

qui troublent sa transparence, qui masquent ou rétrécissent le champ de l'hémisphère visible, nuisent au refroidissement nocturne. Un nuage, comme un écran, compense en tout ou en partie, selon sa température propre, la perte de chaleur qu'un corps terrestre eût éprouvée en rayonnant vers l'espace. Le vent, en renouvelant incessamment l'air en contact avec la surface des objets qui tendent à se refroidir, amoindrit toujours d'une certaine quantité les effets du rayonnement. C'est donc alors que le ciel est pur, l'atmosphère calme, que le refroidissement nocturne atteint son maximum, et qu'il est le plus nuisible aux cultures.

Dans une nuit où se présentent toutes les conditions favorables au rayonnement, un thermomètre ayant très peu de masse, quand il est placé sur l'herbe, marque après un certain temps, 7° à 8° au-dessous de la température de l'atmosphère ambiante (1). Aussi, sous la zone tempérée, en Europe, comme l'a fait remarquer Daniell, par l'effet du rayonnement nocturne, la température des prairies et des bruyères peut s'abaisser pendant dix mois de l'année jusqu'au point de congélation (2). C'est surtout au printemps et en automne que les effets nuisibles du rayonnement sont le plus à craindre pour les plantes, parce que le refroidissement nocturne amène assez fréquemment leur température à plusieurs degrés au dessous de zéro.

(1) Arago, *Annuaire des longitudes*, 1827, p. 149.

(2) Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 198.

Quelques observations que j'ai faites sur le rayonnement nocturne, à diverses hauteurs dans les Cordilières, sembleraient indiquer que les effets en sont moins prononcés qu'en Europe, peut-être et c'est une simple conjecture, à cause d'une plus forte quantité de chaleur acquise par le sol pendant le jour. Je comparai, à l'aide de thermomètres très-sensibles et très-peu volumineux, la température de l'herbe, et celle de l'air à 1 mètre 1/2 d'élévation : voici les résultats (1).

Localités.	Hauteur.	Températures		Différence.
		de l'herbe.	de l'air.	
Zupia.....	1223 ^m	17°,2	20°,5	3°,3
Rodeo.....	1709	14,4	17,4	3,0
Guadualexo.....	1756	10,0	15,0	5,0
Riosucio.....	1818	10,5	15,0	5,0
Meneses.....	2508	5,5	8,1	2,6
San Jose.....	2778	2,8	8,9	6,1
Vetas.....	3218	0,0	6,0	6,0
Guadalupe.....	3304	0,0	5,0	5,0
Tolima.....	3672	— 1,1	4,4	5,9
Tolima.....	4119	— 2,1	— 1,1	1,0
Guaguapichincha..	4600	0,0	1,7	— 1,7

D'après les renseignements que j'ai pu me procurer, il paraîtrait que dans les Cordilières intertropicales ce n'est déjà que très-rarement qu'il gèle à une hauteur à 2,000 mètres. Cependant, il se présente des circonstances tellement favorables au refroidissement nocturne qu'il est réellement impossible de signaler une limite bien définie ; mais on

(1) Boussingault, *Annales de Chimie et de Physique*, t. LII, 2^e série.

air calme ; à sept heures du matin, le soleil n'éclaire pas encore le champ.

Thermomètres ;	Degrés.
Sous la neige.....	— 3,5
Sur la neige.....	— 12,0
A l'air libre.....	— 3,0

A cinq heures et demie du soir le soleil est caché par les montagnes :

Thermomètres :	Degrés.
Sous la neige.....	0,0
Sur la neige.....	— 1,4
A l'air libre.....	+ 3,0

13 février. A sept heures du matin, ciel gris, air un peu agité.

Thermomètres :	Degrés.
Sous la neige.....	— 2,0
Sur la neige.....	— 8,2
A l'air libre.....	— 3,8

A cinq heures et demie du soir, air calme, ciel découvert, le soleil caché depuis quelque temps.

Thermomètres :	Degrés.
Sous la neige.....	0,0
Sur la neige.....	— 1,0
A l'air libre.....	+ 4,5

14 février, à sept heures du matin, vent d'ouest, pluie fine.

Thermomètres :	Degrés.
Sous la neige.....	0,0
Sur la neige.....	0,0
A l'air libre.....	+ 2,0

Quand on réfléchit sur les pertes qu'occasionne aux cultivateurs la gelée causée par le refroidissement

nocturne, aux époques où les plantes ont déjà une végétation avancée, on se demande s'il n'existe pas un moyen praticable de préservation ? Je vais faire connaître une méthode suivie avec succès par les Indiens. Les indigènes du haut Pérou, particulièrement ceux des plaines si élevées du Cuzco, sont peut-être plus exposés qu'aucun autre peuple à voir leurs récoltes détruites par l'effet du rayonnement nocturne. Les Incas avaient parfaitement déterminé les conditions sous lesquelles on doit craindre la gelée pendant la nuit. Ils avaient reconnu qu'il ne gèle que lorsque le ciel est pur et l'atmosphère tranquille ; sachant par conséquent que la présence des nuages s'oppose à la gelée, ils avaient imaginé, pour préserver leurs champs contre le froid, de faire naître, pour ainsi dire, des nuages artificiels. Lorsque la nuit s'annonçait de manière à faire craindre une gelée, c'est-à-dire lorsque les étoiles brillaient d'un vif éclat et que l'air était peu agité, les Indiens mettaient le feu à des tas de paille humide, au fumier, afin de produire beaucoup de fumée, et de troubler, par ce moyen, la transparence de l'atmosphère dont ils avaient tant à redouter. On conçoit, au reste, qu'il est facile de troubler la transparence d'un air calme en faisant de la fumée ; il en serait tout autrement s'il faisait du vent, mais alors la précaution elle-même deviendrait tout à fait inutile, puisque dans un air agité, quand le vent souffle, on n'a plus à craindre la gelée causée par la radiation nocturne.

La pratique que je viens de mentionner, est décrite

par l'Inca Garcilaso de la Vega, dans ses *Commentarios reales del Peru*. Garcilaso était né dans la ville impériale de Cuzco, et dès son enfance il avait vu maintes fois les Indiens faire de la fumée pour préserver leurs champs de maïs de la gelée. Voici d'ailleurs la traduction du passage vraiment curieux de l'historien du Pérou.

« Lorsque les Indiens voyaient, à la nuit tombante, le ciel découvert et sans aucun nuage, craignant alors la gelée, ils brûlaient du fumier afin de produire de la fumée, et chacun d'eux en particulier tâchait de faire de la fumée dans sa cour, parce qu'ils disaient que la fumée empêche la gelée en faisant comme les nuages l'office d'une couverture. Ce que je rapporte ici, je l'ai vu pratiquer dans le Cosco. Si les Indiens le pratiquent encore aujourd'hui, je n'en sais rien ; je n'ai jamais su non plus s'il est vrai que la fumée puisse empêcher la gelée, car alors j'étais trop enfant pour chercher à approfondir ce que je voyais faire aux Indiens (1). »

Le refroidissement des corps occasionné par la radiation nocturne est toujours accompagné d'un dépôt d'humidité qui s'opère à leur surface sous forme de gouttelettes, de *rosée*. Les ingénieuses expériences de Wells ayant démontré que l'apparition de la rosée suit constamment et ne précède jamais l'abaissement de la température des objets sur lesquels elle se dé-

(1) Les heureux effets de la fumée, pour prévenir la congélation nocturne, sont aussi signalés par Pline le naturaliste.

pose, le phénomène ne peut être attribué qu'à une simple condensation de la vapeur aqueuse contenue dans l'air, comparable en tout point à la précipitation qui s'opère sur les parois d'un vase renfermant un liquide plus froid que l'air (1). La quantité d'humidité que l'atmosphère renferme est d'autant plus grande que la température est plus élevée. Aussi dans les pays très-chauds, la rosée apparaît avec assez d'abondance pour favoriser la végétation en suppléant à la pluie pendant une grande partie de l'année. Dans l'opinion de plusieurs météorologistes, ce serait sur les côtes que l'on observerait la rosée la plus forte ; elle serait presque nulle dans l'intérieur des grands continents, et ne se manifesterait que dans le voisinage des lacs et des fleuves (2). J'avoue que je ne saurais partager cette opinion énoncée d'une manière aussi absolue. Je n'ai jamais eu l'occasion de voir une rosée aussi abondante que celle qui se produit quelquefois dans les steppes de San-Martin, à l'est de la Cordillère orientale des Andes, à une très-grande distance de la mer ; son abondance était telle, que pendant plusieurs nuits il me fut impossible d'employer un horizon artificiel en verre noir, pour prendre des hauteurs méridiennes d'étoiles ; à l'instant même où l'appareil était en présence du ciel, il se déposait une si grande quantité d'eau à la surface du verre qu'elle ruisselait de tous côtés ; il fallut avoir

(1) Arago, *Annuaire des longitudes*, année 1837, p. 160.

(2) Kaemtz, *Météorologie*, p. 105, traduct.

recours au mercure pour recevoir l'image de l'étoile en observation (1). Durant les nuits pures et calmes, le gazon de ces plaines immenses reçoit, sous forme de rosée, une quantité considérable d'humidité qui tempère, par son évaporation, l'excessive chaleur du jour. Dans les climats tropicaux, les forêts contribuent à abaisser la température, à la naissance et à l'entretien des sources, en faisant passer la vapeur aqueuse de l'air à l'état de rosée. Dans les régions très-chaudes il est rare de bivouaquer dans une clairière, lorsque la nuit est favorable à la radiation, sans entendre l'eau dégoutter continuellement des arbres environnants. Je puis citer, entre bon nombre d'observations de ce genre, celle que je fis dans une forêt du Cauca. Au *contadero de las coles*, où je bivouaquai; la nuit était magnifique, et cependant dans la forêt dont les premiers arbres se trouvaient à quelques mètres, il pleuvait abondamment; la lumière de la lune permettait de voir l'eau ruisseler de leurs branches supérieures (2).

Il est possible que la transpiration des parties vertes des arbres vienne s'ajouter à la rosée et augmenter l'intensité du phénomène que je décris, mais j'incline à croire que le refroidissement des feuilles par voie de radiation a la plus large part dans la production de l'humidité. Il est vrai que de toutes les feuilles

(1) C'était en 1824, lors de la campagne entreprise pour lever la carte du rio Méta: MM. Roulin et Rivero, qui faisaient partie de l'expédition, ont été témoins de ce fait.

(2) Dans la nuit du 4 au 5 juillet 1827.

qui garnissent la cime d'un arbre, celles dont la totalité ou une partie de la surface rayonne librement vers l'espace, interceptent, comme le ferait un écran, la radiation des branches inférieures, d'autant plus, que les bois de l'équateur sont tellement fourrés, que souvent ils sont impénétrables à la lumière. Mais, comme l'a fait observer M. de Humboldt, si les branches qui couronnent un arbre se refroidissent directement par émission, celles situées immédiatement au-dessous donneront, en rayonnant vers la partie inférieure des feuilles déjà refroidies, plus de chaleur qu'elles n'en recevront; leur température baissera nécessairement, et ce refroidissement se propagera de haut en bas, jusqu'à ce que la masse entière de l'arbre y participe. C'est ainsi que l'air ambiant, en circulant entre les feuilles, se refroidit durant les nuits claires; et pour juger de l'influence qu'un sol forestier exerce sur l'abaissement de la température d'une contrée, il suffit de se rappeler avec M. de Humboldt, qu'en raison de la multiplicité de ses organes foliacés, un arbre dont le sommet ne présente qu'une section horizontale de 40 mètres carrés, influe réellement sur le refroidissement de l'atmosphère par une surface plusieurs milliers de fois plus étendue que cette section (1).

La proportion de vapeur contenue dans un gaz étant d'autant plus grande que la température est plus élevée, toutes les causes qui refroidissent l'air

(1) Humboldt, *Asie centrale*, t. III, p. 303.

peut établir d'une manière générale que sur les plateaux assez élevés pour posséder une température moyenne de 10° à 14°, les cultures sont exposées à souffrir de la gelée. Il arrive assez souvent qu'une récolte de blé, d'orge, de maïs ou de pomme de terre, donnant les plus belles espérances, est détruite dans une nuit par l'effet du rayonnement.

En France, pendant les belles nuits d'avril et de mai, quand le ciel est serein, les bourgeons, les feuilles, les jeunes pousses deviennent roux, en un mot se gèlent, quoique dans l'air un thermomètre se maintienne à plusieurs degrés au-dessus de zéro. Les jardiniers, comme on sait, attribuent cette action fâcheuse à la lumière de la lune à *la lune rousse*, en fondant leur opinion sur ce fait, que par un ciel couvert, quand les rayons de l'astre n'éclairent pas les plantes, les effets destructifs ne se montrent plus, bien que l'atmosphère ait sensiblement la même température. Dans les hautes Cordilières, les cultivateurs attribuent aussi à la lumière de la lune les mêmes propriétés nuisibles, et il y a cette seule différence que, selon eux, l'influence fâcheuse persiste durant toute l'année, en d'autres termes, on a toujours la lune rousse. Il est digne de remarque que, dans le environs de Paris, la température moyenne (10°—14°) des mois d'avril et de mai représente précisément le climat constant des stations des Cordilières où l'on redoute pour les plantes les effets de la gelée. M. Arago a montré que le froid attribué à la lumière de la lune est simplement la conséquence de la radiation noc-

turne, dans une saison où le thermomètre est fréquemment, pendant la nuit, à 5° ou 6° degrés au-dessus de zéro (1). Dans ces conditions, où la température d'un végétal descend fréquemment au-dessous du point de congélation, une culture peut souffrir de la gelée. Le phénomène se réalisera particulièrement par un ciel serein; or, c'est alors que la lune est visible; quand au contraire elle est cachée par les nuages, le temps est couvert et alors la condition principale de la radiation nocturne ne se présente pas: la température des corps terrestres ne s'abaissera plus au-dessous de celle de l'air ambiant, et les plantes ne gèleront qu'autant que l'atmosphère elle-même sera à zéro. Ainsi, comme l'a fait remarquer M. Arago, l'observation des jardiniers n'était point fautive, elle était incomplète.

Si le gel des parties molles des végétaux, dans des circonstances où l'air reste à plusieurs degrés au-dessus du point de congélation, est réellement dû à l'émission des rayons calorifiques vers l'espace céleste, il doit arriver qu'un écran placé au-dessus d'un corps qui rayonne, de manière à masquer une portion du ciel, doit en empêcher ou tout au moins en affaiblir le refroidissement. C'est effectivement ce qui a lieu. D'après les belles recherches de Wells, un thermomètre posé sur une planche d'une certaine épaisseur à un mètre au-dessus du sol, indique quelquefois, par un temps calme et serein, 5 degrés de

(1) Arago, *Annuaire des longitudes*, année 1822.

moins qu'un second thermomètre fixé sous la face inférieure de la planche (1). Ainsi s'explique l'utilité des nattes, des châssis, des couches de pailles, en un mot de tous ces abris légers avec lesquels les jardiniers couvrent les plantes délicates. Avant qu'on sût que les corps placés à la surface de la terre deviennent, pendant une belle nuit, plus froids que l'air qui les entoure, on n'apercevait pas la raison de cette pratique, car il était réellement impossible de concevoir que d'aussi minces écrans pussent garantir une plante de la basse température de l'atmosphère.

Ces moyens, aussi simples qu'efficaces de protéger les plantes dans les jardins, sont rarement applicables dans la grande culture, où la surface à préserver est toujours très-étendue. Cependant, dans les hivers rigoureux, le froid en pénétrant dans le sol détruirait souvent les champs ensemencés en automne si, dans les hautes latitudes, la neige en couvrant la terre, ne devenait pas un puissant obstacle au refroidissement, en agissant à la fois comme une enveloppe et comme un écran. Comme une enveloppe, car la neige est une des substances les moins conductrices, une de celles qui, pour une épaisseur donnée, s'oppose le plus au passage de la chaleur; elle est donc un obstacle à peu près insurmontable à ce que la terre qui la supporte se mette en équilibre de température avec l'atmosphère. Comme un écran, parce qu'en abritant le sol, la neige le soustrait au refroidissement

(1) Arago, *Annuaire des longitudes*, année 1839, p. 150

qu'il ne manquerait pas d'éprouver dans les nuits sereines en rayonnant vers les cieux. On sait d'ailleurs qu'en Europe, le manque de neige occasionne souvent la perte des céréales d'automne.

C'est en effet à la surface de la neige qu'a lieu le plus grand abaissement de température, pendant la nuit, comme le prouvent quelques observations faites en février de 1841. J'avais : 1° un thermomètre sur la neige, la boule de l'instrument était recouverte de 2 à 3 millimètres de neige en poudre; 2° un thermomètre dont le réservoir se trouvait placé sous la couche de neige, et par conséquent en contact avec le sol; 3° un thermomètre à l'air libre, à 12 mètres au-dessus du sol, au nord d'un bâtiment.

La couche de neige avait alors un décimètre d'épaisseur; elle couvrait, depuis un mois, un champ ensemencé de blé sur lequel le soleil donnait en plein, les jours où j'ai observé.

Voici le détail des observations :

11 février à cinq heures du soir depuis une demi-heure, le soleil est caché par les montagnes. Ciel découvert, air très-calme.

Thermomètres :	Degrés.
Sous la neige.....	0
Sur la neige.....	- 1,5 (1)
A l'air libre.. ..	2,5

12 février; la nuit a été très-belle, pas de nuages,

(1) A peine le soleil était-il caché derrière les montagnes, que le rayonnement de la surface de la neige devenait sensible.