

faites dans les lieux qui sont le plus fréquemment frappés par la grêle, qu'on pourra être mieux fixé non sur l'origine même du météore, qui nous paraît maintenant assez claire, mais sur les causes qui déterminent et circonscrivent sa chute.

Le rôle que l'électricité joue dans l'apparition de la grêle avait fait croire qu'on pourrait se mettre à l'abri de ce fléau, comme on se met à l'abri de la foudre, en soutirant l'électricité des nuages orageux. De là l'invention des paragrêles; les essais qu'on en a faits dans différents pays, particulièrement dans ceux de vignoble, n'ont point réussi. Il est vrai que les moyens employés étaient très-imparfaits; mais le principe ne nous paraît pas suffisamment prouvé pour qu'avec des moyens plus parfaits on eût eu plus de succès. En effet, si l'électricité joue un rôle dans la production de la grêle, ce n'est qu'un rôle très-secondaire, et elle est bien plus un effet qui accompagne cette production qu'une cause qui la détermine. D'ailleurs, pour empêcher la formation de la grêle, s'il était vrai qu'elle est due à l'électricité, il faudrait atteindre le nuage même où cette formation a lieu pour en soutirer l'électricité, et les paratonnerres les plus élevés n'y parviendraient pas. Aussi M. Arago avait-il proposé, pour résoudre la question, de faire monter dans des nuages orageux, et beaucoup plus haut que Romas fit monter son cerf-volant, des ballons captifs munis d'une pointe métallique faisant fonction de conducteur. En soutirant ainsi leur électricité à ces nuages orageux, M. Arago est disposé à croire qu'on les convertirait en nuages inoffensifs et qu'on ferait ainsi avorter les plus forts orages. La question est de savoir en effet quelle influence l'électricité exerce sur la rencontre des nuages opposés dont le mélange est nécessaire pour la production de la grêle. Cette rencontre n'est-elle que le résultat de l'action de deux vents opposés, comme le croit M. Olmsted, ou l'électricité y a-t-elle une part? Enfin la rencontre des nuages ayant eu lieu, l'électricité contribue-t-elle à la conversion des grains de grésil en grêlons? Peut-on croire que si on faisait disparaître l'électricité on n'aurait que du grésil et plus de grêlons? Il y aurait une grande importance à résoudre définitivement ces questions, non-seulement sous le rapport scientifique, mais

dans l'intérêt de l'humanité, et en particulier de l'agriculture.

Les *trombes* sont encore un de ces phénomènes naturels, comme la grêle, dans lesquels l'électricité semble jouer un rôle assez important et dont la nature cependant n'est pas bien déterminée. Les trombes sont des amas de vapeurs vésiculaires, c'est-à-dire d'eau mêlée d'air comme les nuages, mais très-épais et très-denses, qui sont ordinairement animés d'un mouvement rapide de rotation et de translation, ayant la plupart du temps la forme d'un cône dont la base est dirigée le plus souvent vers les nuages et le sommet vers la terre, quelquefois aussi dans le sens inverse. Ces météores déracinent les arbres, les dépouillent de leurs feuilles, les foudroient, les enlèvent et les transportent à de grandes distances; ils renversent les maisons, enlèvent leurs toitures, détruisent ou brisent tout ce qui se trouve sur leur passage; souvent ils déversent de la pluie et de la grêle, ils sont aussi très-souvent accompagnés de globes de feu, lancent des éclairs, font entendre le bruit du tonnerre et se dissipent assez ordinairement après. Les trombes s'observent aussi bien sur mer que sur terre.

M. Kaemtz considère les trombes comme uniquement dues à des courants d'air; ce sont des tourbillons de vent qui seulement ont lieu sur une plus grande échelle que ceux qui se manifestent souvent à l'approche des orages, et qu'on voit enlever à plusieurs mètres de hauteur les corps légers, tels que la poussière, les feuilles d'arbre, de la paille. Dans les trombes proprement dites, le tourbillon existe non-seulement dans les nuages, mais encore dans l'eau qui s'élève et va rejoindre le nuage qui s'abaisse vers elle; en effet dans les trombes qui ont lieu sur des lacs ou sur la mer, on voit l'eau du lac ou de la mer monter à la rencontre du nuage et former avec lui deux cônes se touchant par leur sommet, et animés d'un mouvement giratoire très-rapide. Comme nous l'avons dit, les trombes ont lieu sur mer aussi bien que sur terre; au milieu de la mer équatoriale, on ne les trouve que là où les vents alizés ne soufflent pas d'une manière régulière; elles se montrent surtout dans la région des calmes; elles se forment le plus souvent au



moment du changement des moussons, et dans les latitudes plus élevées elles coïncident avec les orages.

Il résulte des observations de M. Kaemtz, et de celles de plusieurs autres météorologistes, que les trombes ont lieu presque toujours quand deux vents opposés passent l'un à côté de l'autre, ou bien quand un vent très-vif règne dans le haut de l'atmosphère tandis que le bas est calme. A mesure que le tourbillon qui se forme par la rencontre des courants d'air augmente, il descend, et s'il atteint la surface de l'eau, celle-ci s'agite et s'élève, en même temps le nuage s'abaisse et tous deux finissent par se réunir. Mais en général la trombe est formée en grande partie de vapeurs condensées, et ce qui le prouve, c'est que lorsqu'elle a lieu sur la mer, l'eau qui s'en échappe n'est jamais salée. Lorsque l'air est très-sec, les tourbillons ne déterminent pas toujours la condensation des vapeurs, et la violence du vent n'en est que plus remarquable.

Ainsi dans cette théorie, le vent et les courants d'air seraient la cause réelle de la formation des trombes, et les accidents électriques qui les accompagnent fréquemment seraient la conséquence naturelle de la présence de l'électricité accumulée dans les vapeurs condensées.

Suivant d'autres physiciens, l'électricité serait au contraire la cause immédiate des trombes. Peltier, dans un long et intéressant travail, a cherché à établir une théorie électrique des trombes, soit en reproduisant sur une petite échelle au moyen de l'électricité artificielle des effets analogues à ceux des trombes, soit en discutant les phénomènes que présentent les trombes elles-mêmes dont il décrit 137, sur lesquelles il est parvenu à avoir des relations détaillées.

Il est conduit à admettre que lorsque la tension des nuages est très-grande, l'attraction puissante qui en résulte abaisse ces nuages vers la terre, et les met en communication avec elle par la portion de nue la plus avancée. Cette portion prolongée jusqu'au sol sert alors de conducteur, et offre une voie à l'écoulement de l'électricité des nuages; c'est cette portion descendante qui constitue la *trombe*. Tous les corps placés à la surface de la terre sous le nuage d'où sort la trombe servent

de conducteurs en raison de leur propre conductibilité, de leur forme, de leur étendue et de leur proximité du sol. Les corps chargés de l'électricité contraire sont attirés et soulevés vers la trombe, si leur poids ne s'y oppose pas, puis leur électricité s'étant neutralisée en partie, la pesanteur l'emporte, ils retombent sur la terre où ils reprennent leur première tension électrique; ils remontent de nouveau vers la nue, formant ainsi au-dessous du cône un amas nuageux. Si les corps sont attachés à la terre, comme les arbres par exemple, ils se chargent instantanément d'une immense quantité d'électricité, ils sont arrachés et transportés au loin par l'attraction du nuage. Ce qui semble confirmer cette explication, c'est que quand on observe les arbres ainsi arrachés, on les trouve presque tous fendus en latte d'une très-petite section sur une longueur de plusieurs mètres; et les parties du bois, ainsi divisées, paraissent entièrement dépouillées de sève; effet analogue à celui que produit, comme nous l'avons vu, le passage de la foudre dans les arbres. Il y a plus, tous les arbres qui sont sur le passage de la trombe ne sont pas également renversés; il se fait pour ainsi dire un choix entre eux; effet difficile à expliquer, si c'est la force du vent qui est la cause de l'arrachement, mais qui se comprend mieux si c'est un résultat de l'attraction électrique, la différence dans la nature, dans l'humidité intérieure de l'arbre ainsi que dans l'état du sol sur lequel il repose devant en entraîner une dans sa susceptibilité à être électrisé. M. Peltier remarque avec raison que la chute des arbres tient à un effet dynamique, puisqu'il est une conséquence de la vaporisation de la sève produite par la chaleur qui accompagne la décharge; ces effets dynamiques qui ont lieu dans les trombes, aussi bien que les statiques, se manifestent quand les nuages sont abaissés pour former un bon conducteur, et que ce conducteur se met en communication, par exemple, avec les arbres. Mais en général la trombe ne constitue qu'un conducteur imparfait entre les nuages orageux et la terre, et le bruit qui accompagne le météore serait le résultat d'une multitude de petites décharges partielles, dont l'intensité varierait avec la résistance du milieu dans lequel elles s'opèrent. Quant aux bourrasques de



vent qui viennent ajouter leur puissance matérielle à celle de l'électricité, elles sont un produit immédiat, suivant M. Peltier, des attractions et des répulsions électriques. En effet, lorsque par une brusque attraction, des masses d'air sont entraînées rapidement de la circonférence au centre, leur marche se résout très-souvent en un mouvement giratoire qui rend leur force plus dévastatrice. Mais, quelle que soit leur énergie, leur action est limitée dans une circonscription assez restreinte, ce qui indique suffisamment que cette puissance perturbatrice est toute locale, et qu'elle ne reçoit ni ne pousse au loin les vents violents qui l'accompagnent.

M. Peltier a réussi à reproduire tous les effets des trombes, en supposant que le nuage soit représenté par un globe constamment électrisé et couvert de pointes, et mettant dans sa sphère d'activité des vapeurs, des poussières et de l'eau; avec l'eau la dépression du liquide a lieu; avec les poussières on a des courants directs du centre à la circonférence, se transformant en mouvements giratoires. Tous ces effets disparaissent en remplaçant le globe garni de pointes par un globe poli; au lieu de la dépression du liquide, on obtient une protubérance; l'attraction devenant plus considérable, l'eau s'élève en masse, et il y a accélération de la vaporisation; avec des corps légers placés entre un plateau de cuivre communiquant avec le sol et une sphère supérieure électrisée, on produit les effets des trombes.

Sans contester que l'électricité ne joue un rôle dans le phénomène des trombes, nous ne croyons pas que la théorie de M. Peltier soit à l'abri de toute objection; nous reconnaissons avec lui que celle qui ne voit que dans l'action des vents la cause de ces phénomènes, est insuffisante, puisque sur 137 trombes signalées par lui, il y en a eu 33 qui ont existé sous un calme plus ou moins complet; d'un autre côté, il y en a eu 10 qui ont eu lieu sous un ciel sans nuages. Puis si on peut expliquer par l'attraction électrique d'un nuage des trombes de poussière et de corps légers, il est bien difficile de croire que cette attraction soit capable de déraciner des arbres, de soulever des maisons; ne serait-il pas plus naturel d'admettre que c'est le nuage qui doit venir vers les corps aussi solidement

fixés au sol que le sont des arbres et des maisons, que de supposer que ce sont ces corps qui vont vers le nuage? L'eau elle-même pourrait-elle être soulevée aussi haut à la rencontre du nuage qu'elle l'est dans quelques cas? Nul doute, comme nous l'avons déjà dit, qu'il y ait des phénomènes électriques très-prononcés dans les trombes; nous sommes même disposés à admettre que cette électricité est plus qu'un effet; mais nous ne croyons pas qu'on ait encore bien réussi à établir le rôle positif qu'elle y joue. Remarquons encore que rien n'explique pourquoi cette influence électrique d'un nuage sur la terre qui ordinairement se manifeste par la chute de la foudre et les phénomènes concomitants, se trouve se traduire dans quelques cas par une trombe; il y a là quelque condition particulière nécessaire pour que l'action revête cette forme qui échappe à l'observateur. Cette condition ne serait-elle point un état particulier qu'aurait le globe, dans les portions situées un peu au-dessous de la surface du sol sur laquelle se promène la trombe? Certains phénomènes souterrains qui précèdent ou accompagnent fréquemment les orages, et dont nous parlerons dans le paragraphe suivant, sembleraient donner quelque consistance à cette opinion; la trombe serait ainsi un phénomène à la fois terrestre et atmosphérique.

C'est encore à l'attraction électrique exercée par les nuages, que M. Peltier attribue les phénomènes connus sous le nom de *raz de marée* et de *seiche*. Le *raz de marée* consiste dans une élévation subite et quelquefois assez considérable du niveau de la mer, tout à fait indépendante des marées proprement dites, qu'on ne peut observer que près des côtes. Ainsi le 17 juillet 1841, on vit à Cette le niveau de la mer s'élever en quelques minutes à 1<sup>m</sup>,22 au-dessus de son niveau ordinaire; on en cite encore d'autres exemples dans les différentes mers. Suivant M. Peltier, ce phénomène est dû à la puissance attractive d'un nuage électrique qui, agissant sur une surface d'eau, quelquefois se borne à soulever de la vapeur vésiculaire sous forme de colonnes, puis, lorsqu'elle est plus forte, soulève l'eau elle-même aussi sous forme de colonnes bouillonnantes, et même dans quelques cas soulève toute la surface de l'eau dans une grande



étendue, dans le cas plus rare où cette puissance attractive est à peu près égale sur toute l'étendue du nuage. Les seiches sont un phénomène du même genre qui s'observe sur les lacs et spécialement sur le lac de Genève. Elles consistent dans des changements de niveau qui se manifestent soudainement sans que rien puisse les faire prévoir, et qui ont lieu seulement aux extrémités rétrécies du lac. Ces changements qui sont quelquefois considérables, car on les a vus s'élever jusqu'à près de deux mètres, ne durent qu'un instant, mais ils sont accompagnés d'oscillations assez prolongées dans le niveau. On ne peut les attribuer ni à des coups de vent, ni à des variations dans la pression atmosphérique, car elles ne sont généralement accompagnées ni d'un vent plus fort qu'à l'ordinaire, ni de mouvements dans le baromètre. C'est donc, comme Bertrand l'avait le premier imaginé, par des nuées électriques qui attirent et soulèvent les eaux, qu'on peut les expliquer; ces eaux retombant ensuite produisent des ondulations dont l'effet est comme celui des marées, d'autant plus sensible que les bords sont plus resserrés. Un fait favorable à cette explication, est que le temps que l'eau met à monter au-dessus de son niveau est d'autant moindre qu'elle s'élève plus haut, et qu'au contraire elle met d'autant plus de temps à s'abaisser qu'elle s'est élevée plus haut.

Ainsi, d'après Peltier, les trombes, les raz de marée et les seiches ne seraient que les modifications d'un même phénomène; c'est à la même cause qu'on peut attribuer la disparition entière de l'eau des mares peu profondes qui, soulevées avec ce qu'elles renferment, donnent naissance à ces chutes de substances solides même quelquefois vivantes, telles que grenouilles et poissons, qui sont signalées de temps à autre.

Ainsi que nous venons de le voir, le rôle que l'électricité joue dans la plupart des phénomènes météorologiques est très-important, lors même qu'il n'est pas encore bien défini. Il est probable que ce rôle est plus général même que nous ne pouvons le conclure des observations que nous avons rapportées; ce qui semblerait le faire présumer, c'est le rapport qui existe entre les variations du baromètre et celles de l'état électrique de l'air; or les variations du baromètre sont liées avec toutes

les variations météorologiques de l'atmosphère, car on les a attribuées soit à l'influence des vents, soit aux modifications de la température, soit aux changements survenus dans la quantité de vapeurs répandues dans l'air. Quelle qu'en soit la cause, il n'en résulte pas moins d'observations très-suivies faites par M. Quetelet que le baromètre se tient d'autant plus haut que l'air est plus électrisé positivement; la différence qui est surtout sensible pendant les mois froids, diminue en été; et elle change de signe pendant le mois le plus chaud. Quand l'électricité de l'air est négative, le baromètre, toutes choses égales, atteint son état le plus bas<sup>1</sup>. Du reste, ce cas est très-rare, car il ne s'est présenté que 23 fois sur les nombreuses observations de plusieurs années au moyen desquelles M. Quetelet a dressé le tableau suivant en s'y prenant comme suit. Il a formé pour chaque mois deux groupes de ses observations électriques, l'un contenant les observations qui surpassaient l'indication moyenne du mois, l'autre contenant les observations qui tombaient au contraire au-dessous de cette moyenne; puis il a pris ensuite les hauteurs barométriques qui correspondaient à chacune de ses observations électriques et qui se sont trouvées partagées naturellement de cette manière en deux groupes. Il avait ainsi pour chaque mois, une moyenne barométrique correspondant aux jours où l'électricité s'était manifestée avec le plus d'intensité, et une seconde moyenne pour les jours où l'on avait constaté le moins d'électricité. M. Quetelet n'a pas fait entrer dans ce calcul les 23 observations pour lesquelles

<sup>1</sup> M. Peltier, dans un grand travail sur la cause des variations barométriques, les attribue exclusivement à l'état électrique des vapeurs. Partant du principe que ces vapeurs sont composées de vésicules qui, ayant chacune leur électricité propre, se repoussent mutuellement, il montre que quand elles sont positives leur densité augmente, parce que le globe négatif en les attirant les rapproche les unes des autres, tandis que lorsqu'elles sont négatives la répulsion exercée sur elles par le globe les éloigne et diminue par conséquent leur densité, c'est-à-dire la quantité qui s'en trouve dans le même volume d'air. Dans le premier cas la pression doit augmenter, dans le second diminuer conformément à l'observation. M. Peltier cherche à rendre compte par sa théorie des différences que présentent avec les latitudes, les climats et les saisons, les variations soit régulières, soit irrégulières, du baromètre.



l'électricité était négative; ces observations ont été considérées à part; la moyenne de ces 23 observations a donné pour la hauteur barométrique 751<sup>mm</sup>,19, valeur qui diffère considérablement de 755<sup>mm</sup>,97 qui est la moyenne déduite des dix-sept dernières années. Voici maintenant le tableau dressé d'après les observations pour lesquelles l'électricité était positive, et dont M. Quetelet a déduit les conséquences que nous venons de rappeler.

MOIS	ÉTAT BAROMÉTRIQUE		Différence des nombres précédents.	DEGRÉS D'ÉLECTRICITÉ par un ciel		Rapports de ces nombres.	INTENSITÉ RELATIVE du vent.		Rapports des deux nombres précédents.
	quand l'électricité était			serein.	couvert.		Max. diurne.	Min. diurne.	
	au-dessus de la moyenne	au-dessous de la moyenne							
	mm	mm	mm						
Janvier.	758,56	754,84	3,72	1133°	268°	4,23	339	206	1,27
Février.	57,02	55,61	1,41	493	220	2,24	288	180	1,60
Mars.	57,85	52,08	5,77	261	129	2,01	422	231	1,83
Avril.	52,52	51,17	1,35	149	71	2,09	314	126	2,50
Mai.	56,07	55,54	0,55	63	46	1,39	360	148	2,43
Juin.	56,40	55,74	0,66	37	36	1,03	323	113	2,88
Juillet.	57,00	57,26	0,26	35	41	0,85	328	141	2,32
Août.	55,25	54,43	0,82	64	56	1,14	338	149	2,27
Septembre.	57,36	56,52	0,84	78	42	1,86	282	98	2,88
Octobre.	56,44	52,09	4,35	168	75	2,24	400	229	1,74
Novembre.	57,10	54,96	2,14	226	109	2,04	379	270	1,40
Décembre.	57,06	55,56	1,50	571	181	3,15	327	226	1,44
Année.	756,55	754,65	1,90	273	106	2,56	4051	2258	1,79

### § 6. Origine de l'électricité atmosphérique.

Volta et de Saussure avaient cru pouvoir attribuer l'électricité atmosphérique à l'évaporation qui a lieu sur la surface de la terre. De Saussure en particulier avait montré par un grand nombre d'expériences que toutes les fois qu'on projette de l'eau pure ou plus ou moins salée, acide ou alcaline, sur un creuset de métal chauffé au rouge, l'évaporation qui a lieu est accompagnée d'un fort dégagement d'électricité. Mais nous avons fait voir que ce dégagement n'est pas dû à l'évaporation,

mais bien à une action chimique. M. Pouillet a montré que si le creuset est de platine et le liquide projeté de l'eau distillée, il n'y a pas d'électricité produite<sup>1</sup>. Il n'en est plus de même, suivant lui, si l'eau est salée; dans ce cas, il y a une désagrégation chimique, même avec le creuset de platine, et il y a dégagement d'électricité. Or, comme l'immense proportion de l'eau qui s'évapore à la surface de la terre, est l'eau des mers qui est salée, M. Pouillet est disposé à voir dans cette évaporation de l'eau de mer la source de l'électricité atmosphérique. Il y ajoute comme seconde source la végétation qui a lieu sur la partie solide de la surface du globe, laquelle, suivant lui, fournit à l'air de l'électricité positive, tandis qu'elle donne au sol de la négative. Mais nous avons vu que le dégagement de l'électricité dans l'acte de la végétation est plus ou moins contestable et en tout cas bien faible et bien insuffisant pour rendre compte de la charge électrique considérable de l'atmosphère. Quant à l'évaporation de l'eau de mer il paraîtrait, d'après quelques expériences de M. Riess, que c'est au frottement des gouttelettes d'eau entraînées avec la vapeur, contre les parois du vase de platine où s'opère l'évaporation, plutôt qu'à l'évaporation elle-même que serait dû le dégagement d'électricité, qui ainsi ne résulterait pas de la ségrégation chimique.

Il semble donc nécessaire de recourir à des causes plus générales pour trouver l'origine de l'électricité atmosphérique. On avait eu l'idée de la chercher dans l'action calorifique du soleil sur l'atmosphère et dans la distribution de la température qui en est la conséquence; mais jusqu'ici l'expérience n'a jamais pu démontrer dans les gaz et les vapeurs la moindre trace de thermo-électricité. Ce résultat négatif est une conséquence nécessaire de la théorie des phénomènes thermo-électriques telle qu'elle ressort des travaux de Magnus; d'ailleurs les liquides eux-mêmes n'étant pas susceptibles de devenir électriques par la chaleur, les vapeurs et les gaz doivent l'être encore moins.

C'est encore dans l'action des rayons solaires que M. Schoen-

<sup>1</sup> Tome II, page 597.