Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 4 (1951)

Heft: 3

Artikel: Les poussières éoliennes tombées à Genève en avril 1944 et le problème de leur origine

Autor: Galopin, Raymond

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739948

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LES POUSSIÈRES ÉOLIENNES TOMBÉES A GENÈVE EN AVRIL 1944 ET LE PROBLÈME DE LEUR ORIGINE

PAR

Raymond GALOPIN

(Avec 8 fig.)

Comparaison n'est pas raison.

Au printemps 1936, le professeur Dr F. Roulet, alors directeur du « Schweizerisches Forschungsinstitut » à Davos, faisait parvenir au Muséum, en vue de son examen minéralogique, un échantillon de poussières éoliennes recueillies sur la neige après une forte tempête du sud. L'extrême finesse de cette poussière n'a guère permis d'en déterminer la nature minéralogique mais son aspect hypocristallin pouvait suggérer l'hypothèse d'une origine volcanique.

En revanche, l'examen de la poussière tombée sur Genève en avril 1944 montra que, si à l'œil nu, son apparence était la même que celle de la poussière de Davos, sa constitution était assez différente et se rapprochait plutôt de celle d'un sable. Enfin le professeur L. Wehrli et le Dr R. von Capeller, de Zurich, nous soumettaient pour étude en 1947 la poussière tombée à l'Alpe Cadera, dans le Val Poschiavo, en 1936; ils y joignaient huit échantillons de sables africains pour comparaison, étant donné l'opinion assez fortement établie que ces poussières venaient du Sahara. Là aussi, malgré l'apparence toujours semblable, cette troisième poussière est assez différente des deux autres dont elle réunit certains caractères.

Ce sont ces observations qui m'ont incité à entreprendre, sur un ensemble de poussières, une étude comparative qui a été réalisée grâce à l'amabilité et à la complaisance de ceux qui m'ont fourni matériaux et renseignements. Pour cela, j'exprime mes sincères remerciements à M. le Dr W. Mörikofer, directeur du « Physikalisch-Meteorologisches Observatorium » à Davos, au professeur F. W. P. Götz, directeur du « Lichtklimatisches Observatorium » à Arosa, au professeur honoraire L.-W. Collet, au professeur Ed. Paréjas et au professeur M. Gysin, de l'Université de Genève, ainsi qu'au Dr W. Jost, de Berne, et à M. E. Zimmermann, ingénieur à Meilen.

INTRODUCTION

La chute de poussières est un phénomène assez banal qui a déjà fait, depuis plusieurs siècles, l'objet de constatations et d'études. Le problème de leur origine a été fort discuté sans avoir pour cela amené des conclusions irréfutables.

L'hypothèse d'une origine cosmique fut longtemps en faveur et Stanislas Meunier [16], dans son ouvrage sur les météorites, cite un certain nombre de faits propres à étayer cette opinion.

En 1586, dans le Hanovre, comme en 1650 en Normandie, une chute de fines particules de matière rouge et noirâtre avait suivi le passage d'un météore. Au mois de mars 1815, en Calabre, après deux jours de vent violent, le ciel se chargea de nuages d'un rouge sombre et opaque, puis une pluie, accompagnée d'éclairs et de tonnerres et contenant une poussière rouge sang, tomba en abondance sur la contrée, à la grande frayeur des habitants. Il n'y eut cependant pas de chute de météore mais il faut se rappeler qu'à cette époque, on considérait qu'un météore, souvent accompagné de vives lueurs et de bruits violents, était « la matière du tonnerre »: météore et foudre étaient deux aspects d'un même phénomène.

En janvier 1859, le navire américain *Josiah Bates*, naviguant dans les mers des Indes, fut couvert d'une abondante poussière que le savant américain Ehrenberg détermina comme étant

formée de petits grains en forme de gouttelettes solidifiées et creuses, composés de fer plus ou moins oxydé. Rappelons aussi les travaux du savant suédois Nordenskjöld qui, en 1869, étudia les poussières noires accompagnant la météorite de Hesslé et dans lesquelles il trouva, outre des particules attirées par l'aimant, de la silice, de la chaux, de la magnésie et une forte proportion de carbone. Ce même savant, dans des poussières recueillies sur la neige arctique en 1872, reconnut la présence, avec le fer, du nickel, du cobalt et du phosphore; étudiant aussi des grêlons tombés à Stockholm, il trouva en leur centre des particules de fer métallique comme Pictet l'avait constaté déjà en 1821 en Espagne et comme Cozari, à Padoue en 1834, qui constata que ces particules, attirées par l'aimant, étaient du ferro-nickel.

La fréquente présence de matières charbonneuses dans les poussières abattues par la pluie, et cela souvent fort loin de centres habités ou industriels, engagea à les rapporter aux météorites charbonneuses qui, on le sait, sont friables et se délitent aisément dans l'eau. On estimait que l'humidité de l'air était suffisante pour les décomposer... et cela sans égard pour leur vitesse de chute.

Le fer existe toujours dans les poussières recueillies, soit sous forme de fer magnétique, soit sous forme d'oxyde. Les particules arrondies comme en a observées Ehrenberg, font penser à la surface de certaines météorites métalliques qui présentent aussi des granulosités fort semblables; il faut aussi considérer que le fer en brûlant donne de petites sphérules comme il s'en trouve dans les fumées des industries métallurgiques. A ce propos, les observations de Yung [20] faites en 1874-1876 sont intéressantes. Procédant à l'examen de poussières recueillies sur la neige dans la région du Léman et du Saint-Bernard et sur des poussières récoltées dans les clochers de cathédrales en France, Pologne, Russie, Suisse, etc..., il conclut:

1° Que le fer est présent partout;

2° Que dans les cathédrales, les poussières contiennent du fer en globules, indiquant qu'il a été porté à haute température;

3° Que dans les résidus de neige, le fer est en fragments irréguliers et en plus grande proportion à basse qu'à haute altitude.

Ces remarques sont plutôt en faveur d'une origine terrestre de ce fer, et même industrielle en ce qui concerne le fer globulaire; il semble pourtant difficile d'exclure l'origine cosmique pour toutes les poussières contenant des sphérules, car beaucoup tombent en des lieux très divers et très distants des agglomérations. Certaines chutes ont été nettement constatées en relation avec le passage de météores dont le sillage incandescent a peut-être porté jusqu'à la fusion des poussières terrestres en suspension. Il ne faut cependant pas perdre de vue que les dimensions des météores sont très variables et pourraient fort bien être d'ordre microscopique; la présence du nickel mêlé au fer parle certainement en faveur d'une origine cosmique.

L'étude des sédiments marins actuels et anciens, qui contiennent tous des particules ferreuses, permet d'envisager la généralité du phénomène et son existence bien antérieure à l'industrie humaine.

En ce qui concerne les poussières recueillies au Groenland, il a été établi que le poids des chutes annuelles est de 0,1 à 1 milligramme par mètre carré, ce qui fait, en prenant ce maximum, un demi-million de tonnes pour la surface de la terre. Les partisans de l'origine cosmique exclusive de ces poussières voient là un processus de croissance constant de la masse de notre globe.

Actuellement, l'opinion la plus généralement admise est que ces poussières, en ce qui concerne l'Europe, sont essentiellement sahariennes. Le principal argument, avancé déjà par Cramer [14] à propos de la chute du 15 janvier 1867 dans les Grisons, est leur teinte jaune brunâtre à rouge brique, semblable à celle des sables du désert, argument que cet auteur admet d'ailleurs n'être pas décisif.

Cette hypothèse d'une origine africaine a donné lieu à de nombreuses études dont les résultats furent souvent concordants mais dont les interprétations donnèrent lieu à maintes discussions. Les chutes de ces poussières, toujours de couleur

brun-jaune à rougeâtre, sont plus ou moins abondantes, souvent assez localisées mais parfois largement disséminées; elles représentent un phénomène relativement fréquent qui a été examiné au triple point de vue météorologique, minéralogique et chimique.

Point de vue météorologique.

Les constatations d'ordre météorologique ont établi quelques principes généralement admis.

La grande chute de poussières de 1901 a permis des observations de valeur tant par leur nombre que par leur étendue. En effet, du 9 au 12 mars de cette année, par un fort vent du sud, une pluie de poussières s'abattit de Catane, en Sicile, jusqu'au Holstein, dans le sud du Danemark. Si certaines zones au sud de l'Allemagne et au nord de l'Autriche ne furent pas touchées, la surface atteinte fut néanmoins évaluée à 800.000 kilomètres carrés et le poids de la matière déposée à 1,8 million de tonnes. Cette chute d'une exceptionnelle abondance a été étudiée par Hellmann et Meinardus [13] ainsi que par Valentin [19] qui ne met pas en doute l'origine saharienne des particules.

Celles-ci ont des dimensions qui varient de 1 à 115 μ et Valentin remarque qu'elles sont d'autant plus fines et d'autant moins abondantes qu'elles ont été déposées plus au nord; le poids de celles tombées au nord des Alpes ne dépasse guère le sixième du poids total estimé.

Dans le nord de l'Afrique, ces poussières sont tombées par vent sec, mais en Italie, en certains lieux comme au nord des Alpes, elles étaient mêlées à la pluie sans laquelle les plus fines particules seraient restées en suspension et auraient été disséminées au loin.

Une chute particulièrement étendue aussi est celle du 21 au 22 février 1903, citée par F.-A. Forel [6]. Cette poussière d'un jaune rougeâtre, impalpable, dont les grains mesurent de 0,5 à 2 μ, renferme des débris de diatomées; elle est analogue, d'après cet auteur, à celles des chutes de mars 1901 sur l'Europe, de janvier 1902 sur la Cornouaille et d'août 1902 sur les

Alpes valaisannes. Précédée d'un vent anormalement chaud pour la saison et amenée par des nuages jaune rougeâtre, cette chute s'est étendue au nord de la France, au sud de l'Angleterre, au Pays de Galles, à la Hollande, à l'ouest de l'Allemagne, à la Suisse, du Léman au lac de Zurich, à la Saxe, au Vorarlberg et à la région de Salzbourg. La quantité de matière fut considérable, recouvrant la végétation, teignant la neige et salissant abondamment les rues des villes.

Faisant une statistique de cinquante-sept chutes, dont la littérature fait mention de 1646 à 1901, Valentin arrive à la conclusion que celles-ci se produisent, en Europe, plus généralement dans une période froide et au moment du passage de l'hiver à l'été. Rodewald [14] établit un parallélisme, pour l'est méditerranéen, entre les sirocos annuels et les chutes de poussières. Pour expliquer pourquoi celles-ci ne sont pas déposées partout et tout au long du chemin parcouru par le vent, Gehrcke [17] compare l'ouragan à un fleuve qui érode et transporte de gros éléments pendant son cours rapide, puis dépose des éléments de plus en plus fins à mesure que son impétuosité diminue. Le fait que, du nord de l'Afrique au Holstein, la quantité et la taille des poussières sont constamment en régression est un bon argument en faveur de leur origine africaine.

La chute dans le sud de la France, en automne 1926, d'une poussière brun rougeâtre, ainsi que plusieurs chutes dans le sud de l'Italie, étudiées par Taschini et Ricco [14] ont été nettement mises en relation avec les conditions météorologiques du nord africain.

W. Jost [14], à propos de la chute du 24 avril 1926 dans les Grisons, procède à un examen très complet et précis des conditions météorologiques qui ont accompagné la venue des poussières. Rassemblant sur les pressions atmosphériques, les températures, les directions et forces des vents et les chutes de pluies, les observations faites à Alger, Messine, Naples, Rome, Florence, Milan, Lugano, Jungfraujoch, Zurich, etc..., il a établi une indiscutable relation entre une tempête sud-algérienne et la chute de poussières sur le Forno et le Bergell. Du 22 au 25 avril, et grâce aux observations météorologiques rassemblées, il est possible de suivre la tempête depuis le sud

de l'Algérie jusqu'en Bretagne, en passant par la Tunisie, la Sicile, l'Italie et la Suisse.

Que des tempêtes du Nord africain atteignent, et parfois fort rapidement, le sud et même le centre de l'Europe, le doute n'est plus possible, mais que les particules qu'elles déposent, souvent si loin du Sahara, proviennent toujours et exclusivement de cette région, cela est moins certain. Une tempête, si violente soit-elle, connaît des moments d'accalmie et, avec ses chutes de pluie intermittentes, ses remous ascendants ou descendants, elle a autant de possibilités de perdre en chemin les matières qu'elle transporte que d'en enlever de nouvelles à la région qu'elle traverse. Aussi peut-on supposer que plus elle s'éloigne d'une région, moins elle conserve de particules qu'elle y a prélevées; c'est pour cela qu'il est douteux qu'on puisse, sans erreur, uniformément nommer « sables du désert » les poussières que les vents du sud nous apportent.

D'ailleurs,même les observations météorologiques montrent que toutes les pluies de poussières ne sont pas en relation avec les orages africains de sables. Dorno [3], en étudiant la région d'Agra-Lugano, au pied du versant sud des Alpes, ne remarque qu'une à deux fois par an un véritable siroco et conclut que celui-ci n'est pas toujours, et de loin, en rapport avec des chutes de poussières. En revanche, nous verrons, à Davos comme à Arosa, que de telles chutes, plus ou moins abondantes, ont pu se répéter six et même dix fois par an.

Mieux que l'hypothèse d'une origine purement saharienne, l'idée que ces poussières sont de natures diverses et alimentées par plusieurs sources permet d'être moins surpris par la fréquence de leurs chutes et par la surface, parfois remarquablement étendue, ou étonnamment restreinte, qui les reçoit.

Le poids de 1,8 million de tonnes donné pour les poussières tombées en Europe en mars 1901 semble en effet bien considérable pour être enlevé d'un seul coup au désert africain. Quant à la fréquence des chutes, bien supérieure à celle possible en relation avec un orage saharien, Götz (lettre) estime que de 1939 à 1949, la seule région d'Arosa eut près de 80 chutes. Glawion [8] pour la même localité, en cite 5 en 1936 et 9 en 1937 alors qu'à Davos, en cette même année, 6 chutes ont été obser-

vées dont 2 seulement ont des dates correspondant à celles d'Arosa.

Depuis que l'attention a été attirée, pour diverses raisons, sur ces « pluies rouges », elles apparaissent beaucoup plus fréquentes qu'on ne l'estimait auparavant. Si elles s'étendent parfois sur une grande étendue, elles représentent souvent un phénomène local.

Glawion [8] rappelant que les chutes se produisent après un adoucissement de la température et pendant un fort vent du sud, estime qu'il faut considérer deux cas:

1° La venue d'un cyclone depuis l'Afrique;

2° La venue d'air chaud du sud par compensation d'une préalable venue d'air froid du nord.

Dans ce second cas, on peut difficilement admettre que le vent soit assez puissant et vienne d'assez loin dans le sud pour soulever et transporter des sables sahariens. Pour l'année 1936, le même auteur a établi des courbes de fréquence des orages de sables du Sahara et des chutes de poussières en Europe. La première courbe accuse deux maxima, un au début d'avril beaucoup plus accentué que le second au début de septembre; sur la courbe des chutes de poussières figurent quatre maxima: au début de mars, à mi-avril et aux débuts d'août et d'octobre. De janvier à mars, les deux courbes montent assez parallèlement et descendent de mai à juin et d'octobre à décembre. Il est intéressant de remarquer que les deux maxima de la courbe des chutes de poussières qui pourraient correspondre aux deux maximas de la courbe des orages africains en sont décalés postérieurement de quinze jours à un mois. Nous sommes loin de la venue en deux ou trois jours des sables du désert comme l'a établi Jost.

En se défendant d'avoir toute idée préconçue, il faut cependant reconnaître que l'observation des conditions météorologiques n'apporte pas d'arguments qui permettent de donner à ces poussières jaune rougeâtre une origine exclusivement et indiscutablement saharienne. On est en droit d'envisager encore d'autres provenances possibles.

Leur relation avec le vent du sud ne permet guère de considérer à nouveau la théorie de l'origine météoritique si en vogue au siècle dernier; cela ne veut pas dire que des poussières cosmiques ne peuvent pas se trouver mêlées à celles d'origine terrestre. Cette hypothèse pourra être reprise lors de l'étude minéralogique. Cette dernière révèle dans les poussières dont les lieux et dates de chute sont très différents des petites particules brunâtres, amorphes, contenant des inclusions ponctuelles noires, opaques et de très fines cristallisations. Ces particules, qui seront décrites plus loin, font penser à un verre volcanique imprégné de microlites et engagent tout naturellement à établir une comparaison, sinon une relation, entre nos poussières et les cendres volcaniques dont la couleur jaune à brun rouge n'est nullement exceptionnelle.

La Gazette de Lausanne publie dans son numéro du 8 mars 1947 cette courte information: « Une pluie rouge est tombée pendant quelques minutes dans la région de Lopano, en Ligurie. Un dépôt rougeâtre est resté sur les toits dû, croit-on, aux cendres de l'Etna transportées par le vent. »

Une telle hypothèse a été vraisemblablement admise parce qu'à cette époque l'Etna a eu un regain d'activité. Sans que les éruptions des volcans méditerranéens aient été particulièrement violentes ces derniers vingt-six ans, on peut cependant admettre qu'elles ont enrichi l'atmosphère de fines matières minérales. Mais il semble exclu que la masse de ces matières puisse alimenter des chutes de poussières de l'envergure de celle de 1901 et de celle d'avril 1928 qui atteignit la Pologne, la Roumanie et le sud de la Russie.

Meinardus et Hellmann [13] sont d'avis que ces poussières sont plutôt des produits secs d'altération du sol, enlevés par le vent aux plaines et aux déserts. Ehrenberg [5], déjà en 1847, a émis une opinion dont nous lui laisserons la responsabilité. Il ne peut admettre que les poussières soient d'origine saharienne car, selon lui, la plus grande partie des sables du désert sont blancs et parce que, d'autre part, il n'a pas trouvé traces de restes animaux et végétaux caractéristiques du Sahara; par contre, il a observé deux formes sud-américaines typiques, ce qui l'amène à penser que la région équatoriale contient, à très

haute altitude, un anneau de poussières concentrées de sources terrestre et cosmique qui, à certaines époques, alimentent les chutes si fréquemment observées.

Dans cet ordre d'idées, Glawion [7] attire l'attention sur le fait qu'une masse d'air chaud subtropicale est beaucoup plus riche en poussières (29.000 à 36.000 particules par litre) qu'une masse maritime subpolaire d'air froid (200 à 1200 particules par litre) et ailleurs [8] il remarque que si les particules peuvent tomber en quelques heures lorsqu'elles sont entraînées par la pluie, elles peuvent mettre des jours et même des semaines à tomber par elles-mêmes. Mörikofer [18] a observé ces suspensions prolongées en étudiant les troubles atmosphériques qu'elles entraînent et leur influence sur la qualité et l'intensité des rayons solaires.

D'autre part, la navigation aérienne, et particulièrement le vol à voile, a révélé l'existence et l'amplitude des courants ascendants et descendants. On peut envisager que les courants ascendants jusqu'à haute altitude sont plus fréquents dans les régions subtropicales et tropicales surchauffées et qu'ils entraînent avec eux des poussières que des courants de compensation ramènent vers des zones plus tempérées où elles se déposent non sans peut-être avoir été préalablement entraînées durant de longues périodes par l'alternance de ces courants ascendants et descendants. Ces poussières doivent être extrêmement menues et lorsque Glawion [8] remarque qu'en hiver, à Arosa, la taille de la majorité des grains est de l'ordre du μ, il est logique de penser que de telles poussières viennent réellement de loin; les plus gros éléments que l'on observe plus tard dans la saison, lorsque la couverture de neige a disparu, proviennent vraisemblablement, sinon du voisinage du point de chute, tout au moins de régions peu éloignées.

Est-il possible par ces considérations d'ordre météorologique, de proposer une hypothèse quant à l'origine de ces poussières ? Il ne semble pas, car aucune de celles avancées par les divers auteurs ne donne d'arguments péremptoires. Ce qui frappe, c'est la constance des conditions météorologiques qui amènent les chutes de poussières et la nature apparemment toujours semblable de ces dernières. On peut hasarder que ces essaims

de poussières atmosphériques peuvent être alimentés par les diverses sources que représentent les sables du désert et des plaines, les cendres volcaniques, les particules d'érosion éolienne et les poussières cosmiques; à ces particules d'origines diverses et plus ou moins lointaines viendraient parfois s'ajouter, au moment de leur chute, des éléments plus grossiers enlevés à des régions avoisinantes. Les observations d'ordre chimique et minéralogique pourront peut-être confirmer ou infirmer cette hypothèse.

Observations d'ordre chimique.

Dans l'impossibilité matérielle de pouvoir procéder à des analyses qualitatives et quantitatives complètes, je ne puis aborder des considérations d'ordre chimique qu'en fonction des données, en réalité peu nombreuses, qui se trouvent dans la littérature.

Ehrenberg [5] donne de sables soufflés du désert l'analyse suivante:

		Eau et matières organiques exclues
Eau et matières organiques . .	18,53%	
SiO^2	37,15	45,5%
Al^2O^3	16,74	20,5
$Fe^2O^3 + FeO$	7,64	9,4
MnO^2	3,44	4,2
$CaCO^3$	9,59	16,6
MgO	1,8	2,2
KO	2,97	3,6
NaO	1,9	2,3
CuO	0,25	0,2

En ce qui concerne les cendres volcaniques, elles ont des compositions assez diverses. Lacroix [15], en étudiant l'éruption du Vésuve d'avril 1906 a suivi leurs variations. Il différencie nettement les cendres noires de la première phase éruptive strombolienne, cendres qui proviennent essentiellement du magma et du cône terminal de celles de la phase vulcanienne qui sont composées de produits d'arrachement enlevés aux roches du cratère et aux matériaux, plus ou moins métamorphosés, des éruptions précédentes.

Les cendres noires contiennent des gouttelettes de verre, globuleuses ou contournées, et des cristaux plus ou moins bien formés. Ces cendres ne vont jamais loin et sont vite recouvertes par des cendres rougeâtres, riches en hématite, contenant des éléments arrachés aux laves, scories et produits de condensation des fumerolles; à ces dernières succèdent des cendres blanches. Ces deux catégories de cendres peuvent être transportées fort loin du volcan mais voient leur composition globale certainement modifiée par l'action sélective de la pesanteur; ce ne sera donc que les éléments les plus menus et les moins denses qui pourront rester en suspension dans l'air et être entraînés au loin à haute altitude.

Malgré la différence de la nature des roches et de leur degré d'altération, la composition des cendres reste relativement stable. Les minéraux les plus couramment représentés sont l'augite, le plagioclase, la leucite, la magnétite, l'hématite, plus ou moins oxydée, parfois l'olivine et le mica.

Brun [1] qui a étudié, à propos des exhalaisons volcaniques, cette même éruption de 1906, a procédé à l'examen des cendres tombées en 35 localités différentes et durant plusieurs jours de la période éruptive; il y trouve des sels solubles dont le poids varie de 1 à 1½% de celui de la cendre. Plus du 80% de ces sels sont constitués par du sulfate de calcium et du chlorure de sodium, près du 10% par du sulfate de potassium et environ le 5% par du chlorure de magnésium, le reste étant composé de salmiac, d'hydrocarbures, de chlorures de fer et de magnésium et de traces de phosphore.

Pour les poussières recueillies à Fiume, lors de la chute de 1901, Hellmann et Meinardus donnent l'analyse n° 1; Glawion [8] pour les chutes des 19, 20 et 21 mai 1937 à Arosa, donne les analyses faites par Karrer, n° 2 pour les poussières tombées par le vent et n° 3 pour celles entraînées par la pluie (tableau p. 157):

Les deux analyses de Karrer démontrent que les deux poussières sont qualitativement semblables mais quantitativement assez différentes, différence qui, d'après Glawion, se retrouve dans la dimension des grains. N'était-ce la surprenante

	I Fiume 1901	II Arosa 19-20 mai	III Arosa 21 mai
SiO_2	49,49%	75,0%	37,3%
Al_2O_3	12,1	—	—
Fe_2O_3	9,95	6,8	22,6
Mn_3O_4	1,99	—	—
MgO	0,40	1,6	3,27
CaO	11,46	0,1	9,1
CO_2	8,96	1,9	5,26
H_2O et matières organiques . .	5,48	(14,6)	(22,47)

absence d'alumine, les matériaux entraînés par la pluie du 21 mai seraient assez comparables aux sables d'Ehrenberg.

D'autres analyses, qualitatives celles-ci, donnent des résultats généralement concordants.

Nous empruntons à Jost [14] les citations suivantes:

Valentin détermine dans les poussières tombées en 1901 à Grasse les éléments suivants, cités par ordre d'importance: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO.

Cette composition ressemble à celle indiquée pour les poussières tombées en 1926 à Montpellier et en 1928 à Lemberg, soit: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, et calcaire.

D'autre part, Feitknecht trouve dans les poussières tombées au Forno le 24 avril 1926, et étudiées par Jost, à côté de matières colloïdales, les acides silicique, sulfurique et carbonique accompagnant beaucoup d'alumine, passablement de fer et un peu de calcium et de magnésium.

Il n'est pas facile de tirer une conclusion de ces données chimiques peu nombreuses et surtout bien incomplètes; leur présence dans cet article est plus destinée à suggérer des recherches nouvelles qu'à amener un appoint substantiel à la solution du problème. Tout au plus peut-on estimer que la composition des poussières apparaît aussi régulière dans le temps et dans l'espace que leur aspect et les conditions météorologiques de leur chute. On peut cependant admettre une certaine similitude entre leur composition chimique et celle des sables du désert. Quant à un rapprochement avec les cendres volcaniques,

il peut difficilement se faire au point de vue chimique car, d'une part, la composition des éléments silicatés de celles-ci est sujette à des variations et, d'autre part, les produits d'origine fumerolienne sont en bien faible proportion pour être identifiés, même s'ils n'ont pas été dissous en chemin par l'eau atmosphérique.

A regret, il faut reconnaître que l'observation du point de vue chimique n'est pour l'instant que d'un maigre secours.

Observations d'ordre minéralogique.

Les données d'ordre minéralogique que fournit la littérature sont plus nombreuses et surtout plus précises que celles d'ordre chimique. Généralement, l'auteur de l'article, s'il n'est pas minéralogiste, a chargé un spécialiste d'étudier les poussières dans le but d'en déterminer la constitution sans se préoccuper d'ailleurs des considérations relatives au processus de transport et à l'origine des dites poussières. Pour la chute de 1901, Valentin indique la composition qualitative suivante: surtout du quartz, accompagné de mica, feldspath, calcite, oxyde de fer, plus rarement de grenat et tourmaline et enfin de fines poussières indéterminables. Il note que la dimension des grains varie de 1 à 113 μ.

Jost, dans son étude sur les poussières d'avril 1926, donne la composition minéralogique suivante, établie par Oulianoff:

a) Poussières du Bergell: grains fins et souvent anguleux; beaucoup d'éléments colorés, dont des paillettes de mica noir, puis du quartz, feldspath, grenat et quelques rhomboèdres de calcite;

b) Poussières du Forno: la masse est en majeure partie composée de matières colloïdales et subcolloïdales; les grains déterminables sont principalement du quartz, beaucoup moins de feldspath, un peu de grenat, amphibole, tourmaline. Les particules de ces poussières sont en partie anguleuses, en partie arrondies. Leur dimension est en moyenne de 13 μ, beaucoup étant plus petites que 5 μ et la moyenne des plus grosses de 25 μ.

Pour la chute du 4 mars 1936 à Arosa, Götz [11] donne les déterminations suivantes établies par von Moos: la partie principale constituant cette poussière est formée de carbonate, probablement de calcite, par des paillettes de muscovite et de biotite, des petites sphères de calcédoine et des éclats de quartz; la surface de ces particules est recouverte d'oxyde de fer qui leur donne une apparence limoniteuse.

Gehrcke [17] trouve comme constituant essentiel une substance colloïdale; les grains ont une dimension qui varie de 1 à 100 μ mais la majorité d'entre eux mesure environ 5 μ.

Mörikofer [18] indique pour les poussières tombées en mai 1937 à Davos la composition suivante déterminée par von Moos: parmi les éléments de plus de 5 μ, il est possible de déterminer de la muscovite (grosseur maximum 80 μ), du carbonate (grosseur maximum 10 μ), du plagioclase acide, du quartz, de la biotite jaune, verte et brune, de la hornblende verte et des agrégats indéterminables. La partie principale est constituée par des particules dont la dimension inférieure à 5 μ ne permet pas la détermination. Cette poussière sera étudiée plus loin et comparée à d'autres.

A. Duffour [4], dans son étude sur la pluie de boue des 27 au 28 novembre 1930 en région pyrénéenne, décrit ces traînées et taches ocreuses surtout visibles sur la végétation verte, les trottoirs, les balcons et les vitres de maintes localités méridionales et de la région parisienne.

Cette boue, abattue au cours de violentes averses, est constituée de très fines poussières de couleur ocre. Séchée et vue au microscope, elle se révèle riche en débris organiques et particulièrement en éléments sphériques blancs, agglomérés en grappes, des spores probablement.

Les éléments minéraux sont d'autant plus nombreux que leur taille est plus menue; les plus grands atteignent rarement 50 μ. La majorité sont des grains de quartz « à contours anguleux comme il est de règle dans les sables atteignant ce degré de finesse »; parmi eux se trouvent en faible proportion de la muscovite, de la calcite, du grenat, etc... Ce qui caractérise ces poussières, c'est leur pauvreté en minéraux lourds qui ne figurent que dans les éléments fins. L'auteur estime que cela est dû à

une sélection par gravitation au cours de l'enlèvement et du transport. Une autre caractéristique est la présence de cette matière ocreuse, vraisemblablement formée d'argile et de limonite, qui adhère aux grains et forme aussi de petits amas.

Il ressort de ces quelques exemples que ces poussières sont relativement semblables, non seulement en couleur, mais aussi en composition: grains en partie arrondis, en partie anguleux et dont les dimensions varient dans les mêmes limites; matières estimées comme étant colloïdales ou subcolloïdales; agrégats indéterminables plus ou moins fins. Les minéraux, que leur dimension permet de déterminer, sont principalement le quartz, le feldspath et le mica ainsi que la calcite souvent en rhomboèdres, enfin plus rarement des minéraux lourds et colorés. Le fait de cette constance relative de la nature de ces poussières est à retenir lorsque la question de leur origine sera examinée.

POUSSIÈRES TOMBÉES A GENÈVE LE 17 AVRIL 1944

Le 17 avril 1944 éclatait à 19 h. 30 sur la région de Genève un orage venant du sud-ouest. Durant la journée, le vent avait été variable avec une vitesse moyenne de 2,9 km-heure. Depuis le 10 du mois la pression atmosphérique, qui était de 728 mm (moyenne d'avril: 727,4 mm), avait baissé régulièrement pour atteindre 718 mm le 16 avril. Avant l'orage, la pression s'abaissait encore jusqu'à 712,8 mm, soit la pression minimum du mois. La quantité de pluie tombée durant quatre heures pendant la journée du 17 s'est élevée à 3,7 mm. La température minimum de cette journée fut de 8°,3 et le maximum de 18°, alors que la température moyenne minimum de ce mois d'avril fut de 6°,7 (minimum observé: — 0°,9) et la température moyenne maximum de 15°,3 (maximum observé: 22°,2).

Ces diverses données montrent que les conditions météorologiques de la journée du 17 avril ne sont pas celles qui caractérisent la venue d'un ouragan particulièrement violent. L'orage du soir, cependant, fit tomber sur la ville et les environs une fine poussière ocre brune en quantité suffisante pour ne pas passer inaperçue. Il n'a malheureusement pas été possible

d'établir avec certitude si cette poussière est tombée avant ou avec la pluie qui, d'ailleurs, ne fut pas particulièrement abondante.

Le Muséum de Genève possède six portions récoltées en divers endroits de la ville et de la périphérie: la portion nº 1 (rue de Carouge) et la portion nº 5 (boulevard du Pont-d'Arve) proviennent d'un quartier commercial de la ville. La portion nº 4 a été recueillie à la gare de Cornavin, dans un quartier commercial et industriel. Les trois autres portions viennent de la région suburbaine: la portion nº 6 (chemin des Cottages) a été récoltée dans un lieu déjà campagnard sur une falaise orientée vers le sud et dominant l'Arve et le domaine de Vessy, dit « La Grande Fin »; cette falaise borde le plateau de Champel-Florissant qui s'élève de Genève en direction du Salève. La portion nº 2 (chemin de Roches) provient du versant nord et la portion nº 3 (avenue de Beaumont) du versant ouest de ce plateau, en une zone suburbaine où les propriétés et parcs privés voisinent avec les immeubles locatifs. Enfin, le professeur Ed. Paréjas, directeur de l'Institut de géologie de l'Université, a aimablement cédé pour étude la portion nº 7, récoltée en divers lieux du quartier de Plainpalais et au voisinage de son laboratoire, au quai de l'Ecole-de-Médecine.

Observations microscopiques.

1. *Dimension des grains.*

La dimension des particules, qui constituent ces poussières, varie de façon appréciable. Les plus petites mesurent de 1 à 3 μ et les plus grandes peuvent dépasser 60 μ. Afin d'avoir une idée sur le calibre moyen des diverses portions, leurs particules ont été dénombrées et réparties en trois classes arbitrairement choisies: la première comprend les grains mesurant moins de 5 μ, la seconde ceux de 5 à 20 μ et la troisième ceux qui dépassent 20 μ. Les mesures ont porté sur plusieurs centaines de grains comptés en diverses parties de plusieurs préparations pour chaque portion.

Le tableau suivant indiquera pour chaque catégorie le nombre de grains exprimé en pour-cent.

TABLEAU I.

Nombre de grains exprimé en pour-cent dont la dimension est:

	Moins de 5 μ	De 5 à 20 μ	Plus de 20 μ
Portion 2 (ch. de Roches) . .	45%	47,5%	7,5%
Portion 3 (av. de Beaumont)	49	46	5
Portion 6 (Cottages)	45	49	6
Portion 1 (rue de Carouge) .	36,5	58,5	5
Portion 4 (Cornavin)	35	56	9
Portion 5 (Pont-d'Arve) . .	30	65	5
Portion 7 (Plainpalais) . . .	39	54	7

Même s'il porte sur plusieurs centaines de particules, notre procédé de dénombrement et d'estimation de la dimension des grains n'est que d'une précision relative, et les résultats obtenus ne doivent être admis qu'avec une latitude de 2 à 3%. Malgré cette restriction, il ressort nettement que les diverses portions, qui ont une même origine lointaine, présentent des différences de calibre; ce fait ne peut s'expliquer que par l'addition de poussières d'origine locale. Les chiffres indiquent que les éléments plus gros sont en plus forte proportion dans les échantillons récoltés en ville que dans ceux provenant de la périphérie. Il est évident que la ville renferme des poussières abondantes tant naturelles qu'industrielles (la portion 4 est chargée de particules charbonneuses) mais les portions récoltées à la périphérie urbaine ne sont nullement exemptes de poussières originaires des hauteurs et des terrains environnants balayés par le vent.

En conclusion, il n'est pas téméraire d'affirmer que les poussières d'origine étrangère apportées sur Genève par le vent ont été recueillies avec une proportion variable et inconnue de poussières d'origine locale.

2. *Examen minéralogique.*

A l'œil nu, ces poussières ont l'apparence d'une fine poudre brune, ocre claire; elles s'écoulent relativement facilement en formant de petits amas à la façon de la farine.

Au microscope, sous faible grossissement (30 ×), elles apparaissent comme étant un mélange de particules en moyenne très fines mais cependant de dimensions variables. La couleur des grains n'est nullement homogène; alors que les uns vont du noir au brun-rouge, d'autres sont jaune brunâtre et d'autres encore, incolores et transparents.

En lumière polarisée, la majorité de ces particules révèle de l'anisotropie. L'observation à plus fort grossissement (375 ×) permet de voir avec plus de netteté la nature complexe de ces poussières. Les grains ont rarement des formes cristallines et ceux qui sont arrondis ou nettement allongés ne sont nullement en majorité; le plus généralement, les formes sont irrégulières, présentant parfois des facettes mais le plus souvent des arêtes et des angles peu aigus, comme adoucis par l'usure ou la corrosion.

Composition minéralogique.

Une détermination des minéraux n'est pas ici chose aisée. La nature d'un grand nombre d'éléments ne peut être établie à cause de la petitesse de leur taille. D'autre part, le microscope polarisant ne permet pas de déterminer certaines particules noires, opaques ou d'une faible translucidité brun rougeâtre, ainsi que d'autres, cryptocristallines ou colloïdales.

Parmi les plus gros éléments, on reconnaît le quartz, la calcite, parfois en rhomboèdres, l'orthose, les plagioclases et le mica noir; en plus de ces minéraux courants, qui sont relativement nombreux, se trouvent en quantité minime le zircon, le grenat, le corindon, l'épidote, la hornblende, le microcline... L'ensemble de ces derniers minéraux rappelle trop celui commun à nos régions pour qu'il ne soit pas considéré comme étant d'origine locale.

Parmi les éléments moyens et petits, les minéraux ont des aspects assez divers et se présentent sous les formes suivantes:

1. Minéral incolore transparent mais contenant en inclusions de petits pointements noirs et étant recouvert inégalement d'une mince couche brun-rouge. Les grains les plus gros ont une forme plutôt arrondie avec les angles et les arêtes usés. Ce minéral est uniaxe, positif: c'est du quartz, assez abondant.

2. Minéral incolore, de forme et de dimension très irrégulières, mais parfois en rhomboèdre bien formé. L'uniaxie négative, la forte biréfringence, la valeur des deux indices de réfraction encadrant celui du baume indiquent un carbonate, certainement la calcite qui est abondante.

3. Minéral incolore, à faible relief, à indice inférieur à celui du baume: c'est probablement un feldspath, d'ailleurs très peu abondant.

4. Minéral en paillettes allongées, anisotropes et légèrement jaunâtres qui est un mica, peu abondant.

5. Des particules noires, opaques, probablement charbonneuses et d'autres brun rougeâtre, faiblement translucides, qui sont des oxydes de fer ou des sections cycliques de biotite: pas très abondantes sauf parmi les gros éléments de certaines portions.

6. Des particules nombreuses, formées d'une masse transparente jaunâtre avec des inclusions brunes et noires; cette masse à aspect vitreux ou colloïdal, contient des petits cristaux courts ou finement allongés, nettement anisotropes. Ces particules qui se retrouvent dans toutes les portions dont elles représentent une notable partie, ont des dimensions variables. Leur aspect rappelle celui d'une fine pâte porphyrique, avec des microlites plus ou moins grands et plus ou moins nombreux. La pâte est isotrope ou d'une anisotropie si faible qu'elle n'est visible que par l'emploi de la teinte sensible; exceptionnellement, les extinctions sont onduleuses.

   Ces particules d'apparence hypocristalline sont très caractéristiques et comme elles se rencontrent de façon aussi abondante que régulière dans les poussières tombées

en maints autres lieux et à diverses époques, dans les mêmes conditions que celles de Genève, il peut être utile et plus simple pour la suite de cette étude de les nommer: *agrégats*.

7. Enfin, des formations poreuses ou cellulaires, allongées, hexagonales, ovales, cylindriques ou en forme de coupes s'observent parfois en assez grand nombre dans les diverses portions; ce sont des restes végétaux ou des squelettes de micro-organismes (diatomées, foraminifères...), d'autre part, des grains parfaitement arrondis et jaunâtres peuvent être des concrétions ferrugineuses. Le fait de leur résistance à l'acide chlorhydrique et à la potasse caustique concentrée indique la nature siliceuse de certains de ces restes d'organismes et exclut l'hypothèse de pollens pour beaucoup de grains arrondis.

La petite taille de la majorité des grains ne permettant pas une détermination au moyen des propriétés optiques et cristallographiques, les poussières ont été examinées à l'immersion pour déterminer approximativement les indices de réfraction. L'examen dans le monojodobenzène, d'indice 1,61, a établi qu'à l'exception de la calcite, aucun minéral n'a d'indice supérieur à ce liquide; ceci semble confirmer que la présence de grenat, tourmaline, hornblende, etc..., parmi les grains les plus gros, est due à un apport local.

L'examen dans l'huile de cèdre, d'indice 1,50, montre que les particules dont l'indice de réfraction est inférieur à celui du baume du Canada, ont leur indice supérieur à celui de ce milieu d'immersion.

Ces particules incolores, isotropes ou faiblement anisotropes, qui représentent une faible proportion de l'ensemble sont probablement des feldspaths ou certains zéolithes. En résumé, l'étude microscopique conclut à la présence, dans les poussières tombées à Genève, de quartz, de calcite, d'un peu de mica, de feldspaths et d'oxyde de fer auxquels s'associent quelques minéraux dont l'origine peut être considérée comme locale; à cela s'ajoutent, avec des débris d'organismes, des agrégats assez nombreux et de nature indéterminée qui vont retenir notre attention.

Les agrégats ont une constitution identique quelle que soit leur taille; les plus petits semblent être des parcelles des plus grands. Leur aspect rappelle celui de petites particules cristallines agglomérées par une matière colloïdale organique, comme il s'en rencontre dans la vase des marécages. L'hypothèse que la matière agglomérante des agrégats put être organique n'a pas été abandonnée avant qu'un traitement par ébullition d'une demi-heure dans la potasse caustique n'ait démontré sa résistance totale à une telle attaque chimique.

L'aspect de ces agrégats peut être aussi comparé à des verres cryptocristallins semblables à des pâtes microlitiques de roches éruptives. Ce rapprochement se fait en pensant à certaines chutes de poussières brunes dont l'origine a été rapportée à une éruption volcanique. Ce point de vue d'une part, et l'opinion dominante actuelle de considérer ces poussières comme des sables sahariens, d'autre part, incitent à procéder à un examen comparé de poussières avec les cendres volcaniques et les sables du désert. Des loess seront également intégrés dans cette étude afin de ne pas négliger l'hypothèse d'une origine éolienne, si toutefois ces dits loess peuvent être considérés comme de véritables dépôts éoliens. Avant d'entreprendre une telle étude, l'examen de divers échantillons de quelques poussières tombées en Suisse, en lieux et dates différents, pourra apporter quelques données complémentaires utiles.

ÉTUDE DE QUELQUES POUSSIÈRES TOMBÉES EN SUISSE

Les dates de chute des huit poussières étudiées se répartissent en diverses années, sur cinq mois, soit deux en mars, deux en avril, deux en mai, une à fin août et une à fin octobre; ceci, malgré le nombre restreint d'exemples, confirme que la période allant de la fin de l'hiver au mi-printemps est particulièrement favorable à la venue de poussières par vents du sud mais que les autres mois de l'année n'en sont nullement exempts.

Ces poussières ont des degrés de finesse assez variables et, comme pour les diverses portions de la chute de Genève, les particules ont été comptées dans les trois calibres établis, et le pour-cent qu'elles représentent calculé pour chaque catégorie. Le tableau II, qui comprend les deux calibres extrêmes des poussières de Genève, permet d'avoir une vue sur l'amplitude des variations de dimension des grains, en passant de la poussière la plus fine à la plus grossière.

TABLEAU II.

Pour-cent des grains dont la dimension est:

	Moins de 5 μ	De 5 à 20 μ	Plus de 20 μ
Davos, mars 1936	90	10	0
Alpe Cadera, mars 1936 . .	84	14,5	1,5
Arosa, août 1944	58	37	5
Arosa, octobre 1942	55	42	3
Davos, mai 1937	54	44	2
Genève, 3	49	46	5
Thusis, avril 1941	44	51,5	4,5
Genève, 5	30	65	5
Arosa, avril 1944	30	60	10

NATURE ET COMPOSITION DES POUSSIÈRES.

Chute de Davos (3-4 mars 1936). Prof. Dr F. Roulet.

Cette poussière a été déposée au cours d'une violente tempête du sud-ouest, avec foehn. L'échantillon étudié a été recueilli sur le revers d'une dune de neige située au bord du lac de Davos. Les versants nord-est des sommets et des crêtes, dominant cette localité, étaient recouverts d'une neige fortement teintée de jaune ocre. Un examen chimique, effectué au « Schweizerisches Forschungsinstitut », à Davos, a décelé la présence de SiO_2, Al_2O_2 et Fe_2O_3 (MgO et CaO n'ont pas été recherchés).

Au point de vue minéralogique, cette poussière est particulièrement intéressante: elle est essentiellement constituée par les agrégats. Ceux-ci contiennent de nombreuses inclusions

noires et brunes ainsi que de fins cristaux, courts ou en aiguilles, de 2 à 3 μ pour la plupart et dont les plus grands ne dépassent que rarement 15 μ. A part des débris végétaux et des grains noirs irréguliers, sans doute charbonneux, aucune autre espèce de particule n'accompagne les agrégats.

La forte couverture neigeuse, qui existait à cette époque sur la région, a empêché l'addition à cette poussière d'éléments de provenance locale.

Chute de l'Alpe Cadera, Val Poschiavo (6-7 mars 1936).

Prof. Dr Leo Wehrli et Dr v. Capeller.

Si les dates communiquées sont exactes, la poussière de l'Alpe Cadera est tombée trois jours après celle de Davos. Contrairement à cette dernière, elle n'est pas uniquement composée d'agrégats mais elle en est très riche. Les particules qui les accompagnent en proportion notable sont généralement fines; les plus grosses mesurent entre 10 et 20 μ et dépassent fort rarement 30 μ. A côté de quelques particules ferreuses et charbonneuses, ce sont surtout le quartz et la calcite, parfois en rhomboèdres, qui accompagnent les agrégats; les restes d'organismes, cependant, ne sont pas rares. A l'exception des gros grains, anguleux et peu altérés, ces particules sont assez fortement teintées par une couche superficielle jaune ocre.

Cette poussière est plus grossière que celle de Davos et ceci ne semble pas devoir être attribué uniquement à l'addition d'éléments régionaux due au moindre enneigement probable de cette région plus méridionale.

Chute d'Arosa (31 août 1944). Prof. Dr F. W. P. Götz.

Cette poussière est riche en agrégats qui contiennent, en plus des petits cristaux de dimension habituelle, des grains parfois assez gros. La calcite est en quantité nettement moindre que dans la plupart des autres poussières, et n'est pas sous forme de rhomboèdres. Parmi les grains de taille moyenne, beaucoup sont fortement altérés et recouverts de matières brunâtres, ce qui fait supposer que leur origine est lointaine. Les éléments noirs, opaques (peut-être charbonneux) et bruns, translucides

(peut-être limoniteux), sont peu nombreux dans les dimensions petite et moyenne. Les restes d'organismes sont peu abondants. De gros grains de calcite, quartz, feldspath et serpentine sont certainement de provenance locale.

Chute d'Arosa (31 octobre 1942). Prof. Dr F. W. P. Götz.

Cette poussière est plus fine, d'après le calibrage, que celle de Davos 1937, mais la plus grande dimension des grains moyens lui donnent une apparence plus grossière. Elle est constituée par de nombreux agrégats bruns de toutes dimensions et contenant beaucoup d'inclusions foncées, ainsi que par du quartz coloré par un revêtement jaune ocre; la calcite, pas très abondante, est en petits grains irréguliers et effilés, comme en voie de dissolution, et rarement en rhomboèdres. Il n'y a que fort peu de feldspath, de muscovite, de minéraux opaques et translucides et de restes organiques. L'apport en minéraux régionaux semble faible.

Chute de Davos (21 mai 1937). Dr W. Mörikofer.

Les grains les plus gros, qui ne dépassent pas 50 μ, ainsi que les éléments noirs opaques et bruns translucides sont peu nombreux. Les agrégats sont abondants ainsi que la calcite, qui est plutôt sous forme de grains irréguliers de toutes dimensions qu'en rhomboèdres. Le quartz, aux contours généralement émoussés, n'est recouvert que d'une faible couche jaune ocre. Il n'y a que de rares feldspaths, le plus souvent kaolinisés, mais d'assez nombreuses paillettes de mica blanc, très menues. Les minéraux lourds sont exceptionnels (zircon, tourmaline) et les restes d'organismes très peu nombreux.

Par son apparence générale, cette poussière ressemble beaucoup à celle tombée à la périphérie de Genève en 1944; elle semble être peu enrichie par des minéraux régionaux.

Chute de Thusis (5 avril 1941). Dr W. Mörikofer.

Les agrégats forment une partie importante de cette poussière qui contient aussi en abondance de la calcite en grains de toutes tailles et de formes irrégulières et corrodées; les rhomboèdres sont peu nombreux; le quartz est en quantité nette-

ment plus faible que d'ordinaire. Il y a peu d'éléments noirs et ils sont de petite taille. Le feldspath, le mica et l'amphibole sont représentés parmi les grains de moyenne et de grande dimension. Les restes d'organismes sont rares.

Chute d'Arosa (5 mai 1944). Prof. Dr F. W. P. Götz.

Cette poussière, la plus grossière de toutes, a un aspect totalement différent de celui des autres. Sa teinte est gris foncé, sans nuance brunâtre. Vue au microscope, elle apparaît comme formée d'un mélange de très nombreuses particules noires de tailles variables et de grains transparents fort peu altérés mais parfois passablement imprégnés d'inclusions foncées; d'autres grains, qui forment une faible minorité, ont un léger revêtement jaune ocre et des inclusions brunâtres. Les formes sont souvent allongées ou anguleuses et montrent peu d'angles adoucis par l'usure. Cette poussière, par son apparence, ressemble moins aux autres qu'aux cendres volcaniques examinées plus loin. Cependant, la composition minéralogique est bien différente de celle des cendres. La calcite est assez abondamment représentée, et l'acide chlorhydrique produit sur une parcelle de matière une vive et brève effervescence (les quelques milligrammes disponibles ne permettent pas d'examen chimique plus complet). Le quartz est assez abondant et le feldspath, nullement altéré, ainsi que la muscovite, sont en quantité notable; il y a quelques micro-organismes. En revanche, cette poussière ne contient pas de minéraux lourds et, fait digne d'attention, aucun agrégat.

Remarques.

L'étude des poussières provenant de diverses chutes constatées en Suisse fait ressortir leur grande ressemblance; à l'exception de celles d'Arosa de mai 1944, ces poussières, malgré les variations individuelles, présentent les mêmes caractéristiques qui se trouvent dans celle de Genève et dans la description de la plupart de celles recueillies et étudiées en diverses régions de l'Europe.

Les agrégats représentent un élément particulièrement caractéristique. Certes, maints auteurs ont signalé une matière

colloïdale ou subcolloïdale jaune ocre mais leur attention s'est plutôt portée sur la nature des minéraux plus gros et, partant, déterminables. La poussière tombée à Davos en mars 1936, composée essentiellement de ces agrégats, et celle de l'Alpe Cadera, qui en contient une forte proportion, montrent que ces formations à aspect hypocristallin peuvent être le constituant unique ou, tout au moins, primordial d'une poussière. Il n'est donc pas étonnant que ces agrégats soient toujours présents et en proportion d'autant plus grande que les poussières sont plus fines. Celles-ci ne sont pas seulement colorées par eux mais aussi par une matière jaune ocre à brun brique qui est vraisemblablement la même que la matière agglomérante des agrégats et qui recouvre beaucoup de grains ou les imprègne même, à en juger par son incomplète élimination lors d'une attaque à chaud et prolongée par l'acide chlorhydrique.

L'examen en milieu d'immersion a permis d'établir qu'il n'y a pas de minéraux, autres que la calcite, dont l'indice de réfraction est supérieur à 1,61 et fort peu dont cet indice est inférieur à 1,50. Les minéraux qui accompagnent régulièrement les agrégats, en proportion variable, sont le quartz, généralement assez érodé et plus ou moins recouvert de la couche ocre, la calcite, en rhomboèdres bien cristallisés comme de formation récente ou en grains irréguliers et effilés portant la marque d'une action dissolvante plutôt que d'une usure mécanique, enfin des feldspaths très fortement kaolinisés ou séricitisés. En ce qui concerne les autres minéraux dont la présence a été reconnue, ils ne diffèrent guère de ceux déterminés dans une poussière recueillie sur le toit du Muséum de Genève et qui nous donne une idée des particules locales qui peuvent s'ajouter aux poussières: quartz, relativement propre, feldspaths encore frais, biotite, muscovite, chlorite, antigorite, épidote, tourmaline, zircon, grains charbonneux, etc... Ces minéraux peuvent se retrouver parmi les éléments moyens et surtout parmi les plus gros des poussières; il est donc probable, sans toutefois qu'on puisse l'affirmer, qu'ils ne proviennent pas d'une aire bien lointaine.

Quant aux restes d'organismes, dont les uns semblent être végétaux et les autres animaux (diatomées, foraminifères), ils

sont dans toutes les poussières; un foraminifère inclus dans un agrégat révèle sa provenance lointaine, ce qui n'exclut pas pour d'autres une origine plus proche. De petits grains brunâtres parfaitement sphériques, souvent nombreux, sont peut-être des concrétions ferrugineuses.

En ce qui concerne la poussière grise tombée en mai 1944 sur Arosa, sa composition toute particulière engage à lui attribuer une origine différente de celle des autres. Devant la nature si constante des poussières étudiées ici ou décrites ailleurs dans la littérature, elle est vraiment l'exception qui confirme la règle. Peut-être provient-elle des montagnes d'Italie et a-t-elle été enrichie par des cendres volcaniques. En fait, elle vient avec opportunité nous engager à ne pas généraliser de façon simpliste la question de l'origine de ces apports éoliens.

L'examen de ces quelques poussières tombées en Suisse a permis de confirmer, de compléter et de préciser les observations faites sur celle de Genève. Ainsi, avec une meilleure connaissance de leur nature, leur comparaison avec les cendres volcaniques, les sables du désert et les loess, pourra être plus intéressante dans ses résultats et plus précise dans ses conclusions.

ÉTUDE COMPARÉE DES POUSSIÈRES AVEC DES SABLES DU DÉSERT, DES CENDRES VOLCANIQUES ET DES LOESS

Cette étude comparée se heurte, de prime abord, à une difficulté résultant de la différence de dimension des grains de poussière, d'une part, et des grains de sable, de cendre et de loess, d'autre part. Pour l'étude minéralogique, comme pour un traitement chimique, il importe que les particules aient une taille sinon identique, tout au moins d'un ordre de grandeur comparable.

Dans le but d'obtenir des grains aussi fins que possible, les sables, les cendres et les loess ont été tamisés au travers d'un fin drap de coton et recueillis dans une capsule de porcelaine; en agitant doucement celle-ci, puis en l'inclinant, on élimine

encore les plus gros éléments et ne conserve, pour l'étude, que les grains qui adhèrent encore à la porcelaine. Le matériel ainsi obtenu est formé de particules restant dans l'ordre de grandeur de celui des grains de poussière mais avec une nette prédominance des éléments moyens et, chez les sables, des éléments grossiers. Ainsi, pour les loess, les petits éléments mesurent environ 3 μ et les plus grands 60 μ; pour les cendres, les petits vont de 1 à 5 μ et les grands de 30 à 50 μ; pour les sables enfin, les petits mesurent de 10 à 50 μ et les grands de 75 à 200 μ, alors que pour les poussières, les grains varient de 1 à 50 μ environ mais dont la majorité ne dépasse pas 15 μ.

Malgré ces différences, un tel matériel peut être considéré comme comparable et par conséquent acceptable, avec la réserve qu'il n'est pas prouvé, surtout chez les sables, que les éléments les plus fins soient des parcelles des grains éliminés par le tamisage et représentent bien les mêmes espèces minérales.

Traitement a l'acide chlorhydrique.

Une analyse quantitative complète des divers matériaux serait le moyen le plus adéquat pour établir entre eux une relation et un terme de comparaison. Une telle méthode n'a malheureusement pas été réalisable dans les conditions de travail mises à notre disposition pour la présente étude.

Si ces matériaux, de diverses origines, ont une composition minéralogique différente, l'action d'un réactif chimique donné ne sera pas identique; c'est pour avoir une idée de ce comportement individuel qu'une série d'entre eux ont été soumis à l'action de l'acide chlorhydrique qui agira principalement sur les carbonates, les sulfates, les chlorures et les oxydes ou les hydrates de fer.

Le traitement de chaque échantillon s'est effectué de la façon suivante: un erlenmeyer de 50 cm^3 est pesé à un milligramme près, puis il reçoit un poids de matière variant, suivant les disponibilités, de 0,1 à 1 gramme; 5 cm^3 de HCl puriss. concentré, étendus du même volume d'eau distillée, sont versés sur la fine poussière et produisent parfois une effervescence plus ou

moins vive et prolongée. L'erlenmeyer est alors fermé au moyen d'un bouchon à travers lequel passe un tube de 6 mm de diamètre et de 15 cm de long, tenant lieu de réfrigérant. Le récipient est placé sur un bain de sable jusqu'à l'ébullition, qui sera maintenue dix minutes. Le liquide se colore en jaune ou brun rougeâtre, suivant les cas, par dissolution des composés du fer; l'erlenmeyer est retiré du bain de sable et le liquide est dilué en versant de l'eau distillée, au moyen d'une pipette, à travers le tube réfrigérant afin d'en chasser les fines particules que l'ébullition aurait pu y projeter. Le brassage de cette dilution produit une suspension plus ou moins épaisse et lente à tomber qu'il n'est pas inutile d'observer.

Cette suspension étant déposée au fond du récipient, le liquide est prudemment retiré au moyen d'une pipette et conservé afin d'en déceler grossièrement sa teneur en fer, par précipitation au moyen du ferrocyanure de potassium. Parfois, une très légère suspension persiste dans le liquide éliminé mais son poids n'atteint qu'à peine le 5 $^0/_{00}$ du poids de la matière étudiée, ce qui est quantité négligeable. L'opération est répétée une deuxième fois et, après l'élimination de la solution acide, la substance est lavée par addition et retrait successifs d'eau distillée dans l'erlenmeyer et cela jusqu'à ce que l'eau de lavage ne révèle plus trace de fer. Le solde de l'eau est évaporé et la substance séchée à l'étuve. Une nouvelle pesée permet d'établir le poids de la perte de matière consécutive au traitement par l'acide chlorhydrique.

Les substances suivantes ont été soumises à ce traitement:

Sables du désert, de

Touggourt, Algérie (Prof. Paréjas);
El Oued, Algérie (Prof. Wehrli et D^r v. Capeller);
Erg de Mchiguig, Tunisie (Muséum de Genève);
Erg Laguine, Tunisie (Muséum de Genève);
Erg Jeneien, Tunisie (Muséum de Genève);
Erg Smida, Tunisie (Muséum de Genève);
Tripoli, Tripolitaine (Prof. Wehrli et D^r v. Capeller);
Kharga, Désert lybique (Prof. L.-W. Collet);
Egypte (lieu non précisé) (Prof. Wehrli et D^r v. Capeller).

Cendres volcaniques, récoltées à:

Naples, éruption 1822. Fins lapillis, couleur grise (Muséum de Genève);
Vésuve, éruption 1822. Couleur brun rouge (Muséum de Genève);
Naples, éruption 1872. Couleur gris foncé (Prof. Gysin);
Naples, éruption 1906. Couleur gris rougeâtre (Prof. Paréjas);
Pompéï, éruption 1906. Couleur gris clair (Prof. Paréjas);
Vésuve. Cendres gris brunâtre, agglutinées par la pluie (Muséum de Genève);
Expailly, Haute-Loire. Cendres anciennes gris rougeâtre (Muséum de Genève).

Loess, de:

Bâle (Muséum de Genève);
Lyon, France (Muséum de Genève);
Pont-d'Ain, France (Muséum de Genève);
Charmoille, Jura bernois (Muséum de Genève);
Kharga, Désert lybique. Sédiments lacustres et loessiques (Prof. L.-W. Collet).

Poussières éoliennes, de:

Davos, 1937;
Arosa, 1942;
Alpe Cadera, 1936;
Genève 2, route de Chêne;
Genève 6, chemin des Cottages;
Genève 7, Plainpalais.

Observations sur les résultats de l'attaque chimique.

Le but essentiel de l'attaque à l'acide chlorhydrique est d'établir la perte de poids de chaque substance qui lui est soumise. Cette perte, due à la dissolution de carbonates, de sulfates, d'oxydes et de chlorures, n'indique pas la composition chimique mais permet d'établir un rapport, ou une certaine

identité, entre les substances d'origines diverses et cela à la condition que les valeurs constatées de cette perte présentent une certaine cohérence.

A ce point de vue, l'expérience a donné des résultats satisfaisants. En effet, comme le montre le tableau, les sables du désert, les cendres volcaniques et les poussières se répartissent dans l'échelle des pertes croissantes de poids d'une façon qui sépare nettement ces trois groupes de substances.

La perte de poids des sables nord-africains varie de 4 à 18%, sauf pour celui de Touggourt qui accuse une perte de 24%. Les cendres volcaniques du Vésuve, comme les cendres anciennes d'Expailly, perdent de 32 à 37% de leur poids, à l'exception des cendres recueillies à Naples en 1822 dont la diminution de poids n'est que de 8%. Enfin, les poussières tombées en lieux et dates différents perdent de 38 à 48% de leur poids, succédant ainsi directement aux cendres, dans l'échelle, sans qu'il y ait superposition.

Quant aux loess, ils réagissent de façon beaucoup moins régulière. Si celui de Pont-d'Ain perd le 63% de son poids, celui de Lyon n'en perd que le 18% et celui de Charmoille que le 17%; seul, le loess de Bâle, avec sa perte de 42%, se situe parmi le groupe des poussières. De tels résultats offrent peu de matière à des conclusions utiles.

Les loess sont considérés comme des dépôts éoliens accumulés dans des plaines et dépressions; ceux des toundras et des déserts chinois ont été déposés sous un climat plutôt sec et sur un sol peu humide, ils seront donc constitués par des éléments purement éoliens, transportés sur de grandes distances et souvent remaniés.

Les restes de plantes et de mollusques que contiennent nos loess européens indiquent un terrain humide, marécageux même; les poussières et les sables transportés par le vent y seront rapidement fixés et de ce fait beaucoup moins longtemps brassés que ce n'est le cas dans les plaines arides. Certes, ces terrains humides reçoivent et conservent les poussières d'origine lointaine amenées par les violents vents, mais ils arrêtent en proportion beaucoup plus grande les particules des régions environnantes soulevées par des vents plus locaux. Ce fait peut

TABLEAU III,

Tableau des pertes de poids par traitement à l'acide chlorhydrique.

Pertes %	Poussières	Sables	Cendres	Loess
×1				1. Pont-d'Ain. 63 %
×2	2. Davos, 1937. 47 %			
×3	3. Alpe Cadera. 44 %			
×4 ×5 ×6	4. Genève, 7. 42 %			5. Bâle. 42 %
	7. Genève, 2. 39 %			6. Sédim. lacustre Kharga. 41 %
×7 ×8 ×9	8. Genève, 6. 39 %			
	9. Arosa, 1942. 38 %			
×10 ×11			10. Naples, 1872. 37 %	
			11. Naples, 1906. 37 %	
×12			12. Vésuve, 1822. 35 %	
			13. Pompéi, 1906. 33 %	
×13 ×14			14. Expailly. 33 %	
×15		15. Touggourt. 24 %		
×16 ×17 ×18		16. Kharga. 18 %		17. Lyon. 18 %
				18. Charmoille. 17 %
×19		19. Laguine. 16 %		
×20		20. El Oued. 14 %		
×21		21. Mchiguig. 10 %		
×22		22. Tripoli. 9 %		
×23		23. Smida. 8 %		
×24			24. Naples, 1822. 7 % (fins lapilli)	
×25		25. Jeneien. 6 %		
×26		26. Egypte. 5 %		

expliquer la composition de ces loess qui ne sont probablement qu'en partie constitués par des apports purement éoliens d'origine lointaine.

Dans la présente étude sur les poussières et le problème de leur origine, l'examen de loess ne pouvait être laissé de côté. Leur comportement vis-à-vis de l'acide chlorhydrique n'apporte rien qui permette un rapprochement, sinon une identité, avec les poussières. La réaction variable de ces loess vis-à-vis de l'attaque chimique ne fait que mieux mettre en évidence les réactions beaucoup plus régulières, signe d'une nature relativement constante des sables du désert, des cendres volcaniques et des poussières.

Les sables lacustres de Kharga (Désert lybique) méritent de retenir notre attention. La dépression de Kharga est longue de 200 km et large de 65 km; l'altitude de son fond est de 86 m, alors que son bord s'élève jusqu'à 600 m dans sa partie est. Sur ce fond se répartissent d'innombrables monticules, fort étroits, ne dépassant pas 30 m de long sur 10 m de haut. Ce sont des sédiments sableux faiblement cimentés qui, selon Beadwell [2], proviendraient d'un ancien fond de lac desséché, érodé par le vent. La présence de coquilles, d'ossements d'animaux domestiques, de silex taillés d'âge néolithique et de restes de plantes, actuellement communes en Corse et dans le sud de la France, indiquent que le climat fut plus humide, voire même habitable et fertile, comme en font foi des restes romains.

Collet [2], ainsi que Beadwell, estime que la nappe d'eau était plus une lagune peu profonde qu'un véritable lac, et que les sédiments lacustres ont dû être enrichis par des sables éoliens. Collet est d'ailleurs frappé par la ressemblance que ces formations sédimentaires ont avec certains loess des barrancos qu'il a observés dans les pampas de l'Argentine. En admettant que le régime des vents n'était pas très différent de l'actuel, il apparaît que l'enrichissement des sédiments par un apport éolien n'a pas été négligeable.

Ces sables ont donc le double intérêt d'être partiellement d'origine éolienne et de se trouver dans une région désertique d'où l'on admet volontiers actuellement que proviennent les poussières tombant périodiquement sur l'Europe. Ces considé-

rations, ajoutées au fait que par le traitement à l'acide ces sables se placent, avec la perte de 41% de leur poids, parmi le groupe des poussières, permettent de faire avec ces dernières, non une comparaison, mais un simple rapprochement d'où doit être exclue toute considération hâtive.

Observations secondaires sur l'effet de l'attaque chimique.

Pendant le traitement à l'acide chlorhydrique, il est possible, et indiqué, de faire quelques observations sur le comportement de la substance traitée et sur sa solution.

Le premier effet de l'acide est de produire une effervescence dont la durée et l'intensité varieront selon la nature de la substance et de sa teneur en carbonates. Après l'ébullition d'une durée de quelques minutes, la solution se colore de façon plus ou moins intense, devenant jaune clair ou fonçant jusqu'à l'orange et même au brun. Dans cette solution acide, comme dans la solution aqueuse de lavage, il se forme toujours un trouble qui peut aller jusqu'à une forte suspension dont la vitesse de chute est très variable. Enfin, en précipitant le fer, au moyen d'une solution de ferrocyanure de potassium, on obtient des dépôts de bleu de Prusse plus ou moins importants.

Sans devoir attacher trop d'importance à ces observations secondaires, il faut néanmoins reconnaître qu'elles révèlent, comme la perte de poids, des caractéristiques attachées aux diverses catégories de substances étudiées et qui peuvent se résumer de façon générale dans le tableau suivant.

Les solutions étant colorées par le fer principalement, ce sont les plus foncées, produites par le traitement des loess et des poussières, qui donnent le plus fort précipité de bleu de Prusse. Quant à l'effervescence, due à la présence de carbonates, elle devrait être d'autant plus vive et prolongée que la perte de poids de la substance est plus élevée. C'est le cas des poussières et des loess vis-à-vis des sables du désert; chez les cendres volcaniques, l'attaque chlorhydrique ne produit pas ou à peine d'effervescence, à l'exception des cendres anciennes d'Expailly,

TABLEAU IV.

Substance	Effervescence	Teinte de la solution	Suspension	Précipité de bleu de Prusse
Sables	Vive et brève	Jaune clair	Légère à nulle	Faible
Cendres	Presque nulle ou faible et brève	Jaune foncé	Forte, assez lente à tomber	Fort
Loess	Généralement forte, parfois longue	Jaune orangé foncé	Très forte, lente à tomber, avec troubles persistants	Très fort
Poussières	Forte et parfois prolongée	Jaune foncé à jaune brun	Forte, lente à tomber	Très fort

et la perte de poids est due vraisemblablement à la présence de sulfates et d'oxydes solubles.

Le comportement des poussières est assez semblable à celui des loess; les cendres se différencient surtout par l'absence d'effervescence, et les sables par leurs réactions beaucoup moins marquées.

(à suivre)