qui par son altitude correspond encore au niveau des précipitations maxima, en nette opposition avec la forte pluviosité du mont Bukulumissa, montre clairement l'influence du foehn. — (Voir la carte 6 et la classification des stations du réseau aux pp. 32-35.)

produit toute une série de situations intermédiaires formant transition entre des extrêmes de pluies très fortes et de pluies relativement très faibles.

Nous avons reporté en abscisses l'altitude des stations entre la rive du lac à Birava et le sommet du Kahuzi, en y ajoutant, pour compléter la série d'altitude, la station du sommet du Karisimbi; en ordonnées la hauteur moyenne annuelle de chacune des stations. Il en est résulté la courbe que le graphique n° 10 représente ⁽¹⁾.

On y remarque tout de suite l'existence d'une *zone de précipitations maxima* qui s'établit en correspondance de l'altitude de 2,400 mètres, au delà de laquelle la hauteur de pluie décroît rapidement selon une progression accélérée.

La courbe nous permet d'établir un *gradient d'accroissement* de la pluie à partir du niveau du lac jusqu'à la limite altitudinale des précipitations maxima et un *gradient de décroissance* à partir de cette limite jusqu'à 4,500 m. d'altitude.

Le premier gradient ou gradient positif est égal (approximativement) à 100 mm. d'augmentation de pluie pour 100 mètres d'élévation verticale; le second gradient ou gradient négatif est de 90 mm. de diminution de pluie pour 100 mètres d'élévation jusqu'au niveau de 3,300 m. d'altitude et de 40 mm. de ce niveau à 4,500 m. d'altitude.

Nous croyons que cette zone de précipitations maxima s'identifie effectivement avec l'altitude de 2,400-2,500 m., dans des conditions analogues de pente et de boisement, pour tous les territoires du fossé tectonique compris entre 3° lat. S. et 5° lat. N. (partie des dorsales et le Ruwenzori).

Elle pourra avoir des oscillations locales de peu d'importance sur des montagnes isolées et très élevées, comme nous le supposons dans le massif des Mufumbiru, où la hauteur de pluie est liée localement à la double déviation de l'alizé, mais dans l'ensemble nous pouvons retenir avec une précision suffisante que ce niveau coïncide pour tous les terri-

⁽¹⁾ Nous avons omis la représentation de la distribution verticale des pluies sur la dorsale orientale, ne possédant pas de stations d'observation sur le faite, ni dans la zone élevée au vent.

toires de haute montagne de l'Afrique centrale avec la zone de précipitations maxima (1).

Si nous établissons des comparaisons avec les maxima altitudinaux connus pour certains pays de latitude égale, nous verrons que le niveau altitudinal des pluies du bassin du Kivu est un *maximum continental*, probablement le plus élevé qui ait été reconnu jusqu'à présent pour l'Afrique équatoriale humide. La disposition géographique du relief nous donne l'explication probable du phénomène.

Les alizés qui y parviennent de l'Est du continent et butent contre les dorsales à un niveau approximatif de 2,000-2,200 m., maintiennent la zone de perturbation dynamique à une altitude très élevée.

Dans l'île de Java, la zone de précipitations maxima se place à 800 m. d'altitude. Les courants y arrivent de la mer et toute la masse montagneuse de l'île agit sur leur élévation à partir d'un niveau équivalent ou proche à celui de la mer ou voisin, tandis que ces conditions ne peuvent se réaliser sur un système orographique situé au centre du continent.

Ceci nous explique le décalage altitudinal des pluies entre un pays équatorial à situation insulaire et un pays équatorial à situation continentale et le décalage corrélatif des forêts climatiques et des grandes cultures de la colonisation européenne.

Dans le bassin du Kivu la zone de précipitations maxima coïncide avec la limite altitudinale d'expansion de la forêt mésophile ou forêt équatoriale de montagne. Au-dessus de 2,400 m. d'altitude, cette formation cède la place à des associations de moins en moins hygrophiles donnant lieu à une succession de strates forestières dont chacune possède un climat propre intérieur (climat biologique).

Nous croyons que l'existence des strates sylvicoles, abstraction faite des modifications déterminées par la station édaphique, est liée à une trinomie climatique donnée par la pluie, la température et l'humidité atmosphérique (évaporation), dont les rapports mutuels établissent pour

(1) Le profil 28, que nous donnons hors texte, met bien en évidence la progression verticale de la pluie entre le lac Tanganyika (variation du climat tropical austral) et le lac Édouard (climat soudanien). Les minima altitudinaux y apparaissent nettement.

les différentes altitudes, en corrélation avec les formes du relief, un équilibre biologique déterminé.

Ce fait, comme nous l'avons vu précédemment, a de l'importance non seulement au point de vue de la géographie de la flore de haute montagne, mais encore et tout spécialement pour déterminer, d'un point de vue écologique, la distribution des cultures par rapport à l'optimum de leur production.

Lorsque nous devons parler du climat du Kivu, nous essaierons de décrire quelques exemples, qui nous semblent des plus typiques, de stations bio-édaphiques de haute altitude.

La répartition des pluies n'est pas soumise seulement au changement de l'altitude, mais, comme on sait, elle est liée à l'*influence horizontale* qu'une montagne isolée ou une chaîne de montagnes exerce sur les phénomènes de condensation.

Notre graphique n° 11 reporte la distance en ligne droite entre les stations de la dorsale congolaise depuis Birava, sur la rive du lac, jusqu'à Mule, sur le versant occidental, évaluée par approximation en la projetant horizontalement sur une ligne droite de base, orientée de Sud-Est à Nord-Ouest, et reproduit la hauteur de pluie de chaque station.

La courbe obtenue montre que la hauteur de pluie augmente sensiblement à une distance faible de la ligne moyenne de pente (indiquée par la ligne en traits interrompus) et de la ligne de faitage, distance qui peut être évaluée à 2-3 km. environ. Le maximum altitudinal et la décroissance rapide au-dessus de ce niveau sont encore mis en évidence. L'accroissement de la hauteur de pluie montre encore un certain parallélisme proportionnel à l'inclinaison de la pente : plus fort pour des pentes raides, moins fort pour des pentes douces.

Les inégalités du relief jouent dans ce cas un rôle prépondérant répartissant la prédominance de l'action dynamique ou de l'action thermique dans les différentes localités.

Au-dessous du niveau d'instabilité dynamique, l'ascension des masses d'air humide s'opère surtout en raison de leur plus faible densité; à hauteur et au-dessus du niveau d'instabilité dynamique l'air chaud et humide s'élève rapidement par l'action mécanique de la pente et par différence de densité des masses condensées. Ce dernier mouvement a une

ampleur beaucoup plus grande que le précédent et engendre des précipitations abondantes.

Ceci explique la grande variabilité de la hauteur annuelle de pluie entre les territoires du bassin et nous pouvons croire, sans crainte d'erreur, que son fractionnement est encore plus fort que ce que nous montre le réseau pluviométrique, pourtant assez serré.

Par rapport à leurs distributions verticale et horizontale, nous classons les pluies du bassin du Kivu et des zones environnantes en trois catégories : *pluies de convection*, auxquelles appartiennent les stations de la rive du lac, celle de la lisière avec la grande forêt équatoriale (Mogombe) et celles de la bande orientale du Ruanda; *pluies de relief à caractère thermique prédominant*, auxquelles appartiennent les stations de moyenne altitude du pourtour du lac, les stations des bandes centrales et occidentales (au vent) du Ruanda et les stations du massif central au Sud du lac; *pluies orographiques à caractère dynamique prédominant*, auxquelles appartiennent les stations au vent au-dessus du niveau d'action mécanique des dorsales et du versant sous le vent où domine une action tourbillonnaire ascendante.

La hauteur annuelle de pluie est, dans une certaine mesure, indépendante de son origine, parce que des conditions locales peuvent modifier profondément l'action génératrice de la pluie, comme cela nous est montré expérimentalement par certaines stations du réseau.

Ainsi Mogombe, à la lisière de la forêt ombrophile, doit ses pluies à la convection thermique, mais l'action générale de l'immense forêt et l'échauffement plus intense de l'atmosphère influencent la circulation des courants au point d'atteindre annuellement deux mètres de pluie.

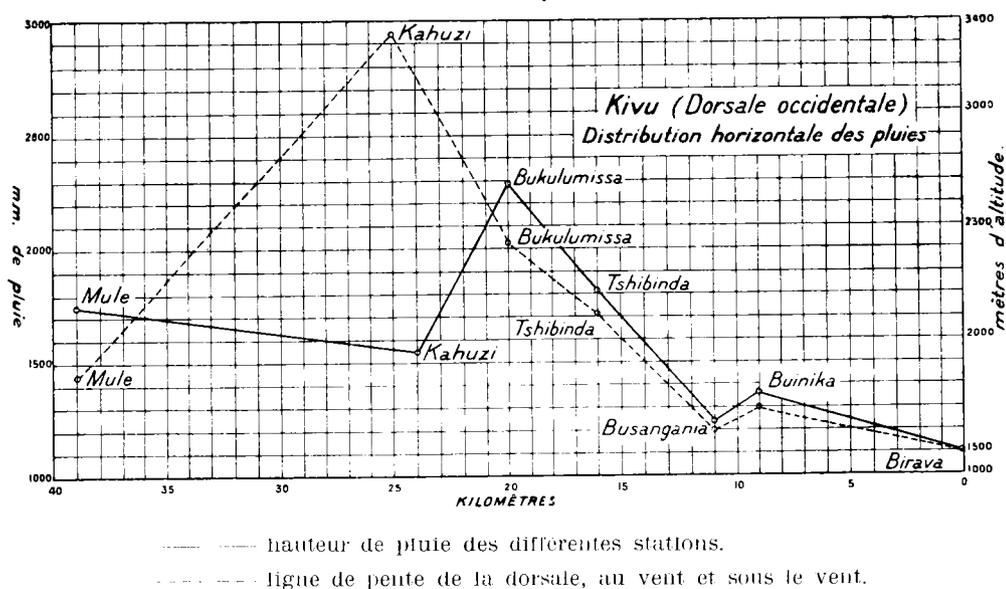
La station du mont Bisunzu (Buzezu) appartient aux pluies de relief, mais l'action de foehn résultant de la circulation générale de la zone parvient à annuler l'action de l'altitude et la pluie n'atteint qu'un mètre par an environ.

La station de Rubengera, tout en appartenant à la même catégorie, n'enregistre qu'un mètre de pluie par an contre 1,834^{mm}9 à Dendezi, située sur le même versant de la dorsale orientale à une altitude analogue. Ici, nous avons attribué l'inaction du relief à la déviation vers le Nord de l'alizé, à cause de son orientation, et au voisinage de la zone de foehn;

secondairement la destruction de la forêt du faitage a exagéré ces effets négatifs du relief.

L'observateur de la station de Rubengera, M. Lestrade, nous a affirmé avoir vu plusieurs fois les cumulo-nimbus pluvieux se former au-dessus du faitage, mais ne pas donner de pluie parce qu'ils s'éloignaient vers le Nord et avoir observé que beaucoup d'orages provenant

GRAPHIQUE 11.



de l'Ouest et progressant vers Rubengera étaient évaporés peu après le passage au-dessus de l'île Idjwi; Kalehe était arrosé abondamment quand Rubengera n'avait pas une goutte de pluie.

La station du Karisimbi appartient aux pluies orographiques, mais ne recueille qu'un mètre de pluie par an. La cause en est bien connue : l'appauvrissement en vapeur d'eau des courants ascendants quand ils parviennent dans les hautes couches de la troposphère.

Les cas particuliers que nous venons de décrire prouvent que la classification des pluies que nous avons proposée n'a pour but que d'indiquer les causes permanentes, météorologiques et de relief, qui sont à l'origine des précipitations et de leur répartition.

CHAPITRE IX

Origine et circulation des orages.

L'état d'instabilité atmosphérique que nous avons vu exister de manière quasi permanente au-dessus des segments dorsaux présentant une orientation proche de la normale à la direction des alizés est également à l'origine de la formation des orages.

L'action thermique, dont l'intensité varie parallèlement au passage du soleil aux équinoxes, produit une accélération des courants ascendants chauds et humides. L'évaporation par l'élévation de la température dans les couches de l'atmosphère au contact du sol en est exaltée.

Des causes locales peuvent toujours intervenir pour intensifier les effets généraux de l'action thermique. La résultante en sera une augmentation de la vitesse ascensionnelle des courants verticaux. A cette vitesse sont étroitement liées la formation des nuages à orage (cumulo-nimbus et fracto-nimbus) et la formation de la grêle ⁽¹⁾.

Parvenus au niveau où la perturbation dynamique est dominée par l'alizé, les nuages orageux s'étendent horizontalement et le tourbillon d'orage est établi.

A ce niveau, la vitesse des colonnes d'air ascendant sera diminuée fortement et permettra l'accumulation de grandes masses d'eau. Dans la partie du courant où la vitesse tombe au-dessous de huit mètres par seconde, une grande accumulation d'eau, selon toute probabilité, se produit et là sera le siège de la plus grande accumulation d'électricité.

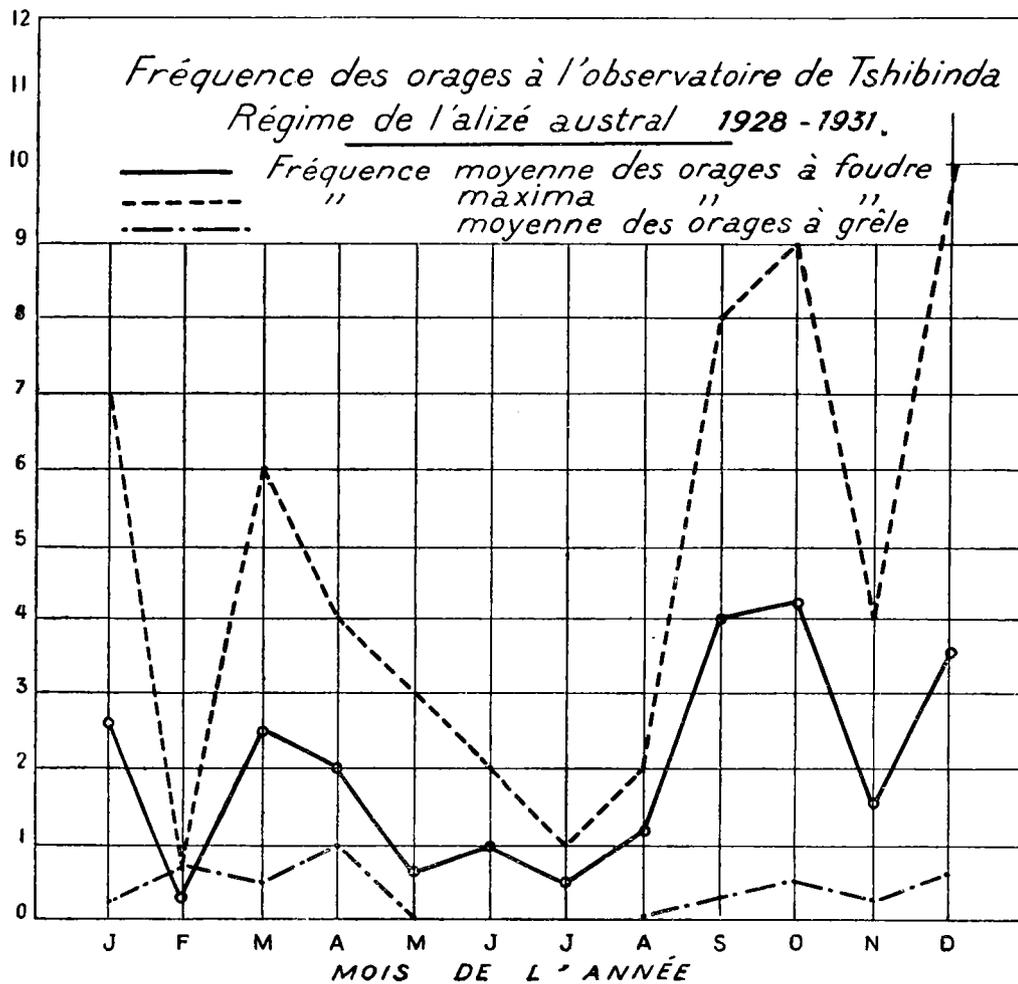
« C'est à ce moment, ou peu après, que l'eau emportée par le courant ascendant *tombera comme une pluie lourde*, chargée positivement sur l'un ou l'autre côté extérieur du courant ascendant (E. MATHIAS). »

Le graphique n° 12 montre la fréquence moyenne et maximum des orages à foudre et la fréquence moyenne des orages à grêle, observée à Tshibinda pendant la période 1928-1931.

(1) Les auteurs attribuent aux courants ascendants d'orage une vitesse approchant de 8 m. par seconde. Si la vitesse augmente beaucoup au-dessus de cette limite, c'est l'orage à grêle qui se forme.

La courbe de fréquence nous indique un maximum principal en correspondance de la saison pluvieuse de l'équinoxe boréal et un maximum secondaire pour la saison humide de l'équinoxe austral. A quoi tient ce

GRAPHIQUE 12.



fait, en opposition avec l'importance respective des deux saisons à la latitude de Tshibinda? (Voir le diagramme des pluies 7 hors texte.)

Nous formulons l'hypothèse que la cause doit en être recherchée dans la grande quantité de poussières répandues dans l'atmosphère pendant la saison sèche, à la suite des incendies de brousse. Elles viennent exercer un rôle principal de noyau de condensation et l'on peut

admettre que dans une mesure tout à fait secondaire elles intensifient le régime électrostatique de l'atmosphère. Leur influence s'étend à tout le processus de condensation des gouttes de pluie à l'intérieur des nuages orageux. Selon C. T. R. Wilson, en l'absence de poussières « la condensation ne peut commencer que lorsque la sursaturation quadruple est atteinte : la vapeur d'eau se dépose alors sur les ions négatifs ».

A notre avis, les poussières produites par les incendies de brousse sont encore à l'origine de la formation de cette brume si caractéristique de beaucoup de régions tropicales et qui estompe le lointain pendant toute la saison sèche. Cette brume séjourne sur le lac Kivu jusqu'à l'apparition des premiers orages de la saison équinoxiale boréale. Seulement, au-dessus des sommets et des pentes élevées, elle y est refoulée après le coucher du soleil, par l'apparition des brises de montagne (courants descendants).

D'autre part, le massif du Ruanda est pendant toute la saison sèche une source importante de poussières transportées sans cesse par l'alizé dans les strates élevées et mises en circulation par les courants de convection dans les couches inférieures.

Les poussières, fumées, vescicules, brouillards qui encombrant l'atmosphère à la fin de la saison sèche, auxquels il faut ajouter l'influence indirecte du fléchissement de la température pendant cette saison, en diminuent la conductibilité, favorisant la formation des nuages inférieurs et la production des grandes averses ⁽¹⁾.

La courbe moyenne des orages à grêle montre que le maximum est atteint dans les mois de février, mars, avril, période pendant laquelle la chute de pluie est le plus intense et où l'atmosphère peut se considérer comme débarrassée de la masse de poussières, vescicules, etc., accumulées

(1) La grande extension des coulées basaltiques du tertiaire et les coulées plus récentes répandues sur de grandes extensions dans le bassin du Kivu nous permettent d'imaginer une action ionisante de ces sols radioactifs sur l'atmosphère locale. Cette action ne paraît exercer aucune influence appréciable sur la production des orages, dont la plus forte intensité au début de la saison pluvieuse de l'équinoxe boréal apparaît déterminée par de causes exclusivement météorologiques. L'éventuelle action ionisante des volcans actifs eux-mêmes paraît tout à fait accessoire en comparaison de leur action thermique bien évidente dans l'intensification des manifestations orageuses.

pendant la grande saison sèche. L'intervalle sec ou moins humide de l'été austral ne paraît devoir exercer par sa courte durée aucune influence appréciable ou du moins n'avoir qu'une action tout à fait secondaire.

Les phénomènes orageux se produisent, par conséquent, dans une atmosphère pure. Il faut alors admettre que pendant cette saison de pluies le régime de la sursaturation est dominant, pour expliquer la plus grande fréquence des orages à grêle. Si la réalité correspond à l'hypothèse, ceci confirmerait notre opinion que l'apport copieux de poussières pendant la saison sèche est à l'origine de la prédominance des orages à foudre pendant les premières pluies zénithales.

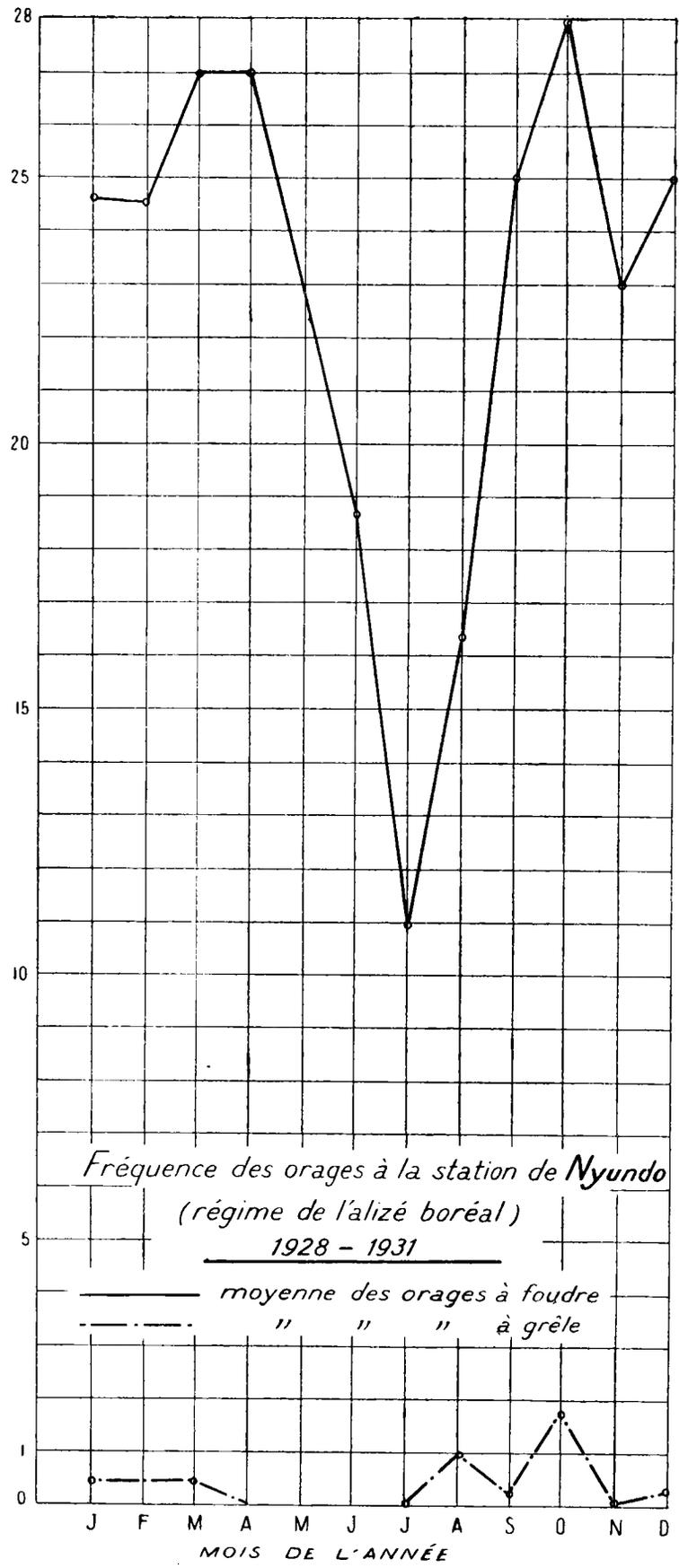
Dans le secteur septentrional du bassin l'intensité des phénomènes orageux est bien supérieure. L'influence du massif des Mufumbiru, par ses hauts sommets isolés et surtout par l'action des volcans en activité, y est des plus manifestes. Le graphique n° 13 nous donne la courbe moyenne des orages à foudre et des orages à grêle observés à la station de Nyundo pendant la période 1928-1931.

On y remarque encore une plus grande fréquence des orages à foudre dans la saison de l'équinoxe boréal, mais la supériorité y est peu sensible; *l'intensité des phénomènes orageux* montre une corrélation nette avec les maxima de température correspondant au passage du soleil aux équinoxes (mars-avril et octobre).

Contrairement à ce que nous avons observé pour Tshibinda (alisez austral), ici la fréquence des orages à grêle est plus accusée en correspondance de la saison de l'équinoxe boréal.

Les centres générateurs des condensations orageuses sont partagés dans ce secteur entre la partie Nord et plus élevée de la dorsale du Ruanda et les deux volcans actifs Nyamalagira et Niragongo.

Entre les versants occidentaux du Mikeno et du Karisimbi (4,437 et 4,506 m. d'altitude) et les deux volcans actifs, nous croyons que l'atmosphère est dans un état d'instabilité très intense pendant la plus grande partie de l'année. Dans cette zone élevée et d'une étendue limitée, les orages à foudre sont à peu près journaliers. Nous avons pu observer sur les pentes du Mikeno, dans des ravins presque verticaux, les nuages monter avec une vitesse verticale qui devait approcher de 15 à 20 mètres à la seconde (voir photo 14). Le 3 avril 1929, de notre camp établi à



GRAPHIQUE 13.

2,730 m. sur le versant Sud du Niragongo, il nous a été donné d'observer, pendant la manifestation d'un orage, la longue traînée de vapeurs émanant du cratère se dresser verticalement et y rester pendant toute la durée de l'orage.

Indubitablement, dans cette zone de convection maxima et de courants verticaux très rapides, les chutes de grêle au-dessus de 3,500 m. d'altitude (3,000 m. pour les pics isolés) doivent être beaucoup plus fréquentes que dans les couches inférieures de l'atmosphère.

Selon le R. P. Van den Houdt, de la Mission catholique de Lulenga (Rugari), le nom « Karisimbi » dérive d'« Isimbi », qui signifie « coquille » dans le langage des autochtones. Les grêlons sont représentés dans leur pensée par l'image des coquillages marins que les indigènes portent habituellement à la taille et au cou.

La chute de grêle sur les cimes élevées est un phénomène dangereux. Nous en expérimentâmes les effets sur le pic Kahuzi (3,308 m.) le 27 février 1929. Avant l'orage, l'alizé de SE. soufflait avec une vitesse de 10 mètres à la seconde; pendant l'orage il doubla nettement la vitesse et la grêle nous frappait presque horizontalement (1). La respiration nous était fort pénible et nous fûmes obligés de nous accroupir dans le sens du vent pour pouvoir résister. La température tomba en quelques instants de 12° à 3° pour remonter à 5° après l'orage. La grêle avait duré une quinzaine de minutes. Le 26 février, la grêle tomba également sur la montagne. A l'altitude de 2,540 m. sur le flanc occidental, nous enregistrâmes pendant l'orage, à 14 heures, une chute à peu près brusque de température de 14° à 9°8. Même sur le sommet la grêle ne persiste à ces altitudes que quelques heures au maximum.

Le cratère du Nyamalagira, d'un diamètre de près de deux kilomètres, est le siège d'orages presque journaliers. Les décharges disruptives y sont très fréquentes et la pluie y a un caractère d'averses violentes de courte durée.

Rien d'étonnant si l'on songe à la quantité de chaleur que ce volcan rayonne sur les couches d'air voisines.

(1) Il est bien connu que des filets d'air animés de forte vitesse qui butent contre un pic isolé subissent une sorte de laminage qui accroît la vitesse du courant et produit un abaissement de la pression.

Les laves solidifiées du fond du cratère ont une température qui n'est pas inférieure à 40°; la lave incandescente des nombreuses fontaines (nous en observâmes douze) a une température probable d'au moins deux mille degrés; les fumerolles du deuxième étage du cratère ont une température qui ne doit pas être loin de 500°. Il est facile de se rendre compte de l'intensité ascendante des courants qu'une telle action thermique, agissant à 3,000 m. d'altitude, provoque au-dessus du cratère et qui vient s'ajouter à l'action dynamique de la montagne.

Si les phénomènes analogues du Niragongo sont moins intenses, la plus forte quantité de vapeur d'eau émanée du cratère et la plus grande altitude de la montagne ne contribuent pas moins à l'instabilité atmosphérique de la région.

Le 17 avril 1929 nous essayâmes les effets d'une averse dans le cratère du Nyamalagira. La pluie tombant sur la lave chaude du cratère y était évaporée instantanément et produisait un nuage si dense que la visibilité en était coupée à un mètre de distance. Pendant deux heures (la nuit tombait déjà) nous fûmes séparés de notre compagnon de voyage, le botaniste français, D^r H. Humbert, et obligé à l'immobilité absolue. Les signaux sonores que nous nous lançâmes pour essayer de rétablir la liaison ne furent pas entendus : le nuage nous isolait complètement. Seules les lueurs rougeâtres de la lave explosant dans les cônes en formation des fontaines, distantes de quelques dizaines de mètres de nous, nous maintenaient en contact avec le monde extérieur.

Les deux alizés paraissent régler *la circulation* des orages, chacun dans le secteur de son ressort. Les observations qui ont été poursuivies sur le déplacement des nuages orageux et sur la perturbation amenée sur les courants locaux par le passage d'un orage nous permettent d'en représenter approximativement la ligne de parcours.

Sur la carte n° 14 nous avons tracé les trajectoires probables dans chacun des deux secteurs : le boréal et l'austral. Les deux trajectoires paraissent se rencontrer contre la surface de discontinuité, d'où elles sont déviées en direction de l'Est. L'orage qui, par exemple, a son origine au-dessus du segment *a*) de la dorsale orientale (à l'arrière de Dendezi) avance vers la dorsale congolaise suivant la direction de l'alizé ou est

dévié légèrement de l'Est à l'Ouest. Production d'averses sur tout le versant au vent; l'orage dépasse la dorsale et réapparaît après quelques heures sur Kalehe. Il pleut sur la côte du lac jusqu'à hauteur de Katana; le front orageux, qui entretemps a perdu de fortes quantités d'eau et qui est moins alimenté par les courants ascendants plus faibles de l'après-midi, se dirige vers la dorsale du Ruanda. Parfois il donne encore des pluies le soir sur le versant occidental du lac; souvent, au passage au-dessus de l'île, les nuages sont évaporés et l'orage est détruit. (Que l'on se rappelle la faible pluviosité de la station de Rubengera.)

A Tshibinda, les averses, dues à un retour d'orage provenant de l'Ouest ou du Sud-Ouest, sont un phénomène relativement fréquent. Nous le verrons mieux dans le chapitre suivant.

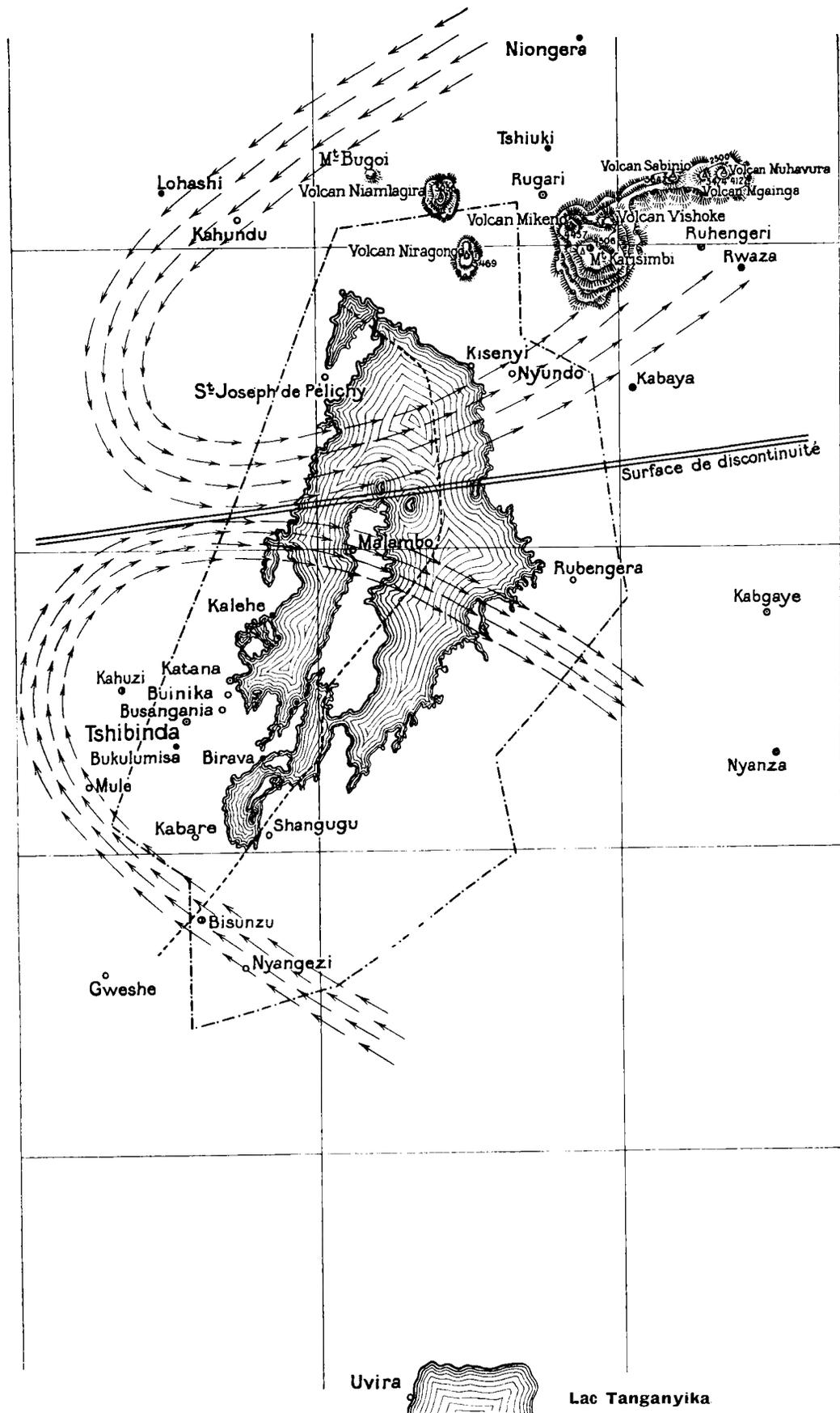
Nous avons observé des phénomènes analogues dans le secteur septentrional du bassin. De Kissenye il nous a été donné plusieurs fois d'observer des masses orageuses provenant de l'Ouest ou du Sud-Ouest (orages de retour) passer au large de la côte, dépasser le promontoire qui ferme à l'Est la baie de Kissenye et aller se décharger sur le versant sous le vent de la dorsale du Ruanda en y donnant des ondées intenses accompagnées de décharges électriques nombreuses, tandis qu'au-dessus de Kissenye et pour une profondeur variable selon le relief de 1 à 4 km. en direction Nord et Nord-Ouest, le ciel restait serein ou faiblement nuageux.

Très vraisemblablement la ligne de foehn, que nous avons supposée à proximité de la côte et orientée pour une partie du trajet parallèlement à celle-ci, empêche les zones orageuses provenant de l'Ouest de s'étendre vers le Nord (sur la côte de Kissenye).

Nos observations à ce sujet n'ont pas la continuité qui aurait été désirable et, d'autre part, il n'a pas été possible de demander à toutes les stations du réseau des observations suivies. Mille causes diverses l'empêchaient. Néanmoins, nous estimons utile d'exposer ce que nous avons vu personnellement au cours de nos voyages.

Voici comment nous avons observé la formation d'un orage le 15 février 1930 à Nkuli, localité du flanc méridional du Karisimbi à 2,300 m. d'altitude, près du faitage au vent du secteur Nord de la

CARTE 14.



..... orientation du faite des segments dorsaux.
- - - - - ligne de foehn.

dorsale orientale. Au-dessous de Nkuli s'étend une vaste plaine de lave entourée de chaînons montagneux :

« Le matin, au lever du soleil, le ciel est parfaitement serein; seuls quelque cirrus ou cirro-stratus pas très étendus se remarquent à l'horizon. Après une heure les cirro-stratus apparaissent plus étendus.

» A 8 heures, un voile léger de stratus, sous lequel pendent des cumulus, s'accroche aux sommets les plus élevés: le Karisimbi, le Mikeno, le Muhavura. A 9 heures, la couche de stratus est plus étendue et montre une plus grande épaisseur; elle continue à s'accrocher aux sommets des volcans. Des nuages légers sont alignés à proximité des flancs des montagnes à une certaine distance des pentes.

» A 10 heures, l'épaisseur des strato-cumulus s'est accrue considérablement par apport du bas et recouvre les sommets moins élevés à un niveau d'environ 3,500 mètres. Les cimes les plus élevées sont déjà cachées. Dans le reste de l'horizon, au-dessus de la plaine de lave et des chaînons de montagnes, de gros cumulus se sont formés et sont animés d'un mouvement qui paraît dirigé du Nord-Est et du Nord vers le Sud-Ouest et le Sud. Tout le plafond nuageux, poussé par l'alizé, paraît se déplacer vers le Sud et ainsi l'orage se dessine comme provenant du Nord.

» A 11 heures, les premiers nimbus sont formés et la partie inférieure du plafond nuageux apparaît à un niveau de 3,000 mètres.

» A 12 heures, le ciel est couvert. Les nimbus couvrent l'horizon du côté Nord, Nord-Est, Est. Le plafond s'est encore abaissé et son niveau inférieur est à 2,700 mètres.

» A 13 heures, les premières décharges passent entre les nimbus; le tonnerre paraît se propager du Nord et du Nord-Est avec le bruit d'une batterie d'artillerie de gros calibre. Peu après c'est la pluie.

» D'abord de grosses gouttes à intervalles espacés, puis l'averse violente. La durée normale est d'une heure, exceptionnellement de deux heures. La pluie ralentit sa vitesse de chute et se transforme en pluie fine. La masse nuageuse se déplace en direction du Sud-Ouest et les premières éclaircies apparaissent.

» La pluie terminée, le ciel reste brumeux; l'évaporation du sol est intense.

» Au coucher du soleil les nuages se font de plus en plus rares et le ciel peut redevenir serein. Mais souvent un brouillard bas et épais estompe le paysage et persiste la nuit entière. Effet bien souvent de la brise de montagne, courant descendant froid qui provoque la condensation de l'eau évaporée du sol après la pluie.

» Parfois, après le coucher du soleil, la pluie réapparaît sous forme d'une pluie fine, régulière, qui continue à tomber pendant deux ou trois heures. Loin à l'horizon l'on peut remarquer le reflet des éclairs qui sillonnent l'orage de retour. »

A la fin d'un voyage dans la région des lacs Mokoto, nous avons eu la chance de suivre, de la baie de Sake (golfe de Kabuno Kashanga), la formation d'un orage dans la zone des volcans actifs Niragongo et Nyamalagira. Le 28 mars 1930, nous étions en pirogue au milieu de la baie, dans une situation idéale pour observer ce qui se passait au large, dans un rayon de plusieurs kilomètres (Parc National Albert et bassin des lacs Mokoto).

« Les émanations du Niragongo (plus abondantes) et celles du Nyamalagira, à 10 heures, se montraient jointes en une seule traînée dirigée vers le Sud-Ouest sous la poussée de l'alizé de Nord-Est. La traînée tend à s'élargir de plus en plus dans sa partie terminale.

» Au-dessus l'on observe une série d'alto-cumulus orientés également dans le sens de l'alizé; en dessous des fumées des volcans s'accrochent des cumulus dont la masse s'agrandit à vue d'œil.

» A 11 heures, la traînée s'est élargie en éventail : le ciel est entièrement couvert au-dessus des Mokoto et au-dessus de la dorsale à l'Ouest de Sake. De gros nimbus pendent du plafond nuageux. Leur niveau inférieur est approximativement à 2,500 m. d'altitude.

» Du Sud de la baie souffle la brise de vallée, assez forte pour provoquer un ressac.

» Sous la poussée de l'alizé le plafond nuageux s'est épanoui encore plus en forme d'éventail, dont le pivot apparent de rotation correspond aux sommets des deux volcans; du côté Sud il dessine une concavité au delà de laquelle l'horizon est serein; au Nord le ciel est entièrement couvert de nimbus et de fracto-nimbus.

» A 13 heures, des décharges éclatent au-dessus des cratères et la pluie tombe par averses et par ondées sur les flancs des volcans. Entre-temps, les fracto-nimbus avancent en direction du Sud-Ouest.

» Vers 14 heures, la brise de vallée diminue de vitesse, pour cesser peu après. Une accalmie de quelques minutes s'établit, bientôt remplacée par un courant froid et fort du Nord. Une inversion nette de vent s'est produite.

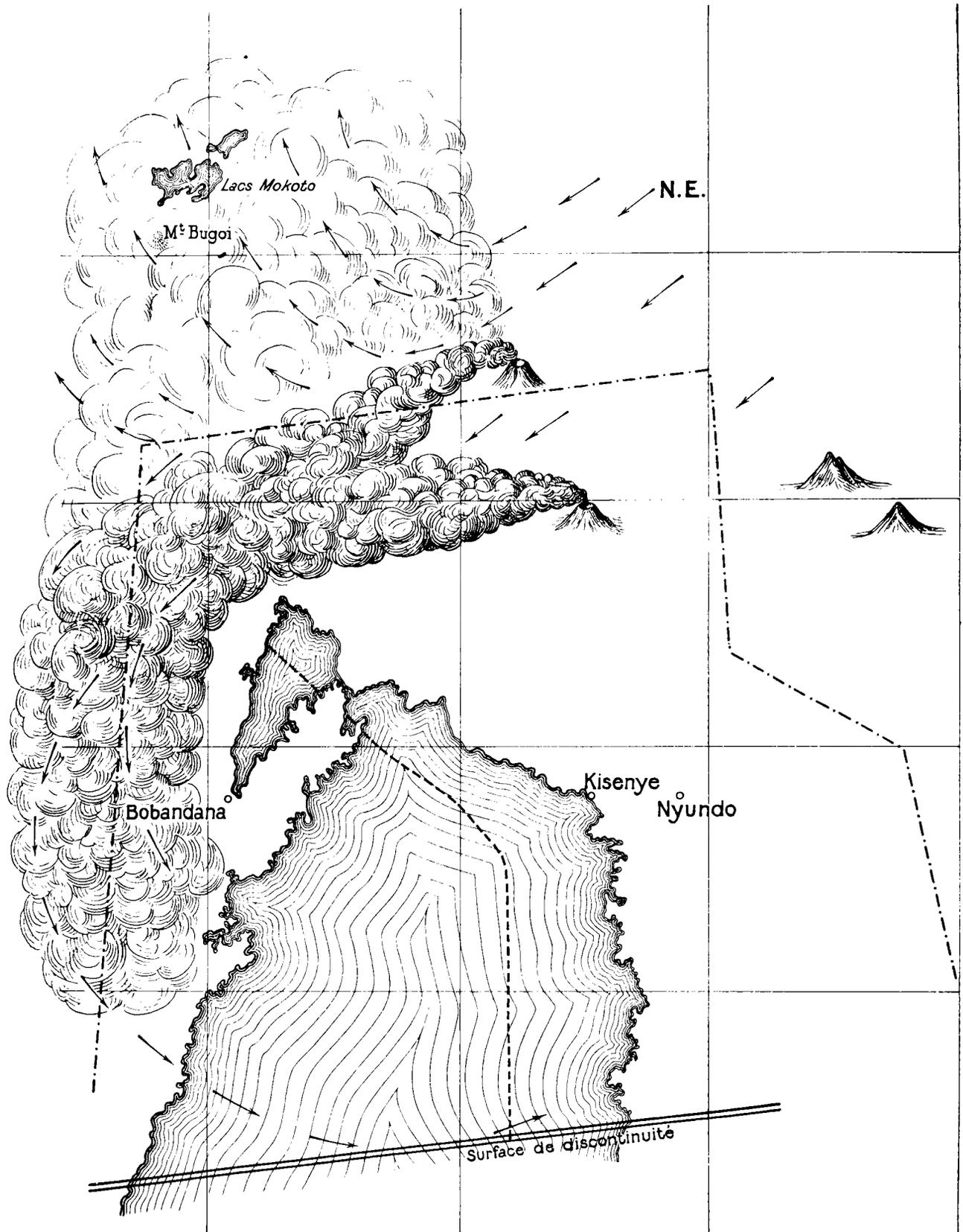
» A 15 heures, l'horizon montre de longues éclaircies dans tout le secteur Nord au-dessus des Mokoto, tandis que la traînée nuageuse provenant des volcans s'élargit en éventail en direction du Sud et du Sud-Est jusqu'à couvrir entièrement le ciel. Entre 16 et 17 heures l'orage se déclare au-dessus de la station de Bobandana (St.-Joseph de Pélichy). Les décharges électriques y sont moins fréquentes et les averses sont moins violentes.

» Une heure après le coucher du soleil, un courant froid descendant d'Ouest et de Nord fait son apparition. C'est la brise de montagne. Le ciel devient serein au-dessus des montagnes, tandis que parfois un brouillard épais persiste quelque temps sur les rives du lac » ⁽¹⁾. (Voir photo 15.)

Dans les cartes n^{os} 15 et 16 nous essayons de représenter schématiquement les deux phases principales que nous venons de décrire.

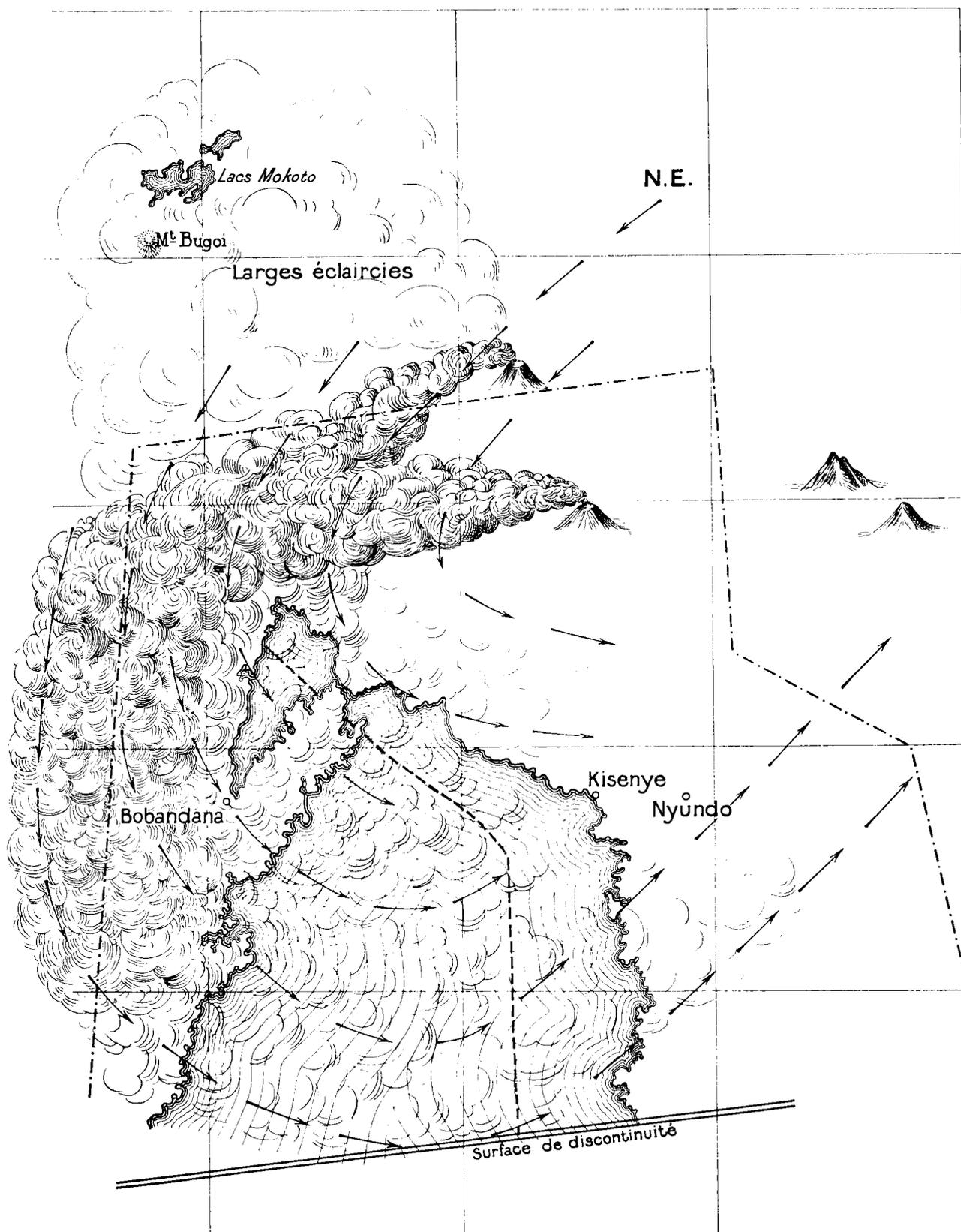
Les manifestations électriques atteignent leur intensité maximum au-dessus du cratère du Nyamalagira, centre que nous avons dit être très actif dans la formation des orages. Comme partout ailleurs, la foudre tombe de préférence sur certaines aspérités du sol pouvant se trouver sur le passage d'un orage. Une action d'attraction paraît être exercée par des

⁽¹⁾ A. PILETTE, parlant de l'éruption du volcan Rumoka survenue en décembre 1912 sur les rives septentrionales du golfe de Kabuno-Kashanga, relate que le vent souffla pendant ce mois de l'Ouest et du Sud-Ouest... « La nuit le vent souffla vers l'Est. » C'était alternativement la brise du lac et la brise de montagne qui déviaient les colonnes de vapeur d'eau et de cendres lancées par le volcan. Le même auteur mentionne la formation de tornades et de trombes d'eau. En effet, les vastes expansions des laves incandescentes et les explosions du cratère pouvaient bien exercer, par leur rayonnement vers les couches inférieures de l'atmosphère, une action thermique assez intense pour justifier la manifestation de tels phénomènes.



--- orientation des lignes des faitages des segments dorsaux.
 — ligne de foehn dans la partie septentrionale du lac.

Orage du 28 mars 1930 dans le golfe de Kabuno-Kashanga. — Première phase ... à 11 heures, la trainée s'est élargie en éventail ; le ciel est entièrement couvert au-dessus des Mokoto et au-dessus de la dorsale à l'Ouest de Saki.



Orage du 28 mars 1930 dans le golfe de Kabuno-Kashanga. — Deuxième phase ...à 15 heures, l'horizon montre de longues éclaircies dans tout le secteur Nord au-dessus des Mokoto, tandis que la trainée nuageuse provenant des volcans s'élargit en éventail en direction du Sud et du Sud-Est jusqu'à couvrir entièrement le ciel.

saillies basaltiques. Dans l'ensemble la chute de la foudre ne dépasse pas la moyenne ordinaire ⁽¹⁾.

La manifestation et la circulation des orages peuvent augmenter localement, entre des limites même très larges, la hauteur de pluie d'une station. Mais il ne faut pas croire que la pluviosité d'une zone soit en rapport direct avec le nombre d'orages qui normalement s'y manifestent; nous avons vu que plusieurs circonstances diverses entretiennent un régime de pluie plus ou moins généreux. Beaucoup d'orages ne donnant pas de précipitations, Nyundo, avec une moyenne annuelle de 279 orages, n'a que 1,500 mm. de pluie, tandis que Tshibinda, avec une moyenne de 29 orages, atteint 1,800 mm. de pluie. La prédominance des manifestations orageuses fournit plutôt une indication sur le caractère dominant des pluies : grosses pluies (à électricité positive?) ou pluies calmes (à électricité négative?).

CHAPITRE X

Action des orages sur les vents, la température, l'humidité relative.

Le phénomène plus frappant que l'on remarque au passage des orages est l'inversion nette du vent. Quelle que soit la direction du vent à la formation de l'orage, son passage au-dessus d'une station produit d'abord une augmentation parfois très forte de la vitesse du courant existant et après le passage une inversion presque toujours nette à la direction primitive du vent.

Nous ne possédons d'observations complètes à ce sujet que pour l'Observatoire de Tshibinda, mais le phénomène a sans doute un caractère général. Lors de notre séjour dans le cratère du Nyamalagira, nous avons relaté avoir été frappé par l'allure des sortes de dunes de la plaine à lapilli de l'étage supérieur du cratère. Par la suite, nous nous sommes rendu compte que le fait ne pouvait être produit que par le contraste de

⁽¹⁾ Il nous a été donné d'observer plusieurs fois des amas en saillie ou des roches isolées de basalte, arrondis en correspondance des pointes et des arêtes. La fluitation n'étant pas intervenue, ces rochers avaient été fondus par la foudre dans leurs aspérités.

deux courants opposés dont l'un devait avoir une vitesse et une persistance dominantes. Le cratère du Nyamalagira, centre permanent ou presque, de formation d'orages, trouve les deux courants opposés dans l'alizé de Nord-Est et dans un courant de Sud-Ouest (courant d'inversion) produit par le passage des orages.

Le passage d'un orage a une répercussion immédiate sur la température et sur l'humidité atmosphérique, par une chute rapide de la première et une hausse également rapide de l'humidité relative.

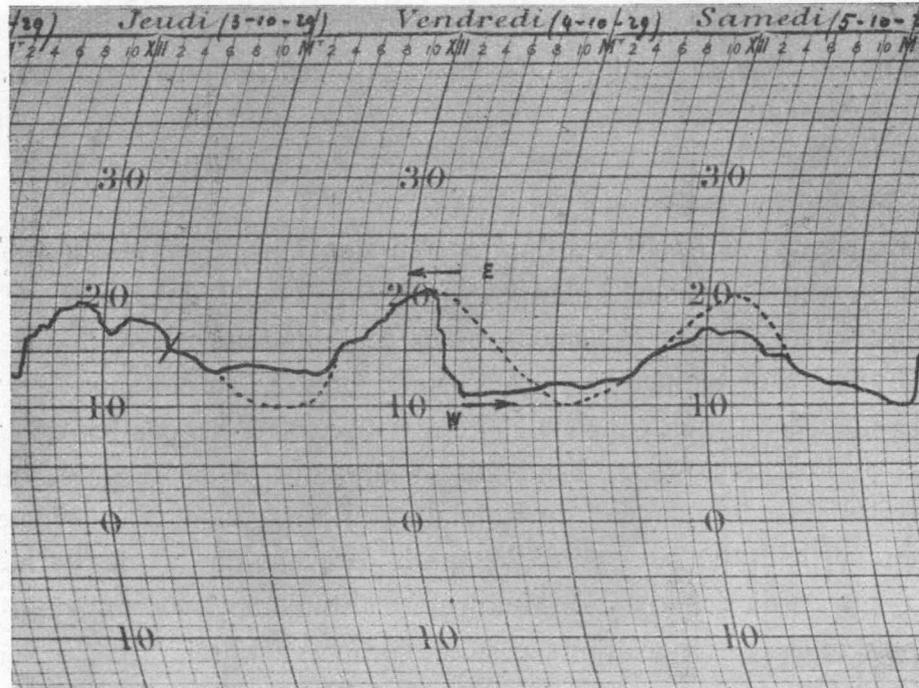
La chute de température est brusque, presque instantanée lors de l'apparition de la grêle, phénomène qui nous est révélé par les enregistreurs de l'observatoire de Tshibinda et que nous avons relaté au sujet des fortes altitudes (sommet du Kahuzi et du Niragongo). Reste fameux à ce propos le drame survenu en 1910 à la caravane du duc de Mecklembourg, qui perdit dans la selle Mukuru, à l'altitude de 3,900 m., vingt-six hommes, morts de congélation par suite d'un orage à grêle.

Le tableau que nous donnons aux pages 76-79 indique l'amplitude de ces phénomènes pour certains orages de la période 1928-1931 choisis parmi ceux qui nous ont paru les plus intéressants.

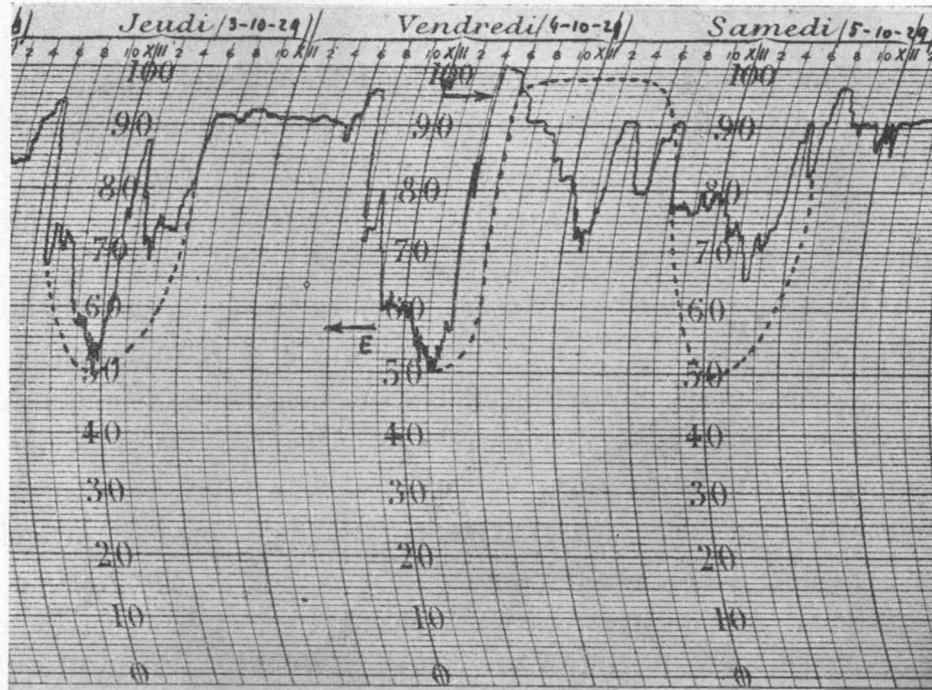
La chute de pluie par averses, même sans la manifestation de décharges électriques, c'est-à-dire sans que l'orage se déclare, peut aussi influencer fortement la température et l'humidité atmosphérique.

Le 4 octobre 1929 la chute de température a atteint un maximum de 9°,5 en l'espace de deux heures dix minutes, à la suite d'une averse qui a donné 17 mm. d'eau. Ce maximum n'a plus été atteint dans toute la période 1928-1931.

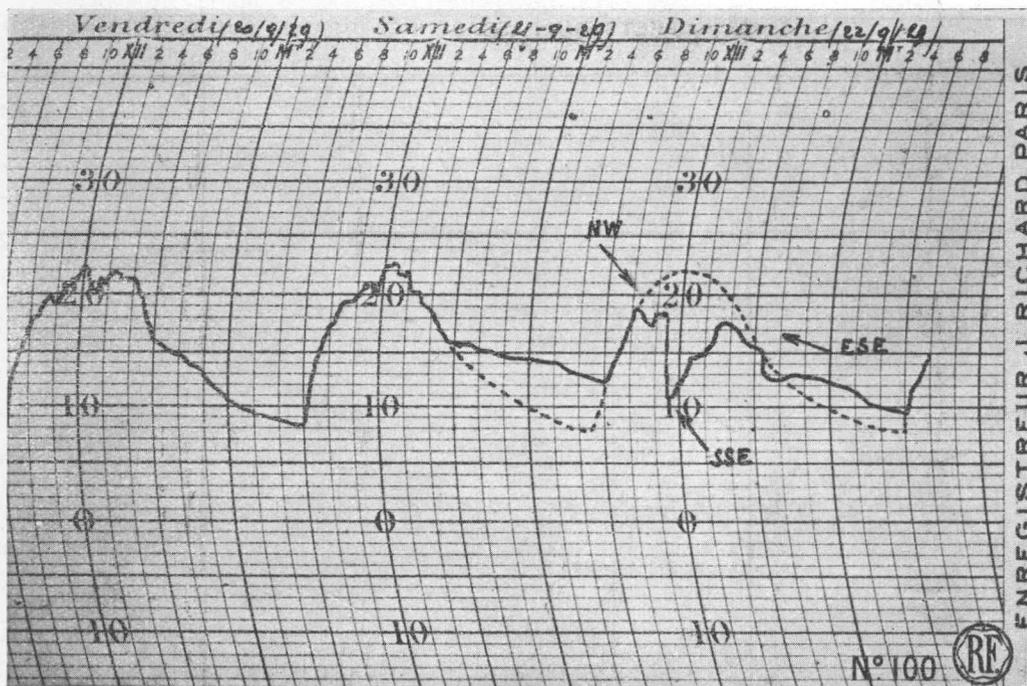
Au cours de l'orage à grêle du 22 septembre 1929, la diminution de température a été de 7°,5 par chute brusque et le refroidissement de l'air a précédé d'une heure les précipitations (grêle, suivie de pluie). A la même heure, l'humidité relative passe brusquement, comme l'indique la courbe quasi verticale du psychrogramme, de 65 à 100 %, pour revenir brusquement au point de départ après le passage de l'orage. L'inversion du vent a été nette et subite. Le thermogramme et le psychrogramme du 22 septembre 1929 montrent bien ces phénomènes et leur corrélation. (Voir les diagrammes 19 et 20.)



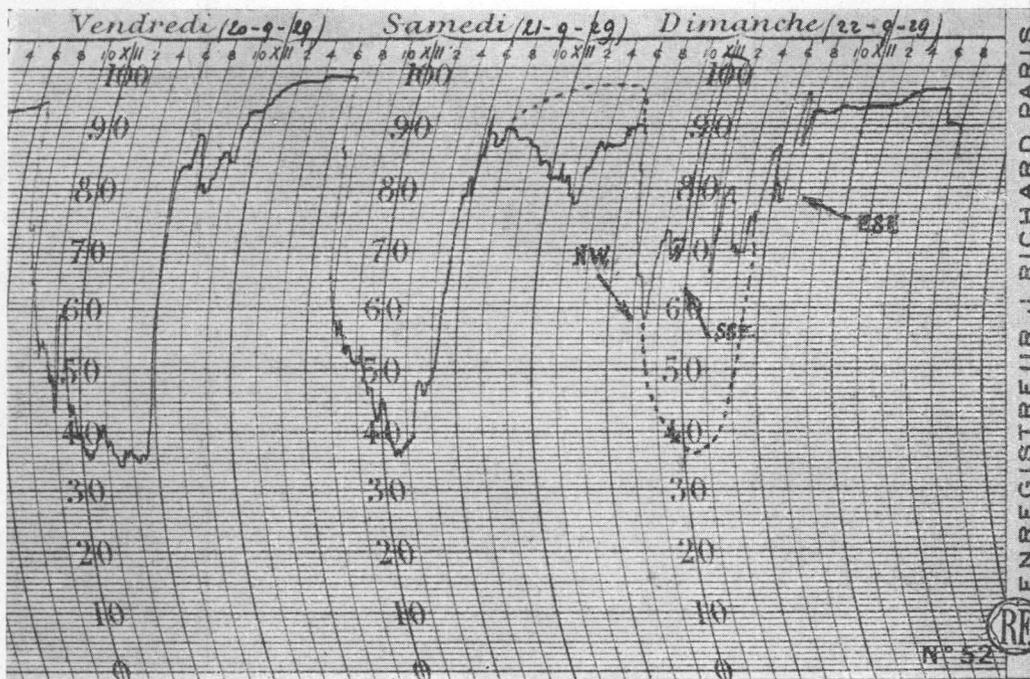
THERMOGRAMME 17, du 3 au 6 octobre 1929, obtenu à l'Observatoire de Tshibinda. — Pluie sans orage du 4 octobre.



PSYCHROGRAMME 18, du 3 au 5 octobre 1929, à l'Observatoire de Tshibinda. — Pluie sans orage du 4 octobre.



THERMOGRAMME 19, du 21 au 22 septembre 1929, à l'Observatoire de Tshibinda.
Orage à grêle du 22 septembre.



PSYCHROGRAMME 20, du 21 au 22 septembre 1929, à l'Observatoire de Tshibinda.
Orage à grêle du 22 septembre.

EFFETS DU PASSAGE DES ORAGES SUR LA TEMPÉRATURE, LES VENTS

| DATES | Heure de l'orage. | Heure de chute de la température. | Chute de température. | Eau relevée m/m | Vent. Heures et direction. | | |
|--------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|------------|------------|
| | | | | | 8 heures. | 14 heures. | 18 heures. |
| 1928 | | | | | | | |
| 10 Mars | 15.30 | 13 | 7° | 23 | Calme. | Calme. | W |
| 13 Id. | 14 | 13 | 6° | 0 | SW | E | W |
| 16 Avril | 14 | 14 | 3° | 21.5 | E | W | N |
| 7 Septembre | 17.30 | 17.30 | 7° | Gouttes. | E | E | W |
| 9 Id. | 18 | 18 | 8° | 11 | E | E | SE |
| 10 Id. | 14 | 14 | 4°5 | 2 | — | W | — |
| 11 Octobre | 14 | 12 | 8° | 4.3 | SE | W | W |
| 13 Id. | 14 | 12 | 6° | 50 | Calme. | N | Calme. |
| 8 Novembre | 18 | 18 | 4° | 7.8 | ENE | SE | N |
| 11 Décembre | 18 | 18 | 3° | 22 | SSE | SW | N |
| 14 Id. | 18 | 18 | 6° | 20.4 | Calme. | WSW | NNE |
| 21 Id. | 18 | 18 | 6° | 14.8 | ESE | WNW | SE |
| 1929 | | | | | | | |
| 13 Janvier | 18 | 18 | 4°5 | Gouttes. | E | Calme. | W |
| 19 Mars | 16 à 17 | 18 | 7° | 22.5 | SSE | NE | NE |
| 17 Août | 18 | 14 | 9° | 9 | W | ESE | W |
| 22 Septembre | 12 | 11 | 7°5 | 29 | NW | SSE | ESE |
| 4 Octobre | — | 14 | 9°5 | 17 | E | E | W |
| 21 Id. | 18 | 18 | 6°3 | 25 | E | E | W |
| 3 Novembre | 18 | 15 | 5° | 0 | Calme. | E | W |
| 25 Id. | 14 | 14 | 6°5 | 8 | E | Calme. | Calme. |
| 3 Décembre | 15.45 | 14.30 | 4°2 | 3 | NE | N | NNW |
| 4 Id. | 18 | 18 | 6° | 2.5 | NE | E | W |
| 6 Id. | 14 | 11.30 | 4° | 18 | Calme. | SE | E |
| 20 Id. | — | 10 | 5°2 | 0.5 | SSE | ENE | WNW |
| 21 Id. | 11 | 9 | 5°5 | 10 | W | NW | NW |

LES PRÉCIPITATIONS DANS LE BASSIN DU KIVU, ETC. 77

ET L'HUMIDITÉ RELATIVE, ENREGISTRÉS A L'OBSERVATOIRE DE TSHIBINDA

| REMARQUES concernant la température. | Heure de hausse de l'humidité | Avant le passage de l'orage. | Après le passage de l'orage. | REMARQUES concernant l'humidité relative. |
|--|---|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Orage à grêle; 6° de chute en 30'. | 13 | 63 % | 94 % | en 2 ^h ,30'. |
| | 13 | 53 | 91 | |
| Orage à grêle; 3° en chute brusque. | 13.30 | 82 | 93 | |
| | 17.30 | 38 | 85 | |
| 4°5 en chute brusque. | 17.30 | 50 | 98 | |
| | 13 | 63 | 92 | |
| Grêle violente. | 12 | 40 | 98 | |
| 4' en chute brusque. | 11.30 | 65 | 100 | |
| | 18 | 87 | 100 | |
| | 18 | 90 | 100 | |
| Grêle violente de 15 ^h 30 à 16 ^h . | 16 | 70 | 98 | |
| | 17 | 78 | 99 | |
| | 17 | 47 | 91 | |
| | 17.30 | 62 | 98 | |
| (Le 7 juillet un orage a produit 7°5 de chute brusque). | 12 | 40 | 100 | 100% à 18 heures. |
| Grêle pendant 30 minutes; 7°5 en chute brusque | 11 | 68 | 100 | Se maintient à 100 de 11 ^h ,30' à 13 ^h ,30'. |
| Pluie sans orage. | 15 | 53 | 96 | |
| | 16 | 60 | 91 | |
| Passage d'orage sans donner de pluie. | 15 | 72 | 98 | |
| | 13.30 | 62 | 94 | |
| | 14.30 | 65 | 88 | |
| | 15 | 71 | 96 | |
| | 11.30 | 73 | 95 | |
| | 10.30 | 55 | 92 | |
| | 10 | 70 | 94 | |

EFFETS DU PASSAGE DES ORAGES SUR LA TEMPÉRATURE, LES VENTS

| DATES | Heure de l'orage. | Heure de chute de la température. | Chute de température. | Eau relevée m/m | Vent. Heures et direction. | | |
|---------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|------------|------------|
| | | | | | 8 heures. | 14 heures. | 18 heures. |
| 1930 | | | | | | | |
| 18 Janvier | 14 | 13 | 3°5 | 0.0 | ESE | WNW | NW |
| 19 Id. | 18 | 13 | 4°5 | 5 | E | W | NE |
| 22 Id. | 18 | 16 | 6°5 | 30 | S | S | NE |
| 25 Id. | 18 | 14.30 | 5°5 | 23 | S | SE | W |
| 8 Mars | 14 | 13 | 4° | 9 | Calme. | W | Calme. |
| 14 Avril | 18 | 16.30 | 6° | 51 | SE | SE | W |
| 18 Id. | 14 | 12 | 3° | 4.5 | Calme. | W | N |
| 7 Juin | 14 | 13 | 7° | 27.2 | Calme. | W | W |
| 6 Septembre | 18 | 19 | 5°5 | 29 | Calme. | SE | Calme. |
| 15 Id. | 14 | 14 | 6°5 | Gouttes. | E | W | W |
| 19 Octobre | 18 | 16.30 | 4°5 | 6.7 | Calme. | SE | Calme. |
| 4 Décembre | 16.30 | 15.30 | 6° | 26.5 | Calme. | NW | N |
| 16 Id. | 11.30 | 11 | 4°5 | 5.5 | Calme. | S | Calme. |
| 27 Id. | 17.15 | 16.30 | 7° | 18.5 | Calme. | E | W |
| 1931 | | | | | | | |
| 3 Janvier | 18 | 17 | 5° | 43 | SE | Calme. | N |
| 8 Id. | 14 | 14 | 8° | 37 | E | E | N |
| 18 Mars | 14 | 13 | 5° | 8 | E | Calme. | Calme. |
| 1 ^{er} Septembre | 14 | 14 | 6° | 3 | Calme. | SE | Calme. |
| 3 Octobre | 18 | 17 | 5° | 12 | NE | E | S |
| 4 Id. | 13 | 13 | 5° | 13.4 | E | Calme. | S |
| 4 Id. | 18 | 16 | 8° | 21.8 | E | Calme. | S |
| 20 Id. | 18 | 17.30 | 5° | 10 | Calme. | E | W |
| 24 Id. | 16 | 16 | 8° | 12 | E | W | W |
| 5 Novembre | 14 | 13 | 8° | 9.8 | E | W | ? |
| 14 Id. | 18 | 16 | 6° | 18.2 | Calme. | ? | W |
| 21 Décembre | 14 | 12 | 4° | 8.6 | E | E | W |

LES PRÉCIPITATIONS DANS LE BASSIN DU KIVU, ETC. 79

ET L'HUMIDITÉ RELATIVE, ENREGISTRÉS A L'OBSERVATOIRE DE TSHIBINDA

| REMARQUES concernant la température. | Heure de hausse de l'humidité. | Avant le passage de l'orage. | Après le passage de l'orage. | REMARQUES concernant l'humidité relative. |
|---|--|------------------------------------|------------------------------------|---|
| Orage sans pluie. | 13 | 58 % | 74 % | |
| | 12.30 | 72 | 92 | |
| 30 mm. de pluie relevés le 23 à 8 heures. | 16 | 58 | 95 | |
| Grêle à 16 heures. | 13 | 62 | 96 | |
| | 13 | 62 | 91 | |
| Grêle | 15 | 63 | 100 | |
| | 10 | 72 | 94 | |
| | 13 | 55 | 100 | |
| 29 mm. de pluie relevés le 7 sept. à 8h. | 16 | 60 | 98 | 98% atteint à 18h. |
| | 14 | 64 | 100 | |
| | 16.30 | 67 | 100 | |
| Orage à grêle. | 15.30 | 70 | 100 | |
| Orage à grêle. | 11 | 68 | 100 | |
| Orage à grêle; pluie par rafales. | 16 | 60 | 100 | |
| | 16 | 80 | 100 | |
| | 14 | 68 | 100 | |
| | 13 | 61 | 91 | |
| 5° en chute brusque. | 13 | 44 | 63 | |
| | 17 | 72 | 100 | |
| | 13 | 61 | 91 | |
| | 16 | 53 | 97 | |
| | 17 | 55 | 91 | |
| Pluie sans orage. | 15 | 57 | 95 | |
| | 13 | 45 | 100 | |
| | 16 | 44 | 97 | |
| | 12 | 55 | 85 | |

Pendant cet orage la grêle tomba avec violence pendant une demi-heure, de midi à midi et demi, d'abord seule, puis mélangée à la pluie. Les grêlons avaient une épaisseur moyenne de 8 millimètres, exceptionnellement de 2 centimètres. Par endroits ils formèrent une couche de 2 cm. d'épaisseur qui persista sur le terrain, suivant l'exposition, de trente minutes à trois heures.

La grêle découpa les feuilles des bananiers et du maïs et détruisit les bourgeons des caféiers. L'effet du refroidissement a été sensible dans le sol à 30 cm. de profondeur après six heures; à 50 cm. de profondeur après trente-six heures. L'orage provenait de l'Ouest (orage de retour).

Dans l'orage du 14 novembre 1928 la grêle tomba avec violence de 16 heures à 16 h. 30 m., formant une couche de 2 cm. environ d'épaisseur. Le diamètre moyen des grêlons était de 0,5 à 1 cm.; dans les endroits protégés du vent, ils persistèrent sur le terrain pendant toute la nuit. La grêle déchira les feuillages des champs de maïs et détruisit entièrement la floraison des cultures de pommes de terre.

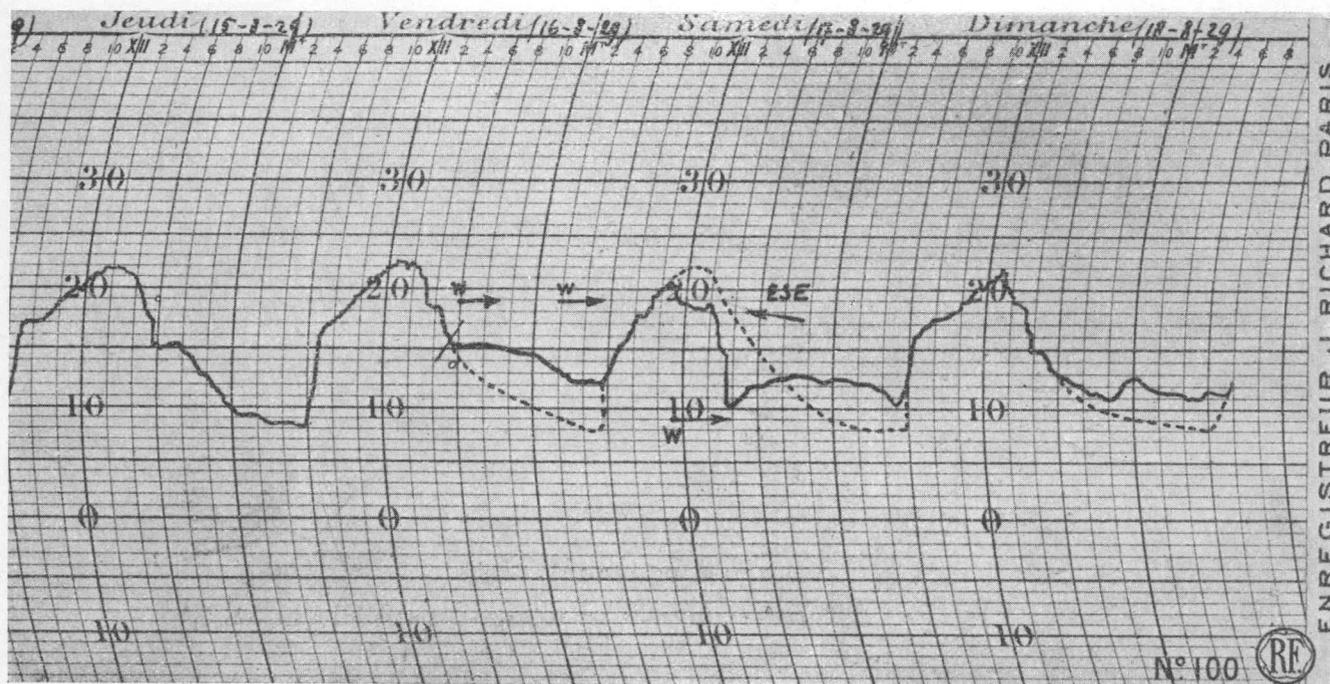
Les mêmes remarques ont été faites à l'occasion d'autres orages à grêle.

Un phénomène important mis en évidence par les thermogrammes et les psychogrammes que nous présentons (du 17 au 22) pour les trois cas: pluie sans orages; orage à grêle et orage à pluie, est la perturbation produite sur l'allure générale de la température et de l'humidité relative, bien avant et bien après le passage des orages, contrairement à la perturbation de la circulation atmosphérique, strictement connexe au passage du front orageux.

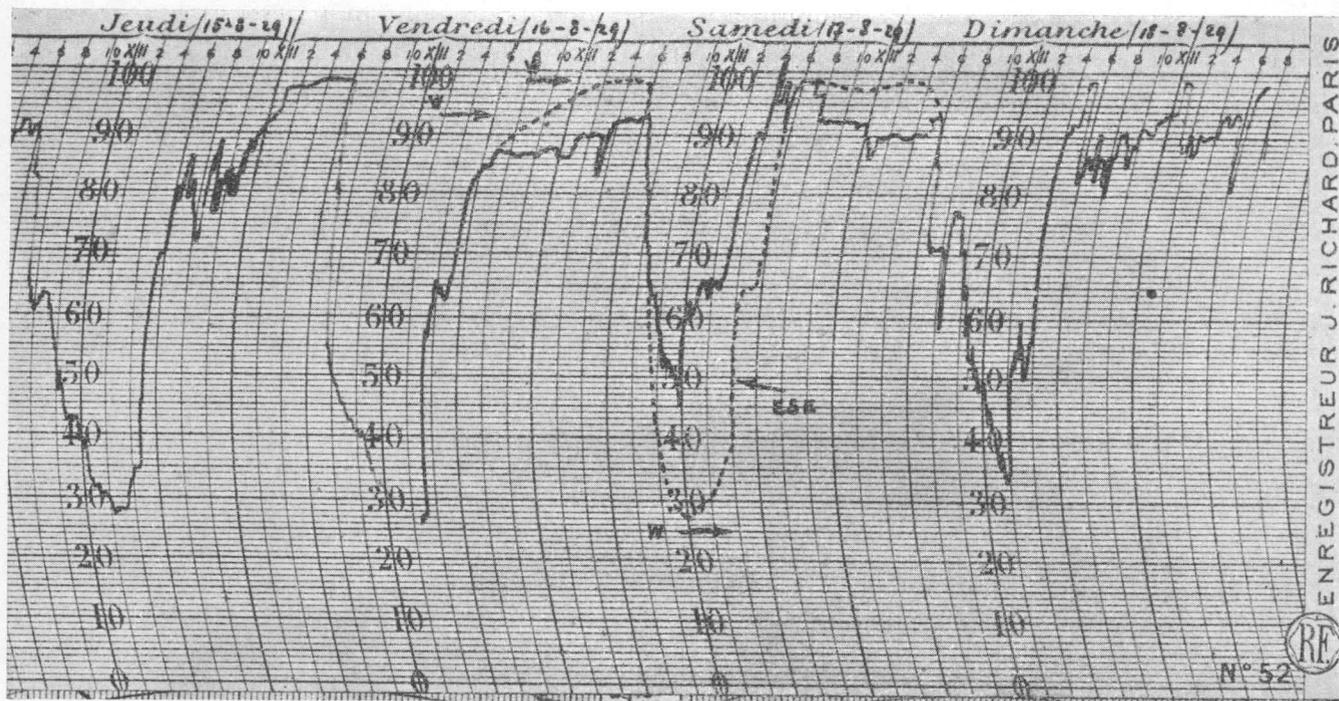
La température éprouve une hausse, par rapport à son allure normale, à partir du coucher du soleil du jour précédant celui de l'orage et l'humidité relative montre une baisse correspondante par rapport à la courbe normale dans la même période de temps.

Après le passage de l'orage la perturbation persiste pendant un jour ou deux avec tendance à atténuer les extrêmes journaliers ordinaires. La perturbation apparaît de plus grande amplitude à la suite d'un orage à grêle, mais de plus courte durée.

Si l'on compare les orages de la saison pluvieuse de l'équinoxe boréal aux orages de la saison pluvieuse de l'équinoxe austral, on verra que l'amplitude des perturbations est plus grande pour les premiers. Fait tout



THERMOGRAMME 21, du 16 au 18 août 1929, à l'Observatoire de Tshibinda.
Orage à pluie du 17 août 1929.



PSYCHROGRAMME 22, du 16 au 18 août 1929, à l'Observatoire de Tshibinda.
Orage à pluie du 17 août 1929.

à fait conforme à ce que l'on pouvait logiquement prévoir, parce qu'un orage apparaissant en août ou en septembre, après une période d'absence de pluies, agit plus sensiblement pour atténuer les extrêmes thermiques et de l'humidité relative atteints dans la saison sèche.

CHAPITRE XI

Régime pluviométrique.

Il est de grande importance d'essayer d'en fixer les caractéristiques principales, d'abord pour pouvoir le situer dans le cadre géographique auquel elles appartiennent et puis pour en saisir les corrélations avec le changement du revêtement végétal.

La grande étendue et l'altitude moyenne fort élevée du bassin du Kivu et des zones limitrophes du partage Congo-Nil sont bien de nature à influencer tous les facteurs du climat indistinctement; toutefois, il nous apparaît dès maintenant que c'est sur la pluie que leur influence marque les contrastes les plus saisissants.

Ce fait, qui est commun à tous les climats de haute montagne de nos zones tempérées, nous semble offrir des caractères plus accusés dans ces latitudes équatoriales continentales, tout au moins pour l'influence plus immédiate qu'ils exercent en même temps sur l'évolution des sols et sur l'évolution conséquente des associations végétales.

Dans les pays chauds, qu'ils soient du type semi-aride ou du type humide, la pluie agit beaucoup moins par sa hauteur annuelle en millimètres d'eau que par sa distribution par tranches saisonnières.

Ses actions multiples (action physique, chimique, électrique, physiologique, etc.) auront une intensité variable en connexion étroite avec les caractères spécifiques de sa manifestation. Nos appréciations sur son influence pour modeler l'ambiance climato-biologique d'un endroit déterminé ne seront bien fondées que si nous connaissons non seulement les valeurs quantitatives de cet élément, mais surtout *les formes de son apparition* et son pouvoir d'action.

Pour faciliter la compréhension du régime pluviométrique des différentes stations du réseau, nous avons estimé préférable de le représenter

par des courbes que nous donnons hors texte, numérotées de 1 à 16, renonçant à la longue énumération des chiffres. Les moyennes, pourtant utiles pour des recherches détaillées dans le domaine plus proprement météorologique, seront publiées à part par les soins du Ministère des Colonies.

Pour la plupart des stations, particulièrement les plus caractéristiques, nous avons adopté la courbe décadaire, qui, mieux que la courbe mensuelle, montre à première vue les variations du phénomène au cours de l'année.

Aux diagrammes de pluie nous avons donné le même ordre que les stations cataloguées à la page 26; ainsi ils sont classés par rapport à leur latitude et par rapport à l'action des alizés.

Toutes les stations nous révèlent deux saisons pluvieuses correspondant au double passage du soleil au zénith et deux saisons relativement sèches; une hauteur relative de pluie plus grande dans la saison de l'équinoxe austral que dans la saison de l'équinoxe boréal; une durée plus longue de la saison sèche du solstice austral, caractéristiques qui nous permettent de classer le régime pluviométrique du bassin du Kivu parmi les *régimes subéquatoriaux*. L'altitude et les conditions particulières du relief modifient l'ampleur de cette distribution saisonnière des précipitations, sans pour cela en effacer le caractère géographique.

La station de Lulenga (Rugari) par 1°24'40" de lat. S. est la seule qui montre un régime nettement équatorial avec deux fléchissements correspondant aux solstices et deux maxima à peu près égaux correspondant aux équinoxes. Mais cette exception n'est pas un fait géographique: elle est due exclusivement à la position de la station, dans la zone du tourbillon sous le vent du Mikeno et au vent de la ligne de faite Kivu-Édouard (voir la photo 10). Sans ces accidents du relief, Lulenga ne ferait pas exception. Le régime subéquatorial doit s'étendre à presque tout le bassin du lac Édouard, avec la seule différence possible que les deux saisons pluvieuses s'équivalent quant à la hauteur de pluie atteinte par chacune. Il est encore probable que dans ce bassin le niveau d'action mécanique du relief sur les courants atmosphériques est plus bas que dans le bassin du Kivu.

La station d'Uvira, par contre, par 3°24'25" de lat. S., marque déjà

son caractère de transition vers le régime tropical par une prédominance des pluies dans la saison de l'équinoxe austral.

La saison sèche du solstice boréal (la grande saison sèche) se place uniformément entre la troisième décade de juin et le 31 juillet; sa durée maximum de trois mois (juin, juillet, août) n'est atteinte qu'à la station de Nzaza par 2°05' de lat. S. et 29°30' de long. G. à la limite orientale des hauts plateaux du Ruanda. Nulle part, à l'exception de Nzaza en juillet et d'Uvira (lac Tanganyika) en juin, il n'y a une période d'absence absolue de pluie.

La saison sèche du solstice austral se produit normalement en février et se marque par un fléchissement pouvant atteindre une moyenne maximum et une moyenne minimum entre 40 et 30 mm. de pluie. Fait exception la station d'Uvira, pour laquelle février est un mois pluvieux de la saison zénithale australe. Si nous adoptons la proposition de Schmidt, de considérer sec le mois de l'année qui ne dépasse pas 50 mm. de pluie, seule une partie des régions les moins élevées du Kivu bénéficie d'une courte saison sèche australe.

La saison de pluie de l'équinoxe austral atteint son maximum d'intensité en avril-mai, sauf pour les stations de la rive du lac, pour lesquelles ce maximum se place au mois de mars et secondairement en avril. Ce décalage d'un mois est à attribuer probablement à des influences locales du relief et du sol sur la production des maxima thermiques.

Un phénomène analogue est enregistré par la station de Kahundu. En examinant les autres éléments du climat, nous essaierons d'expliquer les causes de cette anomalie.

La saison de pluie de l'équinoxe boréal atteint presque uniformément son maximum en octobre avec un fléchissement en novembre et parfois un secondaire en décembre.

Quelques stations de la rive du lac, comme Katana (Mugeri), anticipent en septembre leur maximum principal et en présentent un deuxième en janvier. Comme dans les cas précédents, nous pensons que ces anomalies, restreintes à quelques localités, sont dues à des influences d'ordre purement local.

Pour expliquer la plus grande importance relative (la plus forte hauteur de pluie) de la saison pluvieuse de l'équinoxe austral en compa-

raison de la saison de l'équinoxe boréal, M. Jaumotte formule l'hypothèse que l'alizé austral, dont l'origine est océanique, est fortement enrichi d'humidité pendant l'été austral. Son passage au-dessus de l'Afrique orientale, ne rencontrant pas de barrières élevées très étendues, lui permet de conserver une grande partie de l'humidité transportée. C'est ainsi qu'à son arrivée contre les dorsales Congo-Nil, il fournit une masse considérable de vapeur d'eau qui s'ajoute à l'humidité cédée par l'évaporation locale.

L'alizé boréal, par contre, qui nous parvient des zones continentales désertiques après avoir traversé la large bande de l'équateur thermique, est certainement moins humide et plus chaud.

La plus longue durée de la saison de l'équinoxe boréal, en comparaison de la saison de l'équinoxe austral, prouve que jusqu'à une limite que nous pouvons admettre correspondante à 2°5' de lat. S., l'influence de la bande boréale de l'équateur thermique est prédominante.

Les années diffèrent sensiblement les unes des autres, mais aucune station du bassin ne présente l'enchevêtrement désordonné des courbes que l'on peut observer pour la station de Nzaza dans le Ruanda oriental. Ce qui prouve que cette anomalie est encore de caractère local.

*
* *

Dans le tableau ci-dessous, nous groupons par saisons les pluies des stations du réseau, établissant pour les deux saisons sèches une durée conventionnelle de vingt et cinquante jours respectivement; nous estimons que les intervalles choisis approchent de la moyenne réelle.

| NOM DES STATIONS | Saison sèche du solstice austral du 11 au 28 févr. | | Saison de pluie de l'équinoxe austral du 1 ^{er} mars au 10 juin. | | Saison sèche du solstice boréal du 11 juin au 31 juillet. | | Saison de pluie de l'équinoxe boréal du 1 ^{er} août au 10 février. | | TOTAL DE L'ANNÉE | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|---|----|---|----|---|-----|---------------------|-----|
| | (mm. de pluie) | (Nombre de jours pluvieux) | | | | | | | | |
| Birava | 28,8 | 6 | 371,6 | 40 | 27,4 | 4 | 658,0 | 77 | 1085,9 | 126 |
| Katana (Mugeri) (1) | 33,8 | 5 | 375,7 | 35 | 41,2 | 4 | 865,9 | 82 | 1316,6 | 126 |
| Kalehe | 43,3 | 7 | 542,1 | 44 | 55,1 | 7 | 808,7 | 79 | 1449,3 | 136 |
| Shangugu * | 70,7 | ? | 332,0 | ? | 41,9 | ? | 762,6 | ? | 1215,0 | ? |
| Busangania | 49,8 | 6 | 451,3 | 52 | 36,6 | 8 | 720,8 | 90 | 1258,6 | 156 |
| Buinika | 45,7 | 5 | 541,4 | 51 | 40,1 | 6 | 749,4 | 86 | 1376,6 | 148 |
| Kabare (Tshimbamba) | 89,2 | 7 | 404,8 | 42 | 26,4 | 3 | 748,9 | 79 | 1269,3 | 131 |
| Dendezi * | 149,3 | ? | 541,3 | ? | 93,9 | ? | 1056,1 | ? | 1840,7 | ? |
| Rubengera | 63,4 | 7 | 438,3 | 48 | 28,6 | 4 | 525,2 | 71 | 1055,6 | 130 |
| Tshibinda | 64,4 | 9 | 675,5 | 61 | 60,4 | 12 | 1011,1 | 107 | 1811,4 | 189 |
| Mont Bukulumissa | 69,9 | 9 | 939,4 | 74 | 79,1 | 11 | 1216,4 | 116 | 2304,9 | 211 |
| Mont Kahuzi | ? | — | ? | ? | ? | ? | ? | ? | 1559,9 | ? |
| Mule* | 74,5 | 11 | 537,2 | 57 | 175,0 | 17 | 987,8 | 126 | 1763,5 | 211 |
| Mogombe * | 137,4 | 15 | 475,9 | 64 | 178,8 | 26 | 1328,2 | 122 | 2115,0 | 227 |
| Ngweshe | 65,7 | — | 468,1 | 51 | 75,2 | 11 | 725,9 | 84 | 1334,9 | 156 |
| Nya-Ngezi * | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| Mont Bisunzu (Buzizu) | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | 1065,0 | ? |
| Uvira | 62,2 | 6 | 374,1 | 30 | 23,3 | 2 | 436,5 | 36 | 896,2 | 74 |

(1) Les moyennes de cette station se réfèrent à la période 1928-1931.

(*) L'astérisque indique que les moyennes reportées ont une valeur purement d'indication soit pour la période trop courte de l'observation (Mogombé et Mule), soit parce qu'il s'agit de stations non comprises dans l'inspection périodique du réseau.

LES PRÉCIPITATIONS DANS LE BASSIN DU KIVU, ETC. 87

| NOM DES STATIONS | Saison sèche du solstice austral du 11 au 28 févr. | | Saison de pluie de l'équinoxe austral du 1 ^{er} mars au 30 juin | | Saison sèche du solstice boréal du 11 juin au 31 juillet. | | Saison de pluie de l'équinoxe boréal du 1 ^{er} août au 10 février. | | TOTAL DE L'ANNÉE | |
|-------------------------------------|---|----------------------------------|--|----|---|----|---|-----|---------------------|-----|
| | (mm. de pluie) | (Nombre de jours pluvieux) | | | | | | | | |
| Bobandana (Saint-Joseph de Péligny) | 58,2 | 7 | 669,8 | 54 | 63,0 | 7 | 626,7 | 76 | 1417,7 | 143 |
| Kahundu | 81,2 | 9 | 419,6 | 50 | 78,1 | 11 | 875,2 | 102 | 1454,1 | 172 |
| Mont Bugoy (Mokoto) | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | 1817,0 | ? |
| Kabaya * | 83,6 | ? | 528,5 | ? | 86,9 | ? | ? | ? | 1360,0 | ? |
| Kissenye | 44,0 | ? | 371,5 | ? | 57,9 | ? | 638,6 | ? | 1112,0 | ? |
| Nyundo (1924-1931) | 90,1 | 11 | 537,6 | 64 | 69,7 | 11 | 740,8 | 103 | 1478,2 | 189 |
| Ruhengeri * | 74,7 | ? | 498,1 | ? | 92,8 | ? | 569,8 | ? | 1235,5 | ? |
| Lulenga (Rugari) | 93,7 | 11 | 666,8 | 66 | 151,4 | 19 | 1015,2 | 122 | 1927,0 | 218 |
| Mont Karisimbi | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? | 932,0 | ? |
| Rwaza (1924-1927) | 81,4 | ? | 456,2 | ? | 48,5 | ? | 643,4 | ? | 1206,2 | ? |
| Rulindo (1910-1914) | 62,7 | 8 | 480,1 | 62 | 15,7 | 3 | 492,1 | 77 | 1050,6 | 150 |
| Kabgayé (1925-1931) | 61,0 | 8 | 492,5 | 50 | 46,6 | 5 | 567,5 | 70 | 1167,5 | 133 |
| Issavi (1907-1913) | 80,9 | 9 | 569,8 | 56 | 2,9 | 2 | 583,8 | 77 | 1237,4 | 144 |
| Astrida * (1928-1931) | 90,3 | 9 | 462,9 | 39 | 32,3 | 5 | 448,9 | 56 | 1034,4 | 109 |
| Nyanza * (1927-1931) | 61,5 | 10 | 457,6 | 45 | 17,9 | 4 | 443,0 | 55 | 980,0 | 114 |
| Kigali * (1928-1931) | 105,7 | 9 | 440,6 | 50 | 27,4 | 7 | 499,3 | 60 | 1073,0 | 119 |
| Nzaza (1908-1921) | 95,3 | 5 | 321,2 | 43 | 3,7 | 1 | 458,0 | 63 | 818,2 | 111 |
| Gatzibu * (1927-1931) | 61,5 | 10 | 457,6 | 45 | 17,9 | 4 | 443,0 | 55 | 980,0 | 114 |

(*) L'astérisque indique que les moyennes reportées ont une valeur purement d'indication soit pour la période trop courte de l'observation (Mogombe et Mule), soit parce qu'il s'agit de stations non comprises dans l'inspection périodique du réseau.

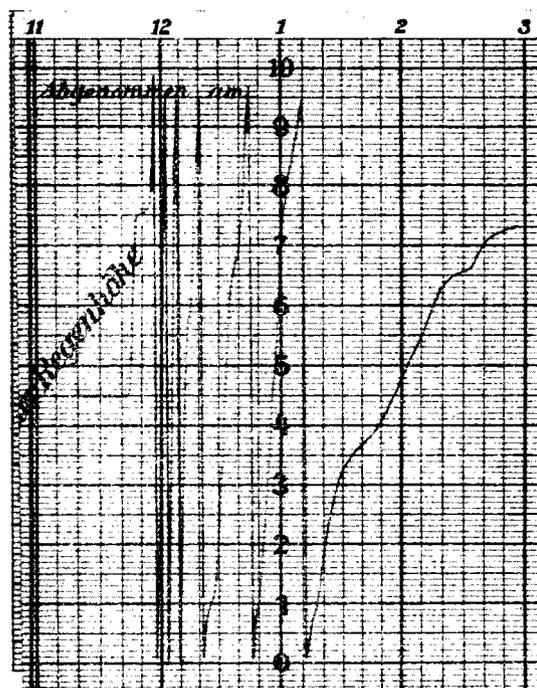
CHAPITRE XII

Intensité des grandes averses.

Les valeurs les plus élevées de la chute de pluie en une journée sont atteintes plus fréquemment dans les stations d'altitude (pluies orographiques), mais elles peuvent se présenter partout, à cause d'accidents locaux, sans qu'il soit possible d'entrevoir une périodicité quelconque. Une fréquence plus grande pendant les deux mois les plus pluvieux de l'année apparaît du tableau que nous reproduisons ci-dessous, qui fournit les maxima absolus enregistrés dans les stations du réseau pendant les années de 1928 à 1931.

| NOM DES STATIONS | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Kalehe . . . | — | — | 41,2 | 71 | 71 | — | — | — | — | — | — | — |
| Birava . . . | 70 | — | 79 | 50,5 | — | — | — | 47 | — | 54,4 | 39 | — |
| Katana . . . | 53 | — | 50 | — | — | — | 70 | 78 | 78 | — | 55 | 102 |
| Busangania . . . | 48,5 | 31,8 | 53,4 | 38,9 | 35,2 | — | — | 65,9 | — | 51,5 | — | — |
| Buinika . . . | 60 | — | 45 | 68 | — | — | — | — | — | — | — | 54 |
| Tshibinda . . . | 53 | — | 76 | 51 | 44 | — | — | 72,6 | — | 103,5 | 42,8 | — |
| Bukulumissa . . . | — | 45 | 39,8 | 63 | 92,6 | — | — | 44,2 | — | 56,3 | — | — |
| Kabare . . . | 41,2 | — | 69 | — | — | — | — | — | — | 45 | — | 36,1 |
| Mule . . . | — | — | 81 | 54 | 57 | — | — | — | 68 | — | — | — |
| Rubengeru . . . | — | — | 61 | 58 | — | 35,5 | — | 48 | — | — | — | — |
| Ngweshe . . . | — | 47 | — | 60 | — | — | 58,6 | 56 | 45 | 59,5 | 58,6 | — |
| Nya-Ngezi . . . | — | — | — | 64 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Uvira . . . | 115 | 94,1 | 49 | 40 | — | — | — | 75 | — | — | — | 69 |
| Bobandana . . . | — | — | 56 | 49 | 106 | — | 55 | — | — | — | 86 | — |
| Kahundu . . . | — | 56 | — | 51 | — | 32 | — | 36,5 | — | — | 37 | — |
| Kissenye . . . | — | — | — | 35,6 | 62 | 59 | 43 | 53,4 | — | — | — | — |
| Nyundo . . . | — | — | 42,5 | 69,8 | 41,2 | — | — | 59,5 | 39,5 | — | — | — |
| Lulenga . . . | 58 | 44 | 43 | 58 | 41,5 | 40 | — | — | 40 | 60 | 43 | — |
| Kabgayé . . . | 42,1 | — | 46 | 48,5 | — | — | — | — | 44 | — | — | 69,5 |

La pluie d'orage a, comme partout ailleurs, un caractère normal d'averse, mais ce qui est important à remarquer, c'est que tout le régime saisonnier se caractérise par des pluies tombant par ondées. A une averse intense et ordinairement de courte durée (pluies à électricité positive?) succède une pluie fine de longue durée (pluie à électricité négative?), ou bien les averses se présentent espacées par des accalmies de la durée de quelques minutes et se répètent cinq et même six fois consécutivement



PLUVIOGRAMME 23
 enregistré à l'Observatoire de Tshibinda
 pendant la nuit du 31 octobre au 1^{er} novembre 1930
 (de 23 heures à 3 heures du matin).

en l'espace d'une heure ou de deux heures au plus, avec une intensité décroissante, suivies à la fin par une pluie fine et régulière pouvant durer plusieurs heures et même toute une journée.

Une démonstration saisissante nous est offerte par le pluviogramme n° 23, reproduisant des pluies tombées à Tshibinda dans la nuit du 31 octobre au 1^{er} novembre 1930, entre 23 h. 45 et 6 h. 10.

Normalement, l'intensité la plus forte est atteinte peu après l'appari-
 SECTION DES SCIENCES NATURELLES, ETC.

tion de la pluie. Dans l'après-midi du 14 mars 1931, à 14 heures, l'observatoire de Tshibinda a enregistré une averse qui débuta avec 2^{mm}6 en neuf minutes, suivie d'une chute de l'ordre de 10 mm. en quatre minutes, avec une vitesse moyenne de 2^{mm}5 à la minute, mais pendant laquelle 5^{mm}1 tombèrent en quelques secondes. Le total atteint par l'averse fut de 14^{mm}1 pour une durée de quatorze minutes.

L'intensité atteinte dans cette averse est le maximum absolu enregistré à Tshibinda durant la période 1928-1931. Le pluviogramme n° 24 de l'enregistreur de la station montre assez clairement la marche de l'intéressant phénomène. Nous y ajoutons un autre pluviogramme enregistrant l'averse du 18 avril 1928 (25). Sont ainsi représentées les fortes pluies de l'une et de l'autre saison pluvieuse.

Il nous paraît intéressant de donner ci-dessous un résumé des principales averses enregistrées à Tshibinda pendant la période susdite et de reporter, à titre de comparaison, une série de pluies extraordinaires de courte durée tombées en Belgique pendant la période quarantennale de 1885 à 1925, série que nous empruntons à E. Vanderlinden.

**RELEVÉ DES FORTES AVERSES A L'OBSERVATOIRE DE TSHIBINDA
DU 16 NOVEMBRE 1927 AU 2 FÉVRIER 1932**

| DATES. | Heure de l'apparition de l'averse. | Hauteur en millimètres de la pluie recueillie. | Durée de l'averse en minutes. | REMARQUES. |
|---------------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------|--|
| 27 novembre 1927 . . . | 12,13 | 8,6 | 10 | |
| 3 novembre 1927 . . . | 12,24 | 11,6 | 10 | |
| 31 décembre 1927 . . . | 21,00 | 9,3 | 17 | |
| 17 février 1928 | 5,12 | 11,8 | 38 | Dont 9 mm. en 6 minutes. |
| 6 mars 1928 | 15,00 | 5,4 | 5 | De 15 h. 15 à 15 h. 40, accalmie. |
| 6 mars 1928 | 15,05 | 12,8 | 10 | |
| 10 mars 1928 | 15,40 | 7,8 | 6 | |
| 18 avril 1928 | 16,20 | 25,9 | 24 | Dont 21 ^{mm} 7 en 14 minutes. |
| 3 mai 1928 | 11,55 | 28,6 | 54 | Dont 12 mm. en 15 minutes. |
| 1 ^{er} octobre 1928. | 21,40 | 7,0 | 6 | |

LES PRÉCIPITATIONS DANS LE BASSIN DU KIVU, ETC. 91

| DATES. | Heure de l'apparition de l'averse. | Hauteur en millimètres de la pluie recueillie. | Durée de l'averse en minutes. | REMARQUES. |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------|---|
| 1 ^{er} novembre 1929 . | 17,20 | 3,0 | 3 | |
| 1 ^{er} novembre 1929 . | 18,30 | 5,4 | 5 | A une heure d'intervalle deux averses de même intensité. |
| 1 ^{er} mars 1930 | 13,20 | 10,0 | 9 | |
| 7 avril 1930 | 11,20 | 24,2 | 30 | |
| 14 avril 1930 | 15,35 | 22,5 | 25 | Dont 7 ^{mm} 6 en 4 minutes. |
| 8 mai 1930 | 20,15 | 37,4 | 55 | Dont 34 ^{mm} 4 en 45 minutes. |
| 26 juillet 1930 | 3,00 | 4,2 | 3 | |
| 19 septembre 1930 | 19,35 | 5,0 | 2 | |
| 31 octobre 1930 | 13,05 | 53,0 | 87 | Une première averse de 9 ^{mm} 5 en 3 minutes ; une deuxième de 9 ^{mm} 5 en 6 minutes ; une troisième de 21 mm. en 12 minutes. |
| 27 décembre 1930 | 18,42 | 2,3 | 1 | |
| 27 décembre 1930 | 18,43 | 7,5 | 5 | |
| 4 mars 1931 | 8,00 | 7,3 | 5 | |
| 14 mars 1931 | 14,00 | 2,6 | 9 | |
| 14 mars 1931 | 14,11 | 20,2 | 120 | Dont 14 ^{mm} 1 en 14 minutes, desquels les premiers 10 mm. sont tombés en 4 minutes. L'intensité initiale de cette averse a été de 5 mm. en quelques secondes. |
| 24 mars 1931 | 8,08 | 9,5 | 3 | |
| 19 avril 1931 | 12,28 | 23,9 | 22 | Dont 9 ^{mm} 5 en 5 minutes. |
| 8-9 août 1931 | 23,00-2,30 | 57,3 | 2 h. 13 | Dont 11 mm. en 12 minutes. |
| 2 septembre 1931 | 16,38 | 2,3 | 1 | |
| 2 décembre 1931 | 12,35 | 13,6 | 26 | Dont 9 ^{mm} 1 en 9 minutes. |
| 19 janvier 1932 | 16,05 | 26,4 | 35 | Dont 6 ^{mm} 5 en 4 minutes, suivis d'une seconde averse de 13 mm. en 7 minutes. |
| 2 février 1932 | 12,06 | 12,6 | 17 | |

PLUIES EXTRAORDINAIRES DE COURTE DURÉE EN BELGIQUE

| LIEU ET DATE DE L'OBSERVATION. | Durée en minutes. | Hauteur en millimètres. | Intensité par minute (mm.). |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Bruxelles, 5 septembre 1887 | 3 | 5 | 1,7 |
| Hasselt, 13 juillet 1893 | 5 | 12 | 2,4 |
| Malines, 29 juin 1895 | 5 | 13 | 2,6 |
| Diest, 20 août 1900 | 5 | 14 | 2,8 |
| Bruxelles, 12 juillet 1889 | 5 | 14,5 | 2,9 |
| Clavier, 6 juin 1900 | 5 | 15 | 3,0 |
| Turnhout, 10 juillet 1889 | 6 | 25 | 4,2 |
| Maredsous, 20 août 1900 | 10 | 30 | 3,0 |
| Uccle, 10 juin 1895 | 35 | 61 | 1,7 |
| Waremmes, 10 août 1890 | 45 | 60 | 1,0 |
| Louvain, 14 mai 1906 | 3 h. 15 | 200 | 1,0 |
| Rummen, 25 juillet 1925 | 30 | 83 | 2,8 |
| Tamines, 25 juillet 1925 | 4 h. 20 | 122 | 0,5 |

Pour une averse d'une durée de dix à quinze minutes, l'intensité la plus généralement observée en Belgique est de 1 à 2 mm. par minute.

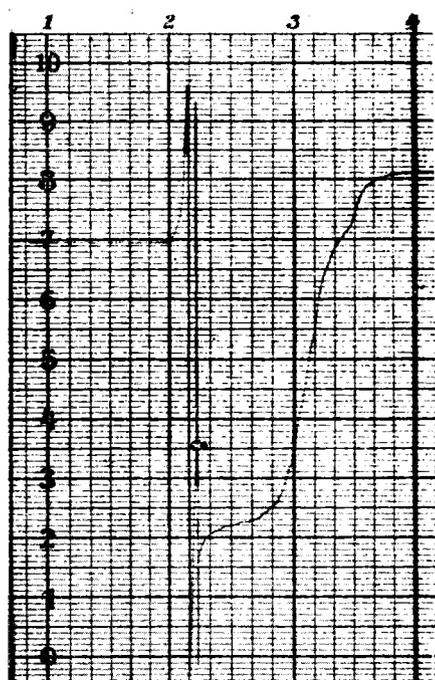
Nous pouvons retenir comme approximativement exact qu'à l'exception des territoires soumis à des influences météorologiques particulières, dans le bassin du Kivu, la *durée moyenne des grandes averses est de l'ordre de dix à quinze minutes et leur intensité moyenne est de 2 mm. à la minute.*

C'est une moyenne plus que normale si on la compare à celle de beaucoup de pays équatoriaux ou des régions tropicales soumises au régime des moussons, et l'on reste un peu étonné de voir qu'elle est sensiblement égale à celle des pluies torrentielles d'un des pays de l'Europe occidentale. Ce qui diffère entre le régime estival de l'Europe et le régime pluvieux de notre région est la fréquence du phénomène.

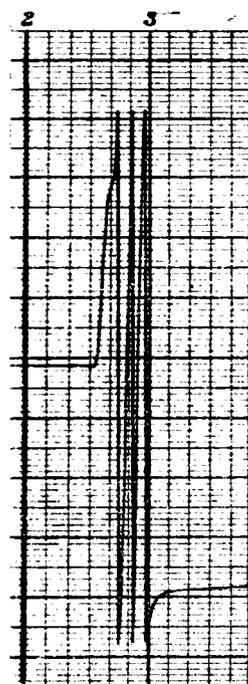
Il est probable qu'au niveau de la zone de précipitations maxima, que nous avons vue s'établir autour de 2,400 m. d'altitude et dans cer-

taines situations particulières de terrain, comme sur le versant sous le vent des volcans les plus élevés du Parc National Albert, la moyenne de 2 mm. à la minute est dépassée. Nous estimons toutefois qu'au Kivu nulle part ne sont atteints les maxima extraordinaires enregistrés par d'autres régions équatoriales ou tropicales d'altitude.

Au-dessus du niveau du maximum altitudinal, les pluies perdent tout caractère d'averse et leur intensité de chute ne dépasse probablement pas



PLUVIOGRAMME 24
enregistré à l'Observatoire de
Tshibinda pour l'averse
du 14 mars 1931.



PLUVIOGRAMME 25
enregistré à l'Observatoire de
Tshibinda pour l'averse
du 18 avril 1928.

la moyenne des pluies des pays de la zone tempérée. Fait très important pour les corrélations que nous pourrons en déduire avec la répartition en altitude des différentes formations végétales et pour établir les conditions du milieu en faveur de l'introduction et de l'acclimatation dans les territoires d'altitudes, d'espèces agricoles de grande culture, comme par exemple les céréales.

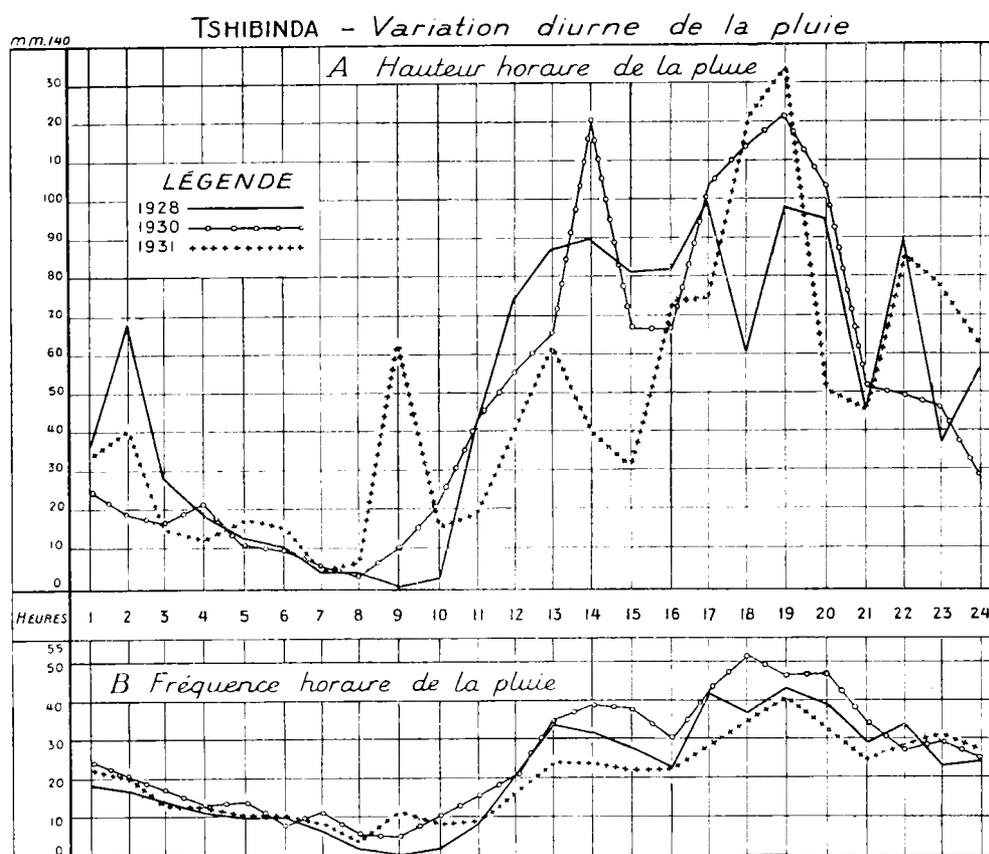
Les grandes averses se manifestent de préférence dans les heures postméridiennes. Par ordre de fréquence suivent les heures entre le coucher du soleil et minuit. Aux heures matinales, avant le lever du soleil, elles sont extrêmement rares sinon totalement absentes.

CHAPITRE XIII

Variation diurne de la pluie.

Nous avons estimé qu'il était de grand intérêt pour l'agriculture de préciser les heures de la journée pendant lesquelles la pluie se manifeste

DIAGRAMME 26.



avec le plus de fréquence et d'établir en même temps la hauteur de pluie recueillie pendant chaque heure au cours de l'année.

Sur la base des documents fournis par le pluviographe nous avons pu déterminer la valeur de ces deux éléments à Tshibinda pendant la période 1928-1931. Le diagramme n° 26 reproduit fidèlement les résultats des calculs et donne une image bien nette de l'allure du phénomène.

L'année 1929 a dû être omise parce que l'instrument fut détérioré et qu'il fallut attendre durant plusieurs mois les pièces de rechange nécessaires.

Les pluies nocturnes entre minuit et le lever du soleil tombent plus fréquemment pendant la saison sèche du solstice austral, la saison de pluies de l'équinoxe austral et la grande saison sèche; elles sont beaucoup plus rares pendant la saison pluvieuse de l'équinoxe boréal. Ceci coïncide approximativement avec la fréquence horaire des orages.

Les pluies nocturnes ont un caractère prédominant de pluies fines.

CHAPITRE XIV

Grésil, neige et givre.

A des altitudes dépassant 4,200 mètres, la grêle est remplacée par le *grésil*. Nous avons eu l'occasion de l'observer sur le sommet du Kari-simbi (voir photo 16), dont le cône bien souvent est blanchi jusqu'à un niveau inférieur de 4,200-4,100 mètres, prenant cet aspect magnifique bien connu de ceux qui ont pu séjourner quelque temps dans le Parc National Albert.

On le distingue de la grêle ordinaire par la petitesse de ses globules sphériques de glace spongieuse et surtout parce qu'ils s'agglutinent et se modèlent sur les aspérités du sol, y formant souvent des dalles de glace.

Dans les cuvettes du terrain ou dans les aspérités à l'abri de l'inso-lation, elles peuvent persister assez longtemps.

Au-dessus de 4,000 mètres le gel et le dégel sont un phénomène journalier. Le passage continu des nuages sous la poussée de l'alizé fournit assez d'eau, en dehors des précipitations, pour alimenter le processus d'effritement de la roche.

Les fragments les plus grands, sollicités par la pesanteur, tombent

des pentes, où ils forment un terrain chaotique qui est raffermi par la végétation dense d'Alchemilles, de Lichens, de Seneçons et de Lobelia géants. Dans la partie la plus élevée du cône terminal, au-dessus de 4,400 mètres, reste à découvert une terre légère, sablonneuse, produit ultime de l'effritement.

Détrempée par le dégel, elle devient pâteuse et glisse lentement le long de la pente jusqu'à ce que le regel vient l'arrêter. Aucune végétation ne s'y installe à cause, probablement, de son mouvement incessant. C'est un phénomène tout à fait analogue à celui que l'on observe dans les zones boréales sous l'action de la nivation et qui est connu des géologues sous le nom de « solifluction ».

Dans les parcelles planes, peu ou pas sollicitées par le mouvement de descente, nous avons observé (sommet du Muhavura) des aiguilles de glace sortant des pores de la surface.

La *neige*, nous ne l'avons jamais observée. Certains, et parmi eux notre collaborateur M. Regnier, qui chaque semestre fait l'ascension du Karisimbi, prétendent qu'elle fait parfois son apparition sur le cône terminal du volcan.

Les indigènes de la localité disent ignorer entièrement cette forme de précipitations. D'autre part, l'étymologie du nom indigène de « Karisimbi », rappelant la forme des coquillages, paraît devoir l'exclure, malgré qu'à priori le phénomène ne soit pas impossible.

Le *givre* se produit régulièrement à partir de 3,900 mètres d'altitude. Nous l'avons toujours observé, à l'occasion de nos ascensions, sur le versant exposé à l'alizé.

Ce sont des aiguilles de glace d'un brillant très vif aux premiers rayons de soleil, qui se forment de préférence sur la face inférieure, très velue, des feuilles de Seneçon. Elles peuvent atteindre quelques millimètres de longueur.

Les nuages en surfusion qui, sous la poussée de l'alizé, rencontrent les pentes abruptes des cimes après le coucher du soleil et en enveloppent la végétation dense de Seneçons et de Lobelia forment des aiguilles de givre parfois en grand nombre, suspendues à la villosité des feuilles.

Le 8 juin 1929, nous passâmes la nuit sur le sommet du Muhavura à 4,127 m. d'altitude sans bénéficier de la protection d'une tente. Le bota-

niste, D^r H. Humbert, était encore notre infatigable compagnon de voyage.

Avant le coucher du soleil l'alizé de Sud-Est soufflait avec une vitesse de 15 mètres à la seconde. Le ciel était serein. Sur le versant de Nord-Ouest se formaient des courants en spirale à composante verticale. A un certain moment ils dressèrent un rideau de nuages de faible épaisseur qui se maintint pour quelque temps à une certaine distance de la cime.

Au coucher du soleil l'alizé cessa de souffler pendant vingt minutes, puis redevint sensible, mais sa vitesse ne pouvait dépasser 3 mètres à la seconde. La condensation y était très intense. Quelle ne fut pas notre surprise de voir qu'à 20 h. 30 m. nos malles en fer, nos fusils et nos objets en verre étaient recouverts d'une couche de glace d'une épaisseur de près de 2 millimètres.

Les cristaux de givre se présentaient ramifiés en direction radiale et rappelaient les cristallisations de glace sur nos vitres en hiver dans les climats d'Europe.

La température de l'air (thermomètre-fronde) était à ce moment de 0°; à 2 heures du matin elle approchait de 2" au-dessous de zéro (1).

CHAPITRE XV

Répartition ancienne de la forêt.

Nous avons vu au début de cet exposé quelle est la répartition actuelle de la forêt, considérée dans ses variations climatiques par rapport à l'altitude. Nous avons vu encore comment certaines associations particulières, telles que les associations subxérophiles et xérophiles, occupent des territoires dont ni l'altitude, ni la station édaphique ne justifient pas toujours la présence.

(1) E. REGNIER nous informe que le 31 août 1932 il trouva le pluviomètre totalisateur du sommet du Karisimbi (4,506 m. d'alt.) recouvert, dans sa partie exposée au vent, d'une couche de glace d'une épaisseur de deux doigts. La température de l'air (mesurée avec un thermomètre fronde), aux environs de 12 heures, était de 0°8.

Sans aucun doute, la forêt actuelle n'occupe pas l'extension de la forêt ancienne. Elle a été soumise depuis longtemps à des actions multiples qui en ont reculé et restreint presque partout son domaine.

Nous avons vu, dans un travail précédent, quelle est l'intensité de l'action destructive dans la dorsale orientale et sur tout le massif du Ruanda, aujourd'hui presque entièrement dénudé.

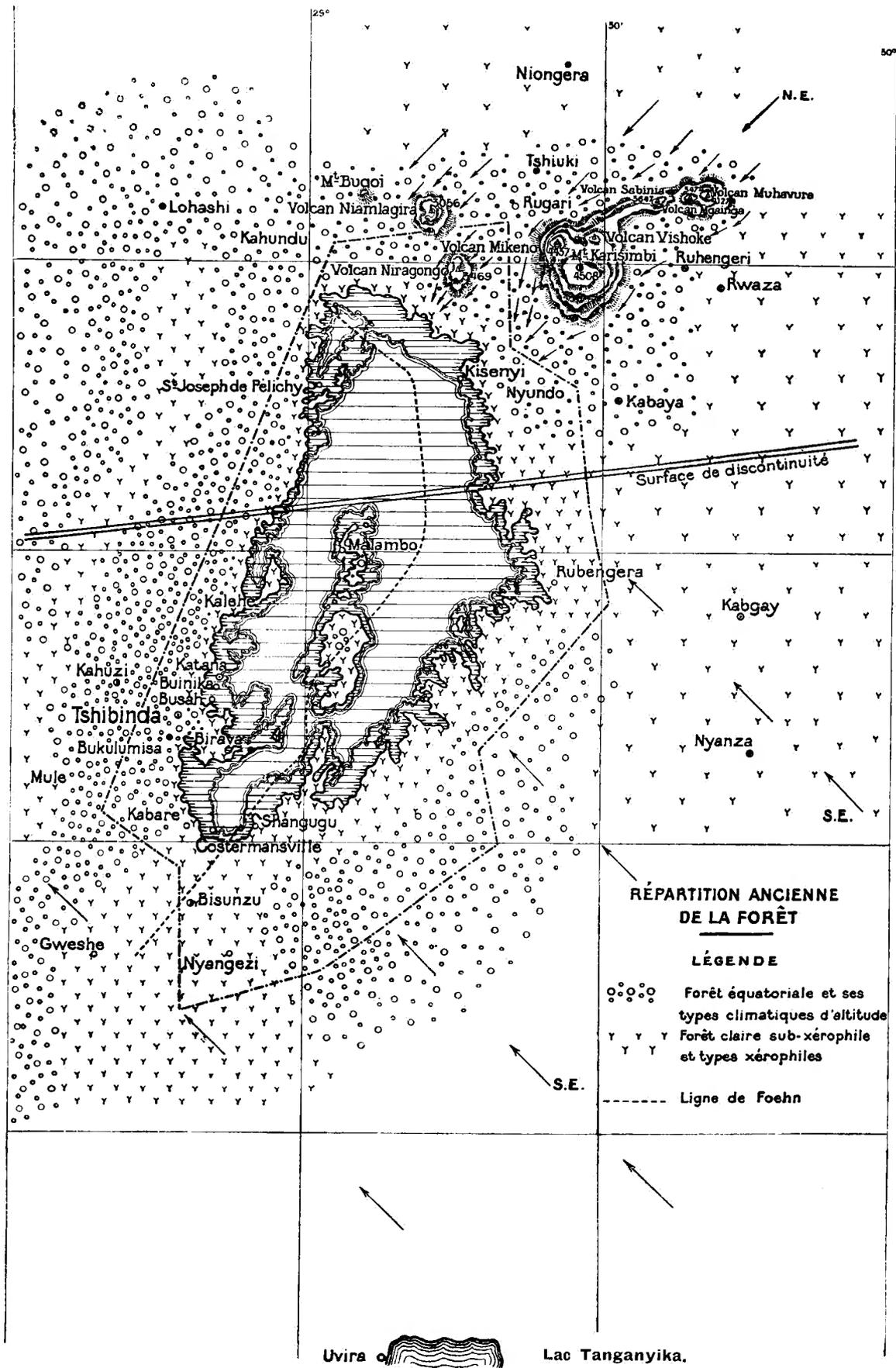
Les mêmes forces, les feux de brousse et les défrichements, opèrent de nos jours un peu partout avec un rythme qui doit égaler sinon dépasser le rythme ancien.

Sur la base des premières connaissances qui nous sont acquises par l'investigation analytique du climat et sans vouloir préjuger les conclusions auxquelles il nous sera permis de parvenir quand tous les éléments du climat et leurs rapports mutuels nous seront connus, nous estimons qu'il y a lieu, dès maintenant, de distinguer, par rapport aux précipitations, les associations qui conservent intact leur caractère de végétation climatique, des formes modifiées par l'une ou l'autre cause et de celles dont l'existence représente une adaptation à des conditions climatiques différentes des conditions anciennes, stabilisées depuis de longues périodes de temps.

La découverte que nous avons eu la bonne fortune de faire, le 26 mai 1929, le long du sentier de Sake à Kabaja, de coquillages fossiles du lac Kivu dans une ancienne terrasse lacustre située à 180 mètres au-dessus du niveau actuel, nous a permis d'établir qu'à une époque géologique récente, le lac avait une étendue beaucoup plus vaste que celle qu'il a actuellement.

Les fossiles ont pu être étudiés au Musée de Zoologie de l'Université de Turin, et l'on a constaté qu'il s'agit de formes de la faune actuelle légèrement modifiées, s'identifiant avec la faune malacologique actuelle du Kivu et du lac Édouard.

Le Service cartographique du Ministère des Colonies, sur notre demande, a reporté sur la carte n° 27, que nous reproduisons, l'ancien niveau du lac à la courbe de 1,650 mètres, équivalant approximativement à la hauteur de la terrasse lacustre observée. La superficie de l'ancienne extension a été calculée à 3,300 kilomètres carrés, supérieure de 1,000 kilomètres carrés à l'étendue actuelle.



CARTE 27.

(Dessinée en partie par le Service cartographique du Ministère des Colonies.)

Si l'on tient compte de l'influence que peut avoir exercée une augmentation si importante de la surface évaporante et de l'activité volcanique certainement plus intense alors qu'elle ne l'est à présent, il nous paraît raisonnable de supposer qu'à une époque relativement très récente, le climat du bassin du Kivu a dû être un peu plus humide que maintenant.

Les facteurs géographiques (l'altitude et la direction des dorsales) et météorologiques (les alizés) qui en règlent le climat n'ont pas varié.

Les zones de foehn que nous avons reconnues sous le vent des dorsales n'ont pu varier non plus, étant donnée l'immutabilité des facteurs qui les produisent. Peut-être ont-elles subi des fluctuations de peu d'importance et la plus grande pluviosité générale du territoire a pu en atténuer les effets, sans toutefois jamais les détruire.

Les différences importantes qui caractérisent la distribution horizontale et verticale actuelle des pluies subsistent. Ces différences étaient probablement moins accentuées que maintenant, mais jamais le climat du bassin n'a été uniforme.

Les rives du lac, sur une profondeur d'un à trois kilomètres approximativement et les zones soumises à l'action desséchante du foehn n'ont jamais été couvertes, à notre avis, par la forêt mésophile.

Sur ces territoires devait régner une forêt assez dense, subxérophile, du type qui existe encore sur la rive Nord-Ouest de l'île Idjwi et qui en est très vraisemblablement l'association autochtone survivante.

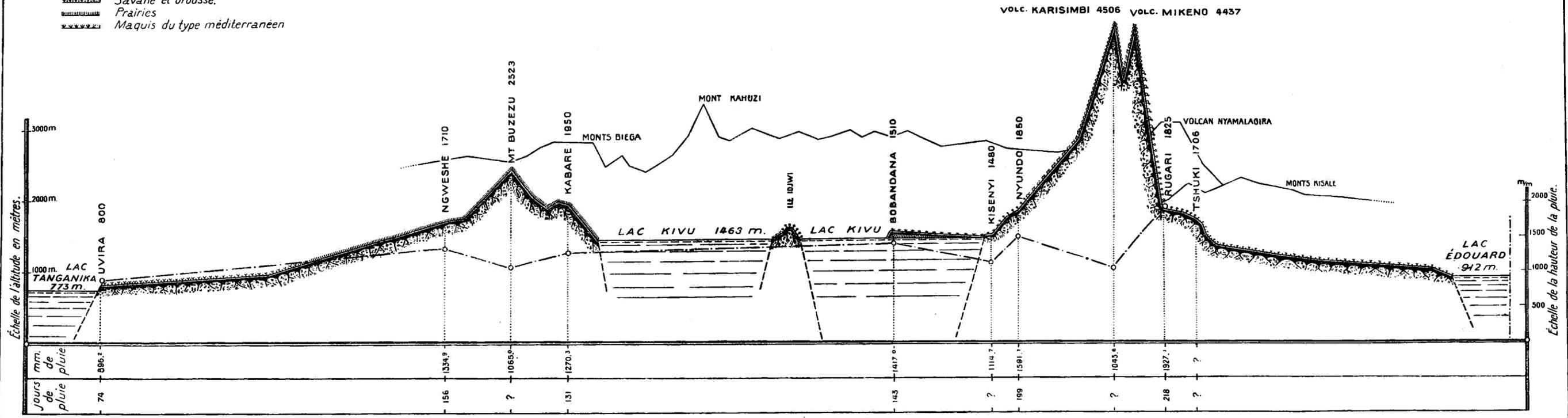
Le dessèchement survenu, par l'abaissement du niveau du lac, en un premier temps doit avoir favorisé l'extension des associations plus ou moins xérophiles telles que celles qui se voient encore sur la rive Nord du lac et dans une partie de l'île Idjwi, ainsi que d'autres dont il existe çà et là des témoins; puis en un deuxième temps doit avoir ouvert la voie à la colonisation d'autres espèces concurrentes, se réclamant des mêmes relations climatologiques ou de rapports similaires, transportées par les animaux, par l'homme et diffusées à la suite des incendies qui détruisirent les associations autochtones (1).

(1) M. le prof^r H. HUMBERT nous communique à ce propos « qu'il est incontestable que plusieurs types de végétation xérophile ou subxérophile ont occupé, avant l'homme et le régime des feux, la plus grande partie des territoires aujourd'hui couverts d'herbages, prairie ou savane à graminées.

» C'étaient des forêts sèches, ou des « bush », selon les conditions de sol et de

Distribution verticale des pluies entre le lac Tanganika et le lac Édouard.

- Forêt du type ombrophile et mésophile
- Forêt de bambous (*Arundinaria Alpina*)
- Étage sub-alpin à *Ericacées*, *Senecio* et *Lobelia*
- Étage alpin à *Deschampsia flexuosa*.
- Savane et brousse.
- Prairies
- Maquis du type méditerranéen



PROFIL SCHÉMATIQUE 28.

Une grande partie des associations actuelles offre le caractère de stades régressifs des associations primitives, adaptées plus ou moins parfaitement à l'évolution subséquente provoquée dans les sols.

La pluviométrie des zones plus élevées n'a pas beaucoup changé. Tout au plus a-t-elle subi un abaissement progressif et lent de la hauteur totale des pluies, ce qui n'a pu troubler sensiblement l'équilibre climatique des associations végétales primitives.

Le dessèchement du bassin (phénomène qui, à une époque déterminée, a dû être général pour tous les grands lacs du centre africain) a accentué le caractère saisonnier des périodes pluvieuses par le prolongement des sécheresses solsticiales dans les stations qui, par leur position topographique, étaient exposées à l'influence des facteurs météorologiques adverses tels que le foehn.

Ceci a certainement favorisé une expansion de la forêt subxérophile

climat, plus ou moins soumis aux vents desséchants. Les types de végétation semi-xérophiles ont disparu plus rapidement devant les feux, parce que ceux-ci étaient plus actifs sous ce climat que dans les zones très humides où règnent encore de belles forêts du type ombrophile (en plaine — bassin du Congo) ou mésophile (en montagne).

» Je suis absolument convaincu », nous écrit M. H. Humbert, « que certains des types de forêts semi-xérophiles avaient une large extension sur les pentes de la dorsale congolaise, par exemple entre le lac et Tshibinda, et aussi au-dessus des rives du Tanganyika, partout où elles étaient plus ou moins convexes, tandis que les vallonnements étaient occupés par un type moins xérophile, à feuillage plus ou moins lauriforme. De cela j'ai vu des témoins indiscutables : sur des bosses au-dessus d'Uvira il y a encore des témoins du premier type et dans les « thalweg » des témoins du second. La savane herbeuse à Acacias de ces pentes est un type secondaire, très dégradé.

» Sur la rive Ouest de l'île Idjwi il y a des témoins *intacts* de cette forêt sub-xérophile à *Piptadenia Buchananii* et *Albizia fastigiata*, véritable forêt fermée à sous-bois d'Acanthacées herbacées ou suffrutescentes et d'autres plantes qui n'ont rien de commun avec les herbes de la savane secondaire ou de la prairie qui couvre maintenant la majeure partie des pentes. Que cette forêt à *Piptadenia* et autres Légumineuses arborescentes ait gagné sur le terrain abandonné par le retrait des eaux du lac, c'est parfaitement admissible; elle est donc géologiquement récente et c'est ce qui explique sa complexité relativement faible ici.

» Sur les rives Nord du lac et la pointe Sud de l'île Idjwi, un climat local plus sec, exagéré par la nature du sol, se traduit par une forêt basse ou sorte de « bush ». Sur les pentes orientales du lac, c'est-à-dire le versant Ouest du Ruanda, la végétation primitive a dû être plus xérophile encore : j'ai pu étudier à l'escale de

aux dépens de la forêt mésophile, et là où les conditions locales s'y prêtaient (sols arides, surfaces plus particulièrement desséchées par le foehn), des types de végétation plus xérophiles encore, à l'allure de « bush », se sont installés et ces surfaces sont devenues par la suite le siège de phénomènes évolutifs du sol.

L'homme est intervenu à son tour depuis des époques assez reculées. Il a été poussé vers la montagne plus humide, alors que les terrains moins arrosés des rives et des massifs centraux au Sud du lac demandaient un effort plus grand pour lui fournir les produits qu'il exigeait.

C'est ainsi qu'a disparu la végétation subxérophile qui devait occuper tous les hauts plateaux au Sud du lac et les portions de la dorsale orientale où l'action de déviation verticale de l'alizé est très faible et sans doute le Ruanda tout entier, peut-être avec des formes d'une xérophilie plus marquée dans les territoires orientaux.

Mushao ces pentes dénudées et y trouver, parmi les herbes banales soumises au feu, quelques espèces témoins précieuses de plantes vivantes résistant aux feux et qui sont des représentants indiscutables de l'ancienne végétation de ces pentes, appartenant à un type de végétation très xérophile qui devait à l'état primitif former un « bush » analogue à celui de certaines parties de l'Est africain et du Sud africain. Des représentants de la flore de l'Afrique australe viennent jusque-là et y sont à leur limite Nord d'extension.

» Il est bien entendu que savane et prairie ont pu se développer le plus rapidement sur les surfaces à climat comportant des périodes sèches, ces causes qui favorisèrent les incendies, et que par suite leur extension actuelle correspond en partie aux territoires soumis à ce régime climatique.

» Toutefois, quand le climat et le sol sont trop arides pour que la prairie s'installe densément, le feu ne se transmet plus facilement et alors le « bush » primitif est lent à détruire. C'est sur les zones bien arrosées pendant une saison et sèches pendant une autre que la destruction de la végétation primitive est le plus sévère.

» Si des changements de climat se sont produits et cela n'est guère douteux pour certains territoires, ils ont favorisé l'extension des types xérophiles *primitifs* (bush, forêts sèches) aux dépens de la forêt mésophile ou ombrophile, qui a reculé devant eux.

» Puis la substitution de la prairie et de la savane herbeuse à ces types plus ou moins xérophiles et aussi, par partie, aux forêts plus ou moins humides s'est effectuée du fait de l'homme, directement (défrichements) ou indirectement (feux). »

Cf. aussi H. HUMBERT, Végétation de la dorsale occidentale du Kivu. (*Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences*, Alger, 1930.)

H. HUMBERT, Types de végétation primaire et secondaire en Afrique équatoriale. (*Congrès international de géographie*, Paris, 1931.)

Nous reviendrons sur cette question quand nous parlerons du climat du Kivu dans son ensemble. Pour le moment nous avons estimé utile de fixer sur la carte n° 27 les limites approximatives occupées, à cette époque de plus grande pluviosité, par les forêts climatiques autochtones.

Pour simplifier la carte, nous n'adoptons que deux signes conventionnels. Par le premier, que nous nommons « forêt équatoriale et ses types climatiques d'altitude », nous comprendrons le type forestier de ce nom et toutes les autres variations climatiques qui en dérivent par le fait de leur échelonnement en altitude; par le second, que nous appellerons « forêt claire subxérophile et types xérophiles », nous entendons représenter toutes les formations autochtones semi-xérophiles et xérophiles de différents types climatiques, à l'exclusion des formes modifiées.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Traités généraux :

- J. HANN, *Handbuch der Klimatologie*, Verlag von Engelhorn, Stuttgart, 1908.
- G. GEROSA, *Meteorologia*, Unione tipografico editrice torinese, Torino, 1923.
- E. ALCARAZ, *Climatologia agricola*, Imprenta de la Ciudad lineal, Madrid, 1925.
- E. DE MARTONNE, *Traité de géographie physique*, Armand Colin, éditeur, Paris, 1925.
- CH. MAURRAIN, Conductibilité et ionisation atmosphériques. (*Traité d'Électricité atmosphérique et tellurique*, Les presses universitaires de France, Paris, 1924.)
- M. E. MATHIAS, Les décharges électriques dans l'air. (*Idem.*)
— Étude électrique des précipitations. (*Idem.*)
- A. ANGOT, *Traité élémentaire de Météorologie*, 4^e éd., Gauthier-Villars, éditeurs, Paris, 1928.
- A. BALDIT, *Météorologie du relief terrestre*, Gauthier-Villars, éditeurs, Paris, 1929.
- A. NIPPOLDT, J. KERANEN, E. SCHWEIDLER, *Einführung in die Geophysik*, Verlag Julius Springer, Berlin, 1929.
- W. G. KENDREW, *Climate, A treatise on the principles et weather and climate*, At the Clarendon Press, éditeur, Oxford, 1930.
- A. WAGNER, *Klimatologie des freien atmosphäre*. (*Handbuch der Klimatologie*, Verlag von G. Borntraeger, Berlin, 1932.)

Ouvrages spéciaux :

- M. E. MATHIAS, La pluie en France. (*Annales de Physique*, Masson et C^{ie}, éditeurs, Paris, 1919.)
— Monographie de l'éclair fulgurant. (*Bulletin de l'Institut et Observatoire de Physique du Globe du Puy-de-Dôme*, n^o 2, 1930.)
— *Deuxième rapport préliminaire sur la foudre*, International Geodetic and Geophysical Union, Congrès de Prague, 1927.
— *La foudre globulaire*, Société française des Electriciens, Paris, 1930.
- A. BOUDARIC, Les prédilections de la foudre. (*Revue hebdomadaire*, 1931.)

- J. JAUMOTTE, Un cas de sursaturation extraordinaire dans l'atmosphère libre. (Bull. *Ciel et Terre*, 1925, p. 42.)
- C. T. W. WILSON, *Phil. Trans. A.* 1897, p. 265.
- G. GASTHUYS, Observations météorologiques au Congo belge. (*Bulletin agricole du Congo belge*, Bruxelles, 1926.)
- R. BERCE, A propos d'une périodicité des pluies au Congo belge. (*Annales de Gembloux*, 1930.)
- M. LASSERRE, Les territoires du Sud de l'Algérie. (*Aperçu météorologique*, Gouv. Gén. d'Algérie, 1929.)
- G. DEDEBANT et G. ROCHE, Nos connaissances actuelles sur le régime des pluies au Maroc. (*Rapport au Congrès de l'Eau*, Alger, 1928.)
- Notes sur la nouvelle carte des pluies au Maroc. (*Revue La Météorologie*, Paris, 1927.)
- OFFICE NATIONAL MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE, *Les conditions météorologiques de formation de la pluie*, Paris, 1923.
- M. ROBERT, *Le centre africain*, Maurice Lamertin, éditeur, Bruxelles, 1932.
- A. H. R. GOLDIC, *Characteristics of rainfall distribution in homogeneous air currents and surfaces of discontinuity*, London, 1931.
- R. GEIGER, *Die vier stufen der Klimatologie*, Met. Z. S., n° 1, 1929.
- A. SCHMAUSS et A. WIGAND, *Di Atmosphäre als Kolloid*, Sammlung Vieweg, Heft 96, F. Vieweg et Sohn, Braunschweig, 1929.
- R. GEIGER, Mesure de l'influence de l'exposition sur le climat de montagne. (*Forst-Wissenschaftliches Centralblatt*, 1927-1929.)
- H. SCHMIDT, *Der jährliche Gang der Niederschläge in Afrika*, Archiv der Deutschen Seewarte, Hamburg, 1928.
- M. BOSSOLASCO, Condensazione ed evaporazione. (Riv. *La Meteorologia pratica*, 1930.)
- D. MONTANARI, Correnti aeree e cinematografia delle nubi. (Riv. *La Meteorologia pratica*, 1930.)
- F. EREDIA, Le precipitazioni acquee nella Colonia Eritrea. (*Rivista delle Colonie Italiane*, 1928.)
- A. ESTRAFALLACES, I nuclei di condensazione del vapore. (Riv. *La Meteorologia pratica*, 1932.)
- A. PILLETTE, *A travers l'Afrique équatoriale*, Bruxelles, 1914.
- S. CABIANCA, Recherches récentes sur l'action des forêts contre l'érosion et le ruissellement. (*Rev. Int. d'Agr.*, Rome, 1932.)
- A. PAVARI, Come influiscono le foreste sul regime delle piogge. (*Rivista L'Alpe*, Milano, 1930.)

- E. DE WILDEMAN, A propos du Kilimandjaro et de sa flore. (*Revue des Questions scientifiques*, Bruxelles.)
- Notes à propos de la limite Nord de la forêt tropicale dans la région de l'Uele (Congo belge). (*Bull. de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique*, Bruxelles, 1931.)
 - A propos du problème forestier colonial. (*Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, 1932.)
 - La forêt équatoriale congolaise; ses problèmes biologiques. (*Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique*, Bruxelles, 1932.)
- H. HUMBERT, La végétation des hautes montagnes de l'Afrique centrale équatoriale. (*Revue La Terre et la Vie*, Paris, 1931.)
- H. SCAËTTA, Les Famines périodiques dans le Ruanda. Contribution à l'étude des aspects biologiques du phénomène. (*Mémoires de l'Institut Royal Colonial Belge*, Bruxelles, 1931.)
- W. ROBYNS, La colonisation végétale des laves récentes du volcan Rumoka. (*Mémoires de l'Institut Royal Colonial Belge*, 1932.)
-

INDEX DES DIAGRAMMES HORS TEXTE

- N° 1. — BIRAVA. — Observateur : la S. A. A. K. (Baron L. de BONHOME).
2°20'30'' lat. S. ; 20°54' long. G. — 1,555 m. alt.
- N° 2. — KATANA (Mugeri). — Observateur : Mission catholique.
2°12'50'' lat. S. ; 29°51'30'' long. G. — 1,500 m. alt.
- N° 3. — KALEHE. — Observateur : Administrateur territorial.
2°6'30'' lat. S. ; 29°55'10'' long. G. — 1,500 m. alt.
- N° 4. — BUSANGANIA. — Observateur : M. A. Pastori et M. Colli-Vignarelli.
1,610 m. alt.
- N° 5. — KABARE (Tshibimba). — Observateur : Mission catholique et Admi-
1,925 m. alt. nistrateur territorial.
- N° 6. — RUBENGERA. — Observateur : Mission protestante belge.
2°02'45'' lat. S. ; 28°24'30'' long. G. — 1,700 m. alt.
- N° 7. — TSHIBINDA. — Observatoire du Gouvernement du Congo belge.
2°19'20'' lat. S. ; 28°45'25'' long. G. — 2,115 m. alt.
- N° 8. — Mont BUKULUMISSA. — Observatoire de Tshibinda.
2,430 m. alt.
- N° 9. — NGWESHE. — Observateur : Mission catholique.
2°42' lat. S. ; 28°38'30'' long. G. — 1,730 m. alt.
- N° 10. — UVIRA. — Observateur : Mission protestante suédoise.
3°24'25'' lat. S. ; 29°08'30'' long. G. — 800 m. alt.
- N° 11. — BOBANDANA (St. Joseph de Pélichy). — Obs. : Mission catholique.
1°42'30'' lat. S. ; 29°01' long. G. — 1,550 m. alt.
- N° 12. — KAHUNDU. — Observateur : la S. P. E. K.
1,925 m. alt.
- N° 13. — KISSENYE. — Observateur : la « C. I. M. ».
1°42'05'' lat. S. ; 29°15'18'' long. G. — 1,470 m. alt.
- N° 14. — NYUNDO. — Observateur : Mission catholique.
1°42'16'' lat. S. ; 29°19'22'' long. G. — 1,880 m. alt.
- N° 15. — LULENGA (Rugari). — Observateur : Mission catholique.
1°24'40'' lat. S. ; 29°22'20'' long. G. — 1,800 m. alt.
- N° 16. — KABAGAYE. — Observateur : Vicariat apostolique du Ruanda.
2°05'59'' lat. S. ; 29°45' long. G. — 1,867 m. alt.
-

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages. |
|--|--------|
| INTRODUCTION | 3 |
| CHAPITRE I. — Schéma orographique de la région | 8 |
| CHAPITRE II. — Répartition actuelle de la forêt | 16 |
| CHAPITRE III. — Action des alizés | 27 |
| CHAPITRE IV. — Action dynamique des dorsales sur les alizés | 35 |
| CHAPITRE V. — Origine dynamique de la pluie | 40 |
| CHAPITRE VI. — Origine thermique de la pluie | 43 |
| CHAPITRE VII. — Action du sol et de la végétation | 48 |
| CHAPITRE VIII. — Distribution verticale et horizontale de la pluie | 51 |
| CHAPITRE IX. — Origine et circulation des orages | 58 |
| CHAPITRE X. — Action des orages sur les vents, la température, l'humidité relative | 72 |
| CHAPITRE XI. — Régime pluviométrique. | 82 |
| CHAPITRE XII. — Intensité des grande averses | 88 |
| CHAPITRE XIII. — Variation diurne de la pluie | 94 |
| CHAPITRE XIV. — Grésil, neige et givre | 95 |
| CHAPITRE XV. — Répartition ancienne de la forêt | 97 |
| INDEX BIBLIOGRAPHIQUE | 104 |
| INDEX DES DIAGRAMMES HORS TEXTE | 107 |
| TABLE DES MATIÈRES | 108 |

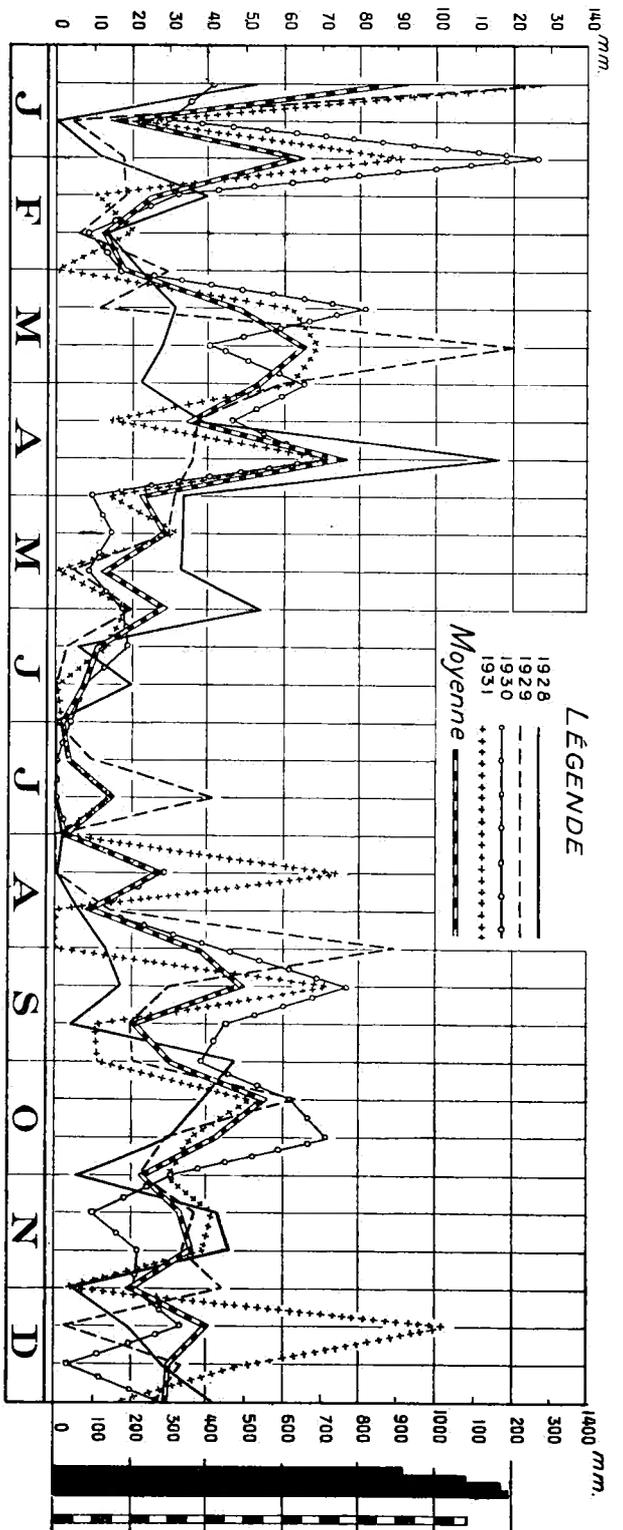


DIAGRAMME DE PLUIES 1. — Station de Birava : 2°20'30" lat. S — 28°54' long. G — 1,555 m. alt.
 Observateur : Baron L. de Bonhome (Soc. aux. agricole. Comité du Kivu).

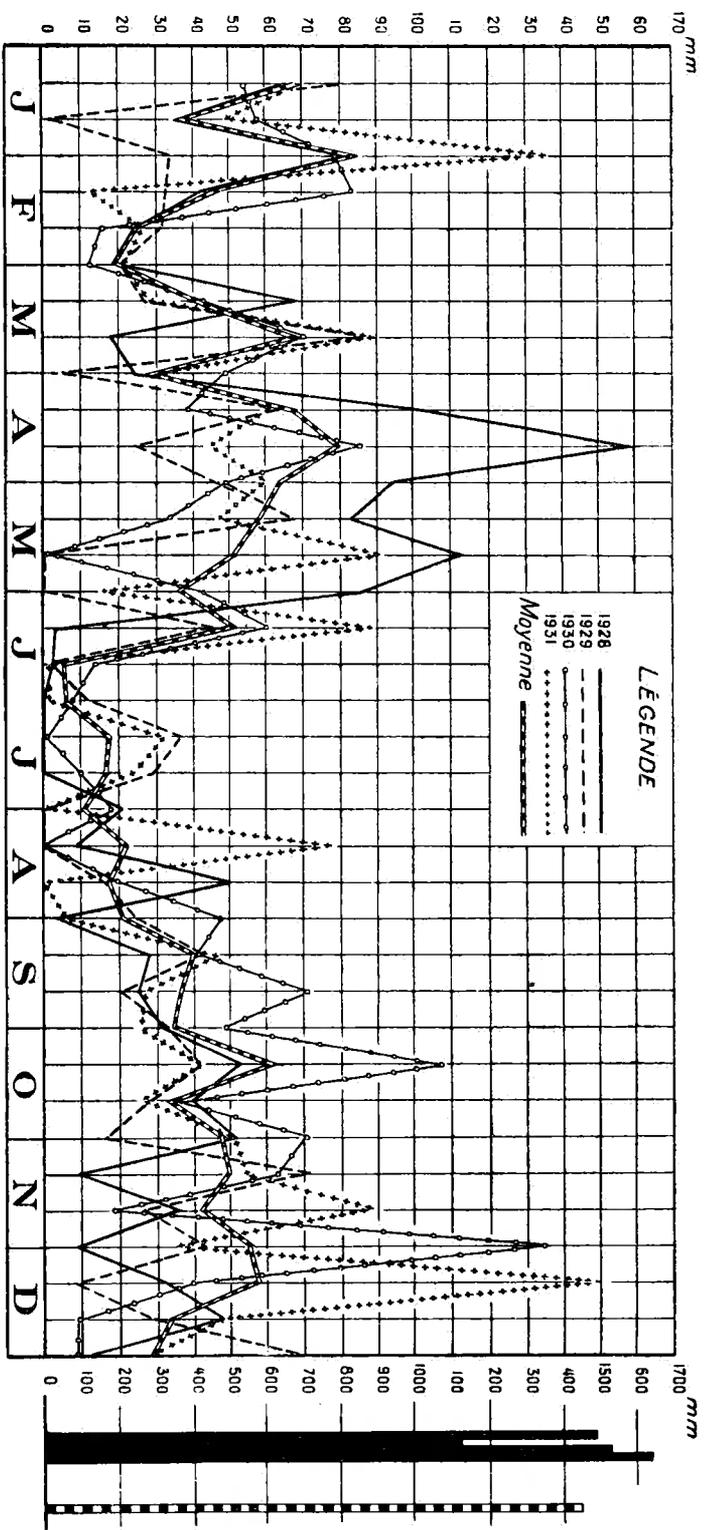


DIAGRAMME DE PLUIES 3. — Station de Kalehe : 2°6'30" lat. S — 29°55'10" long. G — 1,500 m. alt.
 Observateur : Poste du Gouvernement (Administrateur territorial).

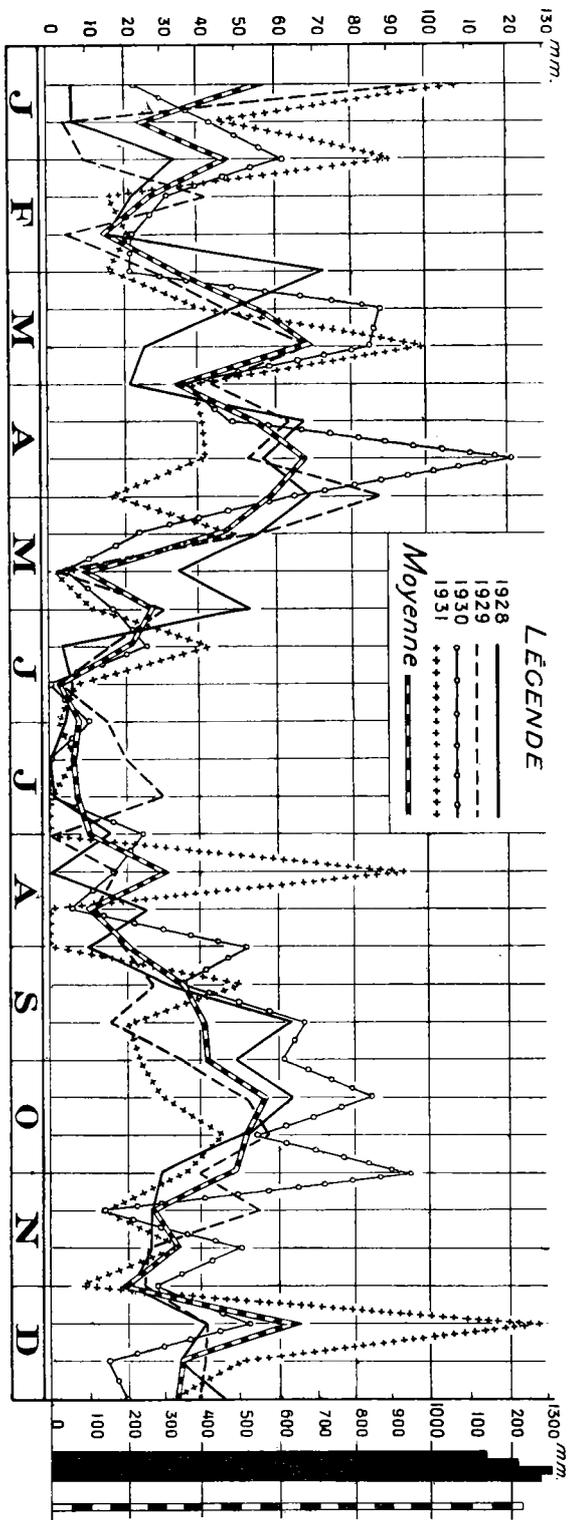


DIAGRAMME DE PLUIES 4. — Station de Basangania. — 1,610 m. alt.
 Observateur : M. Adrien Pastori, planteur.

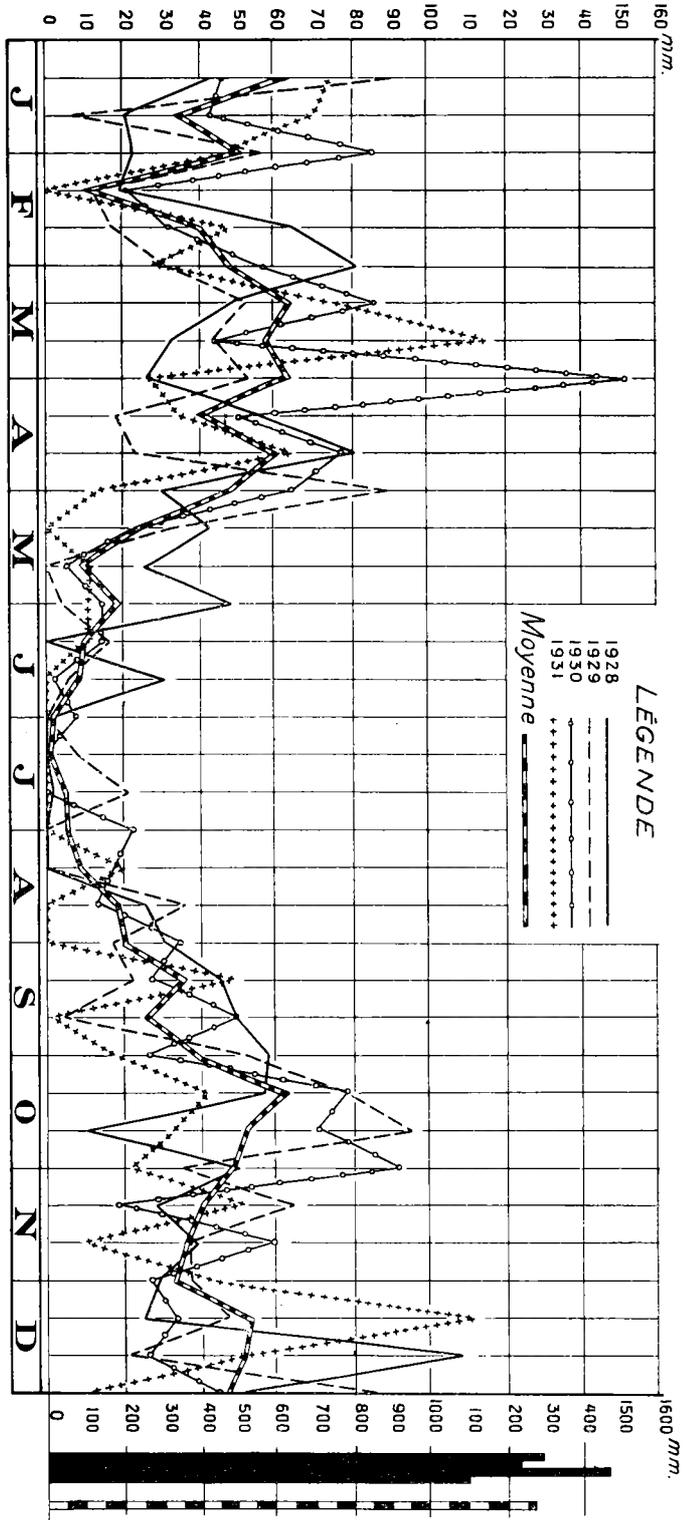


DIAGRAMME DE PLUIES 5. — Station de Kabare (Tshibimba) : 2°29'30" lat. S — 28°48'00" long G — 1,925 m. alt.
 Observateur : Mission catholique.

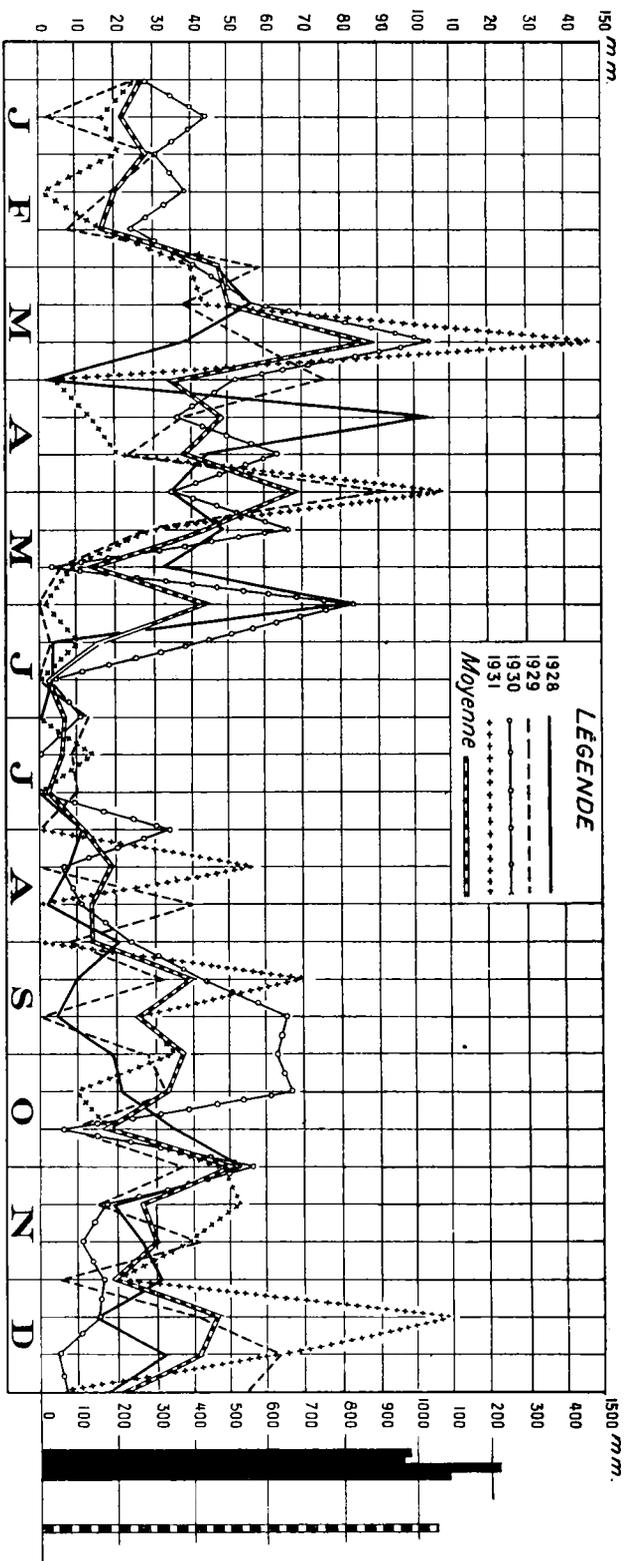


DIAGRAMME DE PLUIES 6. — Station de Rubengera (Ruanda) : 2°02'45" lat. S — 28°24'30" long. G — 1,700 m. alt.

Observateur : Mission protestante belge.

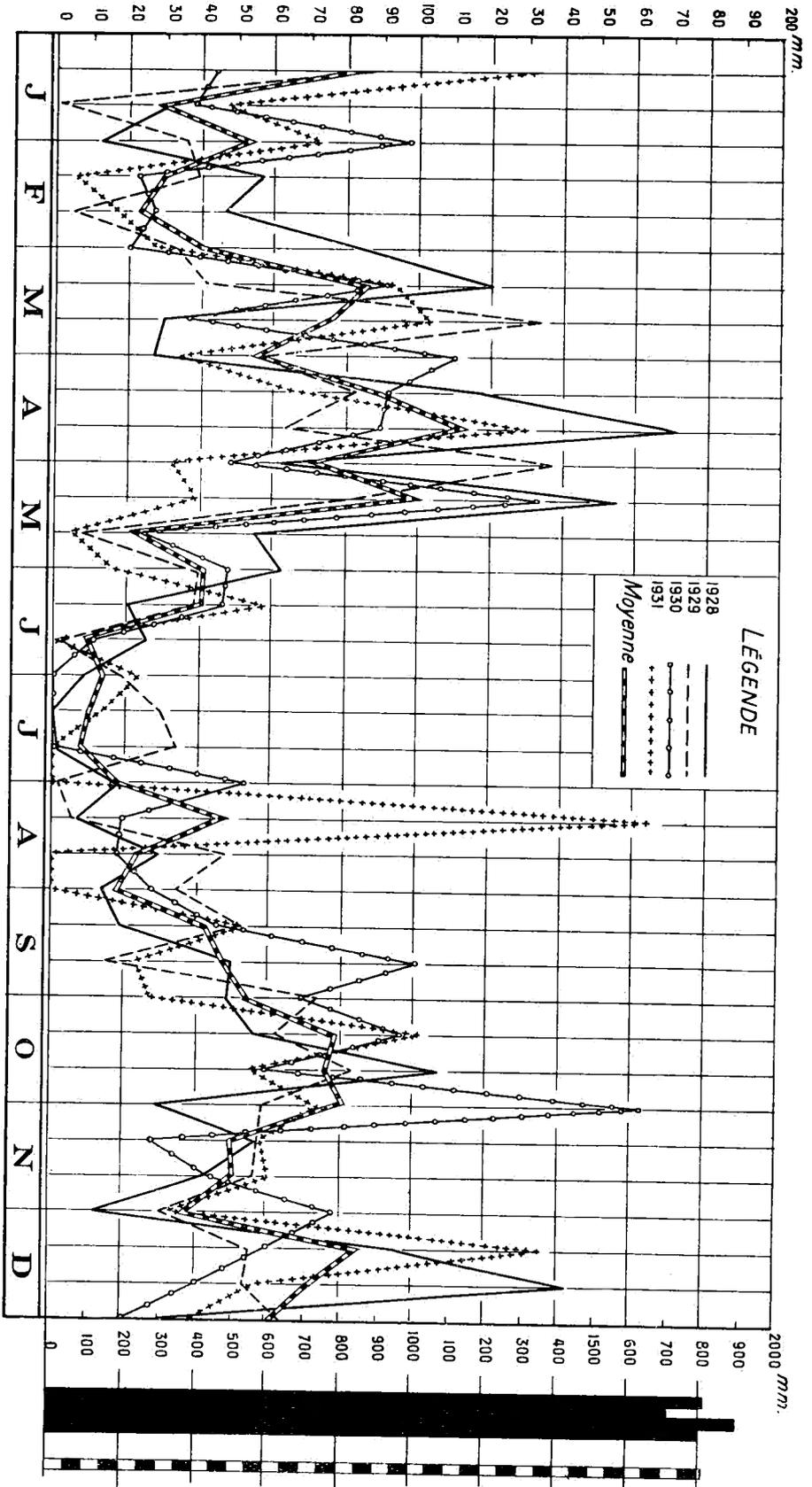


DIAGRAMME DE PLUIES 7. — Station de *Tshibinda* : 2°19'20" lat. S — 28°45'25" long. G — 2,115 m. alt.

Observatoire central du Gouvernement du Congo belge.

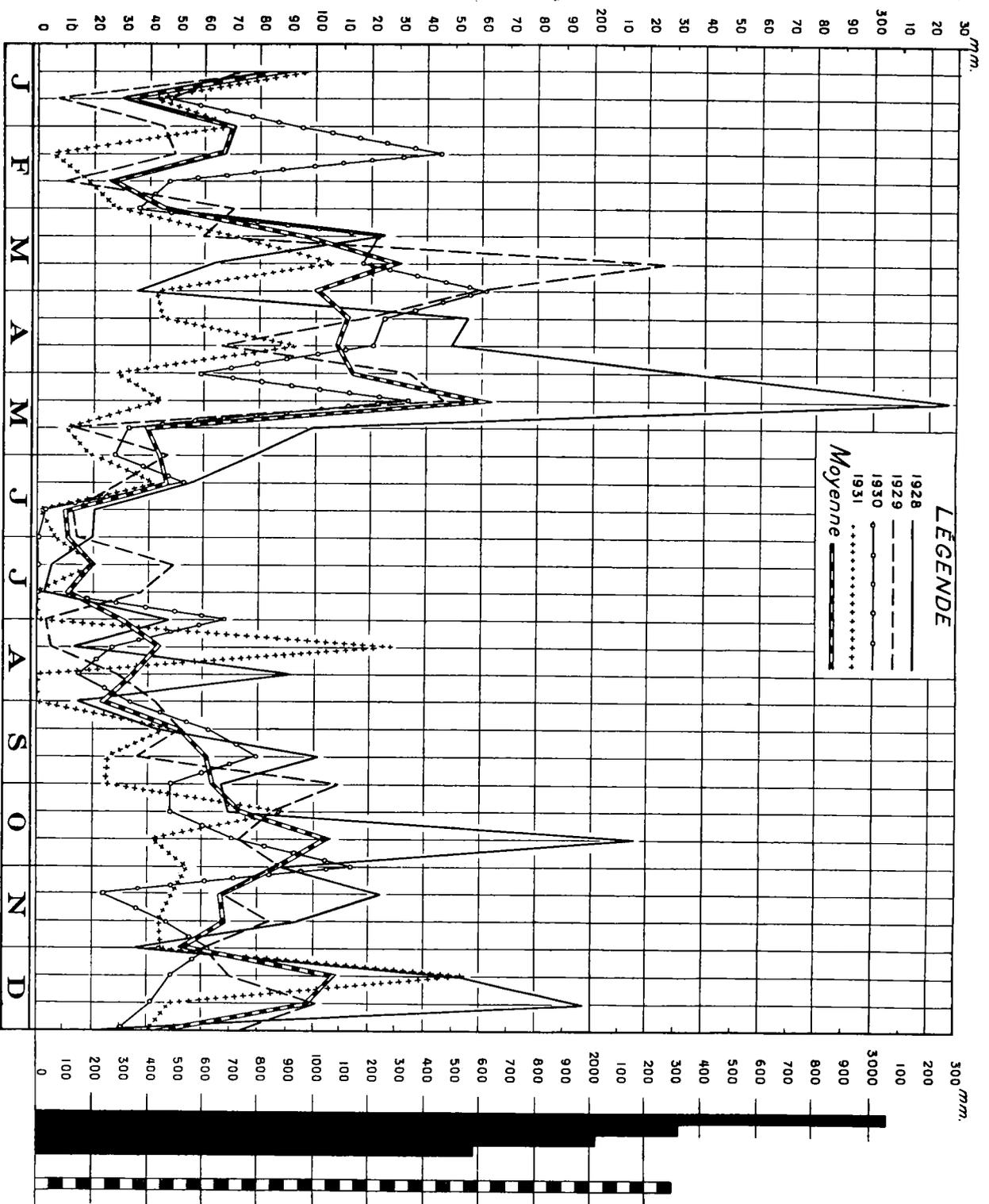


DIAGRAMME DE PLUIES 8. — Station du mont Bukulmissa : 2,430 m. altitude.

Desservie par l'Observatoire de Tshibinda.

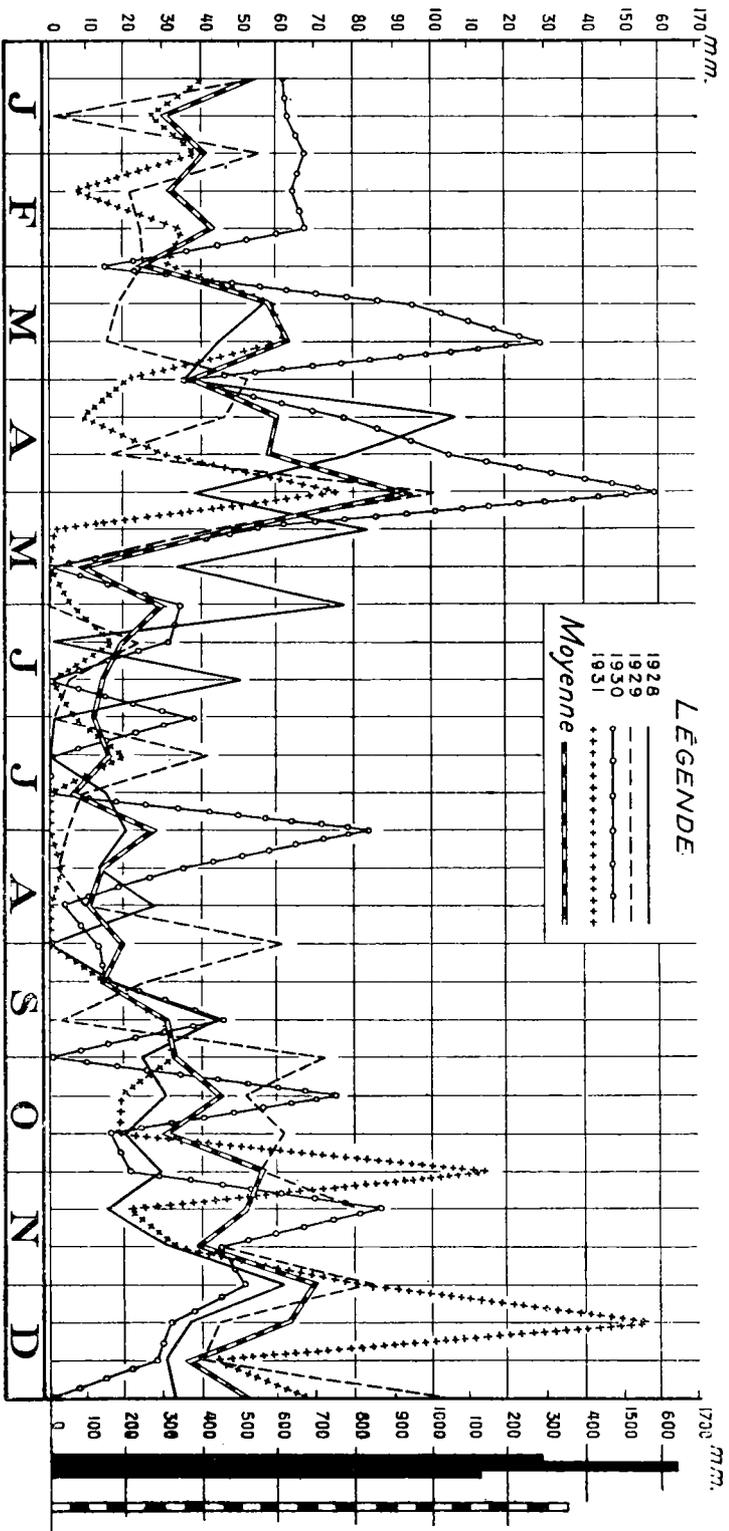
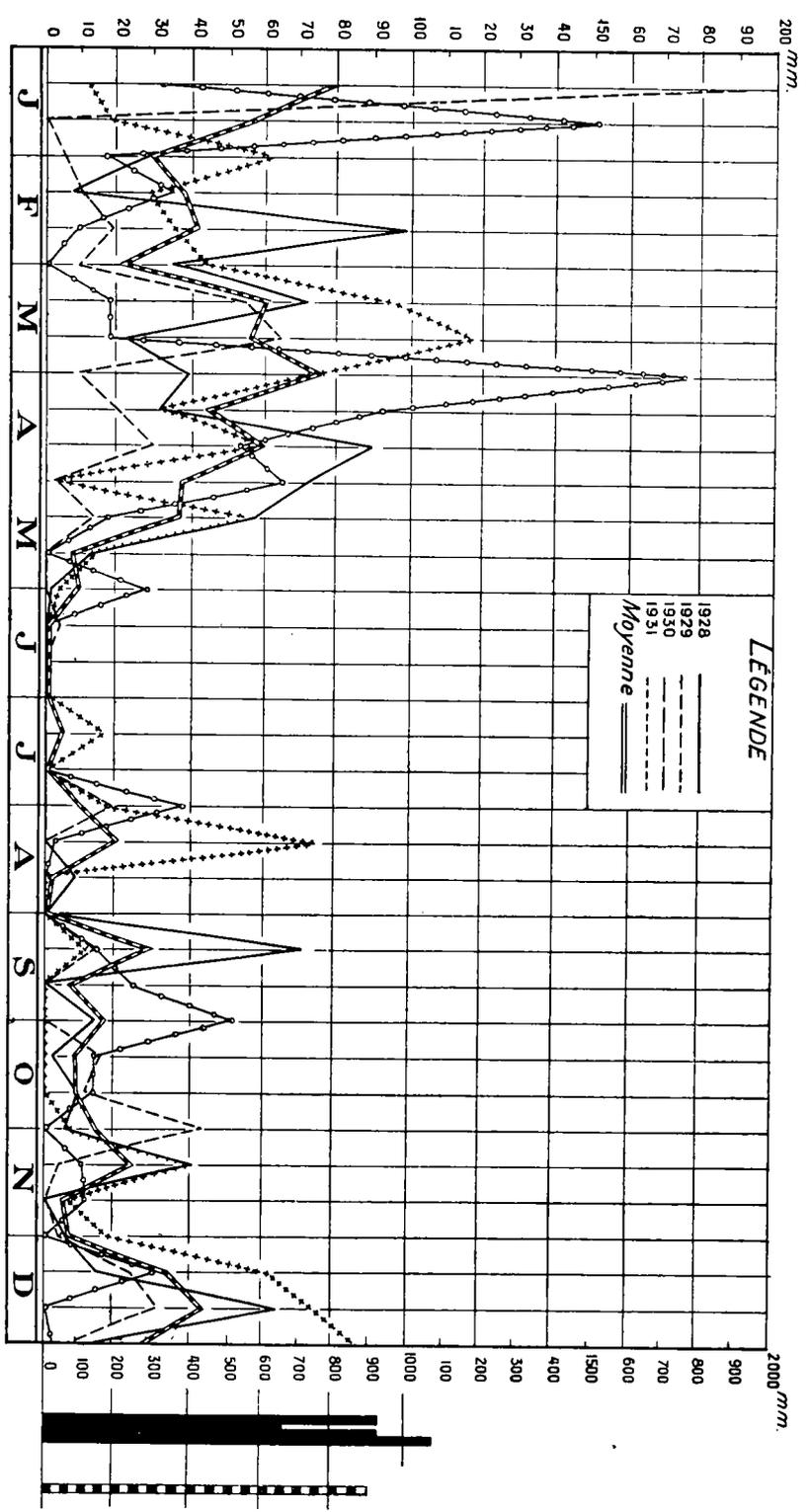


DIAGRAMME DE PLUIES 9. — Station de Ngwenhe : 2°42' lat. S — 28°38'30" long. G — 1,730 m. alt.

Observateur : Mission catholique.



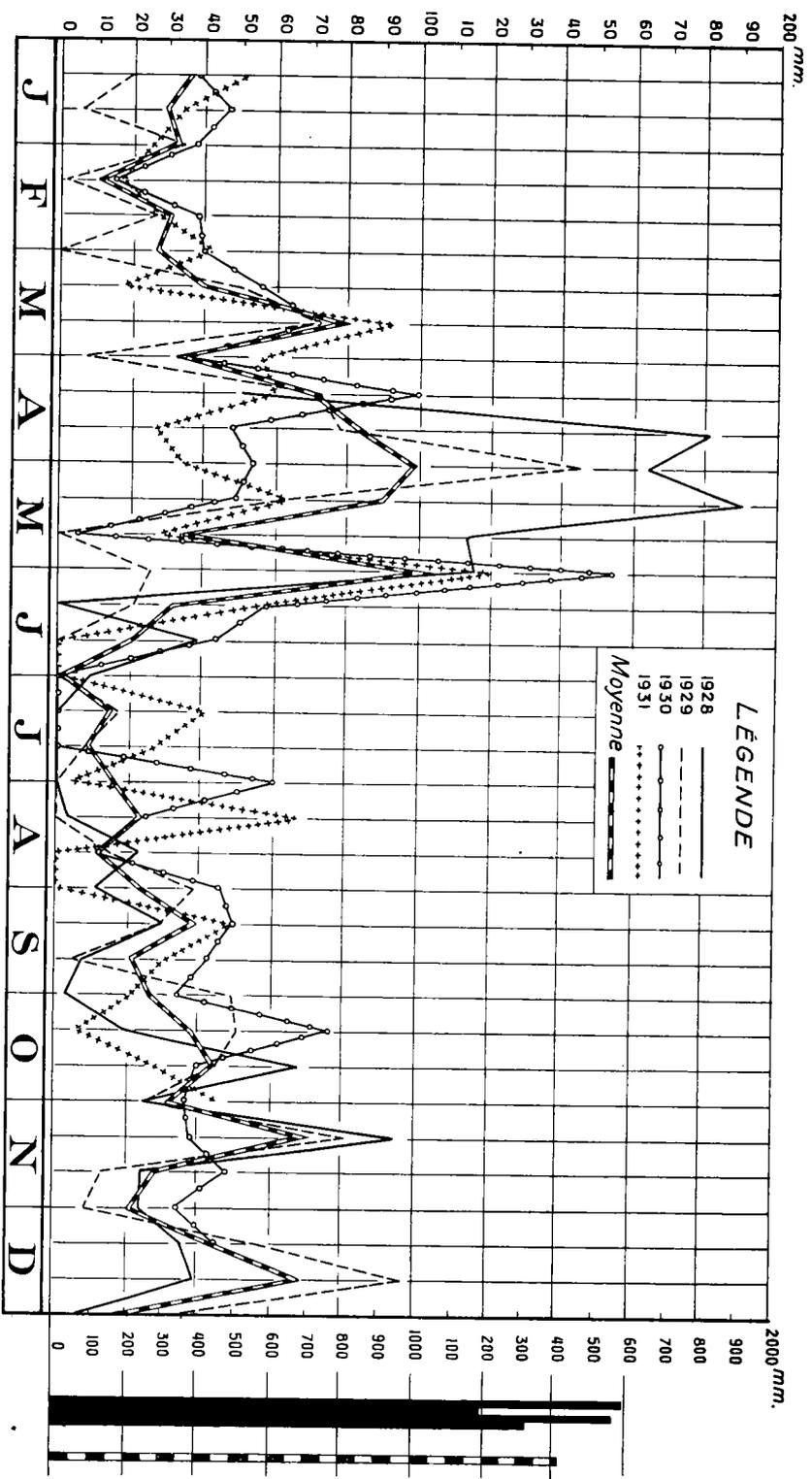


DIAGRAMME DE PLUIES 11. — Station de *Bobandana* (St. Joseph de Péligny) : 1°42'30" lat. S — 29°01' G — 1,550 m. alt.

Observateur : Mission catholique.

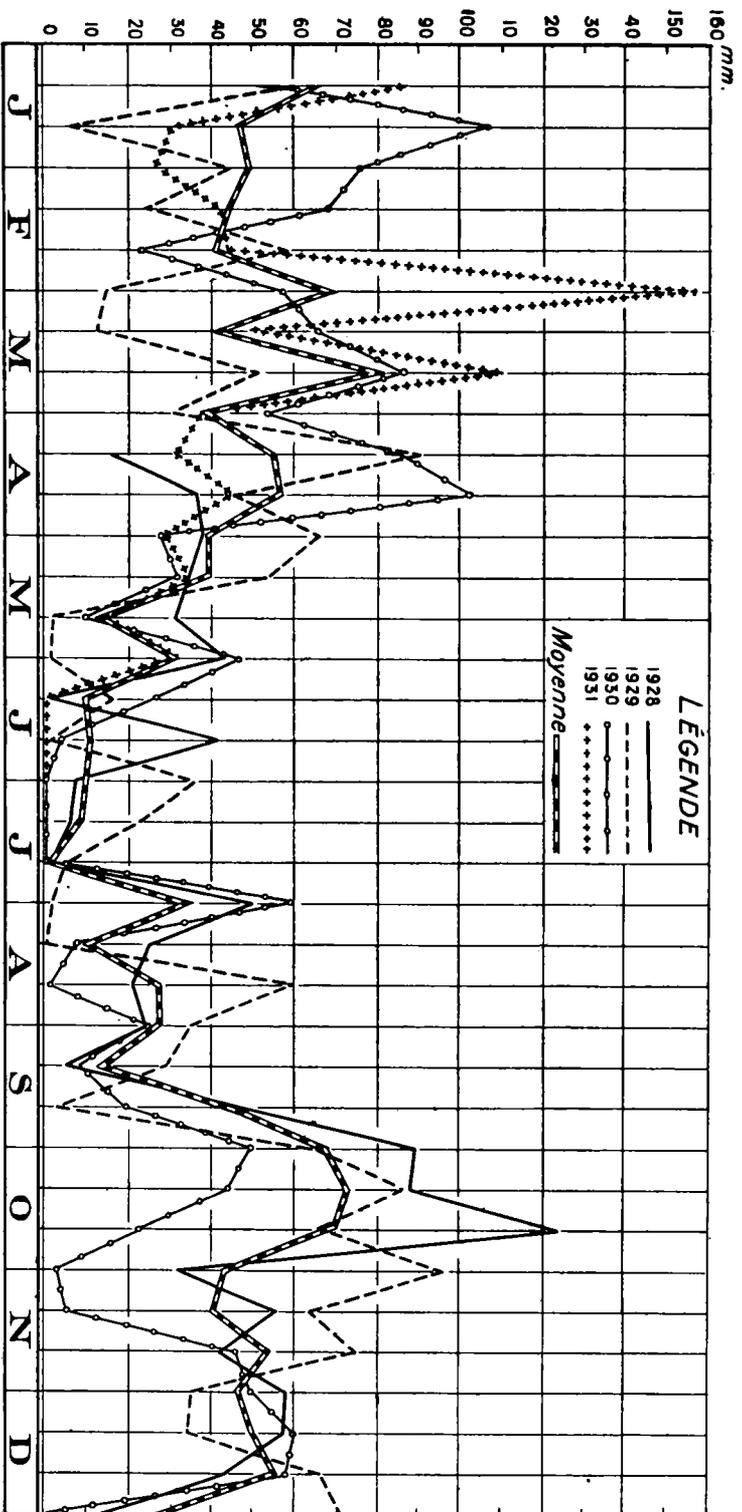


DIAGRAMME DE PLUIES 12. — Station de Kahundu : 1,925 m. alt.

Observateur : la S. P. E. K.

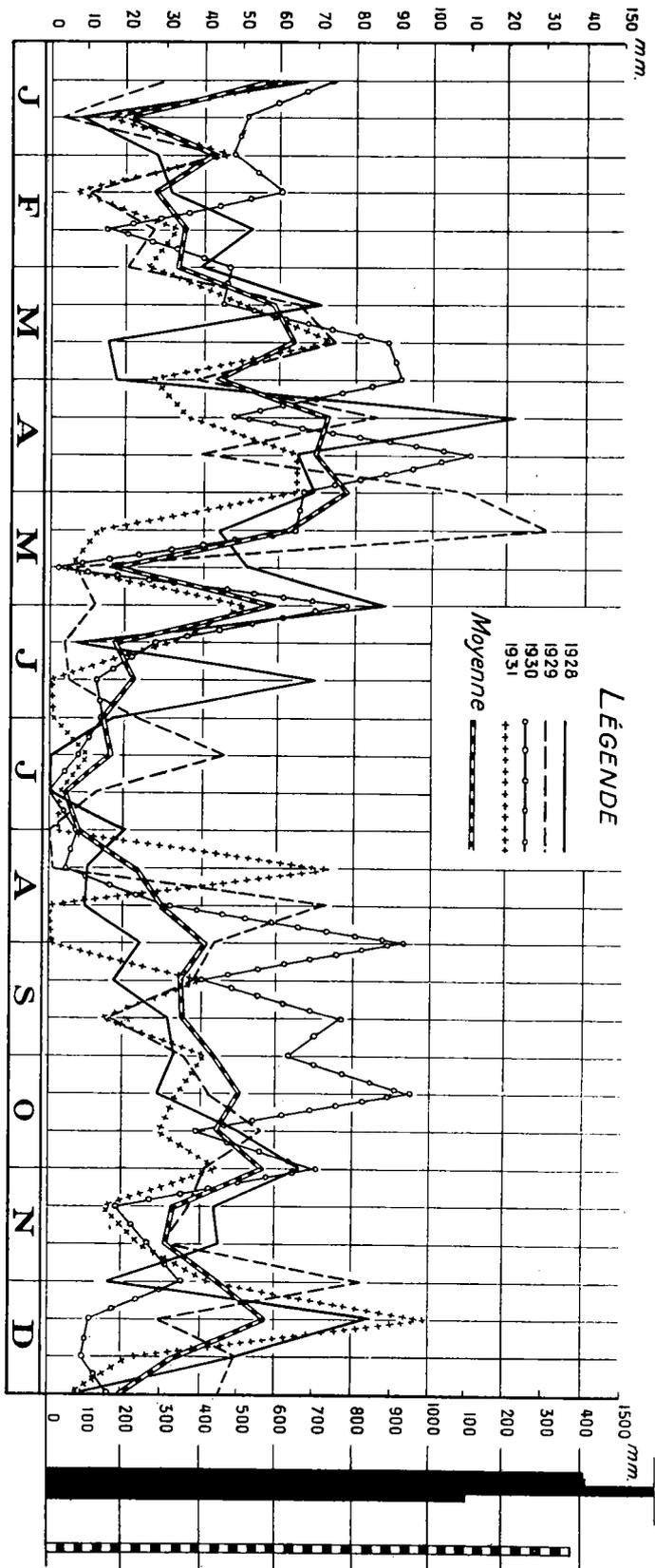


DIAGRAMME DE PLUIES 14. — Station de Nyundo (Ruanda) : 1°42'16" lat. S — 29°15'18" long. G — 1,880 m. altitude.

Observateur : R. F. Rodriguez (Mission catholique).

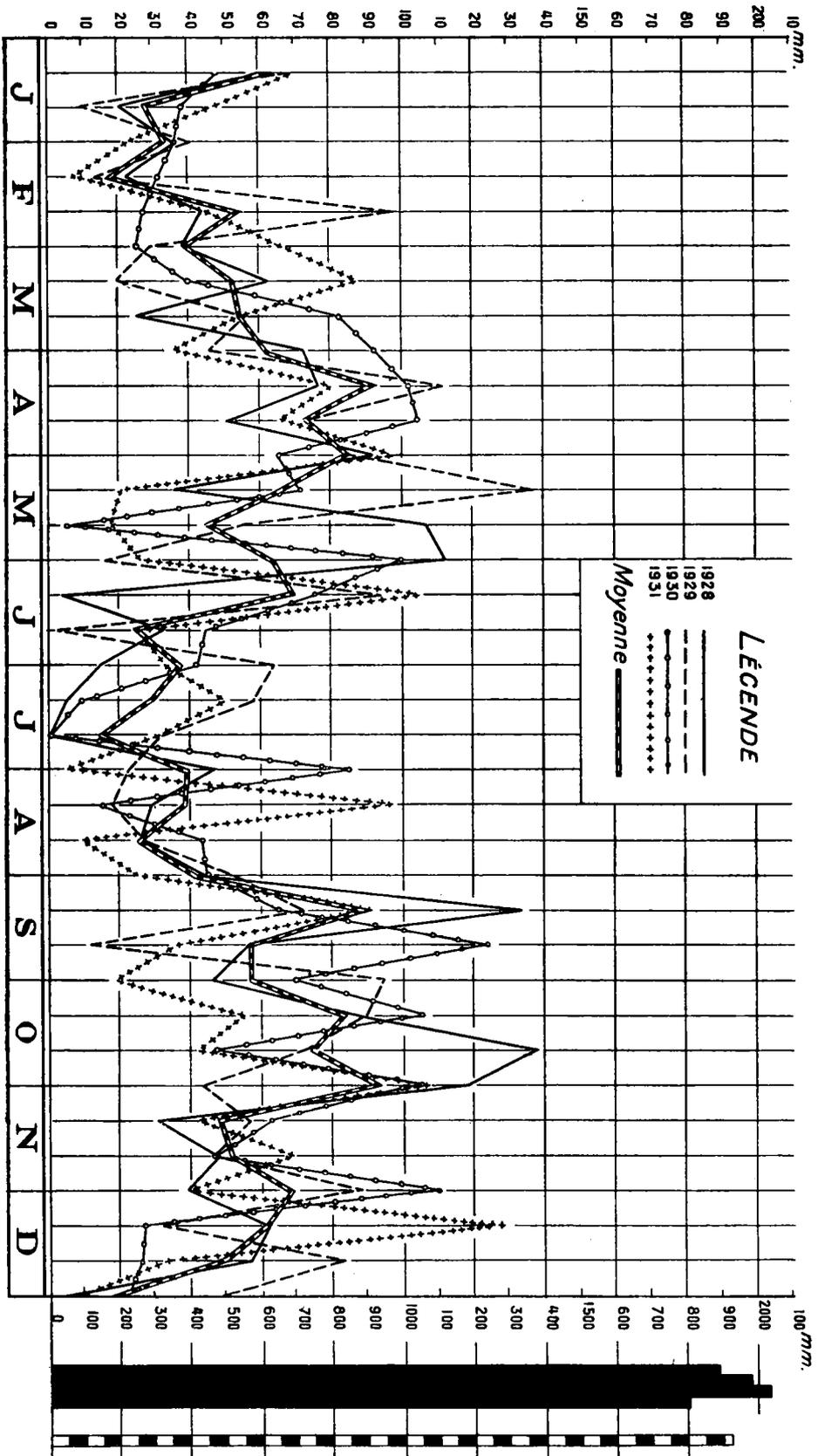


DIAGRAMME DE PLUIES 15. — Station de *Lubenga* (Rugari) : 1°24'40" lat. S — 29°22'20" long. G — 1,800 m. alt.

Observateur : Mission catholique.

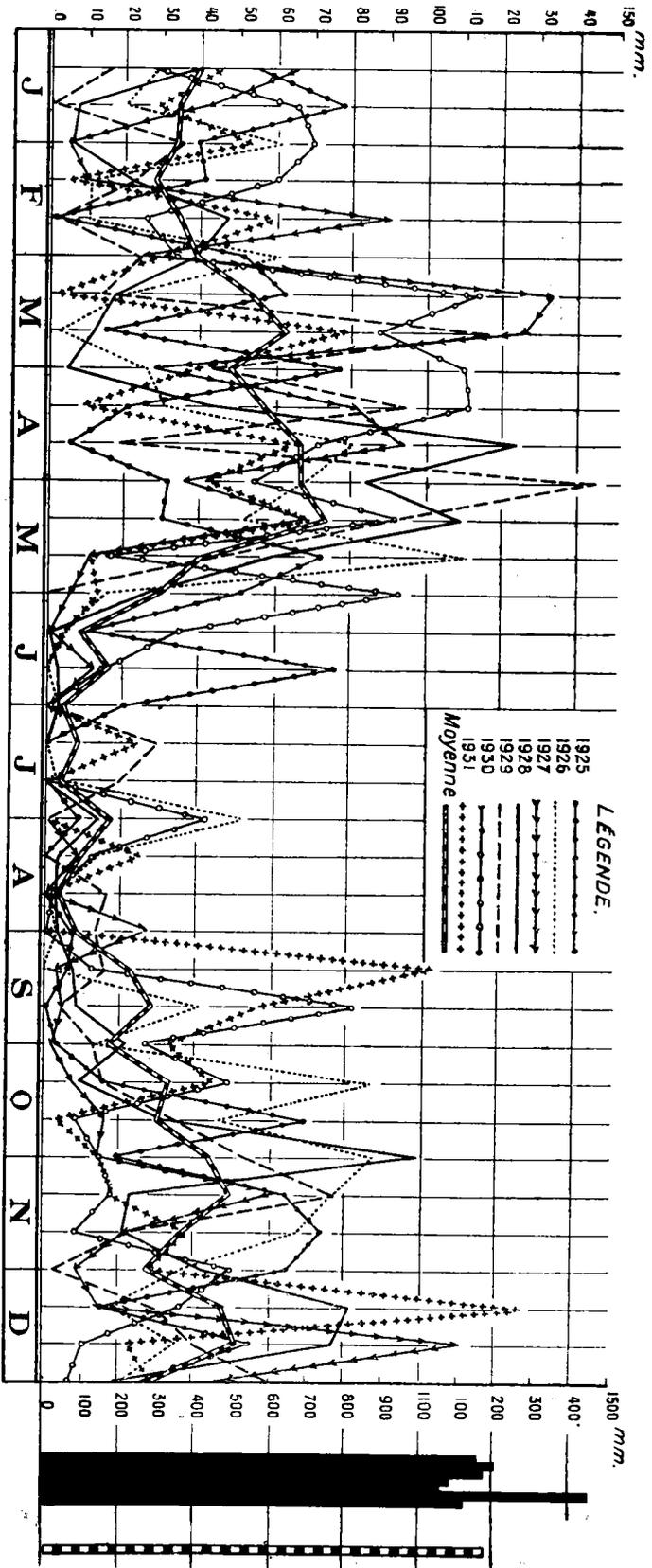
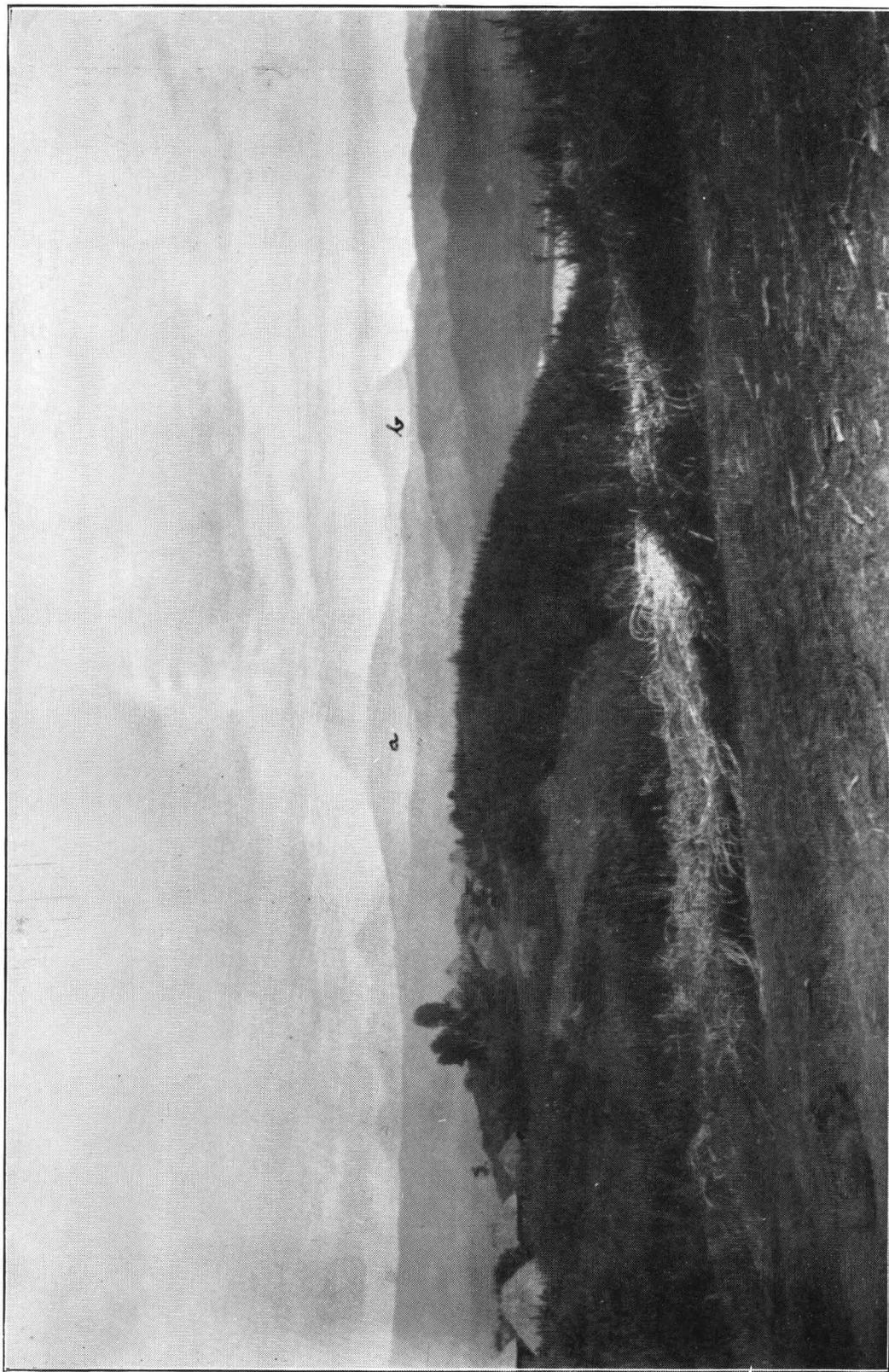


DIAGRAMME DE PLUIES 16. Station de Kabagaye : 2°05'59" lat. S. 29°45' long. G — 1,625 m. alt.

Observateur : Vicariat Apostolique du Rwanda.

Photo Scàitta. (Cliché Ministère des Colonies.)



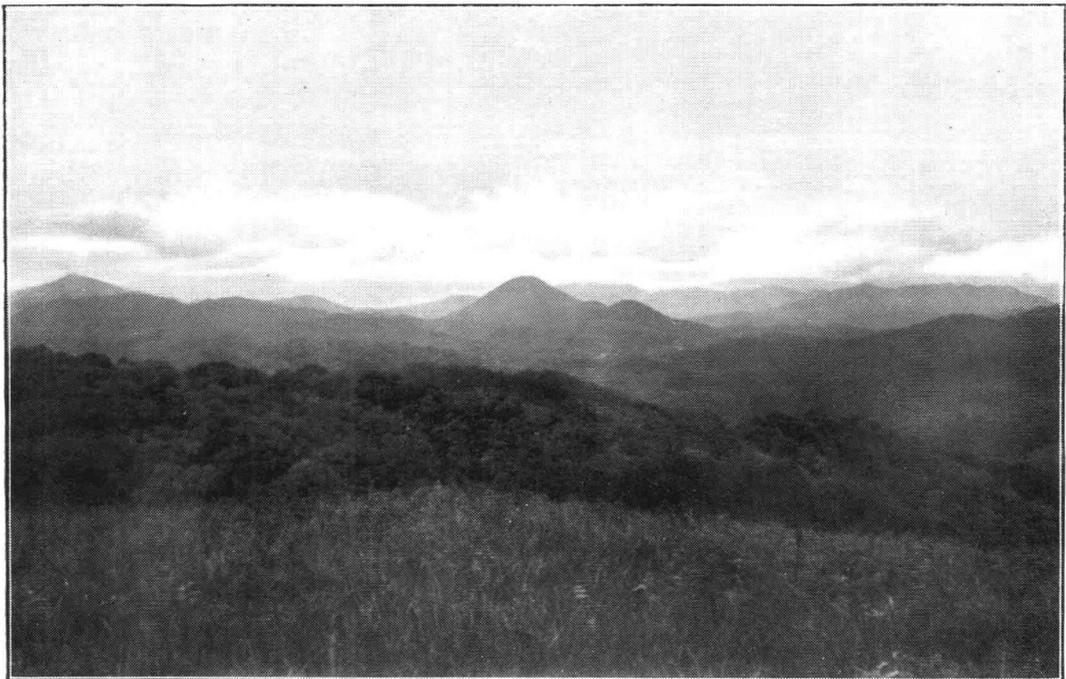
N° 1. — Panorama des volcans Mufumbiru, du village Mohanga (Mokoto). Sont visibles les traînées de vapeur d'eau du Nyamalagira (a) et du Niragongo (b), poussées par l'alizé boréal en direction de SW.

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 2. — La cuvette des Mokoto, avec le lac Bita. Ciel nuageux s'apprêtant à l'orage.

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 4. — Vallées et montagnes du versant occidental de la dorsale congolaise. Aspect du plafond nuageux avant l'orage. (Photo prise de Mutobo à 2,400 mètres d'altitude en direction Nord.)



N° 3. — Aspect ondulé et dénudé des plateaux du Ruanda.

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 5. — Le Visoke fait écran à l'alizé de Nord-Est et l'empêche d'arriver sur une partie des pentes orientales du Mikenno et du Karisimbi. On y observe des nuages ascendants au vent, des pentes du Visoke. Dans l'arrière-plan le Sebynio et le Muhavura. (Photo prise des pentes du Mikenno à 3,800 mètres d'altitude.)

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 6. — Les lacs de barrage Muleru *m* et Ruhondo *r*. Nuage ascendant au vent des pentes orientales du Muhavura. (Photo prise à 3,700 mètres d'altitude.)

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



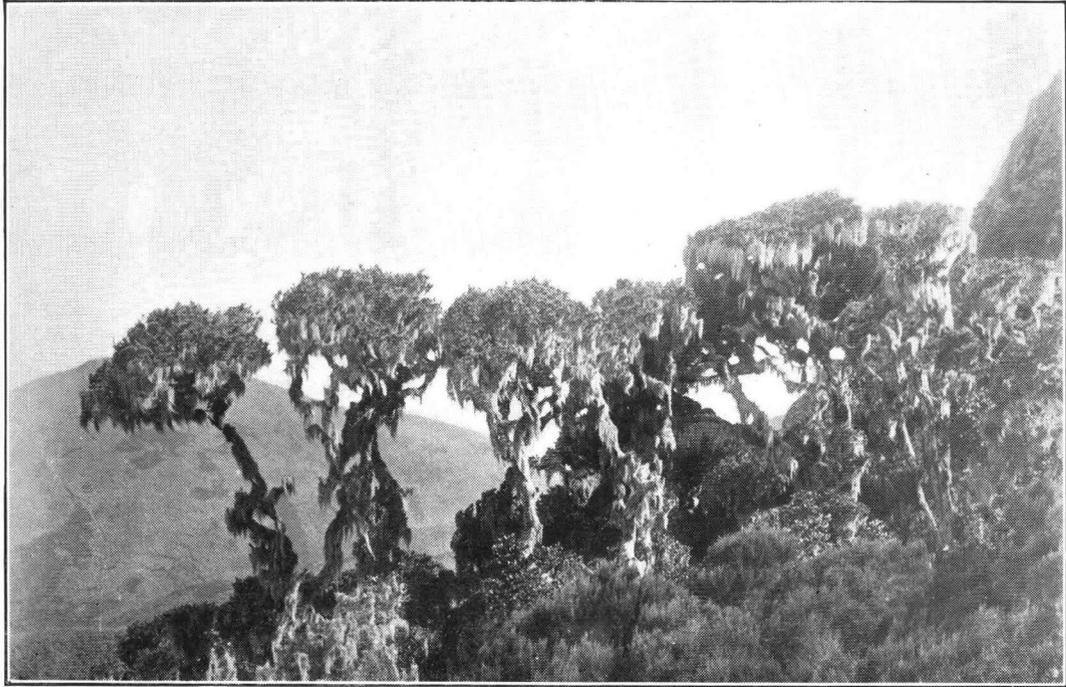
N° 7. — L'*Elacis guineensis*, premier représentant de la forêt ombrophile, monte jusqu'à 1,200 mètres d'altitude sur les pentes occidentales de la dorsale congolaise (chefferie Moganga).

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



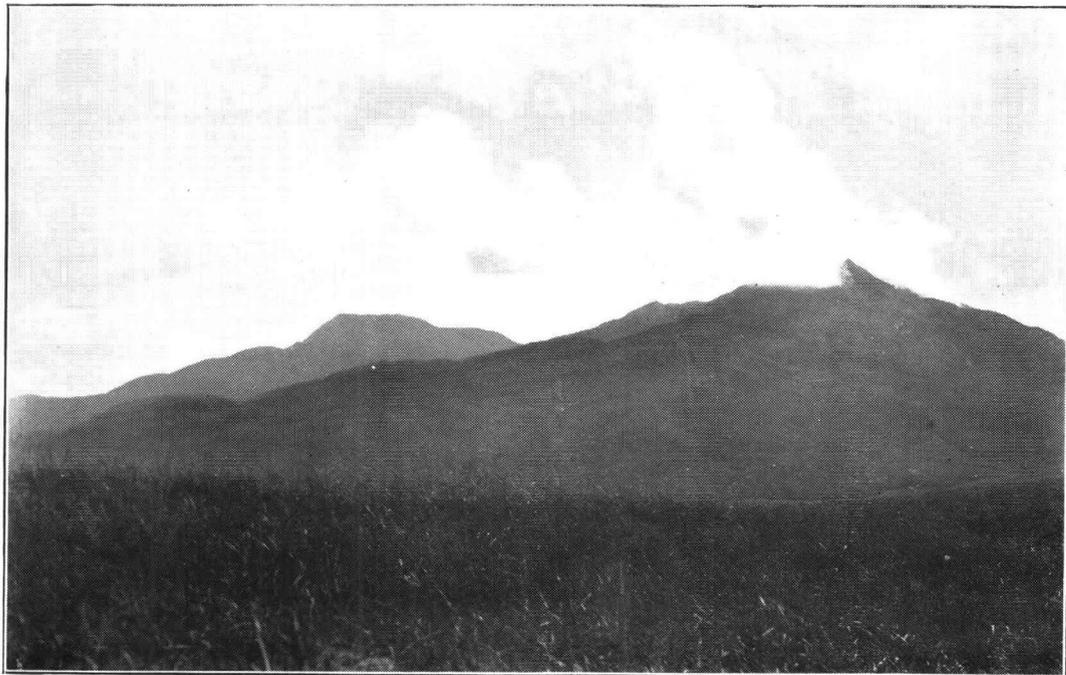
N° 8. — Coussins pulvinés de *Deschampsia flexuosa* peignés par l'alizé austral sur le sommet du Kahuzi (3,308 mètres d'altitude).

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



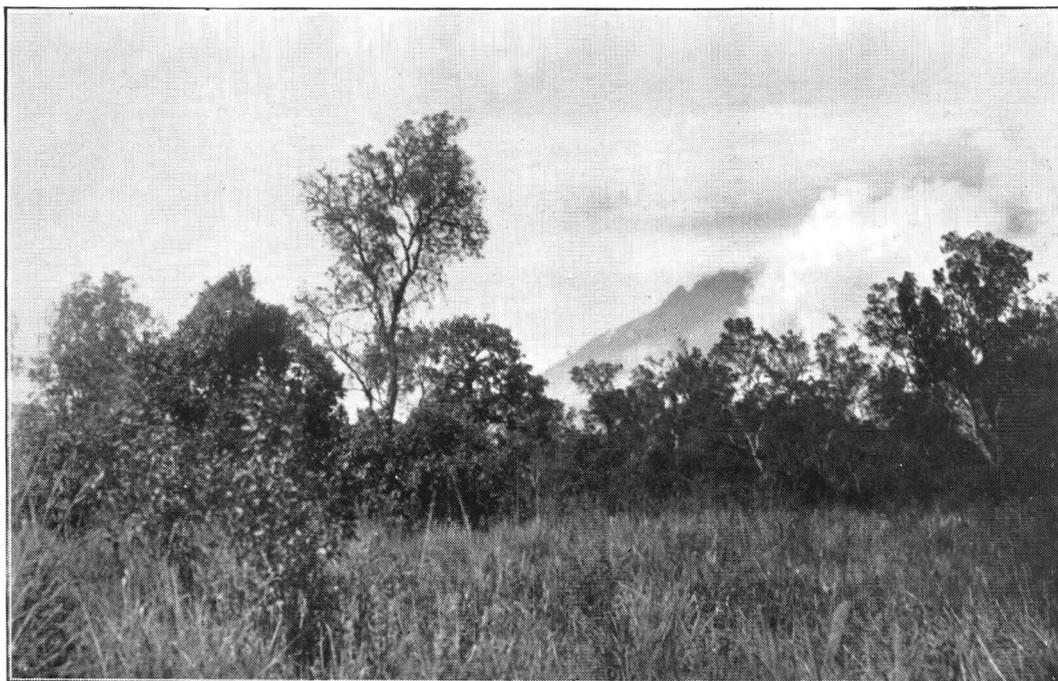
N° 9. — *Podocarpus* sp. recouverts de barbes d'*Usnea*, indice de la persistance des nuages, à 3,200 mètres d'altitude, sous le vent de la cime du Kahuzi. Dans le fond, la forêt de bambous mêlée à des massifs d'*Ericacées*.

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 10. — Nuages ascendants au vent de la cime du Kahuzi. (Photo prise de Mutobo sur le versant occidental à 2,400 mètres d'altitude.)

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 11. — Nuage ascendant sous le vent du Mikeno (tourbillon horizontal).
Parc National Albert.

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



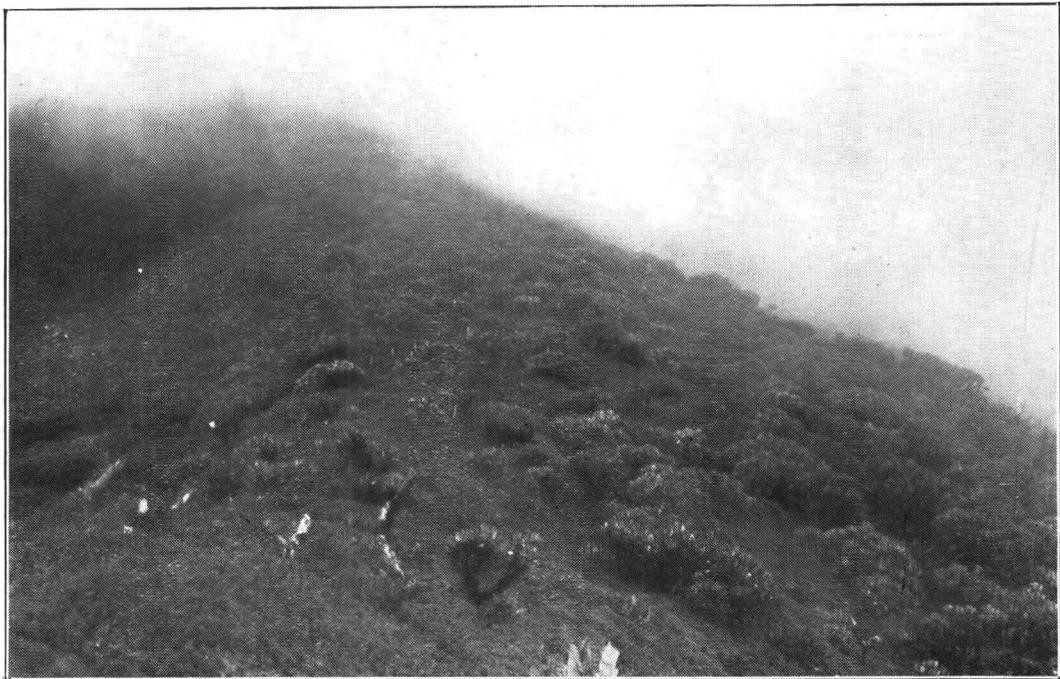
N° 12. — Nuages ascendants sous le vent de la dorsale congolaise.

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



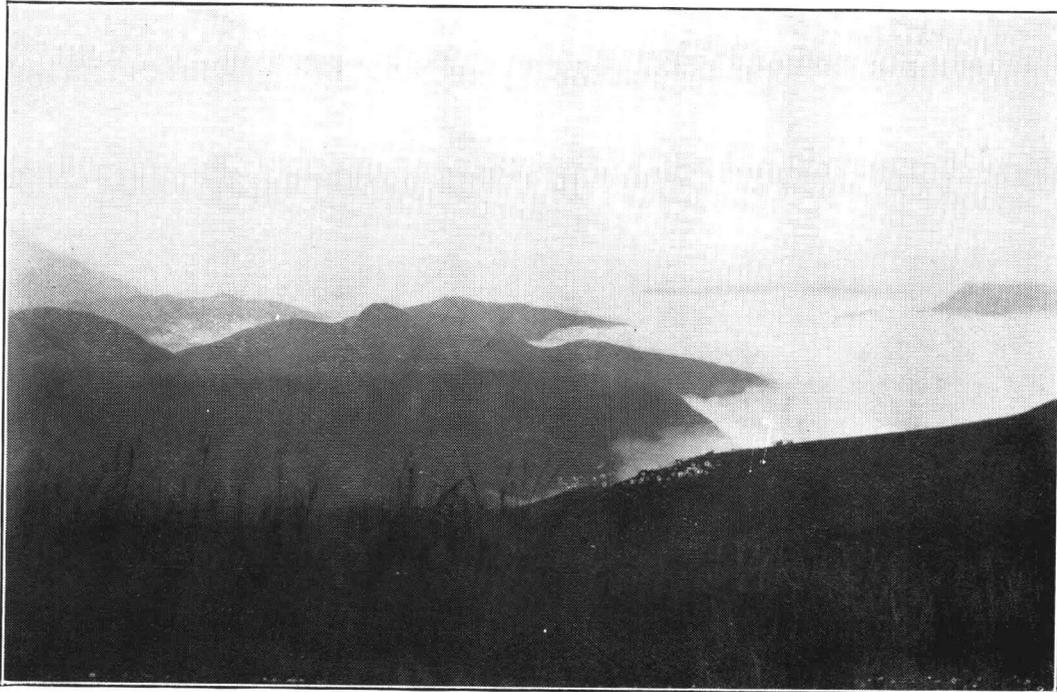
N° 13. — Nuages ascendants sous le vent de la dorsale congolaise après un orage (panorama des montagnes de la chefferie Mwenedula). (Photo prise de Mutobo à 2,400 mètres d'altitude.)

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



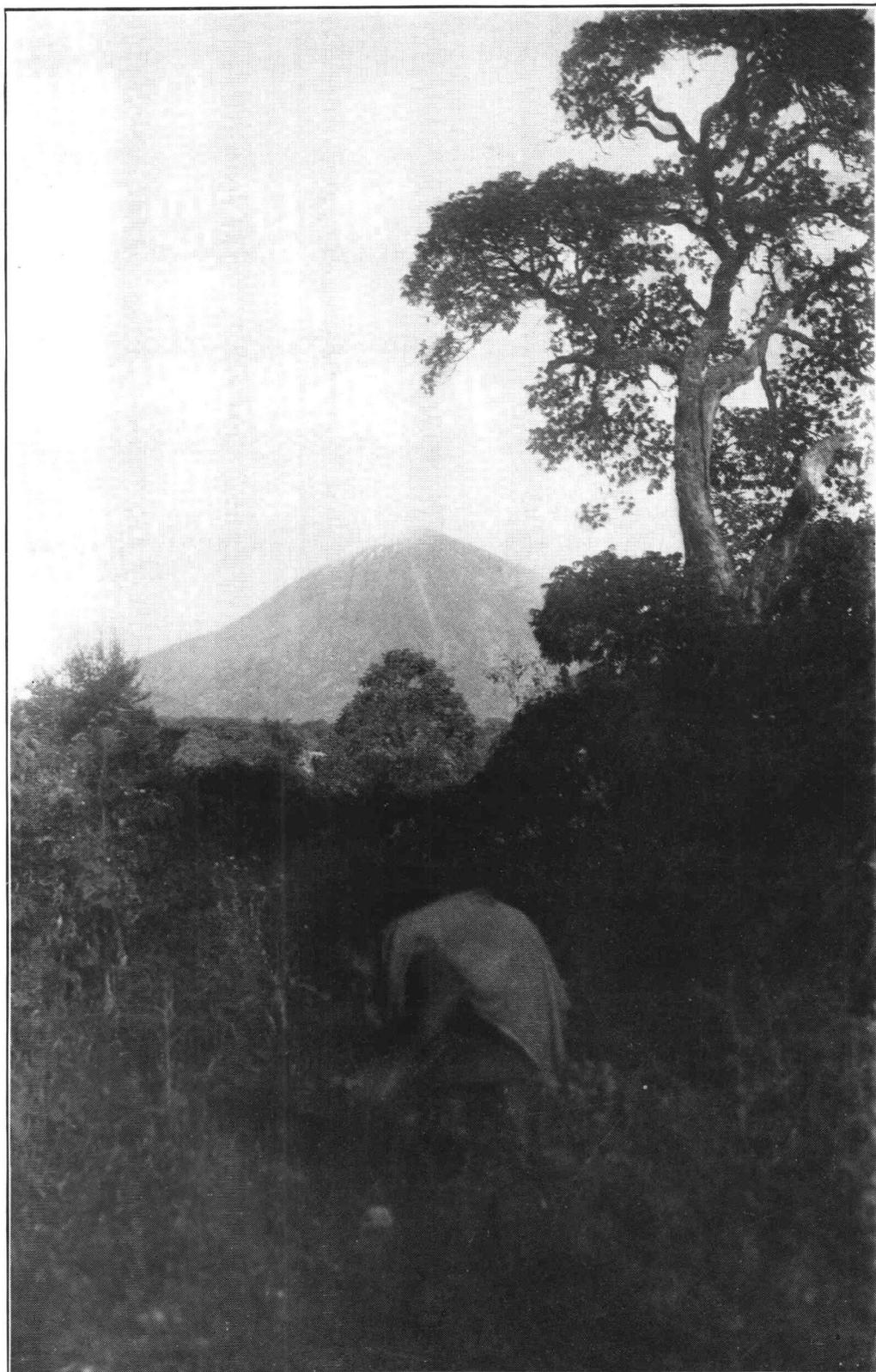
N° 14. — Nuage ascendant au vent, sur les pentes orientales du Mikeno à 4,000 mètres d'altitude, sous la poussée de l'alizé de Nord-Est.

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 15. — Mer de nuages, couvrant les vallées des derniers contreforts de la dorsale congolaise vers la forêt équatoriale. La brise de montagne a probablement concouru à la condensation nocturne dans les vallées. (Photo prise le 13 juin, à 6 heures du matin, au village Moganga, au Sud-Sud-Ouest du Kivu, à 1,900 mètres d'altitude.)

Photo Scaëtta. (Cliché Ministère des Colonies.)



N° 16. — Le cône du Karisimbi blanchi par le grésil. (Photo prise à 2,900 mètres d'altitude.)

LISTE DES MÉMOIRES PUBLIÉS

COLLECTION IN-4°

SECTION DES SCIENCES NATURELLES ET MÉDICALES

Tome I.

1. ROBYNS, W., *Les espèces congolaises du genre Digitaria Hall* (52 p., 6 pl., 1931). fr. 20 »
2. VANDERYST, R. P. HYAC., *Les roches oolithiques du système schisto-calcaireux dans le Congo occidental* (70 pages, 10 figures, 1932) 20 »
3. VANDERYST, R. P. HYAC., *Introduction à la phytogéographie agrostologique de la province Congo-Kasai. (Les formations et associations)* (154 pages, 1932) 32 »
4. SCAËTTA, H., *Les famines périodiques dans le Ruanda. — Contribution à l'étude des aspects biologiques du phénomène* (42 pages, 1 carte, 12 diagrammes, 10 planches, 1932) 26 »
5. FONTAINAS, P. et ANSOTTE, M., *Perspectives minières de la région comprise entre le Nil, le lac Victoria et la frontière orientale du Congo belge* (27 p., 2 cartes, 1932). 10 »
6. ROBYNS, W., *Les espèces congolaises du genre Panicum L.* (80 pages, 5 planches, 1932) 25 »
7. VANDERYST, R. P. HYAC., *Introduction générale à l'étude agronomique du Haut-Kasai. Les domaines, districts, régions et sous-régions géo-agronomiques du Vicariat apostolique du Haut-Kasai* (82 pages, 12 figures, 1933) 25 »

Tome II.

1. THOREAU, J. et DU TRIEU DE TERDONCK, R., *Le gîte d'uranium de Shinkolobwe-Kasolo (Katanga)* (70 pages, 17 planches, 1933) 50 »
2. SCAËTTA, H., *Les précipitations dans le bassin du Kivu et dans les zones limitrophes du fossé tectonique (Afrique centrale équatoriale). — Communication préliminaire* (108 pages, 28 figures, cartes, plans et croquis, 16 diagrammes, 10 planches, 1933) 60 »

SECTION DES SCIENCES TECHNIQUES

Tome I.

1. MAURY, J., *Triangulation du Katanga* (140 pages, fig., 1930) fr. 25 »

COLLECTION IN-8°

SECTION DES SCIENCES MORALES ET POLITIQUES

Tome III.

1. PLANQUAERT, R. P. M., *Les Jaga et les Bayaka du Kwango* (184 pages, 18 planches, 1 carte, 1932). fr. 45 »
2. LOUWERS, O., *Le problème financier et le problème économique au Congo Belge en 1932* (69 pages, 1933) 12 »

SECTION DES SCIENCES NATURELLES ET MÉDICALES

Tome I.

1. ROBYNS, W., *La colonisation végétale des laves récentes du volcan Rumoka (laves de Kateruzi)* (33 pages, 10 planches, 1 carte, 1932). fr. 15 »
2. DUBOIS, A., le Dr, *La lèpre dans la région de Wamba-Pawa (Uele-Nepoko)* (87 pages, 1932) 13 »
3. IEPLAE, E., *La crise agricole coloniale et les phases du développement de l'agriculture dans le Congo central* (31 pages, 1932) 5 »
4. DE WILDEMAN, E., *Le port suffrutescent de certains végétaux tropicaux dépend de facteurs de l'ambiance!* (51 pages, 2 planches, 1933) 10 »

Sous presse :

- VANDERYST, R. P. HYAC., *L'élevage extensif du gros bétail par les populations indigènes du Congo portugais* (in-4°).
- PAGÈS, R. P., *Au Ruanda, sur les bords du lac Kivu, Congo belge. Un royaume hamite au centre de l'Afrique* (in-8°).
- ADRIAENS, L., CASTAGNE, E., VLASSOV, S., *Contribution à l'étude histologique et chimique du Sterculia Bequaerti De Wild.* (in-8°).
- STEYAERT, R. et VRYDAGH, J., *Étude sur une maladie grave du cotonnier provoquée par les piqûres d'Helopeltis* (in-8°).
- VAN NITSEN, R., *L'hygiène des travailleurs noirs dans les camps industriels du Haut-Katanga* (in-8°).