

41538

F. HOUDAILLE. —

Météorologie agricole.

41.538



*Section du Biologiste*

F. HOUDAILLE

# MÉTÉOROLOGIE

## AGRICOLE

G. MASSON

GAUTHIER-VILLARS ET FILS



ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉ

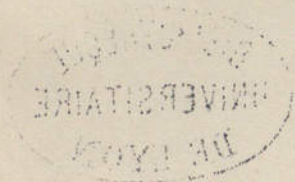
SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

HOUDAILLE — Météorologie agricole

1



*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie  
scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien  
élève de l'Ecole Polytechnique, Secrétaire général,  
46, rue Jouffroy (boulevard Malesherbes), Paris.*



N° 128 B

41,538

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

# MÉTÉOROLOGIE

## AGRICOLE

PAR

F. HOUDAILLE

Professeur de Physique et de Géologie  
à l'École d'Agriculture de Montpellier



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

Quai des Grands-Augustins, 55

(Tous droits réservés)



## AVERTISSEMENT

---

L'atmosphère est le laboratoire naturel de l'agriculture ; c'est en plein air que se développent les cultures variées qui sont le but principal de la production agricole ; c'est en plein champ que s'exécutent la plupart des opérations qui visent la préparation définitive des produits du sol. Parmi les rares manipulations qui ont lieu sous le couvert des bâtiments de ferme, plusieurs sont encore sous la dépendance assez directe des conditions de l'atmosphère extérieure. Or, la météorologie agricole peut être définie la science qui étudie la constitution de l'atmosphère et les lois de ses mouvements en tant qu'ils intéressent l'agriculture. On voit par suite quelle place importante devrait tenir cette science d'application dans le cortège des sciences appliquées à l'agriculture. Dire qu'elle l'a obtenue ce serait exagérer son rôle ; mais prévoir



qu'elle l'obtiendra n'est peut-être pas une illusion.

On ne saurait toujours, d'ailleurs, exactement juger de l'utilité d'une science par la place qu'elle a prise dans les préoccupations des praticiens. Beaucoup d'agriculteurs font souvent de la science sans s'en douter et mettent à contribution les données de la météorologie sans penser qu'ils font appel à ses enseignements.

Une seconde raison qui a nui beaucoup au développement de la météorologie agricole, c'est qu'on a voulu lui demander trop tôt ce qu'elle était encore impuissante à donner. Sous prétexte que la préoccupation la plus urgente des agriculteurs était de connaître le temps du lendemain, on s'est borné à lui demander la prévision du temps. Les premiers résultats obtenus dans cette voie ont été peu satisfaisants et c'est sans doute sous l'impression de cette pénible constatation qu'Arago écrivit cette phrase qui peut aujourd'hui paraître un peu excessive : « Jamais, quels que puissent être les progrès des sciences, les savants de bonne foi et soucieux de leur réputation ne se hasarderont à prédire le temps ».

Les tendances actuelles de la météorologie agricole semblent devoir concourir vers un double but.

1<sup>o</sup> Donner sur les conditions de l'atmosphère dans ses rapports avec l'agriculture des indications analogues à celles que relèvent les chimistes et les géologues touchant la constitution des sols.

2<sup>o</sup> Faciliter à l'agriculteur l'étude des procédés pratiques qui lui permettent soit de prévoir les modifications de l'atmosphère, soit de tirer parti des éléments météorologiques, soit de lutter utilement contre eux.

Afin de livrer à l'agriculteur praticien sous la forme la plus concise et la plus claire les notions élémentaires de météorologie agricole qui sont nécessaires pour réaliser ce double enseignement, nous avons cru utile de diviser le présent travail en trois parties distinctes. Dans la première, nous avons condensé les notions générales relatives à la constitution de l'atmosphère et aux lois de ses mouvements. Dans la seconde, nous avons résumé les procédés de mesure les plus pratiques, permettant de définir la valeur et par suite le mode d'action des divers éléments météorologiques. Dans la troisième, nous avons rapporté les principales applications de la météorologie à l'agriculture concernant soit la prévision du temps, soit l'utilisation agricole des divers éléments météorologiques, soit la lutte

engagée contre eux. Enfin, pour remédier à l'exposé nécessairement incomplet de plusieurs points abordés au cours de ce *précis de météorologie agricole*, nous avons consacré quelques pages à l'indication bibliographique des principaux ouvrages généraux ou des mémoires spéciaux qui nous ont paru présenter les rapports les plus directs avec le sujet de notre étude.

---



## CHAPITRE PREMIER

---

### LES PHÉNOMÈNES DE L'ATMOSPHÈRE

#### LA RADIATION SOLAIRE

1. — Le soleil peut être considéré à juste titre comme la cause première des mouvements divers dont l'atmosphère est le siège ; c'est le moteur universel des phénomènes météorologiques. La radiation solaire est en même temps, de tous les facteurs météorologiques, celui qui exerce l'action la plus directe et la plus énergique sur le développement de la végétation. Non seulement la radiation agit directement sur la plante pour régler les phénomènes de l'assimilation du carbone et de la transpiration végétale ; mais encore elle commande, à titre de premier moteur, la température de l'air et du



sol. L'intensité de l'évaporation à la surface du sol et les variations de l'humidité atmosphérique, sont également sous sa dépendance.

**2. Constitution physique du soleil.** — Le soleil globe incandescent dont le diamètre égale 108,7 diamètres terrestres est formé par la réunion de plusieurs enveloppes qui se recouvrent successivement. Au centre est le *noyau central* obscur constitué par des gaz surchauffés à haute pression ; sa densité est voisine de 1,5 ; il est enveloppé d'une zone étroite où les phénomènes de combustion et de rayonnement calorifique atteignent leur maximum d'activité ; c'est la *zone de combustion*. Au-dessus s'étend une atmosphère assez dense teintée de rose, *chromosphère*, à la partie inférieure de laquelle flottent de brillants nuages qui rayonnent dans toutes les directions avec une prodigieuse activité, les radiations du soleil. Ce banc de nuages incandescents constitue la *photosphère*. Des limites extérieures de l'atmosphère rosée du soleil, jaillissent par intervalles de formidables éruptions gazeuses rougeâtres rapportées à l'hydrogène incandescent : ce sont les *protubérances solaires*. Enfin, le disque du soleil est environné à une grande distance par une auréole à contours irréguliers renfermant un gaz extrêmement raréfié de com-

position inconnue. C'est la *couronne* ou *atmosphère coronaire*.

De toutes ces enveloppes celle que nous apercevons le plus directement est la photosphère. Cette atmosphère du soleil est encombrée de nuages de vapeurs incandescentes qui tourbillonnent parfois à la façon des nuages entraînés par nos cyclones terrestres. Le centre de ces tourbillons se creuse en entonnoir et laisse apercevoir le noyau central obscur sous forme d'une tache noire bordée d'une pénombre : Ce sont les *taches solaires* qui restreindraient très notablement l'émission de la radiation solaire si elles venaient à prendre un développement exagéré. Mais ces taches n'envahissent jamais qu'une faible partie du disque solaire ; elles sont accompagnées de taches brillantes *facules* où l'émission de chaleur est plus vive. Aussi bien que leur nombre et leur étendue soit soumise à une périodicité de 11 ans environ, l'émission de la radiation solaire peut être considérée comme très sensiblement constante. Cette émission continue correspond à la circulation d'une énorme quantité d'énergie transportée de la surface solaire aux limites supérieures de notre atmosphère terrestre malgré la distance de 23 000 rayons terrestres qui les séparent.

### 3. Les trois formes de l'énergie solaire.

— L'énergie solaire ainsi transportée jusqu'à nous se manifeste sous trois formes essentiellement différentes. Un même rayon de soleil se propage à l'aide d'ondulations d'inégale grandeur et de propriétés différentes. Les unes, les plus longues, produisent sur nos organes l'impression du chaud et du froid ; elles n'impressionnent pas notre œil : ce sont les *ondulations calorifiques*. D'autres, plus courtes, agissent en même temps sur notre rétine : ce sont les *ondulations lumineuses* ; elles sont lumière et chaleur à la fois. Enfin, des ondulations plus courtes encore, dont quelques-unes peuvent passer inaperçues pour notre œil, n'apportent le plus souvent avec elles que des traces de chaleur, agissent activement pour provoquer des combinaisons ou des décompositions chimiques : ce sont les *ondulations chimiques*. Chaleur, lumière, activité chimique : telles sont les formes d'énergie manifestées par la radiation solaire.

**4. La chaleur du soleil.** — Bien que la quantité de chaleur versée par le soleil aux limites supérieures de notre atmosphère soit à peu près constante d'un bout à l'autre de l'année, l'intensité de la radiation calorifique reçue à la surface du sol subit, dans le cours de la journée et de



l'année, des variations très étendues. Les variations, qui déterminent en grande partie la diversité des conditions météorologiques offertes par l'atmosphère au développement de la végétation, sont essentiellement sous la dépendance, d'une part, des mouvements astronomiques qui emportent la terre dans sa course diurne et annuelle autour du soleil et, d'autre part, des changements de constitution de notre atmosphère auxquels correspondent des variations assez étendues de sa transparence pour les radiations calorifiques.

Les principaux mouvements astronomiques qui intéressent la marche diurne et annuelle de la radiation solaire, peuvent se réduire aux trois points suivants : 1° La terre tourne sur elle-même en 24 heures, 2° la terre se déplace annuellement autour du soleil en décrivant une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers, 3° la ligne des pôles est inclinée sur le plan de l'orbite et se transporte dans le cours de l'année autour du soleil en restant très sensiblement parallèle à sa direction primitive. On déduit du principe 1 l'existence des jours et des nuits, du principe 2 le déplacement apparent du soleil dans les diverses constellations zodiacales, du principe 2 et du principe 3 l'inégalité des jours



et des nuits aux diverses époques de l'année, les changements de hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, l'existence des saisons inégalement chaudes divisant l'année en quatre périodes à peu près égales, enfin des principes 1, 2 et 3 combinés les variations de hauteur du soleil dans le ciel aux divers instants d'une même journée et les modifications que présente la marche du soleil dans le ciel, soit pour diverses journées, soit à des latitudes différentes.

5. — C'est tout d'abord la marche annuelle de la chaleur solaire qui règle le cours des *saisons*. Quand, vers le 21 juin, l'hémisphère nord que nous habitons est dirigé vers le soleil, les rayons de ce dernier tombent presque perpendiculairement sur le sol et l'échauffent à son maximum. En même temps, la durée des jours est la plus longue possible, par rapport à celle des nuits, et la période diurne d'échauffement du sol de notre hémisphère est aussi maxima. C'est la saison d'*été*. Six mois plus tard, l'hémisphère sud a son été, tandis que notre hémisphère nord ne reçoit plus du soleil que des rayons très obliques : c'est l'*hiver*. Entre ces deux saisons se placent deux périodes au commencement desquelles les jours sont égaux aux nuits, et pour lesquelles l'obliquité des rayons solaires est intermédiaire.

entre celle de l'été et celle de l'hiver : Ce sont le *printemps* et l'*automne*. L'été commence le 21 juin, l'automne le 23 septembre, l'hiver le 22 décembre, le printemps le 21 mars. De ces quatre saisons de l'année, l'été est la plus longue, 93 jours, 14 heures, l'hiver la plus courte, 89 jours, 0 heures. La durée du printemps est de 92 jours, 20 heures, celle de l'automne 89 jours, 18 heures.

6. — On désigne sous le nom d'*intensité calorifique de la radiation solaire*, la quantité de chaleur exprimée en calories, gramme, degré, reçue par minute sur une surface de 1 centimètre carré, exposée normalement à la radiation incidente. C'est là un élément complètement distinct de la température de l'air, et dont la marche diurne et annuelle présente un intérêt tout spécial pour l'étude des phénomènes agricoles. L'intensité de la radiation solaire tend à augmenter quand l'épaisseur atmosphérique traversée diminue et que sa transparence augmente. Si la quantité de vapeur d'eau était constante dans l'atmosphère à toute époque de l'année, l'intensité de la radiation serait minima en hiver, 22 décembre, maxima au 21 juin ; elle devrait croître également du lever du soleil jusqu'à midi. La variation de la teneur de l'at-

mosphère en vapeur d'eau et ses changements d'état modifient un peu cette marche théorique. La transparence de l'air décroît régulièrement de décembre jusqu'en juin, et l'état d'équilibre entre l'accroissement de la radiation et celui de l'opacité est atteint dès le mois d'avril. C'est l'époque où le soleil, étant déjà assez haut sur l'horizon, l'atmosphère desséchée par les froids de l'hiver est encore assez pauvre de vapeur d'eau. Au 21 juin, les vapeurs encombrant l'atmosphère, l'intensité de la radiation passe alors le plus souvent par son minimum. Une éclaircie a lieu en juillet et août; la radiation remonte, puis les intensités calorifiques décroissent jusqu'au mois de décembre. De même, dans le cours de la journée, ce n'est pas à midi que le soleil est le plus chaud, mais bien de dix à onze heures du matin. La radiation, à deux heures du soir, est en général un peu plus élevée que celle de midi.

La valeur de l'intensité calorifique à midi varie, aux diverses époques de l'année, de  $0^{\text{cal}},90$  à  $1^{\text{cal}},30$  sous le climat de Montpellier. La quantité de chaleur reçue en moyenne par jour à la surface de 1 centimètre carré du sol horizontal a varié de  $53^{\text{cal}},5$  en décembre à  $357^{\text{cal}}$  en juillet. Le total annuel de la chaleur reçue par le sol varie assez largement d'une année à l'autre



soit pour une même saison, soit pour l'ensemble de l'année. L'apport de la radiation évalué pendant 7 années consécutives a varié de 60 346<sup>cal</sup> en 1885 à 84 468<sup>cal</sup> en 1883 ; sa valeur moyenne serait voisine de 70 000 calories. Une telle quantité de chaleur suffirait à évaporer, sur toute la surface du sol, une couche d'eau de 1<sup>m</sup>,20 ou à fondre une épaisseur de glace de 9 mètres. Si l'agriculteur pouvait transformer en travail la chaleur reçue sur un hectare de terrain, il pourrait obtenir d'un bout à l'autre de l'année un travail équivalent à celui de 1250 chevaux-vapeur, en réalisant une économie journalière d'environ 90 000 kilogrammes de charbon.

**7. La lumière du soleil.** — L'absorption de la lumière par l'atmosphère transparente est beaucoup plus faible que celle de la chaleur. Cette absorption existe néanmoins et devient très sensible, lorsqu'à la composition normale de l'atmosphère s'ajoute la vapeur d'eau à l'état de fines vésicules. Celle-ci détermine, sur les diverses radiations dont se compose la lumière solaire, une sorte de triage. Les radiations rouges sont les moins arrêtées au passage, et l'atmosphère dans le voisinage de l'horizon se colore fréquemment en rouge vers le lever et vers le



coucher du soleil. Les radiations bleues retenues dans les hautes régions de l'atmosphère s'y diffusent et déterminent la coloration bleue du ciel. Si l'on mesure l'intensité de la radiation lumineuse par la détermination de l'intensité calorifique des rayons lumineux, on obtient pour la lumière une marche diurne assez semblable à celle de la radiation calorifique pour les journées où l'atmosphère est libre de nuages. La présence d'un léger voile de nuages réduit au contraire considérablement l'intensité calorifique, et affecte peu l'intensité lumineuse de la radiation. Les variations de l'intensité de la lumière diffusée de tous les points du ciel n'affectent pas moins la végétation que le rayonnement lumineux direct du soleil. La lumière directe, en effet, n'agit que sur les feuilles des plantes qui y sont directement exposées; la lumière diffusée par l'ensemble de la voûte céleste agit sur tous les organes aériens de la plante qui sont comme baignés de toute part dans cette lumière.

8. — Toutefois, lorsque l'opacité des nuages augmente, la quantité de lumière directe et diffusée de tous les points du ciel se réduit elle-même dans une notable proportion. C'est pour préciser cette notion, qu'il y a un réel intérêt, au point de vue agricole, à noter la *nébulosité* du

*ciel* estimée d'après la valeur de la fraction du ciel couverte par les nuages. On comprend cependant, par ce qui vient d'être dit, que l'on ne puisse attacher un bien grand degré de précision aux indications données par cette méthode d'évolution de la luminosité de notre atmosphère.

**9. L'énergie chimique du soleil.** — Une partie de l'énergie apportée par les diverses radiations du soleil peut se dépenser lorsqu'elle pénètre dans certaines substances à y provoquer des combinaisons ou des réductions. Le travail de démolition ou de construction des nouveaux édifices moléculaires ainsi réalisé, représente une partie de l'énergie chimique de la radiation incidente. D'une manière générale, les rayons du jaune au rouge sont plus propres à effectuer les oxydations et les rayons du jaune au violet et à l'ultra violet les réductions. Toutefois, l'énergie chimique dont disposent les divers rayons lumineux du spectre varie un peu suivant la nature des corps sur lesquels portent les oxydations et les réductions. De plus, le passage des divers rayons au travers de substances spéciales peut leur communiquer un regain d'activité chimique pour effectuer certaines décompositions. M. Vogel a observé qu'il suffisait de mêler au bromure

d'argent certaines matières colorantes qui absorbent fortement les rayons rouges pour leur permettre de réduire aussi énergiquement les sels d'argent que les rayons violets. Cette remarque explique comment, par l'intermédiaire de la chlorophylle, les rayons rouges sont, dans l'assimilation du carbone par les végétaux, les rayons qui jouent le rôle réducteur principal dans la décomposition de l'acide carbonique de l'atmosphère.

L'activité chimique de la lumière diffuse croît d'abord rapidement, depuis le lever du soleil jusqu'à ce que cet astre se soit élevé de  $20^{\circ}$  à  $30^{\circ}$  au-dessus de l'horizon. C'est aussi la période pour laquelle l'épaisseur atmosphérique traversée varie le plus rapidement. Puis l'activité chimique progresse plus lentement et passe par un maximum avant que le soleil ait atteint sa plus grande hauteur au-dessus de l'horizon. La valeur de ce maximum diffère peu toutefois de la valeur de l'activité chimique à midi. Les observations de M. Marchand à Fécamp qui ont porté sur la décomposition de l'acide oxalique, au contact du perchlorure de fer, indiquent une variation très étendue de l'action chimique, moyenne diurne pour les divers mois de l'année. Cette activité totale diurne a varié, pour une



moyenne de 4 années 1869-72, de 1,84 en janvier à 21,41 en juillet. Le maximum de juillet se superposerait ainsi au maximum de l'énergie calorifique et lumineuse reçue à cette époque de l'année par l'unité de surface du sol horizontal.

Telles sont les conditions principales dans lesquelles s'exerce la distribution des trois formes de l'énergie contenue dans la radiation solaire. Les indications que nous venons de donner au sujet de l'étendue de leurs variations diurnes et annuelles, montrent l'importance toute spéciale que présente, pour l'agriculteur, leur détermination en vue de l'appréciation des conditions annuelles, essentiellement variables, offertes au développement périodique de la végétation.

#### LA TEMPÉRATURE DE L'AIR ET DU SOL

10. — La quantité variable de mouvement calorifique résidant à l'intérieur des divers corps plus ou moins chauds, est exprimée par une échelle de niveau conventionnelle à laquelle on a donné le nom de *température*. La variation du niveau calorifique, s'étendant depuis la tem-

pérature de la fusion de la glace jusqu'à celle de l'ébullition de l'eau sous la pression normale de 760 millimètres, comprend l'intervalle de 100 degrés centigrades.

Les corps portés à des températures différentes emploient trois méthodes essentielles pour échanger leur chaleur intérieure ; ils tendent sans cesse à égaliser leur température en employant les méthodes de transport par *rayonnement*, par *conductibilité* et par *courants* de transport.

Le transport par *rayonnement* est utilisé par le soleil pour nous faire participer à sa température élevée. La chaleur par cette méthode se transporte d'un corps à un autre en traversant souvent, sans l'échauffer, un corps intermédiaire. Tous les corps ne se laissent pas toutefois également bien traverser. Il existe des corps opaques pour la chaleur comme pour la lumière ; on les appelle corps *athermanes*. Les corps transparents pour la chaleur sont dits *diathermanes*. Cette transparence n'est jamais absolue.

L'échange de température par *conductibilité* est un procédé aussi général que celui du rayonnement. Tout corps chaud, placé immédiatement au contact d'un corps plus chaud, lui cède de proche en proche sa chaleur ; il y a si-

multanément élévation et variation de température dans les points intermédiaires. La vitesse de communication de la chaleur par ce procédé n'a rien de commun avec la transparence pour la chaleur ou pouvoir diathermane. Les *coefficients* ou *indices de conductibilité* sont complètement indépendants des *coefficients de transparence*.

Le transport de chaleur par *courants* est réalisé dans les corps liquides et gazeux. Lorsqu'il existe à la partie inférieure d'une masse liquide ou gazeuse une région à température plus élevée, la densité de ces substances diminue au voisinage du point chauffé et un courant ascensionnel se produit. Les parties chaudes et inférieures du liquide vont se mélanger avec les parties froides supérieures. Comme ce phénomène spécial de transport s'accompagne d'une courbure des strates d'égale densité autour du point chauffé, on a donné à ces courants distributeurs de la chaleur dans les liquides et les gaz le nom de *courants de convection*.

**11. Température du sol.** — Le pouvoir diathermane de l'atmosphère pour les rayons lumineux calorifiques qui prédominent dans la radiation solaire étant très-élevé, l'air ne s'échauffe pas sensiblement au passage de la ra-



diation solaire, mais bien plutôt par conductibilité au contact du sol. C'est la température du sol qui règle la température de l'air.

12. — L'échauffement inégal des divers sols pour une même quantité de chaleur incidente, résulte des propriétés physiques qui différencient les différents terrains. La variabilité du *pouvoir absorbant* explique les différences d'échauffement des sols blancs crayeux et des sols de couleur sombre, noirs ou rutilants, ainsi que celles observées entre les terrains nus et les sols recouverts de végétation. Mais il ne suffit pas à un sol d'absorber la chaleur pour que sa température s'élève, il faut encore qu'il puisse la conserver. La faculté de retenir la chaleur qui est en relation avec le *pouvoir émissif* et la *conductibilité* intérieure des sols varierait, d'après les expériences de Schubler, depuis 100 pour le sable calcaire jusqu'à 49 pour l'humus. Enfin, les sols dont la chaleur spécifique est élevée sont aussi ceux qui s'échauffent le moins et, comme la chaleur spécifique des éléments minéraux du sol est au moins quatre fois plus faible que celle de l'eau, c'est surtout la proportion d'eau qui fait varier la température des divers terrains. Les sols humides sont, en général des *terres froides*.

13. — La *température du sol* à la surface croît progressivement depuis le lever du soleil jusqu'aux premières heures de l'après-midi pour décroître ensuite jusqu'au lever du soleil du jour suivant. La température du sol croît le plus rapidement possible vers 9 ou 10 heures du matin ; elle décroît le plus rapidement après le coucher du soleil. La chaleur, se communiquant de proche en proche par conductibilité, la température des couches plus profondes suit une marche diurne analogue. Toutefois la transmission des maxima et des minima de température présente un retard rapidement croissant avec la profondeur. Déjà, à la profondeur de  $0^m,75$ , le maximum de la température n'est réalisé que vers 6 heures du soir, alors qu'il se produit à la surface peu de temps après midi. En même temps la *variation de l'amplitude de l'oscillation diurne de température* décroît rapidement et telle journée, pour laquelle le minimum diffère du maximum à la surface de  $10$  à  $12^\circ$ , ne présente plus à  $0^m,25$  qu'une oscillation diurne de  $1$  à  $1^\circ,5$ . A un mètre de profondeur, la variation diurne de température passe complètement inaperçue.

14. — La *marche annuelle de la température du sol* présente des caractères voisins de ceux

révélés par l'examen de la marche diurne. Le maximum et le minimum de température annuels retardent avec la profondeur. A la profondeur de 7 à 8 mètres, le retard est voisin de 6 mois. L'amplitude de l'oscillation annuelle se réduit également beaucoup. De  $20^{\circ}$  à  $0^{\text{m}}25$ , l'oscillation annuelle se réduit à  $10$  ou  $12^{\circ}$  à  $1^{\text{m}},00$ ; elle est inférieure à  $1^{\circ}$  à la profondeur de 8 mètres et devient insignifiante à 20 mètres de profondeur sous la latitude de Paris. Comme, d'autre part, le retard dans la propagation des accidents de la marche annuelle des températures à la surface, est de 1 an à cette profondeur, la constance absolue de la température est à peu près réalisée d'un bout à l'autre de l'année : c'est la *couche à température invariable*. A partir de cette limite, les variations annuelles de la température disparaissent, mais la température du sol progresse plus ou moins régulièrement sous l'action de la chaleur centrale du globe, à raison de 1 degré pour 32 mètres environ.

15. — La profondeur à laquelle pénètre la gelée dans le sol pendant nos hivers dépend à la fois de la conductibilité du sol pour la chaleur et de sa perméabilité pour l'air froid. M. Guillaume a observé à Nancy un intervalle de plus de 15 jours dans la pénétration du gel à  $0^{\text{m}}, 15$



dans un sable siliceux et dans un sol crayeux. Le dégel du sol s'opère à la fois par le haut sous l'action du réchauffement des couches supérieures et par le bas sous l'action de la chaleur centrale. La progression de la gelée par jour dans le sol n'est pas très rapide ; elle est d'autant plus faible que la période de gelée est plus longue. Les diverses observations faites à ce sujet indiquent une vitesse de pénétration, variant de 15 à 30 millimètres par jour suivant la durée de la période de froid. En 1789, 33 jours de gelée consécutifs abaissèrent jusqu'à zéro une épaisseur de 0<sup>m</sup>,585, la progression diurne fut de 17<sup>mm</sup>,9. Cette lente pénétration du froid dans le sol permet aux racines de plusieurs végétaux de résister à des périodes de froid plus ou moins prolongées qui les auraient sûrement détruites si elles s'étaient développées à la surface du sol. Si la température de l'air préside au développement extérieur de la végétation, celle du sol règle l'activité souterraine du végétal. On ne saurait trop dire quelle est la plus importante à considérer dans l'évolution annuelle du végétal.

**16. Température de l'air.** — La température de l'air procède de celle du sol et l'élévation progressive de température des couches d'air

s'opère, à la fois en vertu de sa conductibilité spécifique qui est très faible et surtout à l'aide des courants de convection qui prennent naissance à la surface du sol surchauffé. La température commence à s'élever dès le lever du soleil ; elle ne tarde pas à croître rapidement jusqu'à midi, puis plus lentement jusque vers 2 ou 3 heures du soir. A partir de cette époque, elle décroît plus ou moins lentement d'abord puis très rapidement à partir du coucher du soleil et, quelques heures plus tard, elle s'est beaucoup rapprochée en général de son minimum.

La température moyenne d'une journée s'obtient en général en prenant la moyenne du maximum et du minimum diurne de température.

17. — Le refroidissement rapide et progressif de l'atmosphère, depuis le coucher du soleil jusqu'à son lever, est déterminé par le rayonnement de la chaleur terrestre vers les espaces interplanétaires. Pouillet a évalué à  $-140^{\circ}$  la température de ces espaces. Il s'établit ainsi un échange constant de température entre ces deux milieux par voie de rayonnement qui se traduirait par un abaissement constant de la température de notre globe si l'apport périodique de la radiation solaire ne venait chaque jour relever

notre niveau calorifique. Comme cet abaissement de température constant de notre globe est surtout apparent pendant la nuit, on lui a donné le nom de *rayonnement nocturne*. Le rayonnement nocturne s'exerce très inégalement à la surface des divers corps exposés en plein air. Le refroidissement est beaucoup plus grand pour les substances à surface mate ou grenue que pour les corps polis. Le rayonnement de la chaleur terrestre s'exerce surtout dans la direction zénithale. Les nuages interposés sur le trajet des radiations émises sous un angle plus ou moins voisins de l'horizon réduisent beaucoup la perte de chaleur. Aussi, pour protéger un corps contre le rayonnement nocturne, suffit-il, en général, d'intercepter l'émission de chaleur dans la direction du zénith. L'intensité du rayonnement nocturne varie beaucoup avec la transparence de l'atmosphère. Celle-ci étant maxima au printemps, c'est à cette époque de l'année que les gelées, dues au rayonnement nocturne, sont le plus à redouter. Comme, d'autre part, les gelées de printemps se produisent par les nuits les plus sereines, alors que la lune brille vivement dans le ciel, les jardiniers ont accusé à tort notre satellite d'être la cause des méfaits de la gelée (*lune rousse*). L'observation comparée



d'un thermomètre sous abri à 2 mètres du sol et d'un thermomètre exposé librement au niveau du sol, donne une première approximation de l'intensité du rayonnement nocturne. Pendant certaines nuits sereines du printemps, l'écart des températures observées dans ces conditions peut atteindre 3 et 4 degrés. La mesure de la température observée hors de tout abri au niveau du sol est, à ce point de vue, assez utile pour caractériser les conditions réelles de température minima offertes par l'atmosphère au développement de la végétation.

18. — La moyenne des températures diurnes d'un mois donne la température moyenne mensuelle. La température croît depuis le mois de janvier jusqu'au mois de juillet. La marche annuelle présente beaucoup d'analogie avec la marche de la quantité de chaleur reçue aux diverses époques de l'année par le sol horizontal, et la dépendance directe de ces deux éléments ne saurait être douteuse. La progression diurne de température de l'hiver à l'été présente une série d'irrégularité à date à peu près fixe, qui ont été étudiées par divers observateurs et en particulier par M. E. Roche. La répétition fréquente de ces *époques critiques de refroidissement* au cours des diverses années, à des dates à peu près

fixes, semblerait indiquer l'existence de variations périodiques de température, dont les causes doivent se rattacher à la périodicité de l'activité solaire ou de la marche apparente annuelle de cet astre. La constatation de la périodicité de ces époques de refroidissement, si elle était généralisée par la discussion de la marche des températures dans un grand nombre de localités, présenterait, pour les agriculteurs, un très grand intérêt, en leur permettant de prévoir à l'avance les époques où ils ont le plus à redouter les méfaits annuels des gelées de printemps.

19. — La *distribution des températures moyennes annuelles* à la surface du globe terrestre est réglée par diverses influences distinctes au nombre desquelles il convient de citer : la latitude, l'altitude, la proximité des mers, l'étendue des continents, le régime des vents de la localité ; l'action des courants marins. La température moyenne annuelle de points très rapprochés peut, en outre, varier avec l'exposition et l'état de culture du sol. La hauteur à laquelle la température de l'air est mesurée intervient également. Ces diverses conditions contribuent également à introduire une grande diversité dans la marche annuelle des températures des

diverses localités. L'étude du canevas assez compliqué de la distribution des températures à la surface du globe est considérablement facilitée par la considération des lignes d'égale température annuelle *isothermes* et des lignes d'égale température d'été (*isothères*) ou d'hiver *isochimènes*, tracées à la surface du globe.

20. — L'examen de ces lignes révèle l'existence de climats très différents sous une même latitude. On désigne par *climat doux* celui des localités où l'écart de température entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est inférieur à 10°.

Le *climat tempéré* répond à un écart compris entre 10 et 20°. Enfin, le *climat* est *excessif* lorsque cette différence est supérieure à 20°. La température n'est pas le seul facteur du climat ; mais elle en est l'élément essentiel.

La surface de la France a été divisée, au point de vue de la distribution des températures, en six climats distincts dont les lignes de démarcation correspondent généralement avec celles de régions agricoles bien caractérisées.



## ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DES CLIMATS FRANÇAIS

Climats	Température moyenne de l'année	Température		Écart
		Été	Hiver	
Armoricain . . .	11 <sup>o</sup> ,7	16 <sup>o</sup> ,8	7 <sup>o</sup> ,1	9 <sup>o</sup> ,7
Séquanien . . .	10, 0	18, 1	3, 3	14, 8
Vosgien . . .	9, 5	18, 0	1, 5	16, 5
Girondin . . .	13, 5	21, 7	6, 1	15, 6
Rhodanien . . .	11, 8	21, 1	2, 3	18, 8
Méditerranéen .	14, 6	22, 0	5, 8	16, 2
Moyen français .	11, 0	19, 0	4, 0	15, 0

La considération des chiffres du tableau précédent révèle l'existence de régions essentiellement distinctes au point de vue de leurs aptitudes pour la production agricole. La connaissance des climats sert de base essentielle à l'étude des conditions diverses qui règlent la possibilité de l'acclimatation végétale.

## L'HUMIDITÉ DE L'AIR ET DU SOL

21. — L'humidité de l'atmosphère et celle du sol sont réciproquement sous la dépendance l'une de l'autre. C'est du sol plus ou moins humide que s'élèvent chaque jour les vapeurs qui font varier le taux d'humidité de l'atmosphère.

L'atmosphère, à son tour, restitue irrégulièrement au sol, sous forme de condensations diverses, pluie, neige, grêle, rosée, eau hygroscopique, une partie de l'humidité qu'elle a reçue.

L'humidité de l'atmosphère peut s'exprimer 1° par le poids de la vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air; 2° par la tension qu'exerce la vapeur d'eau dans le mélange atmosphérique. La tension  $f$  de cette vapeur n'atteint que rarement la valeur  $F$  qu'elle prendrait si l'air était complètement saturé à la même température. Le rapport  $\frac{f}{F}$  de ces deux tensions représente l'*humidité relative* ou l'*état hygrométrique* de l'atmosphère; le même rapport est encore connu sous le nom de *fraction de saturation*. Lorsque la tension de la vapeur d'eau dans l'air est en effet les  $\frac{3}{4}$  de la tension saturante, la masse d'air est au  $\frac{3}{4}$  saturée. Le poids absolu de la vapeur contenue par mètre cube d'air ne présente pas de relation bien directe avec la plupart des phénomènes qui se rattachent à l'inégale distribution de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Avec 5 grammes de vapeur d'eau par mètre cube l'air peut, en effet, être très sec en été, par une température de 30° et très humide en hiver à la température de 0°. L'air demande en effet, pour être

saturé à différentes températures, des poids très inégaux de vapeur, ainsi que le montre l'examen du tableau suivant :

POIDS DE LA VAPEUR D'EAU  
CONTENUE DANS UN MÈTRE CUBE D'AIR SATURÉ  
ET TENSION MAXIMA DE LA VAPEUR

Température	Poids en grammes	Tension en millimètres	Température	Poids en grammes	Tension en millimètres
0°	4,83	4,57	21°	18,14	18,47
1	5,18	4,91	22	19,22	19,63
2	5,54	5,27	23	20,35	20,86
3	5,92	5,66	24	21,54	22,15
4	6,33	6,07	25	22,79	23,52
5	6,76	6,51	26	24,11	24,96
6	7,22	6,97	27	25,49	26,47
7	7,70	7,47	28	26,93	28,07
8	8,21	7,99	29	28,45	29,74
9	8,76	8,55	30	30,04	31,51
10	9,33	9,14	31	31,70	33,37
11	9,93	9,77	32	33,45	35,32
12	10,57	10,43	33	35,27	37,37
13	11,25	11,14	34	37,18	39,62
14	11,96	11,88	35	39,18	41,78
15	12,71	12,67	36	41,27	44,16
16	13,50	13,51	37	43,46	46,65
17	14,34	14,40	38	45,75	49,26
18	15,22	15,33	39	48,13	52,00
19	16,14	16,32	40	50,62	54,87
20	17,12	17,36			



22. — Les corps poreux, le sol en particulier, peuvent absorber la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère alors même qu'elle n'est pas saturée. Cette absorption constitue le *pouvoir hygroscopique* du sol ; elle est d'autant plus active que l'état hygrométrique est plus élevé.

La vitesse d'évaporation des liquides tels que l'eau, exposés en plein air, n'est pas en relation directe avec la valeur de l'humidité relative, mais elle est très sensiblement proportionnelle à un facteur appelé *facteur d'évaporation*, représenté par la différence des deux tensions de vapeur  $f$  et  $F$  dont il a été question plus haut. Pour un même état hygrométrique, la valeur de ce facteur  $F - f$  croît avec la température comme les valeurs des tensions saturantes qui correspondent à ces températures. Aussi, la vitesse d'évaporation va-t-elle en s'accroissant de plus en plus rapidement au fur et à mesure que la température s'élève. Pour un air à moitié saturé elle serait, aux températures de

0° 5° 10° 15° 20° 25° 30°,

proportionnelle à

2,3 3,25 4,55 6,35 8,70 11,76 15,75.

23. — La *vitesse d'évaporation* dépend en

outre de plusieurs autres conditions accessoires, telles que la vitesse du vent et l'intensité de la radiation solaire. L'eau évaporée à la surface du sol se diffuse tout d'abord dans les couches d'air les plus voisines, puis se mélangent assez rapidement dans une assez grande épaisseur de la nappé atmosphérique, grâce aux courants d'air qui l'agitent dans différentes directions. L'évaporation du sol pendant l'été est toujours assez inférieure à celle des nappes d'eau de même surface, parce que le sol se dessèche à sa surface et que l'eau des nappes inférieures ne monte qu'avec une certaine lenteur vers les couches supérieures. Néanmoins, la mesure de l'état hygrométrique de l'air, de la vitesse du vent et de sa température ou la la détermination de la vitesse d'évaporation d'une surface liquide permettent de déterminer assez exactement le régime de l'évaporation auquel le sol est soumis aux diverses périodes de l'année.

La tension de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et son poids par mètre cube varient peu dans l'intervalle d'une même journée. Leur maximum est atteint en été, leur minimum en hiver. L'état hygrométrique, au contraire, varie entre des limites très étendues depuis le lever du soleil, où il atteint en général son maximum,

jusque vers trois ou quatre heures du soir où la fraction de saturation s'abaisse à son minimum. L'état hygrométrique atteint assez fréquemment son maximum égal à l'unité lorsqu'il pleut ou qu'il y a rosée. Le minimum de 0 n'est jamais réalisé, mais, dans la région méridionale de la France, la fraction de saturation s'abaisse parfois durant quelques heures jusqu'à 0,10.

24. — Le *taux de l'humidité du sol* à diverses profondeurs est sous la dépendance directe de trois facteurs principaux : 1° la vitesse d'évaporation à la surface du sol ; 2° la chute des pluies ; 3° la quantité d'eau cédée par les nappes profondes d'infiltration qui s'alimentent souvent dans des régions fort éloignées. Pendant la saison froide et humide de l'année, en hiver et au printemps, l'humidité du sol est plus grande à la surface qu'à une certaine profondeur. Une distribution inverse s'observe pendant la saison sèche et chaude, en été et en automne. La variation annuelle de l'humidité du sol dépend à la fois et de sa constitution physique et du climat. Les sols sableux, qui peuvent s'alimenter rapidement au dépens des nappes aquifères inférieures, ne présentent que de faibles variations d'humidité aux diverses époques de l'année. Le taux d'humidité des sols argileux présente, au con-



traire, des écarts très étendus, surtout dans les couches supérieures. Sous le climat de Montpellier, la teneur en eau s'abaisse assez fréquemment jusqu'à la profondeur de 0<sup>m</sup>,50 en été, à 5 ou 6 % d'humidité, tandis qu'elle se relève en hiver jusqu'à 16 à 20 %. Ces conditions très variables de l'humidité des sols ont une répercussion très directe sur la constitution de l'atmosphère lorsqu'elles affectent des surfaces de terrain assez étendues. L'atmosphère des régions littorales est plus humide que celle des régions continentales; le développement des cultures forestières élève le degré d'humidité de l'air qui s'abaisse au-dessus des sols arides et dénudés.

#### LA PRESSION ET LES MOUVEMENTS DE L'ATMOSPHÈRE

25. — De tous les éléments météorologiques celui qui nous éclaire le mieux sur la constitution de l'atmosphère et sur ses mouvements est certainement la pression intérieure de l'atmosphère. Cette pression, mesurée par le soulèvement de la colonne de mercure dans l'expérience de Torricelli, est déterminée à la fois par le poids des

couches d'air qui pèsent sur le mercure de la cuvette du baromètre et en même temps par les variations de la force élastique de l'atmosphère. La masse d'air qui surmonte le sol d'une région déterminée peut être en quelque sorte assimilée à une masse gazeuse enfermée dans une enveloppe rigide lentement déformable. Le poids des couches d'air détermine la valeur moyenne de la pression barométrique, mais ses variations incessantes sont plus spécialement déterminées par les changements de force élastique qui résultent soit de l'échauffement ou du refroidissement de la masse gazeuse confinée, soit des brusques déplacements relatifs de ses diverses parties. La paroi-enveloppe lentement déformable de l'atmosphère qui avoisine un point donné est représentée par l'inertie des couches supérieures qui s'opposent temporairement aux changements de volume créés par les variations de température, ou par les mouvements de la masse d'air dans le voisinage du sol.

**26. Variation diurne de la pression atmosphérique.** — L'échauffement progressif des couches d'air, à partir du lever du soleil, détermine, pendant les belles journées où l'atmosphère est en repos, un premier maximum de pression vers dix heures du matin. Quelques

heures plus tard, les couches supérieures de l'atmosphère soulevées par la dilatation des nappes inférieures continuent à augmenter la capacité du vase plus vite que la dilatation n'en accroît le contenu ; il y a minimum de pression vers quatre heures du soir. Puis, le refroidissement s'opère et la descente des couches d'air froid provoque un maximum secondaire de pression vers dix heures du soir, auquel succède, à la faveur de la détente latérale ultérieure de la masse d'air, un minimum secondaire de pression vers quatre heures du matin. Cette oscillation périodique diurne est très marquée pendant les belles journées et son amplitude atteint souvent 2 millimètres. Sa constatation pendant plusieurs journées successives est un indice de la fixité du beau temps.

**27. Marche annuelle de la pression atmosphérique.** — La pression de l'atmosphère est plus forte en hiver qu'en été et en automne ; elle est la plus faible au printemps. L'écart observé entre le printemps et l'hiver est de 2 millimètres environ à Montpellier. Les fortes pressions de l'hiver sont en relation avec le refroidissement de l'atmosphère et son augmentation de densité, aussi bien qu'avec le déplacement de l'est à l'ouest de l'aire de forte pression



qui recouvre le continent asiatique. Les faibles pressions du printemps sont sous la dépendance du passage, plus fréquent sur nos régions à cette époque de l'année, des dépressions atmosphériques qui circulent du sud-ouest, au nord-est, en déterminant sur leur passage la baisse du baromètre.

**28. Distribution de la pression atmosphérique à la surface du globe.** — Il y a lieu de distinguer entre la distribution normale de la pression atmosphérique et sa distribution accidentelle. La distribution normale est caractérisée par une zone de forte pression, qui s'étend parallèlement à l'équateur et à 30° environ de ce dernier. Les pressions vont graduellement en décroissant, depuis ces zones de fortes pressions jusque vers le pôle nord et vers le pôle sud. La zone de forte pression se développe vers le nord à la surface des continents qu'elle traverse et forme plus particulièrement en hiver, à la surface de l'Europe orientale et de l'Asie, une aire de forte pression, qui joue un rôle très important dans la propagation de nos orages.

La distribution accidentelle des pressions atmosphériques est en relation directe avec la constitution de nos orages. Le transport des masses d'air en sens inverse, ou dans le même

sens avec des vitesses différentes, crée de gigantesques remous ou tourbillons animés d'un double mouvement de translation le long d'une trajectoire courbe et de rotation autour d'un centre. Ces immenses tourbillons atmosphériques sont l'équivalent des petits tourbillons que l'on observe dans nos cours d'eau au voisinage de la pile d'un pont. Le mouvement rapide de rotation dont l'air est animé tend à l'éloigner du centre comme la pierre que l'on fait tourner en fronde à l'extrémité d'une ficelle, et il en résulte une diminution progressive de la pression des bords au centre du tourbillon.

29. — Il suit de là que si l'on réunit par des traits continus sur une carte du globe les points d'égale pression atmosphérique, l'ensemble des *lignes isobares* ainsi tracées dessine, dans les régions parcourues par ces tourbillons atmosphériques, une série de courbes circulaires concentriques, dont le centre commun correspond au centre du tourbillon, qui a reçu le nom synonyme de *dépression barométrique*. Le baromètre est ainsi un précieux indicateur de la constitution et des mouvements de l'atmosphère. La direction des vents est à peu près parallèle à la direction des isobares ; le sens de la rotation est dirigé en sens inverse des aiguilles d'une mon-

tre, dans les dépressions barométriques de l'atmosphère nord qui nous intéressent plus spécialement. La vitesse du vent peut atteindre jusqu'à 30 mètres par seconde ; elle progresse quand on se rapproche du centre ; mais elle s'annule toutefois au voisinage immédiat de ce dernier. Il résulte de la relation que l'on vient de signaler entre la direction du vent et la forme des isobares, que, pour trouver la direction du centre d'un tourbillon atmosphérique menaçant une région déterminée, il suffit de tourner le dos au vent et d'étendre le bras gauche qui indiquera le centre de la dépression orageuse : c'est la *règle de Buys-Ballot*.

La plupart des dépressions orageuses qui intéressent l'Europe sillonnent l'Océan Atlantique des côtes de la Floride vers les côtes occidentales de la Suède, en s'étendant sur des surfaces qui sont quelquefois assez étendues pour que l'un des bords de la dépression s'appuie sur l'Amérique, tandis que le bord opposé atteint déjà l'Europe. Les dépressions voyagent dans cet immense lit du sud-ouest au nord-est, en progressant avec la vitesse d'un train de marchandises, tandis que l'air y tourbillonne avec la vitesse d'un train omnibus, ou d'un train express. Indépendamment de leur lit général, les dépressions sont



guidées par la situation des masses d'air immobiles qui s'opposent à leur passage. L'aire de forte pression, dont nous avons signalé l'existence à la surface de l'Europe orientale et de l'Asie, joue le rôle d'une borne ou d'une pierre d'achoppement, dont la position, variable à la surface du continent, modifie le trajet habituel des dépressions orageuses. Celles-ci ne traversent pas, en général, l'aire de forte pression auquel M. Duclaux a donné le nom fort expressif d'*îlot des calmes*. La direction initiale de la dépression orageuse, et la position de l'îlot des calmes, permet assez souvent de prévoir, à l'avance, les régions qu'il atteindra dans sa marche ultérieure. Ces diverses indications sont les bases principales de la prévision du temps, appuyée sur l'examen de la distribution des pressions et des vents à la surface du globe.

**30. Prévision du temps par la lecture des cartes d'isobares dressées par le Bureau central météorologique.** — Tous les jours, les dépêches des 161 stations du réseau météorologique européen, qui s'étend de Moscou à la Corogne, et de Bodo à Laghouat, apportent au Bureau central météorologique de Paris les observations du baromètre, de la pluie, du thermomètre, de la force et de la direction des

vents, faites simultanément à sept heures du matin. La carte des isobares et celle des isothermes est aussitôt tracée, et la position des centres de dépression, leur cheminement depuis la veille, la position des aires de forte pression, sont rapidement analysés. Le rapprochement des isobares donne l'indication de la violence, de la dépression orageuse. Chaque jour, le directeur du service des avertissements inspecte la position des corps d'armée, engage la bataille et prévoit l'issue du combat. La prévision est aussitôt dressée pour les diverses régions, au nombre de huit pour la France. La carte du temps est alors définitivement arrêtée dans ses indications complémentaires et reproduite pour être expédiée aux correspondants du Bureau central.

La transmission postale de la carte du temps du Bureau central exige vingt-quatre à quarante-trois heures, pour parvenir aux diverses localités plus ou moins éloignées de Paris. On obtient un avertissement plus rapide par la transmission par dépêche des avertissements régionaux. Dans plusieurs communes assez éloignées de Paris, des météorologistes dévoués, en combinant les dépêches du temps avec leurs observations personnelles locales, ont obtenu des résultats très encourageants, et ont, à diverses reprises, si-

gnalé des réussites de prévision variant de 75 à 80 %. C'est là évidemment la meilleure voie à suivre, et si l'on songe à l'importance des dégâts agricoles qui pourraient être souvent évités par un avertissement donné en temps utile, on peut se demander si l'État ne trouverait pas son profit en concédant, sur l'avis des commissions météorologiques départementales, ou des conseils généraux, la franchise de la transmission de la dépêche du temps aux personnes de bonne volonté qui pourraient être encouragées par cet appui officiel dans l'œuvre utile, mais quelquefois ingrate, de la prévision du temps dans les campagnes.

### 31. Les vents réguliers de l'atmosphère.

— Indépendamment des puissants tourbillons de l'atmosphère que l'on vient de décrire, et qui agitent sa masse à intervalles irréguliers en donnant naissance à la plupart de nos orages d'hiver, de printemps et d'automne, des courants d'air périodiques et réguliers mélangent constamment, en différents points du globe, les diverses couches de notre atmosphère. Ces courants réguliers sont dus aux différences d'échauffement des masses d'air voisines. Tels sont les vents alisés, les moussons et les brises de mer.

Les *vents alisés* sont provoqués par le déver-



sement vers les pôles, dans les hautes régions de l'atmosphère, de l'air surchauffé à l'équateur. Le courant de retour (alisé), descend jusqu'à la surface du sol, depuis la latitude du Portugal jusqu'au voisinage de l'Équateur. La direction de ce courant serait nord-sud, si le globe terrestre était immobile, mais sa rotation de l'ouest à l'est détermine l'orientation nord-est, sud-ouest, de l'alisé dans l'hémisphère nord, et sud-est, nord-ouest, dans l'hémisphère sud.

L'échauffement inégal des masses continentales situées au nord et au sud de l'équateur détermine, à six mois d'intervalle, des orientations différentes des courants atmosphériques qui en résultent. Tels sont les vents réguliers, dits *moussons*. Ils jouent un rôle très actif pour déterminer le transport, à l'intérieur de divers continents voisins de l'équateur, des masses de vapeur considérables empruntées aux océans surchauffés qu'ils traversent.

Sur nos côtes de l'Océan ou de la Méditerranée, l'échauffement plus énergique du continent que de la surface des eaux pendant le jour provoque à une certaine altitude le transport périodique diurne de la masse d'air échauffée par le sol de la côte vers la mer, avec courant de retour plus voisin du sol ramenant vers le littoral l'air

plus froid de la mer. C'est le phénomène de la *brise de mer*, suivi à quelques heures d'intervalle de la brise de terre de direction inverse. Ces courants ont pour effet de modérer agréablement la température des régions littorales pendant les chaleurs de l'été.

On peut rattacher à ces phénomènes de transport, dus aux différences de température, la genèse des orages locaux qui se limitent, assez souvent, à une région fort restreinte pendant les chaleurs de l'été. L'échauffement de la masse d'air confinée dans une plaine ou une vallée, paraît être le point de départ de l'évolution brusque de ces orages locaux dans une région déterminée. Toutefois, comme ces conditions de calme sont sous la dépendance de la distribution générale des pressions dans l'atmosphère, on constate le plus souvent que ces orages restreints éclatent simultanément sur divers points d'une région quelquefois assez étendue. Ils peuvent alors être considérés comme des accidents locaux d'une même situation générale atmosphérique. Mais leur intensité variable est sous la dépendance directe des conditions locales de température qui en ont permis le développement. Ces orages sont les plus redoutés des agriculteurs, à cause de la soudaineté de leur naissance au mo-

ment de la récolte des fourrages et des moissons. Le point de l'horizon où ils prennent naissance, la forme caractéristique de leurs nuages, permettent souvent de formuler une prévision à brève échéance pour les régions qu'ils menacent.

**32. Courants marins.** — Les courants marins représentent pour les océans les vents réguliers, dont l'atmosphère terrestre est incessamment traversée. Leur origine est due, comme pour les fleuves de l'atmosphère, aux différences de température des eaux de l'océan. L'eau chaude de l'équateur tend à se déverser vers les pôles ; l'action commune des alisés des deux hémisphères, tend à orienter ces courants de l'est à l'ouest. Dans l'Océan Atlantique, la barrière des côtes d'Amérique les oblige à contourner le continent américain et à fermer leur circuit en se dirigeant vers les côtes d'Europe. Cette branche de retour du courant porte le nom de *gulf-stream* ; elle apporte sur nos côtes de l'ouest les eaux chaudes de l'équateur, et la Bretagne lui doit la douceur de ses hivers au voisinage des côtes. Le littoral ouest de la France lui doit une plus grande humidité de son atmosphère, et la plus grande partie de notre pays, son climat tempéré.



LES CONDENSATIONS AQUEUSES  
DE L'ATMOSPHERE

**33. Les nuages.** — Lorsqu'une masse d'air voisine de son point de saturation se refroidit brusquement, la vapeur d'eau qu'elle contient en excès se précipite à l'état de fines gouttelettes. Il en est de même lorsque deux masses d'air, voisines de leur point de saturation, et à des températures différentes, viennent à se mélanger. La masse d'air résultant du mélange possède, pour sa température moyenne, un excès de vapeur d'eau qu'elle ne peut maintenir en dissolution. Ces conditions de condensation sont très fréquemment remplies, soit à raison des abaissements de températures locaux de l'atmosphère, soit par suite du contact des courants aériens, transportant la vapeur d'eau à des températures différentes. La vapeur d'eau précipitée à l'état de fines gouttelettes constitue les nuages. Ces masses d'eau condensée restent assez longtemps en suspension dans l'atmosphère, à cause de leur extrême état de division qui diminue leur vitesse de chute en exagérant leur surface de frottement. La circulation de la vapeur d'eau

dans l'atmosphère s'exécute ainsi aussi bien à l'état de vapeur condensée (nuages), qu'à l'état de vapeur dissoute.

Les nuages peuvent être classés soit par leur forme, soit par leur constitution. Au point de vue de leur constitution, on distingue les nuages de glace, les nuages de neige, les nuages de pluie. D'après leur forme, on peut les rattacher à quatre types principaux, dont la connaissance peut jouer un rôle fort utile dans la prévision locale du temps.

Les *cirrus* sont des nuages légers constitués par des aiguilles de glace qui affectent la forme de houppes ou de traînées diffuses flottant dans les hautes régions de l'atmosphère. Ce sont les nuages précurseurs des tourbillons orageux ; on les aperçoit les premiers quand le tourbillon avance, de même qu'un observateur placé sur les bords du rivage distingue tout d'abord le sommet des mâts du navire. Le ciel pommelé qui, d'après un vieux dicton, n'est pas de longue durée, est constitué par l'assemblage d'une variété de *cirrus*.

Les *cumulus* sont des nuages aux contours tranchés, aux surfaces supérieures arrondies, tandis que leur base est plane. Ce sont des nuages de vapeur condensée qui flottent à un ni-

veau moins élevé que les cirrus. Ce sont eux que l'on voit naître brusquement à l'horizon et envahir rapidement le ciel pendant l'évolution des orages locaux qui prennent naissance en été.

Les *stratus* sont des nuages allongés qui barrent l'horizon au-dessus duquel ils ne s'élèvent que faiblement. Ce sont le plus souvent des cumulus vus par leur tranche; ils apparaissent plus fréquemment le soir et le matin.

Les *nimbus* sont les nuages les plus voisins du sol; ils sont formés par des gouttelettes liquides de plus gros diamètre que celles des nuages précédents et se résolvent plus ou moins rapidement en pluie; ils sont également plus opaques que les autres variétés de nuages. Leur apparition accompagne ou précède de peu de temps la chute de la pluie.

**34. La pluie.** — Le grossissement continu des plus grosses gouttelettes liquides en suspension dans les nuages qui s'accroissent à chaque variation de température, au détriment de la vapeur émise par les plus fines gouttelettes, détermine la chute des nuages qui se résolvent en gouttes de pluie. La vitesse de chute des pluies varie depuis 1 millimètre d'épaisseur de pluie tombée en plusieurs heures jusqu'au delà de 60 millimètres par heure dans nos régions. Le nombre de



millimètres de pluie tombée par heure représente leur *intensité de chute*. Les pluies de grande intensité, 30 millimètres à 60 millimètres à l'heure, ne profitent pas au sol, elles ruissellent en partie à sa surface, surtout sur les terrains en pente. Les pluies d'intensité modérée sont les plus bien-faisantes ; aucune goutte n'est alors perdue pour le sol et pour la végétation.

La valeur de la pluie annuelle observée dans une région varie beaucoup avec son altitude et la disposition de son relief montagneux. A moins de 100 kilomètres d'intervalle dans le midi de la France, il tombe moins de 0<sup>m</sup>,50 de pluie sur les bords de la mer et près de 2<sup>m</sup>,00 sur les contreforts méridionaux des Cévennes. La moyenne de la pluie annuelle est de 0<sup>m</sup>,55 à Paris et de 0<sup>m</sup>,76 à Montpellier.

La distribution annuelle des pluies varie également avec les régions. Dans le nord-est de la France, la saison la plus pluvieuse est l'été. Dans le midi de la France, c'est la saison la plus sèche. Il résulte de cette distribution une divergence très accusée entre les besoins de la végétation et la chute des pluies. Dans la région la plus froide de la France, les pluies abondent en été où elles sont moins utiles que dans le midi. Dans la région méridionale, au contraire, elles font défaut

dans la saison où leur chute serait la plus utile. Cette constatation explique l'importance exceptionnelle de l'eau et des irrigations dans le midi de la France. En revanche, si le midi est moins bien traité que le nord par les pluies, il est exceptionnellement favorisé par son soleil. C'est de l'accord variable de ces deux facteurs météorologiques du climat, l'eau et la chaleur, que résultent plus spécialement les variations annuelles observées dans la production agricole des diverses régions.

**35. La neige.** — Quand la condensation des vapeurs s'opère à basse température au-dessous de  $0^{\circ}$ , l'eau cristallise en fines paillettes hexagonales qui s'assemblent pour constituer les flocons de neige. Les chutes de neige sont considérées par les agriculteurs comme favorables à la végétation. Elles empêchent, en effet, en les condensant, comme l'a montré Boussingault, l'évaporation des vapeurs ammoniacales résultant de la décomposition des matières organiques du sol. De plus, la neige atténue le refroidissement du sol ; elle se laisse traverser par les rayons calorifiques lumineux qui sont absorbés par le sol et transformés en rayons calorifiques obscurs, dont la neige prévient la déperdition. L'eau de fusion, qui résulte de son dégel partiel pendant la jour-

née, empêche la couche supérieure du sol de descendre au-dessous de 0°, avant que le rayonnement nocturne ait prélevé la quantité de chaleur nécessaire à la formation d'une quantité de glace équivalente. Les blés, abrités par une couche de neige pendant l'hiver, souffrent beaucoup moins des grands froids que lorsqu'ils sont librement exposés au refroidissement de l'atmosphère.

**36. La rosée.** — Le rayonnement nocturne abaisse fréquemment la température des corps voisins de la surface du sol au-dessous du point de rosée. La vapeur d'eau en excès se dépose sous forme de rosée à la surface du sol et des feuilles des végétaux. Ce sont les substances qui rayonnent le plus activement, qui se recouvrent d'un dépôt de rosée le plus abondant. Les plus fortes rosées s'observent pour un état hygrométrique assez élevé, un air très faiblement agité et un ciel serein. La valeur du dépôt annuel de la rosée, dans le midi de la France, d'après l'observation du poids de vapeur condensé sur une lame de verre présentant un pouvoir émissif voisin de celui des feuilles de nos végétaux, n'atteindrait que le  $\frac{1}{50}$  de la valeur de la pluie annuelle. Ce sont là de faibles quantités d'eau restituées au sol par l'atmosphère, mais l'époque de leur



production réduit très sensiblement les exigences de la transpiration végétale en la diminuant à une heure de la journée où la transparence habituelle de l'atmosphère, la valeur élevée de l'insolation et la turgescence des cellules végétales, la rendent très active. L'analyse des eaux de rosée montre, en outre, qu'elles sont assez riches en azote ammoniacal qu'elles restituent au sol en le prélevant dans les couches inférieures de l'atmosphère.

**37. Gelée blanche et verglas.** — Le dépôt de rosée formé à une température inférieure à  $0^{\circ}$ , recouvre les objets exposés au rayonnement nocturne d'un dépôt blanchâtre de glace en fines aiguilles (gelée blanche). Quand ce phénomène de condensation se prolonge dans un air froid et humide, les cristaux de glace s'assemblent sous forme de paillettes qui adhèrent aux branches des arbres (givre). Enfin, la chute, pendant l'hiver, sur un sol refroidi de gouttelettes de pluie surfondue, c'est-à-dire liquide bien que au-dessous de  $0^{\circ}$ , détermine leur brusque solidification à la surface du sol ou des corps sur lesquels elles s'étalent. Il en résulte une croûte de glace (verglas), qui peut atteindre une épaisseur de plusieurs centimètres et déterminer, par son poids, la rupture de grosses branches d'arbres. Le ver-

glas exceptionnel de l'hiver de 1879 a produit des dégâts considérables dans la forêt de Fontainebleau. Le verglas augmente, en général, l'intensité des lésions provoquées par les gelées d'hiver sur divers végétaux et notamment sur la vigne. L'eau de fusion, pendant le jour, pénètre les tissus superficiels et détermine leur éclatement pendant le refroidissement nocturne. Les froids secs sont rarement mortels pour la vigne; les froids humides le sont, en général, dès que la température de l'atmosphère s'abaisse jusqu'à  $-10^{\circ}$ .

**38. Grêle.** — La grêle résulte de la congélation des gouttes de pluie dans les hautes régions de l'atmosphère. Le transport assez long que peuvent provoquer les mouvements tourbillonnaires qui se manifestent à ces altitudes pendant les orages, expliquent le grossissement continu du grêlon traversant des couches humides. La résistance de l'air diminue d'ailleurs la vitesse de chute qui, pour un grêlon de 1 centimètre carré de section, ne peut dépasser 20 mètres par seconde. La structure zonée des grêlons est justifiée par ce mode d'accroissement. Le diamètre des grêlons varie depuis 2 ou 3 millimètres jusqu'à la grosseur d'un œuf de pigeon et au-delà; la grosseur des grêlons dans les

chutes de grêles les plus meurtrières pour les récoltes ne dépasse pas, en général, celle d'une noisette. Certaines régions sont prédisposées aux chutes de grêle qui se laissent souvent guider par le relief du sol, suivant les vallées ou contournant les collines qu'aborde l'orage de grêle. La grêle est d'autant plus redoutée des agriculteurs qu'il n'existe aucun procédé pour en garantir les récoltes et que les remèdes que l'on peut apporter aux dégâts des récoltes atteintes sont souvent peu efficaces. L'assurance contre la grêle est le seul remède préventif efficace, mais le taux de cette assurance est très élevé pour les régions fréquemment visitées par la grêle.

#### PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DE L'ATMOSPHÈRE

39. — Par un temps serein la terre est chargée d'électricité négative, et l'air d'électricité positive. La valeur de la tension de l'électricité positive de l'air augmente avec l'altitude. La distribution des couches d'égale tension, ou plus exactement d'égal potentiel électrique, est sensiblement parallèle à la surface du sol. Si un arbre isolé s'élève au milieu d'une plaine, les surfaces



d'égal potentiel électrique se rapprochent du sommet de l'arbre et quand leur distance, soit à l'arbre, soit entre elles, est assez réduite, l'électricité s'écoule de l'air vers le sol par l'intermédiaire de l'arbre. A l'état de repos, l'atmosphère est ainsi traversée par des courants électriques très lents qui tendent à en égaliser la tension en tous points avec celle du sol, sans jamais y parvenir. La tension de l'électricité atmosphérique croît progressivement dans les hautes régions avant la manifestation de nos orages qui sont souvent précédés, à court intervalle, par une brusque diminution de la tension électrique. Pendant l'orage, le déplacement relatif des masses nuageuses chargées d'électricité a un potentiel différent, détermine de soudaines égalisations des tensions électriques, soit entre deux nuages voisins, soit entre un nuage et le sol. Le courant électrique qui détermine cette égalisation rapide constitue le phénomène de la *foudre*. L'*éclair* est la vive lumière qui accompagne la décharge électrique et le *tonnerre* en est le bruit. Le frottement et l'électrisation par influence des masses d'air et de vapeur transportées par la bourrasque, les condensations de vapeur dont elle est le siège, sont autant de causes qui régénèrent rapidement l'électricité écoulee des nuages vers

le sol et explique la succession rapide des éclairs pendant le développement d'un orage.

#### PHÉNOMÈNES OPTIQUES DE L'ATMOSPHÈRE

**40. Arc-en-ciel.** — Le phénomène de l'arc-en-ciel et de ses brillantes couleurs est déterminé par la réfraction et la réflexion que subissent, dans les gouttes de pluie, les rayons du soleil. Lorsque, tournant le dos au soleil, nous dirigeons nos regards vers le rideau de perles mobiles constituées par les gouttes de pluie, chaque goutte, pendant sa chute, se trouve convenablement placée pour renvoyer vers nous, après l'avoir réfracté et transformé en spectre, un petit rayon de soleil. Il existe une direction spéciale pour laquelle le plus grand nombre de ces spectres colorés se superpose assez exactement. Par raison de symétrie, les gouttelettes d'eau qui satisfont à cette condition sont disposées sur un cercle que découperait dans le rideau de pluie un cône de  $85^{\circ}$  d'ouverture, dont le sommet serait dans l'œil de l'observateur. Une partie de ce cercle est au-dessous de l'horizon et la partie supérieure apparaît, dans le ciel, colorée en rouge à l'extérieur et en violet à l'intérieur. Entre ces

deux teintes extrêmes s'échelonnent les diverses couleurs du spectre partiellement superposées.

**41. Halos et couronnes.** — On voit assez souvent, autour du soleil et surtout de la lune, des auréoles lumineuses à contour diffus, qui entourent ces astres à faible distance. Ces auréoles ou *couronnes* sont formées par la diffraction de la lumière de ces astres, par les fines gouttelettes de vapeur des nuages interposés entre eux et l'observateur. Ces couronnes accompagnent fréquemment la lune brillant dans une atmosphère en apparence sereine pendant la nuit. On dit alors que *la lune boit*. De grands cercles lumineux entourent parfois à  $22^{\circ}$  ou  $46^{\circ}$  de distance angulaire le soleil, ce sont les *halos* ; ces cercles peuvent être recoupés horizontalement par une bande lumineuse (cercle parhélique), reproduisant à l'opposé du soleil un faux soleil (anthélie). Ces apparences lumineuses sont déterminées par la réfraction de la lumière du soleil au travers des cristaux de glace qui encombrant parfois les hautes régions de l'atmosphère.

---



## CHAPITRE II

---

### MESURE DES ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

42. — La mesure des divers éléments météorologiques qui intéressent l'agriculteur peut être obtenue par des voies bien différentes et en utilisant des appareils de mesure très variés. Plusieurs de ces instruments sont d'une manipulation délicate et tous ne donnent pas aussi directement les renseignements utiles à l'agronome et à l'agriculteur. Nous avons donc cru utile de faire un choix dans les appareils de mesure qui peuvent être mis entre les mains des agriculteurs. Sans doute, la précision dans les mesures est l'un des premiers mérites qui doit fixer sur le choix d'un instrument; on ne doit pas, cependant, tout sacrifier à cet élément et, lorsqu'il s'agit de reconnaître la marche géné-

rale d'un phénomène, on peut se contenter d'un degré d'approximation qui serait insuffisant pour une étude plus précise. Les relations qui existent entre les phénomènes météorologiques et le développement de la végétation ne sont pas jusqu'à ce jour, il faut l'avouer, des relations bien serrées et bien des points sont encore à élucider qui ne nécessitent pas, dans les mesures de la radiation solaire ou de l'état hygrométrique, l'exactitude de la troisième décimale. Aussi, avons-nous pensé que l'on pouvait recommander aux agriculteurs quelques appareils de mesure d'une grande commodité de manipulation, mais qui ne trouveraient pas grâce devant le contrôle rigoureux de l'expérimentation des physiciens. En météorologie agricole, il est peut-être moins utile de mesurer les relations des phénomènes avec précision, que de les poursuivre avec continuité. Nous indiquerons d'ailleurs, autant qu'il sera possible de le faire, le degré d'inexactitude qui affecte les divers instruments proposés pour ces mesures approximatives. Limiter l'erreur que l'on peut commettre entre certaines limites et déterminer avec commodité, ou plutôt sans trop de complications, la marche des facteurs météorologiques, telle doit être, à notre avis, la préoccupation qui doit guider dans le choix des

appareils d'observation que l'on peut utilement proposer soit aux agronomes, soit aux simples agriculteurs.

## MESURE DE LA RADIATION SOLAIRE

**43. Actinomètre de M. Crova.** — Pour les mesures où une certaine précision est nécessaire, telles que les recherches portant sur les relations directes de la radiation avec les phénomènes de physiologie végétale, assimilation du carbone, respiration, transpiration, on pourra très utilement avoir recours à l'actinomètre Crova (*fig. 1*). Cet instrument consiste essentiellement en un thermomètre à alcool à réservoir gros et sphérique enfermé dans une sphère en métal poli. Celle-ci présente un orifice fermé par un écran mobile qui permet à un faisceau de soleil de tomber pendant un temps déterminé sur le réservoir noirci du thermomètre. L'alcool s'échauffe et sa dilatation par minute donne la mesure de la quantité de chaleur rayonnée par le soleil.

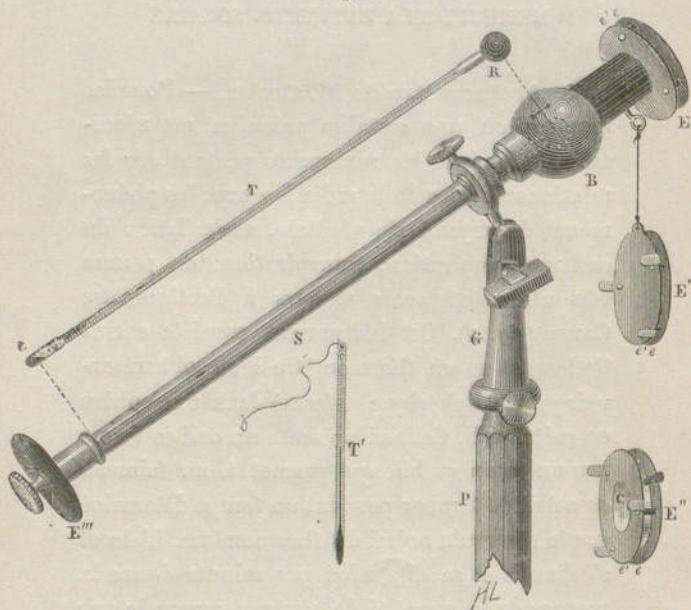
La manipulation de cet appareil est la suivante :

1° On dispose l'appareil verticalement, le ré-



servoir dirigé vers le haut et on ouvre au soleil la boîte sphérique qui protège le réservoir. Cette opération a pour but de faire engager dans la tige graduée un index de mercure

Fig. 1



dont la marche fera connaître les dilatations successives dues à l'apport de la chaleur solaire. Aussitôt que l'index s'est engagé de 2 à 3 centimètres dans la tige graduée, on

redresse l'instrument et on ferme l'enveloppe sphérique.

2° On oriente l'appareil dans la direction des rayons de soleil en le centrant de telle sorte que l'ombre portée par l'écran antérieur recouvre exactement l'écran postérieur adapté à l'appareil.

3° Au moment où l'aiguille des secondes d'une montre passe à zéro, on lit en millimètres sur la tige graduée la position  $r_{10}$  de l'index. Au bout de 60 secondes on lit de nouveau  $r_{11}$ , on lit encore une fois la position  $r_{12}$  de l'index 60 secondes après. A ce moment, on enlève l'écran protecteur et l'on fait deux lectures successives  $r_{13}$  et  $r_{14}$  à 60 secondes d'intervalle. On remet l'écran et l'on observe de nouveau, à l'ombre, l'avancement  $r_{15}$ ,  $r_{16}$  de l'index à 60 secondes d'intervalle.

La moyenne des avancements de l'index l'ombre est égale à :

$$N' = \frac{r_{12} - r_{11} + r_{16} - r_{15}}{2}$$

La valeur de l'avancement de l'index au soleil est égale à :

$$N'' = r_{14} - r_{13}$$

La marche de l'index au soleil corrigée du refroidissement ou du réchauffement à l'ombre est  $N = N'' - N'$ .

Cette marche corrigée est proportionnelle à la quantité de chaleur rayonnée par le soleil pendant la quatrième minute d'observation. Un coefficient déterminé par l'étalonnage de chaque instrument, à l'aide d'un pyrhéliomètre à mercure ou d'un actinomètre semblable déjà étalonné, permet de déduire, de la marche corrigée, la valeur en calories gramme-degré de la radiation calorifique reçue en une minute sur une surface de 1 centimètre carré, c'est-à-dire l'*intensité calorifique de la radiation solaire*.

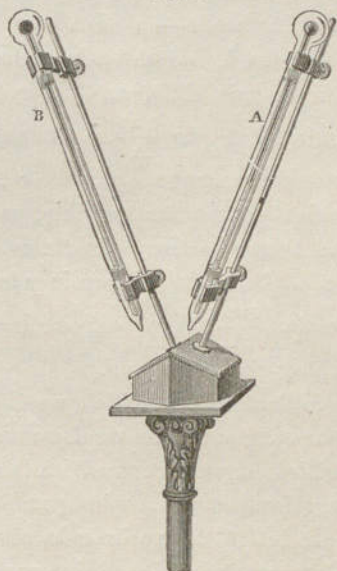
**44. Actinomètre à thermomètres conjugués.** — Cet appareil, dont le plus grand défaut est de mesurer l'intensité d'un groupe de radiations calorifiques lumineuses assez mal défini, peut être utilisé pour suivre les relations annuelles de la radiation solaire avec le développement des phases successives de la végétation. Il consiste essentiellement en deux thermomètres à mercure à réservoir sphérique enfermés au centre de deux ballons de verre où l'on a fait le vide (*fig. 2*). La surface du réservoir de l'un des thermomètres est brillante; celle de l'autre est noircie. On expose d'une



façon continue l'instrument au soleil; le rayon qui tombe à la surface de l'enveloppe extérieure y subit une extinction marquée; les rayons calorifiques obscurs sont arrêtés en partie; les rayons calorifi-

Fig. 2

ques lumineux continuent leur route. Le thermomètre brillant les réfléchit sans les absorber, le thermomètre noir les absorbe presque en totalité. La différence de température des deux thermomètres donne l'indication de l'intensité calorifique des rayons lumineux contenus dans la radiation solaire.



L'étude de cet appareil par M. Marié-Davy a montré que la différence de température  $t - t'$  accusée par les thermomètres, obéit à la relation  $t - t' = AP_e$ . A est la différence que présen-

teraient les thermomètres aux limites de l'atmosphère.  $P$  est le coefficient de transparence de l'atmosphère et  $e$  son épaisseur évaluée en épaisseurs atmosphériques. On désigne par *degré actinométrique* la valeur que prendrait la différence  $t - t'$  si  $A$  était égal à 100, on obtiendra le degré actinométrique correspondant à une différence observée  $t - t'$  en la multipliant par  $\frac{100}{A}$ . La valeur de  $A$  déterminée pour chaque appareil est assez variable, mais il est toujours possible, par une comparaison avec un actinomètre étalon de l'observatoire de Montsouris, de déterminer le facteur de conversion  $\frac{100}{A}$  qui varie pour beaucoup d'actinomètres de 5,50 à 7,00.

Si l'on admet que la quantité totale de chaleur contenue dans un faisceau de la radiation solaire est proportionnelle à la quantité de chaleur lumineuse révélée par l'instrument, on aura intérêt à exprimer le résultat d'une série d'observations faites à intervalle rapproché en *degrés-heures*. Une intensité calorifique lumineuse de 4 *degrés-heures* par exemple, correspondra à un apport d'énergie calorifique lumineux tel que, en moyenne pendant une heure, la différence de température des deux thermo-

mètres soit de 4 degrés. Nous donnons plus loin la relation numérique observée entre les degrés-heures et l'intensité de la radiation en calories-gramme-degré pour un actinomètre à thermomètre conjugué observé à différentes époques de l'année.

**45. Actinomètre à vaporisation.** — Cet appareil d'origine italienne est construit en France, d'après les indications de M. Deseroix, par la maison Alvergnyat. Il donne une indication de même ordre que l'actinomètre à thermomètres conjugués. Un peu moins précis, il présente sur lui l'avantage de totaliser l'indication de la radiation reçue dans le cours d'une même journée. Il peut être utilisé pour les mêmes recherches que l'actinomètre précédent. Il consiste en un réservoir sphérique et coloré en bleu foncé, rempli d'alcool éthylique (*fig. 3*). Dans ce réservoir pénètre l'extrémité effilée d'un tube gradué qui présente lui-même, à 9 ou 10 centimètres du centre du réservoir, un épanouissement sphérique. Enfin, le réservoir à alcool est entouré d'une enveloppe concentrique en verre transparent à l'intérieur de laquelle on a fait le vide. L'appareil étant redressé verticalement, le réservoir en haut est exposé au soleil, la distillation de l'alcool se produit et la conden-



sation du liquide distillé dans le tube gradué qui fait suite à la boule de condensation donne, par son expression en centimètres cubes

Fig. 3



d'alcool, l'indication du total de la radiation utilisée par l'appareil.

En comparant les diagrammes de la marche diurne de la radiation mesurée à l'aide des actinomètres précédents avec les graphiques d'un actinomètre enregistreur thermoélectrique étalonné par l'actinomètre Crova, nous avons observé que l'utilisation de la radiation solaire par l'actinomètre à thermomètre conjugué et par l'actinomètre à vaporisation était plus grande le soir que le matin et en été qu'en hiver. On peut obtenir pour chaque saison de l'année une valeur

approchée du nombre de calories reçues par jour en divisant soit le volume total d'alcool distillé, soit les différences des thermomètres conjugués exprimées en degrés-heures par des diviseurs variables avec les saisons. Pour les deux instruments sur lesquels ont

porté nos comparaisons, les valeurs de ces diviseurs ont été les suivantes :

DIVISEURS POUR LA TRANSFORMATION EN CALORIES

Actinomètres	Été	Printemps et automne	Hiver
A thermomètres conjugués . . .	0,307	0,289	0,271
A vaporisation . .	0,0437	0,0392	0,0347

Pour les deux moitiés d'une même journée la valeur du diviseur peut varier de 0,257 à 0,357 pour l'actinomètre à thermomètres conjugués et de 0,0345 à 0,0456 pour l'actinomètre à vaporisation. Ces chiffres suffiront pour montrer le degré de précision très modéré que comportent les indications de ces deux derniers appareils. Ils sont insuffisants, le dernier surtout pour suivre la marche diurne de la radiation ; mais comme les écarts observés disparaissent dans les moyennes d'un nombre de journées suffisant et que, d'ailleurs, la radiation qu'ils mesurent n'est pas rigoureusement liée à la valeur de la radiation calorifique totale, on peut utilement les observer pour établir les relations des phases annuelles de la végétation avec la marche de la radiation solaire.

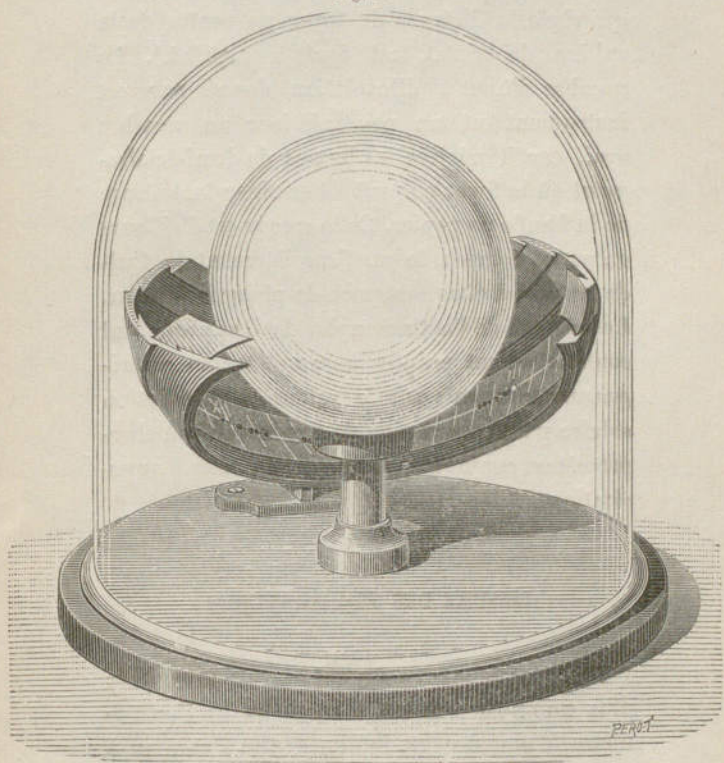
**46. Actinographe de Campbell.** — Pendant une assez grande partie de la journée, l'intensité calorifique de la radiation solaire oscille entre des valeurs le plus souvent assez voisines. De plus, la valeur moyenne de l'intensité calorifique pour les heures de plein soleil des diverses journées aux différentes saisons de l'année présente des écarts qui restent en général inférieurs aux  $\frac{2}{10}$  de la radiation totale.

Cette constance relative de la valeur de l'intensité calorifique permet, dans une certaine mesure, de substituer à la détermination du nombre de calories l'expression du nombre d'heures de plein soleil. D'ailleurs, indépendamment de l'évaluation proportionnelle du nombre de calories reçues, l'estimation du nombre d'heures de soleil fixe la valeur approchée de la période d'éclairement annuel dont peuvent disposer les diverses phases de la végétation. L'inscripteur solaire de Campbell consiste en une boule de verre exactement sphérique qui forme son foyer sur une bande de papier pliée dans une gouttière circulaire (*fig. 4*). Au fur et à mesure que le soleil se déplace dans le ciel, le foyer avance sur la bande de papier en la brûlant sous forme d'un trait noir qui reste continu aussi longtemps que le soleil n'est pas caché



par un nuage. La longueur brûlée, exprimée en

Fig. 4



millimètres, fait connaître le nombre d'heures de plein soleil. Dans les appareils en usage, le

facteur de conversion variable avec le rayon de la lentille sphérique et son pouvoir réfringent qui règle la distance du foyer au centre de la sphère de cristal, est égal à 0,054054. Le nombre d'heures d'insolation donné par cet instrument est un peu inférieur au nombre vrai, car il néglige les heures de demi-éclairage où le foyer ne peut déterminer la brûlure de la bande de papier. Cette erreur est d'ailleurs en partie compensée par l'empiètement du trait de brûlure à chaque reprise de pleine insolation. Les relevés de l'actinographe de Campbell sont essentiellement propres à compléter les renseignements fournis sur la valeur de la radiation solaire par l'observation de l'actinomètre à thermomètres conjugués ou de l'actinomètre à vaporisation.

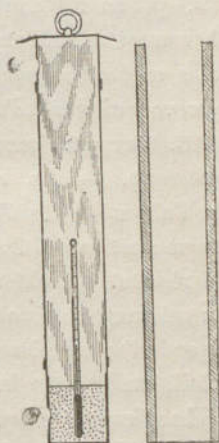
#### MESURE DES TEMPÉRATURES

**47. Température du sol.** — Le procédé le plus commode consiste à incruster un thermomètre à mercure gradué en degrés de  $-10$  à  $+40^{\circ}$  à l'extrémité d'un madrier en bois de 8 à 10 centimètres d'équarrissage (*fig. 5*). Le réservoir du thermomètre dépasse l'extrémité

du madrier et se loge dans une petite boîte cubique en cuivre rouge remplie du sol tassé autour du réservoir thermométrique. Le madrier coulisse dans une gaine en sapin fermée à sa partie inférieure par une plaque de cuivre rouge. Cette plaque est immergée dans le sol

exactement à la profondeur dont on veut prendre la température. Un petit toit en zinc empêche la pluie de pénétrer dans la gaine. Pour observer la température du sol on retire le madrier de sa gaine et on lit rapidement le thermomètre. La mauvaise conductibilité du sol contenu dans la boîte en cuivre donne à l'observateur le temps de faire la lecture sans trop se presser. On

Fig. 5



peut employer également, pour apprécier la température d'une couche ou du sol d'un châssis, le *thermomètre-piquet* de M. Eon. Il se compose d'un thermomètre à alcool monté sur un demi-cylindre en bois qui le garantit des chocs. Le tout est logé dans un étui en zinc, percé de trous à son



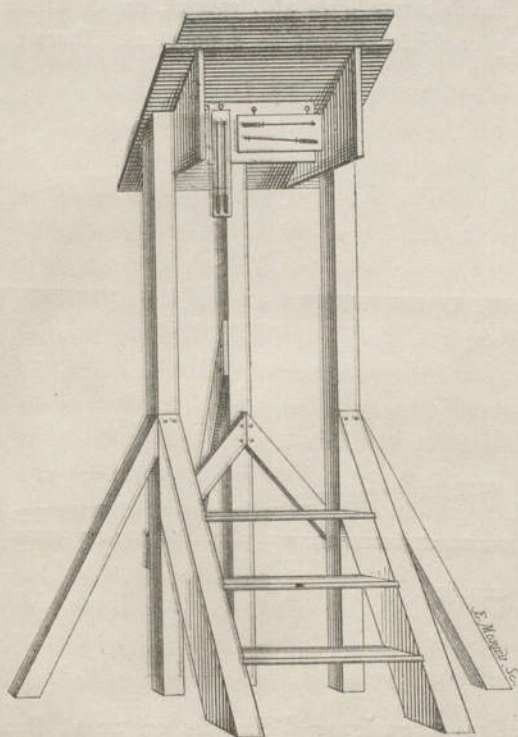
extrémité inférieure, et se termine en pointe pour que l'on puisse plus facilement l'introduire dans le sol.

Pour mesurer la température d'un cours d'eau, on emploie le *thermomètre à pinceau*. C'est un thermomètre ordinaire dont le réservoir est plongé au centre d'un gros pinceau de fils, qui en retenant l'eau lors de l'émersion du thermomètre, donne à l'opérateur le temps de faire sa lecture avant que la température du réservoir ait varié d'une quantité appréciable.

**48. Température de l'air.** *Abri thermométrique.* — La mesure de la température de l'air nécessite l'exposition à l'ombre des thermomètres qui doivent servir à cette mesure. Ce résultat est obtenu par la construction sur un sol gazonné d'un abri spécial destiné à protéger le thermomètre du rayonnement direct du soleil, tandis que la présence du gazon évite l'échauffement indirect par réflexion de la chaleur incidente sur le sol. Le modèle le plus simple consiste en un double panneau en bois supporté à 2 mètres environ au-dessus du niveau du sol par deux robustes madriers armés de jambes de force. Sous le double panneau qui fait face au sud, avec une inclinaison de 45° environ sur l'horizontale est abritée une

planchette fixée au sommet d'un poteau indé-

Fig. 6

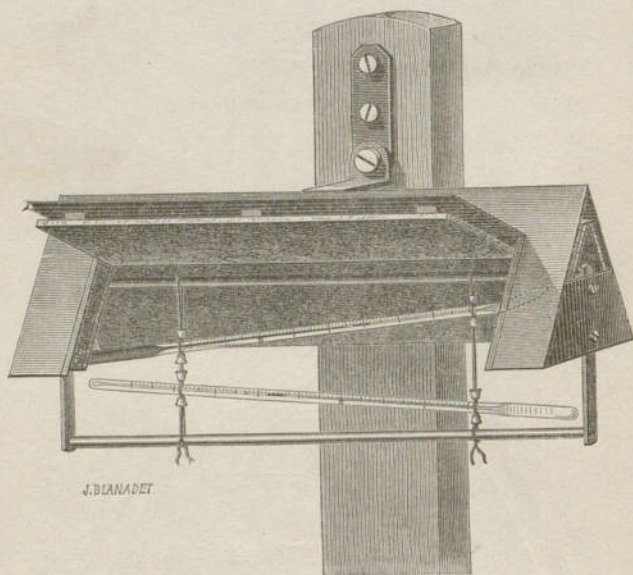


pendant de l'abri. Les thermomètres et divers instruments d'observation météorologique sont

fixés sur la face de la planchette qui regarde le nord (*fig. 6*).

En l'absence d'un abri spécial, on installera la planchette servant de support aux thermo

Fig. 7



mètres à quelques décimètres en avant d'un mur exposé au nord. Celle-ci sera abritée vers le haut contre la pluie par une planche attenante au mur et inclinée à  $45^{\circ}$  et latéralement

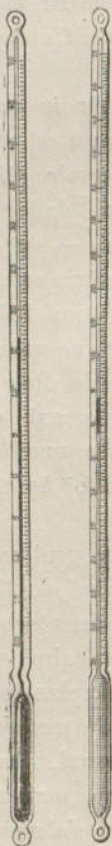


par deux planchettes encastrées dans le mur afin d'abriter les thermomètres, le matin et le soir, vers le lever et le coucher du soleil, surtout en été (*fig. 7*).

*Thermomètres pour la mesure de la température de l'air.* — On emploiera à cet effet des thermomètres à mercure, à réservoir cylindrique gradués, soit en degrés, soit en  $\frac{1}{5}$  de degré, suivant la précision à obtenir depuis  $-20^{\circ}$  ou  $-30^{\circ}$  jusqu'à  $+50^{\circ}$ . Ces thermomètres seront lus à l'ombre autant que possible sous l'abri thermométrique. On peut obtenir une valeur très approchée de la température de l'air à l'ombre en faisant tourner rapidement en fronde, et cela même au soleil, un thermomètre attaché à l'extrémité d'un cordon de 0<sup>m</sup>,50 environ : *Thermomètre fronde*.

*Thermomètre à maxima.* — On peut employer le thermomètre à étranglement de Negretti (*fig. 8*) ou celui de Baudin dans lequel l'obturation partielle du canal capillaire est obtenue par une aiguille de verre implantée à la base du réservoir. La colonne de mercure avance malgré l'étranglement du canal, aussi longtemps que la température s'élève, mais ne rétrograde pas quand la température s'abaisse. La position de l'extrémité antérieure de l'index

Fig. 8 Fig. 9 de mercure engagé dans le canal capillaire fait connaître la température maxima de la journée. Il suffit de donner à l'instrument redressé verticalement quelques secousses, dirigées de haut en bas, pour faire rentrer le mercure dans le réservoir et disposer le thermomètre pour une nouvelle observation.

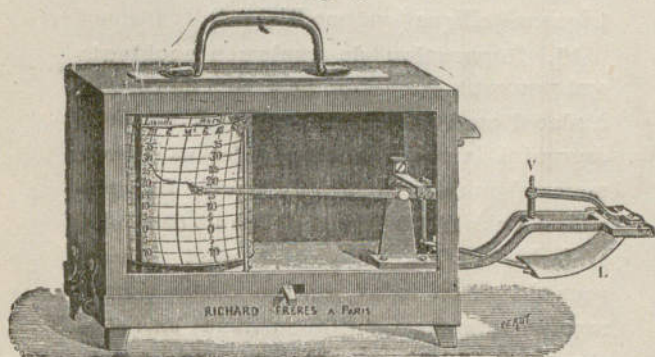


*Thermomètre à minima.* — On emploie, pour obtenir l'indication des températures minima, le thermomètre de Rutherford (*fig. 9*). C'est un thermomètre à alcool, avec index de verre. Quand la température s'élève, l'alcool filtre entre l'index et la paroi du canal; quand elle s'abaisse, le retrait de l'alcool détermine, au contraire, la rétrogradation de l'index, dont l'extrémité antérieure s'arrête en regard de la température minima réalisée pendant la période d'observation. Il suffit d'incliner le thermomètre, en dirigeant le réservoir vers le

haut, pour que l'index glisse dans le canal capillaire jusqu'au contact de l'extrémité antérieure de la colonne d'alcool qui y est engagée.

*Thermomètre enregistreur.* — Ce thermomètre (fig. 10) inscrit sur un cylindre une courbe continue sur laquelle on peut relever les températures successivement réalisées dans

Fig. 10



l'intervalle de plusieurs journées successives. Tel est le thermomètre enregistreur de Richard, qui peut rendre de très utiles services pour l'étude de la marche des températures dans les divers bâtiments d'une exploitation agricole, tels que caves, celliers, laiteries, magnaneries.

*Thermomètres avertisseurs.* — Ces instruments sont destinés à donner l'avertissement,



par la mise en action d'une sonnerie électrique, de la réalisation d'une température déterminée. Ils sont plus spécialement appliqués à l'avertissement des gelées de printemps. Les deux modèles les plus recommandables, pour ce genre d'observation, sont le thermomètre avertisseur à alcool et mercure (système Eon) et le thermomètre avertisseur à réservoir manométrique métallique (système Richard).

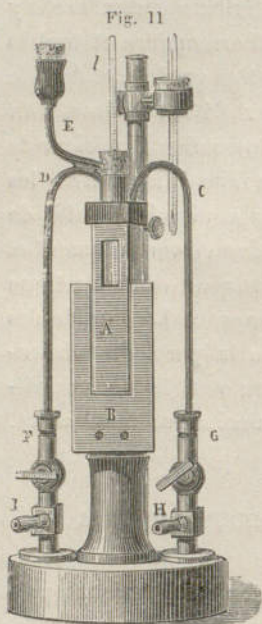
**49. Réparation de quelques accidents qui peuvent survenir aux thermomètres à alcool ou à mercure.** — Il se forme assez souvent à la suite de chocs (thermomètres à mercure) ou de distillation du liquide (thermomètres à alcool) des index alternants de liquide et de bulles d'air. Un procédé assez général pour chasser ces index, consiste à faire tourner rapidement le thermomètre en fronde en l'attachant à une ficelle par l'écilleton de verre qui termine sa tige graduée. Si le thermomètre reste réfractaire à ce premier essai de traitement, on opérera de la manière suivante pour les thermomètres à mercure, munis d'une chambre à air. On chauffe avec précaution le réservoir du thermomètre, jusqu'à ce qu'on ait engagé dans la tige un index de 8 à 10 centimètres de long. On retourne alors le thermomètre, le

réservoir vers le haut, et l'on donne une secousse un peu brusque dirigée de haut en bas. L'index de la base chasse devant lui les index partiels qu'il refoule dans la chambre à air. Quand son extrémité antérieure commence à y pénétrer, on redresse le thermomètre et tout le mercure rentre dans la tige graduée et dans le réservoir, les divers index s'étant fusionnés en une seule gouttelette de mercure à l'intérieur de la chambre à air. Pour faire disparaître les index d'un thermomètre à alcool, il suffit de tenir le thermomètre redressé verticalement et de frapper le réservoir sur un corps élastique tel que le fond d'un chapeau. Le liquide des index supérieurs mouille la paroi du tube capillaire et glisse peu à peu vers les index inférieurs qui disparaissent ainsi assez rapidement.

#### MESURE DE L'HUMIDITÉ DE L'AIR

50. — Si l'on désire obtenir une mesure précise de l'état hygrométrique de l'atmosphère, on doit avoir recours à la méthode de l'*hygromètre à condensation*. Le modèle le plus employé est celui d'Alluard (*fig. 11*). Un réservoir prismatique quadrangulaire, revêtu à sa partie

antérieure d'une lame de laiton doré, est rempli d'éther. Un courant d'air chassé par un soufflet barbotte dans le liquide et en détermine le refroidissement. Un thermomètre fait connaître



la température  $t$  de la paroi de laiton doré au moment de l'apparition du dépôt de rosée. On cesse de souffler en fermant le robinet d'arrivée de l'air et l'on attend que le dépôt de rosée ait disparu ; on note la température  $t'$  de disparition du dépôt. La température du point de rosée  $\theta$  a pour valeur  $\theta = \frac{t + t'}{2}$ . La tension actuelle  $f$  de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est égale à la tension maxima de vapeur qui correspond à la température

$\theta$  du point de rosée. Cette tension est donnée par la table des tensions de vapeur (p. 35). La lecture d'un autre thermomètre

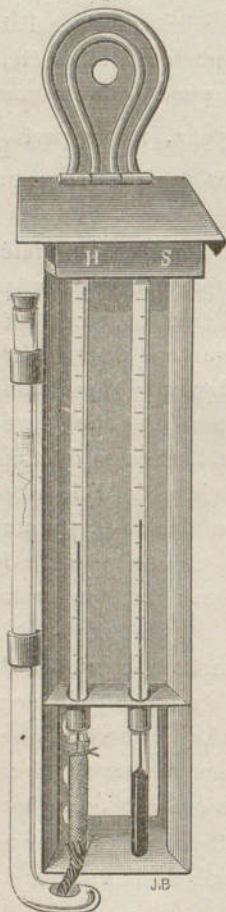


suspendu dans l'air au voisinage de l'hygromètre fait connaître la température  $T$  de l'atmosphère à laquelle correspondrait, si l'air était saturé, une tension  $F$  donnée par les mêmes tables des tensions de vapeur. Le rapport  $\frac{f}{F}$  exprime la valeur de l'état *hygrométrique* ou *fraction de saturation*.

51. — L'hygromètre à condensation intérieure de M. Crova conduit par une voie tout à fait semblable à la même détermination. Il présente sur le précédent l'avantage de permettre la détermination de l'état hygrométrique d'une masse d'air confinée. On peut également, avec cet appareil, déterminer à l'intérieur d'un appartement l'état hygrométrique de l'air extérieur, à la seule condition de relier par une canalisation l'atmosphère antérieure avec le tube à l'intérieur duquel on observe la formation du dépôt de rosée.

52. — Pour les déterminations courantes de l'état hygrométrique de l'air on emploiera exclusivement le *psychromètre* à thermomètres sec et mouillé. Deux thermomètres à réservoirs cylindriques gradués en  $\frac{1}{5}$  de degré sont assemblés sur une planchette en bois ou sur un cadre métallique. Le réservoir de l'un d'eux est

Fig. 12



enveloppé de plusieurs doubles de mousseline et relié par une mèche de coton à un réservoir d'alimentation rempli d'eau distillée ou d'eau de pluie (fig. 12).

La chaleur de vaporisation empruntée au liquide pendant son évaporation refroidit le thermomètre mouillé et, à un moment donné la température  $t'$ , stationnaire de celui-ci, est déterminée par l'équilibre de la vitesse de refroidissement et de la vitesse de réchauffement du réservoir.

Si  $F'$  est la tension maxima correspondant à la température  $t'$  du thermomètre mouillé et si  $f$  est la tension actuelle de la vapeur dans l'atmosphère dont la température est  $t$ , la vitesse

d'évaporation est proportionnelle à  $\frac{F' - f}{H}$ ; H étant la pression de l'atmosphère; la vitesse de refroidissement est proportionnelle à ce même quotient  $\frac{F' - f}{H}$ . D'autre part, la vitesse de réchauffement est proportionnelle à la différence des températures  $t - t'$ . On a, par suite, l'égalité  $\frac{F' - f}{H} = KH (t - t')$ , on en déduit  $f = F'KH (t - t')$ . La valeur de K est : 0,00079 si  $t' > 0$  et K = 0,00069 si  $t' < 0$ . On pourrait, à l'aide de cette formule, calculer  $f$  en fonction de la pression H et des températures  $t$  et  $t'$  des deux thermomètres;  $F'$  est la tension maxima qui correspond à  $t'$ . On simplifie beaucoup cette détermination en recourant à des tables qui font connaître, pour les pressions voisines de 760 millimètres, la valeur de l'état hygrométrique mise en regard de la différence  $t - t'$  observée des deux températures et de la valeur  $t'$  de la température du thermomètre mouillé. Les tableaux suivants contiennent un extrait de ces *tables psychrométriques* que l'on trouvera plus complètes, soit dans l'*Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*, soit dans les *Instructions météorologiques* de M. Angot.



TABLE PSYCHROMÉTRIQUE

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0°, 0	100	100	100	100	100	100	100	100
0, 2	96	96	96	97	97	97	97	97
0, 4	92	93	93	93	93	94	94	94
0, 6	88	89	89	90	90	91	91	91
0, 8	85	85	86	87	87	88	88	89
1, 0	81	82	83	83	84	85	85	86
1, 2	78	79	80	80	81	82	83	83
1, 4	74	75	76	77	78	79	80	81
1, 6	71	72	73	74	75	77	77	78
1, 8	67	69	70	71	73	74	75	76
2, 0	64	66	67	69	70	71	72	73
2, 2	61	63	65	66	67	69	70	71
2, 4	58	60	62	63	65	66	67	69
2, 6	55	55	59	61	62	64	65	66
2, 8	52	54	56	58	60	61	63	64
3, 0	50	52	54	56	57	59	61	62
3, 2	47	49	51	53	55	57	58	60
3, 4	44	47	49	51	53	55	56	58
3, 6	41	44	46	49	51	52	54	56
3, 2	39	42	44	46	48	50	52	54
4, 0	36	39	42	44	46	48	50	52
4, 2	34	37	39	42	44	46	48	50
4, 4	32	35	37	40	42	44	46	48
4, 6	29	32	35	38	40	42	44	46
4, 8	27	30	33	36	38	40	43	45
5, 0	25	28	31	34	36	39	41	43

Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	8	9	10	11	12	13	14	15
0, 0	100	100	100	100	100	100	100	100
0, 2	97	97	97	97	98	98	98	98
0, 4	94	95	95	95	95	95	95	96
0, 6	92	92	93	93	93	93	93	93
0, 8	89	89	90	90	90	91	91	91
1, 0	86	86	86	87	88	89	89	89
1, 2	84	84	85	86	86	86	87	87
1, 4	81	82	83	83	84	84	85	85
1, 6	79	80	80	81	82	82	83	83
1, 8	76	77	78	79	80	80	81	81
2, 0	74	75	76	77	78	78	79	80
2, 2	72	73	74	75	76	76	77	78
2, 4	70	71	72	73	74	75	75	76
2, 6	68	69	70	71	72	73	73	74
2, 8	65	67	68	69	70	71	72	72
3, 0	63	65	66	67	68	69	70	71
3, 2	61	63	64	65	66	67	68	69
3, 4	59	61	62	63	64	66	67	67
3, 6	57	59	60	61	62	64	65	66
3, 8	56	57	58	60	61	63	63	64
4, 0	54	56	57	58	59	61	62	63
4, 2	52	53	55	56	58	59	60	61
4, 4	50	52	53	55	56	57	59	60
4, 6	48	50	52	53	55	56	57	58
4, 8	47	48	50	52	53	55	56	57
5, 0	45	47	48	50	52	53	54	55

Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	16	17	18	19	20	21	22	23
0, 0	100	100	100	100	100	100	100	100
0, 2	98	98	98	98	98	98	98	98
0, 4	96	96	96	96	96	96	96	96
0, 6	94	94	94	94	94	94	95	95
0, 8	92	92	92	92	92	92	93	93
1, 0	90	90	90	91	91	91	91	91
1, 2	88	88	88	89	89	90	90	90
1, 4	86	86	87	87	87	88	88	88
1, 6	84	84	85	85	86	86	86	87
1, 8	82	82	83	83	83	83	85	85
2, 0	80	81	81	82	82	82	83	83
2, 2	78	79	80	80	81	81	82	82
2, 4	77	78	78	79	80	80	80	81
2, 6	75	76	76	77	77	78	79	79
2, 8	73	74	75	75	76	77	77	78
3, 0	72	72	73	74	74	75	76	76
3, 2	70	71	72	72	73	74	74	75
3, 4	68	69	70	71	72	72	73	73
3, 6	67	68	69	69	70	71	71	72
3, 8	65	67	67	68	69	69	70	71
4, 0	64	65	66	66	67	68	69	69
4, 2	62	63	64	65	66	67	67	68
4, 4	61	62	63	64	65	65	66	67
4, 6	59	61	62	62	63	64	65	66
4, 8	58	59	60	61	62	63	64	65
5, 0	57	58	59	60	61	62	63	63



Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	24	25	26	27	28	29	30	//
0, 0	100	100	100	100	100	100	100	//
0, 2	98	98	98	98	98	98	98	//
0, 4	97	97	97	97	97	97	97	//
0, 6	95	95	95	95	95	95	95	//
0, 8	93	93	93	93	93	94	94	//
1, 0	92	92	92	92	92	92	93	//
1, 2	90	90	90	91	91	91	91	//
1, 4	88	89	89	89	89	90	90	//
1, 6	87	87	87	88	88	88	89	//
1, 8	85	86	86	86	87	87	87	//
2, 0	84	84	85	85	85	85	86	//
2, 2	82	83	83	83	84	84	84	//
2, 4	85	82	82	83	83	83	83	//
2, 6	79	79	80	81	81	81	82	//
2, 8	78	79	79	79	80	80	81	//
3, 0	77	77	78	78	79	79	79	//
3, 2	75	76	77	77	77	77	78	//
3, 4	74	75	75	76	76	76	77	//
3, 6	73	73	74	74	75	75	76	//
3, 8	71	72	73	73	74	74	75	//
4, 0	70	70	71	72	73	73	73	//
4, 2	69	70	70	71	71	72	72	//
4, 4	68	68	69	70	70	71	71	//
4, 6	67	67	68	68	69	70	70	//
4, 8	65	66	67	67	68	68	69	//
5, 0	64	25	61	66	67	67	68	//

Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	0	1	2	3	4	5	6	7
5 <sup>o</sup> , 2	23	26	29	32	34	37	39	41
5, 4	21	24	27	30	33	35	37	40
5, 6	19	22	23	28	31	33	36	38
5, 8	17	20	23	26	29	32	34	36
6, 0	15	18	22	25	28	30	33	35
6, 2	13	16	20	23	26	28	31	33
6, 4	11	15	18	21	24	27	29	32
6, 6	9	13	16	19	23	25	28	30
6, 8	8	11	15	18	21	24	26	29
7, 0	6	10	13	16	19	23	25	28

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	8	9	10	11	12	13	14	15
5 <sup>o</sup> , 2	43	45	47	49	50	51	53	54
5, 4	42	44	45	47	49	50	51	53
5, 6	40	42	44	46	47	49	50	51
5, 8	39	41	42	44	46	47	49	50
6, 0	37	39	41	43	44	46	47	49
6, 2	35	38	40	41	43	45	46	48
6, 4	34	36	38	40	42	44	45	46
6, 6	33	35	37	39	41	42	44	45
6, 8	31	33	35	37	39	41	43	44
7, 0	30	32	34	36	38	40	41	43

Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	16	17	18	19	20	21	22	23
5 <sup>o</sup> , 2	55	56	58	59	60	60	61	62
5, 4	54	55	56	57	58	59	60	61
5, 6	53	54	55	56	57	58	59	60
5, 8	51	53	54	55	56	57	58	59
6, 0	50	52	53	54	55	56	57	58
6, 2	49	50	51	53	54	55	56	57
6, 4	48	49	50	51	53	54	55	56
6, 6	47	48	49	50	52	53	54	55
6, 8	45	47	48	49	50	52	53	54
7, 0	44	46	47	48	49	51	52	53

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé							
	24	25	26	27	28	29	30	//
5 <sup>o</sup> , 2	63	64	64	65	66	66		//
5, 4	62	63	63	64	65	65		//
5, 6	61	62	62	63	64	64		//
5, 8	60	60	61	62	63	64		//
6, 0	59	59	60	61	62	62		//
6, 2	58	58	59	60	61			//
6, 4	56	57	58	59	60			//
6, 6	55	56	57	58	59			//
6, 8	54	55	56	57	58			//
7, 0	53	54	55	56	57			//



Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	0	1	2	3	4	5	6
7, 2	4	8	12	15	18	21	24
7, 4	3	7	10	13	16	19	23
7, 6	1	5	9	12	15	18	21
7, 8	"	4	7	11	14	17	20
8, 0	"	2	6	9	13	16	18
8, 2	"	1	4	8	11	14	17
8, 4	"	"	3	7	10	13	16
8, 6	"	"	2	5	9	12	15
8, 8	"	"	1	4	8	11	14
9, 0	"	"	"	3	6	10	13
9, 2	"	"	"	2	5	8	12
9, 4	"	"	"	1	4	7	10
9, 6	"	"	"	"	3	6	9
9, 8	"	"	"	"	2	5	8
10, 0	"	"	"	"	1	4	7
10, 2	"	"	"	"	"	3	5
10, 4	"	"	"	"	"	2	5
10, 6	"	"	"	"	"	1	4
10, 8	"	"	"	"	"	"	3
11, 0	"	"	"	"	"	"	2
11, 2	"	"	"	"	"	"	1
11, 4	"	"	"	"	"	"	"
11, 6	"	"	"	"	"	"	"
11, 8	"	"	"	"	"	"	"
12, 0	"	"	"	"	"	"	"
12, 2	"	"	"	"	"	"	"

Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	7	8	9	10	11	12	13
7, 2	26	29	31	33	35	37	39
7, 4	25	27	30	32	34	36	37
7, 6	24	26	28	30	32	34	36
7, 8	22	25	27	29	31	33	35
8, 0	21	24	26	28	30	32	34
8, 2	20	22	25	27	29	31	33
8, 4	19	22	24	26	28	30	32
8, 6	17	20	23	25	27	29	31
8, 8	16	19	21	24	26	28	30
9, 0	15	18	20	23	25	27	29
9, 2	14	17	19	22	24	26	28
9, 4	13	16	18	21	23	25	27
9, 6	12	15	17	20	22	24	26
9, 8	11	14	16	19	21	23	25
10, 0	10	13	16	18	20	22	25
10, 2	9	12	15	17	19	22	24
10, 4	8	11	14	16	18	22	23
10, 6	7	10	13	15	18	20	22
10, 8	7	9	12	14	17	19	21
11, 0	6	9	11	14	16	18	20
11, 2	5	8	10	13	15	17	19
11, 4	4	7	10	12	14	17	19
11, 6	3	6	9	11	14	16	18
11, 8	2	5	8	11	13	15	17
12, 0	2	5	7	10	12	14	16
12, 2	1	4	7	9	11	14	16

Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	14	15	16	17	18	19	20
7, 2	40	42	43	45	46	47	48
7, 4	39	41	42	44	45	46	47
7, 6	38	40	41	43	44	45	46
7, 8	37	39	40	42	43	44	45
8, 0	36	37	39	40	42	43	44
8, 2	35	36	38	39	41	42	43
8, 4	34	35	37	39	40	41	43
8, 6	33	34	36	38	39	40	42
8, 8	32	33	35	37	38	39	41
9, 0	31	33	34	36	37	39	40
9, 2	30	32	33	35	35	38	39
9, 4	29	31	32	34	35	37	38
9, 6	28	30	31	33	35	36	37
9, 8	27	29	31	32	34	35	36
10	26	28	30	31	33	34	36
10, 2	25	27	29	31	32	33	35
10, 4	25	26	28	30	31	33	35
10, 6	24	26	27	29	30	32	34
10, 8	23	25	27	28	29	31	33
11, 0	22	24	26	27	29	30	32
11, 2	21	23	25	27	28	30	31
11, 4	21	22	24	26	27	29	30
12, 6	20	22	23	25	27	28	30
11, 8	19	21	22	24	26	28	29
12, 0	18	20	22	24	25	27	28
12, 2	18	20	21	23	25	26	28





Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	21	22	23	24	25	26	27
7°, 2	50	51	52	52	53	54	55
7, 4	49	50	51	52	52	53	54
7, 6	48	49	50	51	52	52	53
7, 8	47	48	49	50	51	51	52
8, 0	46	47	48	49	50	51	51
8, 2	45	46	47	48	49	50	51
8, 4	44	45	46	47	48	49	50
8, 6	43	44	45	46	47	48	49
8, 8	42	43	44	45	46	47	49
9, 0	41	42	43	44	45	46	48
9, 2	40	41	42	44	45	46	47
9, 4	40	41	42	43	44	45	47
9, 6	39	40	41	42	43	45	46
9, 8	38	39	40	41	42	44	45
10	37	38	39	40	42	43	44
10, 2	36	37	39	39	41	43	44
10, 4	35	37	38	38	40	42	43
10, 6	35	36	37	37	40	41	42
10, 8	35	35	36	37	39	41	42
11, 0	33	34	36	36	38	40	41
11, 2	32	34	35	36	38	39	41
11, 4	32	33	34	35	37	39	40
11, 6	31	32	34	35	36	38	39
11, 8	30	32	33	35	36	37	38
12, 0	30	31	32	34	35	36	37
12, 2	29	30	32	34	35	36	37



Table psychrométrique (suite)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	0	1	2	3	4	5	6
12°, 4	//	//	//	//	//	//	//
12, 6	//	//	//	//	//	//	//
12, 8	//	//	//	//	//	//	//
13, 0	//	//	//	//	//	//	//
13, 2	//	//	//	//	//	//	//
13, 4	//	//	//	//	//	//	//
13, 6	//	//	//	//	//	//	//
13, 8	//	//	//	//	//	//	//
14, 0	//	//	//	//	//	//	//

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	7	8	9	10	11	12	13
12°, 4	2	3	6	8	11	13	15
12, 6	//	2	5	8	10	12	14
12, 8	//	2	4	7	9	12	14
13, 0	//	1	4	6	9	11	13
13, 2	//	//	3	6	8	10	12
13, 4	//	//	2	5	7	10	12
13, 6	//	//	2	4	7	9	11
13, 8	//	//	1	4	6	8	11
14, 0	//	//	1	3	6	8	10

Table psychrométrique (*suite*)

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	14	15	16	17	18	19	20
12, 4	17	19	21	22	24	26	27
12, 6	16	18	20	22	23	25	26
12, 8	16	18	19	21	23	25	26
13, 0	15	17	19	21	22	24	25
13, 2	14	16	18	20	22	23	25
13, 4	14	16	18	19	21	22	24
13, 6	13	14	17	19	20	22	23
13, 8	13	15	16	18	20	21	23
14, 0	12	14	16	17	19	21	22

Différence des thermomètres sec et mouillé	Température du thermomètre mouillé						
	21	22	23	24	25	26	27
12 <sup>o</sup> , 4	28	30	32	33	34	35	36
12, 6	28	29	32	33	34	35	36
12, 8	27	28	31	32	33	34	35
13, 0	27	28	30	31	32	33	34
13, 2	26	27	30	31	32	33	34
13, 4	25	27	29	30	31	32	33
13, 6	25	27	28	29	30	31	32
13, 8	24	26	28	29	30	31	32
14, 0	24	26	27	28	29	30	31



53. *Exemple de détermination de l'état hygrométrique par le psychromètre* — Le thermomètre sec donne  $15^{\circ},4$ , le thermomètre mouillé  $12^{\circ},8$ . La différence est  $2^{\circ},6$ . En suivant la colonne verticale correspondant à  $13^{\circ}$ , température la plus voisine de celle du thermomètre mouillé et la colonne horizontale correspondant à la différence  $2^{\circ},6$ , on trouve au point de rencontre le nombre 73 qui exprime en centièmes la valeur de l'état hygrométrique de l'air 0,73.

Pour la détermination de l'état hygrométrique d'une masse d'air confinée (étuve, chambre à dessiccation), on ne saurait employer le psychromètre dont le réservoir d'alimentation élèverait progressivement le degré de saturation de l'atmosphère, l'*hygromètre à cheveu* convient alors pour cet usage. Le modèle le plus commode est celui dans lequel le poids tenseur est remplacé par un ressort spiral qui permet l'observation de l'hygromètre à volonté dans un plan horizontal ou vertical. L'hygromètre à cheveu peut se graduer à l'aide du psychromètre en procédant à une série de comparaisons dans des atmosphères inégalement saturées.

Pour calculer le poids de vapeur d'eau contenu dans un mètre cube d'air on commencera à dé-

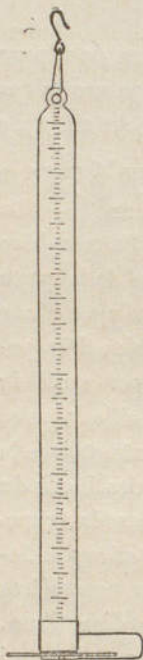
terminer la valeur de  $f$  en multipliant la tension  $F$  maxima, correspondant à la température de l'air, par l'état hygrométrique  $E$ ; on a :  $\frac{f}{F} = E$  et  $f = F \times E$ .

On trouvera  $P$  le poids en grammes de vapeur par mètre cube d'air à la température  $t$  dans lequel la tension actuelle de vapeur est  $f$  par l'expression  $P = 0,622 \frac{1293,2}{1 + 0,00367t} \times \frac{f}{760}$ .

**54. Mesure de l'évaporation.** — La mesure du pouvoir évaporant de l'atmosphère peut s'obtenir par la détermination de la perte de poids ou de l'abaissement du niveau d'une masse d'eau contenue dans une bassine d'évaporation. La vitesse d'évaporation par unité de surface varie, toutes choses égales d'ailleurs, avec la grandeur de la surface évaporante et avec la profondeur du liquide au-dessous des bords du vase. Si l'on désire comparer le pouvoir évaporant de l'atmosphère dans deux stations différentes, il est utile d'employer des évaporomètres de même surface et de même disposition. L'évaporomètre, le plus généralement employé en France et dont l'observation est la plus commode, est celui de M. Piche (*fig.* 13). Il consiste, essentiellement, en un tube de verre rempli d'eau distillée ou d'eau de pluie, fermé à sa par-

tie inférieure par une rondelle de papier buvard dont la surface totale d'évaporation est de 13 cen-

Fig. 13



timètres carrés environ. Si le tube est gradué en divisions de  $1\text{ cm}^2,3$  de capacité, chaque division correspond à une nappe d'eau de 1 millimètre d'épaisseur évaporée par la rondelle. La graduation du tube permet de chiffrer l'évaporation en millimètres et en dixièmes de millimètres.

**55. Mesure de l'humidité du sol.** — La mesure de l'humidité du sol aux diverses époques de l'année peut être obtenue par le procédé suivant : On prélève, à l'aide d'une sonde spéciale à tarière et à cuillère, un échantillon du sol de 100 grammes environ aux profondeurs de  $0^{\text{m}},15$ ,  $0^{\text{m}},50$  et 1 mètre. L'échantillon est transporté dans un flacon bouché à l'émeri et on en pèse rapidement 50 ou 100 grammes que l'on porte

à l'étuve à air à  $100^{\circ}$ . La perte de poids, au bout de vingt-quatre heures, fait connaître la teneur pour cent en humidité.



On obtient une expression plus exacte des conditions d'humidité du sol en déterminant le rapport du volume d'eau contenu dans le sol au volume de l'espace vide constitué par les interstices de ses particules. Le volume d'eau contenu dans 100 volumes du sol s'obtient en enlevant, à l'aide d'une sonde cylindrique à bords tranchants, un volume de 100 centimètres cubes du sol en place. On dessèche cet échantillon à l'étuve à 100° et on détermine le poids d'eau  $p$  qu'il contient et dont le volume est  $v = p$ .

D'autre part, si  $D$  est la densité réelle des éléments constitutifs du sol et  $\delta$ , la densité brute de l'échantillon déduite de la valeur de son poids sec  $P$ ,  $\delta = \frac{P}{100}$  et le volume de vide en centimètres cubes pour 100 centimètres cubes du sol est donné par la relation  $V = 100 \frac{D - \delta}{D}$ .

Le quotient  $\frac{v}{V}$  exprime le rapport de saturation du sol par l'eau ; il permet de comparer assez exactement le degré de saturation par l'eau de sols de constitution différente. C'est en quelque sorte, pour l'humidité du sol, l'équivalent du rapport  $\frac{f}{F}$  état hygrométrique pour l'humidité de l'atmosphère.



### MESURE DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

56. — La mesure exacte de la pression atmosphérique ne peut être obtenue qu'à l'aide d'un baromètre à mercure. Le modèle le plus commode pour ces mesures précises est le baromètre à large cuvette et à échelle compensée représenté ci-contre construit par M. Tonnelot d'après les indications de M. Renou. La section de la cuvette est exactement cent fois plus grande que celle du tube, de telle sorte que, lorsque la pression de l'atmosphère varie de un millimètre, la variation de niveau est de  $\frac{99}{100}$  de millimètre dans le tube barométrique est de  $\frac{1}{100}$  dans la cuvette. La graduation de l'échelle du baromètre est faite en divisions dont la longueur nette est de  $\frac{99}{100}$  de millimètre. Chaque fois que la hauteur de la colonne mercurielle varie dans le tube de une de ces divisions, la pression varie exacte-

ment de un millimètre. Un vernier adapté à la règle graduée permet d'apprécier le dixième de millimètre.

57. — La lecture directe de la pression atmosphérique ainsi déterminée nécessite plusieurs corrections. La plus essentielle est la *correction de température*. Quand la température s'élève, le mercure se dilate et devient plus léger et, bien que la pression de l'atmosphère reste la même, il faut une plus grande longueur de la colonne de mercure pour équilibrer une même pression. On ramène la longueur  $h$  de la colonne de mercure observée à  $t^\circ$  à la longueur  $H_0$  qu'elle posséderait à  $0^\circ$ . Si  $K$  est le coefficient de dilatation linéaire du métal de la règle graduée et  $\alpha$  le coefficient de dilatation absolu du mercure, on a pour calculer  $H_0$  la relation :  $H_0 = h \frac{1 + Kt}{1 + \alpha t}$ .  
 $K = 0,0000188$  et  $\alpha = 0,000179$ .

On évite ces calculs en recourant à une table numérique donnant la valeur de la correction aux diverses températures et pour différentes pressions.



108 MESURE DES ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

TABLE POUR LA RÉDUCTION DU BAROMÈTRE A 0°

Température du baromètre	Hauteurs du baromètre								
	700	705	710	715	720	725	730	735	740
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
10	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
11	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
12	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
13	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
14	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7
15	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8
16	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
17	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
18	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
19	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3
20	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4
21	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5
22	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
23	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
24	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9
25	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0

Table pour la réduction du baromètre à 0° (suite)

Température du baromètre	Hauteurs du baromètre								
	745	750	755	760	765	770	775	780	''
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	''
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	''
2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	''
3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	''
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	''
5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	''
6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	''
7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	''
8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	''
9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	''
10	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	''
11	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	''
12	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	''
13	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	''
14	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	''
15	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	''
16	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	''
17	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	''
18	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	''
19	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	''
20	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	''
21	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	''
22	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	''
23	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	''
24	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	''
25	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	''

## 110 MESURE DES ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

Table pour la réduction du baromètre à 0° (suite)

Température du baromètre	Hauteurs du baromètre								
	700	705	710	715	720	725	730	735	740
26	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1
27	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2
28	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
29	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5
30	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6
31	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7
32	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8

Température du baromètre	Hauteurs du baromètre								
	745	750	755	760	765	770	775	780	''
26	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	''
27	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	''
28	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	''
29	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	''
30	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,8	''
31	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	''
32	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	''

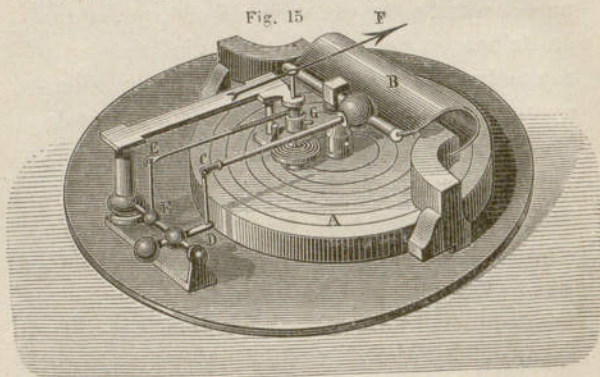


58. — Lorsque les observations barométriques doivent concourir à l'établissement de la carte des isobares d'une région assez étendue et accidentée, il est nécessaire de faire subir à la pression barométrique ramenée à 0°, une seconde correction appelée *correction d'altitude*. Quand, dans le voisinage du sol, l'altitude varie de 1 mètre, la pression barométrique varie de 0<sup>mm</sup>,095. Pour de faibles variations d'altitude inférieures à 100 mètres, on rendra les diverses observations comparables entre elles en ajoutant autant de fois 0<sup>mm</sup>,0095 que la station compte de mètres d'altitude au-dessus du niveau de la mer. La pression, ainsi corrigée, est dite réduite au niveau de la mer. Pour des altitudes plus considérables on emploie, en général, la formule suivante, qui tient compte en partie de la variation de densité de l'air à diverses altitudes :

$$H = h \frac{16\,000 + a}{16\,000 - a};$$

$a$  est l'altitude du lieu,  $h$  la pression mesurée à cette altitude,  $H$  est la pression réduite au niveau de la mer. Cette même formule permettra de calculer l'altitude d'un lieu à l'aide du baromètre, si l'on connaît la hauteur barométrique  $H$  au niveau de la mer et la hauteur barométrique au point  $h$  considéré, déterminées simultanément.

59. — Pour la prévision locale du temps, l'agriculteur pourra substituer à l'observation précise du baromètre à mercure l'indication approximative de la pression donnée par un *baromètre métallique* ou *anéroïde* (fig. 15). Cet instrument est constitué par une boîte métallique à couvercle flexible dans laquelle on a fait le vide.



L'affaissement ou le soulèvement du couvercle, sous l'influence des variations de pression extérieure, met en mouvement, à l'aide d'engrenages et d'un système de leviers, l'aiguille indicatrice des pressions. Les variations de température modifient, en général, les conditions d'équilibre de la flexion du couvercle et du ressort antagoniste logé à l'intérieur de la boîte. On atténue cette erreur en laissant un peu d'air à l'intérieur

de la boîte ; les baromètres anéroïdes qui deviennent, grâce à cet artifice, insensibles aux variations de température, sont dits baromètres métalliques compensés ; leur construction est en général plus soignée. Les baromètres anéroïdes se dérèglent assez rapidement ; une vis de réglage permet de les remettre facilement en concordance avec la valeur exacte de la pression donnée par un baromètre à mercure.

Pour faciliter la prévision du temps, l'échelle des conditions atmosphériques : grand vent, pluie variable, beau, très beau, est inscrite en regard de la graduation en millimètres de pression en marchant des faibles aux fortes pressions. *Variable* correspond à la pression moyenne de la localité. Une aiguille mobile à la main et disposée au-dessous du couvercle de verre qui protège l'aiguille principale, permet de vérifier, en mettant les deux aiguilles en concordance, le sens de la variation de pression survenue dans les vingt-quatre heures.

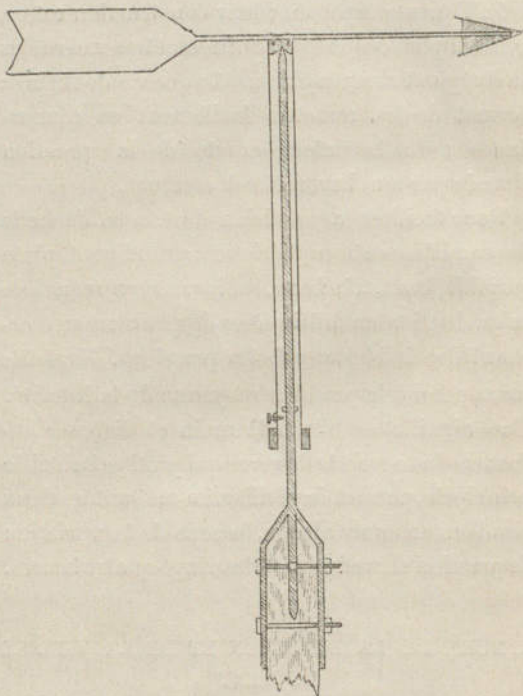
#### MESURE DE LA DIRECTION ET DE LA VITESSE DU VENT

60. — La direction du vent s'observe à l'aide des girouettes. Leur qualité principale doit être leur sensibilité. Il est essentiel que l'axe d'os-



cillation de leur flèche indicatrice soit soustrait aux intempéries. On y parvient en adoptant le

Fig. 16



dispositif suivant : La tige ou pivot de la girouette pénètre dans un tube de laiton fermé à son sommet par un culot d'acier servant de crapaudine

à la pointe du pivot. La flèche indicatrice prolongée par les pennes directrices est soudée ou rivée à l'extrémité supérieure du tube de laiton (*fig. 16*). On peut, pour compléter la stabilité de la girouette et assurer le centrage du tube sur le pivot, lester l'extrémité inférieure du tube à l'aide d'un anneau de plomb.

En l'absence de girouette, une banderolle d'étoffe légère flottant à l'extrémité d'une perche de 3 à 4 mètres de hauteur indique très exactement la direction du vent.

Pour repérer l'indication de la flèche de la girouette ou de la banderolle, il suffit de fixer à la base du pivot de la girouette ou de la perche de la banderolle un croisillon à quatre bras orientés suivant les quatre points cardinaux. On peut encore regarder à distance l'image de la girouette ou de la banderolle dans un miroir convenablement orienté sur lequel on a gravé deux traits rectangulaires correspondant à la ligne Nord-Sud et Est-Ouest. L'orientation de l'image de la girouette sur le miroir représente exactement sa direction. Le même miroir peut servir également à déterminer la direction des courants supérieurs de l'atmosphère en observant le trajet de l'image des nuages qu'ils transportent, vus par réflexion à sa surface.

L'indication de la vitesse du vent est obtenue à l'aide d'appareils spéciaux, *anémomètres*. Pour obtenir la vitesse moyenne du vent pendant l'intervalle d'une journée, on emploie un moulinet à coupes hémisphériques dont la vitesse de rotation est proportionnelle à celle du vent. Pour un moulinet de 0<sup>m</sup>,50 de diamètre muni de coupes de 8 à 10 centimètres de diamètre, le chemin parcouru par le vent est environ le triple du chemin parcouru par le centre d'une coupe. Un compteur de tours est adapté à l'axe du moulinet; on déduit du nombre de tours pendant une journée la valeur de la vitesse moyenne du vent.

61. — Pour apprécier la vitesse du vent à un moment donné, on emploie les anémomètres portatifs à main. Ce sont, en général, de petites turbines à air, à palettes très légères, que l'on oriente dans la direction du vent. Un système d'engrenage communique à une aiguille indicatrice une vitesse proportionnelle à la vitesse de la turbine et à celle du vent. Le cadran indicateur est gradué en mètres de chemin parcouru par le vent. En divisant ce chemin par le nombre de secondes qui correspond à la durée de l'observation on obtient la vitesse du vent en mètres par secondes.

62. — En l'absence d'instruments spéciaux de



mesure, on note la *force* ou la *vitesse* du vent d'après une échelle conventionnelle d'appréciation allant de 0 à 6. L'indication 0 correspond à l'air calme et la notation 6 à tempête. Le tableau suivant donne les relations qui existent entre cette notation conventionnelle et la vitesse et la pression du vent.

ÉCHELLE DE LA FORCE DU VENT

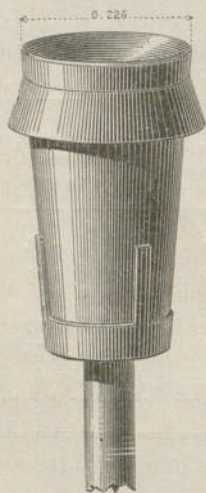
Force du vent	Vitesse du vent mètres par seconde	Pression du vent kilogrammes par mètre carré
0 Calme . . .	0 à 0,50	0 à 0,16
1 Faible . . .	0,50 à 4,00	0,16 à 1,87
2 Modéré . . .	4 à 7	1,87 à 5,96
3 Assez fort . .	7 à 11	5,96 à 15,27
4 Fort . . .	11 à 17	15,27 à 34,35
5 Violent . . .	17 à 28	34,35 à 95,4
6 Ouragan . .	28 et au-dessus	95,4 et au-dessus

## MESURE DE LA PLUIE

63. — La mesure de la pluie s'obtient par la détermination, à l'aide des *pluviomètres*, de l'épaisseur de la tranche d'eau tombée pendant l'intervalle d'une journée. Le pluviomètre géné-

ralement employé consiste en un seau en zinc d'une dizaine de litres de capacité surmonté par un entonnoir découpant dans l'atmosphère une surface de réception de 4 décimètres carrés (fig. 17). Une tranche d'eau de 1 millimètre d'épaisseur

Fig. 17



apporte dans le seau en zinc un volume de 40 centimètres cubes de pluie. Une éprouvette en verre graduée de 40 centimètres cubes en 40 centimètres cubes en millimètres de pluie reçoit directement l'eau de l'entonnoir toutes les fois que la pluie tombée n'excède pas son volume. L'eau en excès pour les fortes pluies se déverse dans le seau en zinc et est mesurée à part. Les mesures se font tous les jours de 8 à 9 heures

du matin. L'instrument ne doit jamais être disposé au niveau du sol ou sur le pignon d'un toit, mais bien sur un poteau isolé dans un lieu non abrité, de telle sorte que la bague de réception de l'entonnoir soit à 1 mètre ou 1<sup>m</sup>,20 de la surface du sol.

Le total de l'eau fournie par la fusion de la neige est comptée comme pluie et inscrite au jour de sa chute et non à celui du dégel. On compte tantôt comme jours de pluie ceux où il est tombé une quantité d'eau suffisante pour mouiller le sol d'une manière appréciable ; tantôt ceux où l'épaisseur, mesurée au pluviomètre, est supérieure ou égale à 0<sup>mm</sup>5. Cette dernière appréciation du jour de pluie paraît plus exacte.

64. — L'observation de la *rosée* repose sur sa constatation à la surface des végétaux et en particulier des sols gazonnés ; il en est de même pour l'observation des gelées blanches. On peut avoir une indication complémentaire de l'intensité variable de la rosée ou des gelées blanches en prélevant, au lever du soleil, une lame de verre de surface connue, exposée dans le voisinage du sol au rayonnement nocturne et en déterminant, à l'aide d'une pesée, la valeur du poids de vapeur condensée à sa surface pendant la nuit.

---



### CHAPITRE III

---

#### UTILISATION DES ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES PAR L'AGRICULTEUR ET MOYENS DE DÉFENSE

##### INFLUENCE DE LA RADIATION SOLAIRE SUR LES VÉGÉTAUX

65. — La radiation solaire exerce sur le végétal une action tout à fait directe en intervenant dans ses principales fonctions physiologiques. Parmi les fonctions de la plante qui sont intéressées le plus directement par la radiation nous citerons : la vitesse de croissance, l'assimilation du carbone, la transpiration végétale.

66. **Croissance de la plante.** — La croissance d'une plante est en quelque sorte indépendante de l'activité de sa nutrition, si par nutrition on entend l'absorption de matériaux utiles autres que l'eau puisée dans le sol. Une plante maintenue à l'obscurité se nourrit mal et,

par contre, se développe rapidement. Une première action utile de la radiation lumineuse est de réduire la vitesse de croissance en favorisant l'assimilation du carbone et l'élaboration des matériaux utilisés pour la fabrication de ses tissus normaux. En interposant entre la plante et la radiation des écrans transparents diversement colorés, M. Wiesner a observé que les rayons bleus étaient les plus actifs pour ralentir la vitesse de croissance. La lumière blanche possède à ce point de vue une activité plus grande encore que celle des rayons simples qui la constituent. On a pu observer un ralentissement de moitié dans la vitesse de croissance d'une tige de fève exposée à 35 centimètres de la flamme d'un simple bec de gaz.

Toutefois, si une radiation plus énergique ralentit la croissance plus activement pendant le jour que pendant la nuit, la température plus élevée de la journée, en augmentant la vitesse de croissance, contrebalance cette action. L'accroissement diurne des végétaux serait un peu plus grand que leur accroissement nocturne, mais la croissance d'une plante pendant la matinée serait un peu plus faible que pendant la soirée.

Le ralentissement de la croissance par la radiation explique les mouvements exécutés par

certains organes végétaux soumis à une insolation inégale dans des directions différentes. La face d'une tige verticale frappée directement par la radiation s'accroît moins vite que la face opposée, et il résulte de cet inégal accroissement une courbure de la tige qui se dirige plus directement vers la radiation. C'est par le même mécanisme que l'on peut expliquer l'orientation de diverses fleurs qui suivent le mouvement du soleil pendant la journée.

**67. Assimilation du carbone.** — L'assimilation du carbone est le phénomène de la vie de la plante qui intéresse le plus directement la production agricole. Sur les 20 % de matière sèche qui constituent les tissus d'une plante herbacée, le carbone figure à lui seul pour 50 %. Cette assimilation a pour facteurs essentiels la chlorophylle et la radiation solaire. La chlorophylle, ou matière verte des plantes, jouit de la propriété d'absorber énergiquement diverses radiations et, en particulier, les rayons rouges. Ces rayons qui, d'ordinaire, ne sont pas susceptibles d'actions chimiques énergiques, jouissent de cette propriété au plus haut degré après leur absorption par le pigment chlorophyllien. Les corpuscules chlorophylliens utilisent la radiation reçue pour opérer la décompo-



sition de l'acide carbonique puisé dans l'atmosphère. La plante verte exposée à la lumière émet de l'oxygène et fixe le carbone dans ses tissus, sous forme d'hydrates tels que la cellulose, le sucre, la gomme, la fécule ou l'amidon.

M. Radau établit de la manière suivante le taux du carbone dont une récolte de trèfle est redevable au soleil dans l'intervalle d'une année. Dans le pays de Caux, la récolte du trèfle fournit, aux environs de Fécamp, environ 8 445 kilogrammes de matière sèche par hectare en y comprenant les racines développées dans le sol. Si l'on admet que la matière organique des végétaux renferme 44 % de carbone, on trouve que le champ de trèfle, a fixé, au moment de la récolte, 3 716 kilogrammes de carbone correspondant à 6 890 000 litres d'acide carbonique emprunté à l'air.

D'autre part, M. Chevandier a trouvé, en analysant les produits fournis par deux forêts âgées de soixante ans environ, que le soleil y fixait annuellement près de 1 800 kilogrammes de carbone par hectare. Les chimistes ont, d'autre part, déterminé la quantité de chaleur nécessaire pour décomposer un litre d'acide carbonique, et si l'on compare l'énergie solaire utilisée par

les opérations précédentes avec celle que le soleil verse à la surface d'un hectare, on trouve que le coefficient d'utilisation est compris entre 1 et 4 pour 1000. On voit la marge considérable qui est laissée à l'agriculteur pour utiliser, par ses récoltes, l'acide carbonique de l'air. Il peut décupler la surface des feuilles exposées à la lumière et la radiation solaire ne lui refusera jamais de quoi satisfaire aux exigences de la plante.

**68. Transpiration végétale.** — Le végétal exposé à l'obscurité évapore très peu ; sa transpiration devient active dès qu'il reçoit des rayons de lumière diffuse ; elle s'exagère au soleil. La chlorophylle intervient dans ce phénomène et l'accroissement de la transpiration, dû à une même valeur de la radiation, est plus grand sur une plante verte que sur une plante étiolée. Les rayons rouges sont d'ailleurs les plus actifs pour accroître la transpiration, de même que pour favoriser l'assimilation du carbone. Le phénomène de la transpiration végétale, ainsi réglé par la radiation, complète fort utilement celui de l'assimilation du carbone en introduisant dans la plante les autres matériaux puisés dans le sol et nécessaires à son accroissement. Comme les solutions nutritives du sol

sont extrêmement diluées, il faut que le végétal évapore une quantité d'eau considérable pour transporter les matières minérales qui sont nécessaires à la constitution des diverses parties de l'édifice végétal. M. Marié-Davy a conclu de la mesure de l'évaporation du blé cultivé dans les cases de végétation de l'Observatoire de Montsouris que, pour élaborer 1 kilogramme de grains, les céréales devaient évaporer de 800 à 1 500 kilogrammes d'eau. On comprendra, par la grandeur de ce chiffre, le rôle important joué par la radiation solaire dans la production agricole comme facteur de la transpiration végétale.

**69. Influence générale de la lumière sur la végétation.** — Les actions spéciales exercées sur la vie de la plante par la radiation solaire telles que celles que nous venons d'examiner, se combinent pour imprimer au développement de la végétation une allure spéciale suivant les climats. La coloration des fleurs, l'arôme des plantes, augmentent avec l'intensité ou la continuité de l'action lumineuse. Un été chaud, augmente la proportion de sucre dans le raisin et la durée de la période d'évolution des céréales varie dans des limites très étendues suivant les conditions lumineuses de l'atmosphère. Tandis qu'en France le blé demande environ 140 jours



pour se développer et mûrir, la durée moyenne de sa végétation n'excède pas quatre-vingt-dix jours à Christiania. Des semences importées d'Alten, 70° latitude nord, ont fructifié au bout de 55 jours. M. Tisserand a extrait des livres de culture de quatre fermes norvégiennes la durée de la période de végétation de diverses céréales qui décroît au fur et à mesure que la durée des jours d'été augmente avec la latitude :

Éléments de comparaison	Fermes de			
	Halsnø	Bodø	Strand	Skibotten
Latitude . . . . .	59°,5	67°	69°	69°,5
Heures de jour pendant la végétation.	2 187	2 376	2 472	2 486
Température moyenne annuelle . . . . .	6°,3	3°,6	2°,9	2°,3
Froment d'été. . . . .	133 jours	121 jours	115 jours	114 jours
Seigle d'été. . . . .	139 //	118 //	116 //	113 //
Orge à 4 rangs . . . . .	117 //	102 //	98 //	93 //

On voit que, malgré un notable abaissement des températures moyennes annuelles, la période de végétation des céréales se raccourcit quand on remonte vers le nord sous l'influence de l'accroissement de l'énergie lumineuse apportée

chaque jour à la plante par une radiation plus continue. Le nombre d'heures d'insolation pendant la durée de la végétation est de 1 996 heures seulement en Alsace; il est de 2 486 à Skibotten.

**70. Protection des végétaux contre les excès de la radiation.** — L'excès en toutes choses est nuisible et une radiation trop abondante peut déterminer la brûlure des feuilles de divers végétaux. Dans la région méridionale certains cépages plus sensibles sont quelquefois atteints, pendant les fortes chaleurs du mois d'août, par des coups de soleil qui provoquent la brûlure des feuilles et des fruits. Quelques vigneronns atténuent ces dégâts en déposant préventivement sur le corps du céps une poignée d'herbes sèches qui tamisent la radiation. Les horticulteurs font usage de cloches en verre blanchies ou dépolies intérieurement pour abriter les plantes récemment sorties de serres pendant la belle saison et encore trop délicates pour supporter les rayons directs du soleil. Ailleurs, on emploie des cages coniques en toile ou des clayonnages pour faciliter la reprise de divers végétaux et, en particulier, des conifères transplantés déjà forts sur les pelouses de nos jardins. Dans certaines régions, on pratique le *cordage* des blés pour prévenir l'altération pro-

voquée sur certaines variétés de froment par une radiation trop intense absorbée par les gouttelettes de rosée. Pendant les mois de mai ou de juin on fait incliner, à l'aide d'une longue corde trainée par deux hommes, les épis de blés qui se déchargent d'une partie de la rosée : on prévient ainsi le développement de la rouille sur les tiges et les feuilles. Enfin, pour prévenir les dégâts occasionnés par un dégel trop rapide dû à la radiation du matin, quelques jardiniers arrosent avant le lever du soleil les divers légumes de primeurs, petits pois, pommes de terre, qui ont pu geler pendant la nuit. La chaleur spécifique élevée de l'eau et la chaleur nécessaire pour sa vaporisation empêchent l'échauffement rapide de ces végétaux au moment du lever du soleil. La pratique des nuages artificiels que nous étudierons plus loin concourt aussi efficacement au même résultat.

**71. Utilisation directe de la radiation solaire.** — La dessiccation agricole ou industrielle des fruits, raisins, figues, pruneaux, emprunte directement au soleil la chaleur nécessaire pour mener à bien cette opération. C'est afin d'utiliser le mieux possible la radiation disponible que l'on a coutume de disposer les balles de fruits que l'on veut dessécher sur des



lieux découverts, sur des murs ou même sur les toits des bâtiments de ferme exposés au midi. C'est en partie grâce à l'apport de la radiation solaire qui augmente dans une large mesure la vitesse d'évaporation, que les exploitations salines de l'Océan et de la Méditerranée peuvent livrer chaque année des quantités considérables de sel. La nappe d'eau annuellement évaporée atteint, dans les salins du midi de la France, 2 mètres à 2<sup>m</sup>,50, laissant un dépôt de sel de 6 à 7 centimètres. Dans les salines du Portugal plus favorisées du soleil on recueille par an jusqu'à 10 et 12 centimètres de sel marin.

72. — Diverses tentatives d'utilisation directe de la radiation solaire pour la transformer en travail mécanique ont été faites depuis fort longtemps. Des *moteurs solaires* avaient été étudiés dès le xvi<sup>e</sup> siècle par Porta, Salomon de Caus, Drebbel, Robert Fludd, pour permettre l'élévation automatique de l'eau. Ces recherches ont été reprises de nos jours et nous croyons devoir signaler ici les deux tentatives qui ont approché le plus de la solution de cet intéressant problème. L'une d'elle est l'appareil solaire de M. Mouchot. Un vaste miroir en plaqué d'argent concentre la radiation solaire sur une chaudière qui en occupe le centre; la vaporisation de

L'eau permet d'actionner un moteur à vapeur. L'autre procédé de transformation est le moteur solaire à ammoniacque de M. Tellier. Une toiture métallique à double paroi est chargée d'une solution ammoniacale ; la radiation incidente fait progresser la tension du gaz ammoniacque qui se détend dans un moteur à expansion de gaz ; un condensateur à eau froide redissout le gaz moteur et une pompe l'envoie de nouveau dans la toiture. Ces deux appareils permettent l'utilisation d'une proportion assez élevée (50 % pour l'appareil Mouchot) de la radiation solaire, mais le prix de revient de la surface de réception (miroir en plaqué d'argent ou toiture métallique à double paroi) est assez élevé par rapport à la quantité de chaleur utilisée. Bien que ces transformateurs de la radiation solaire soient encore d'une application fort restreinte, ils ont ouvert une voie qui pourrait être féconde en résultats pratiques. Il suffira de rappeler ici que si l'on pouvait transformer en travail mécanique la chaleur reçue par un hectare de terrain dans le midi de la France, on pourrait obtenir d'un bout à l'autre de l'année un travail équivalent à celui de 1250 chevaux-vapeur en réalisant une économie journalière d'environ 90 000 kilogrammes de charbon.

## LA TEMPÉRATURE ET LA VIE DE LA PLANTE

73. — On peut distinguer dans la vie de la plante cinq températures critiques. La première *température inférieure mortelle* arrête complètement et pour toujours les manifestations de la vie de la plante. La seconde est la *température inférieure de la vie*. Dès que la température s'abaisse à ce niveau, les manifestations vitales disparaissent mais la vitalité subsiste et redevient de nouveau apparente dès que la température s'élève. La troisième est la *température optima de la vie*. Quand elle est réalisée, la vitalité du végétal passe par un maximum; il vit le mieux possible. La quatrième est la *température supérieure de la vie*. A partir de cette température les manifestations vitales ne sont plus apparentes mais la plante ne meurt pas. La cinquième est la *température supérieure mortelle*. La plante meurt de chaud comme de froid et, quand cette température est dépassée, les tissus végétaux sont impropres à revenir à la vie.

Les températures limites de vitalité et les températures optima de développement varient



avec la nature du végétal et son état de végétation. Les températures limites de vitalité présentent un intervalle maximum de température pour les graines. Certaines peuvent supporter des froids secs de  $- 80^{\circ}$  et conserver leur vitalité après avoir subi pendant un quart d'heure des températures de  $+ 100^{\circ}$  ou pendant une heure des températures de  $+ 65^{\circ}$ . L'intervention d'une atmosphère humide réduit leur résistance aux excès de température. La limite inférieure de végétation est de  $+ 5^{\circ}$  pour le blé,  $9^{\circ}5$  pour le haricot,  $13^{\circ}7$  pour la courge. Les températures optima varient pour les mêmes plantes de  $29^{\circ}$  (blé) à  $34^{\circ}$  (haricot et courge). La température limite supérieure de vitalité croît de même que la température optima; elle est de  $42^{\circ}5$  pour le blé et de  $46^{\circ}2$  haricot et courge. Ces quelques exemples montrent que la température du sol, au moment des semailles de nos principales plantes cultivées, est notablement inférieure à leur température optima de développement. La température du sol, au moment des semailles ou un petit nombre de jours après, est assez voisine de la température limite inférieure. Le blé et l'orge cessent de germer au-dessous de  $+ 5^{\circ}$  et dans le voisinage de cette température la germination est lente ou imparfaite. Il y a donc

intérêt à faire de bonne heure les semailles d'hiver. En y procédant trop tard, l'enracinement de la céréale reste rudimentaire avant les froids de l'hiver et ceux-ci peuvent compromettre sa vitalité ultérieure. On remarque que les températures limites de germination aussi bien que les températures optima de développement sont réglées en partie sur les conditions de climat ou de milieu habituel où ces plantes sont cultivées. Le cresson de nos rivières peut germer dès  $+ 1^{\circ},8$  et atteint sa température optima de développement dès  $27^{\circ},4$ . Le blé germe dès  $5^{\circ}$  avec optimum de  $28^{\circ},7$ , tandis que le maïs (blé de Turquie, céréale plus méridionale) ne germe qu'à  $+ 9^{\circ},5$  avec optimum à  $33^{\circ},7$ .

**74. Influence de la température sur l'absorption des liquides du sol.** — L'absorption des liquides du sol par le système racinaire des plantes est une des fonctions principales de leur nutrition. Son activité est en partie réglée par la température du sol. Si la température du sol s'abaisse jusqu'à  $3$  et  $5^{\circ}$ , les racines du tabac et de la courge n'absorbent plus qu'une quantité d'eau insuffisante pour alimenter une transpiration même réduite : la plante se fane. Les racines du chou et du navet conservent encore leur activité vers  $0^{\circ}$  et l'on sait que le colza peut

traverser les froids de l'hiver dans des régions assez froides du nord de la France sans que les feuilles se flétrissent, même pendant les jours de gelée. A cette température, l'absorption est évidemment très réduite, mais il en est de même de l'évaporation du végétal. Sous l'action des vents violents qui soufflent au printemps dans le midi de la France, l'accident du *folletage* ou flétrissement des rameaux se produit dans certains vignobles. Cet accident peut être rapporté à un excès de transpiration auquel ne peut suffire l'absorption radiculaire, trop faible à cause de la basse température du sol encore très distante de la température optima à cette époque de l'année. On peut également rattacher à l'élévation de la température du sol à la fin de l'été, la disparition des manifestations de la chlorose de la vigne qui ont pris naissance au printemps. L'élévation de la température qui agit pour favoriser l'activité de l'absorption radiculaire exerce simultanément une influence heureuse sur la nutrition du végétal, alors même qu'il en résulterait une plus grande assimilation de substances nuisibles (carbonate de chaux) dont le rôle prédominant dans cette affection ne saurait être exclusif de l'action exercée par la température du sol.



**75. La température et les fonctions de la chlorophylle.** — Le verdissement d'une plante étiolée à l'obscurité ne se produit pas à toute température. La chlorophylle ne se forme pas dans l'orge au-dessous de  $4^{\circ}$ , et dans le maïs au-dessous de  $10^{\circ}$ ; la température optima de formation de la substance verte varie de  $30$  à  $35^{\circ}$ . Les fonctions exercées par la chlorophylle, assimilation de carbone, transpiration végétale sont également sous la dépendance de la température. La transpiration s'opère entre des limites de température plus étendues que l'assimilation du carbone; elle est déjà sensible à  $-20^{\circ}$  pour certains résineux et elle progresse jusqu'à  $+44^{\circ}$  pour le lierre, c'est-à-dire jusqu'au moment où les autres fonctions de la plante commencent à souffrir de l'excès de température. Lorsque la plante meurt, la transpiration qui se confond alors avec le phénomène physique de l'évaporation des liquides croît considérablement et obéit alors plus directement encore à l'action de la température. La température de l'air règle, par suite, essentiellement la dessiccation des foins à la surface de nos prairies.

Les conditions principales d'une rapide fenaison sont une température élevée accompagnée d'un beau soleil.

**76. La température et les phases de la végétation.** — La progression mensuelle des quantités de chaleur apportées au sol par la radiation et l'accroissement de la température de l'atmosphère suivent, dans le cours de l'année, une marche assez parallèle. Il en est de même des principales fonctions de la plante qui se modèlent plus directement sur ces deux facteurs météorologiques prédominants. Il suit de là que si l'on comparait la marche de deux aiguilles sur un cadran représentant l'une l'état d'avancement de la végétation, et l'autre la valeur des températures, on trouverait chaque année pour les deux aiguilles une marche très sensiblement parallèle. Sous un climat déterminé, les différentes phases de la végétation sont caractérisées par la réalisation de températures à peu près semblables d'une année à l'autre. C'est en partant de cette considération que l'on a déterminé, pour différents végétaux, les températures qui correspondent à leur feuillaison, à leur floraison, à leur maturation. La feuillaison du lilas se produit à 5°, celle du pêcher à 10°, celle de la vigne à 10°5. La floraison du pêcher a lieu à la température de 9°5, celle du lilas à 13°, celle du blé à 19°, de la vigne à 20° sous le climat de Montpellier.

Les mêmes considérations exposées plus haut font prévoir qu'il doit exister une relation à peu près constante entre la somme de chaleur reçue depuis l'entrée en végétation, jusqu'à la réalisation d'une phase déterminée du développement annuel du végétal. Divers agronomes se sont proposés de mettre en regard les phases de la végétation et les sommes de chaleur en prenant comme équivalent de ces dernières les sommes de température.

77. — Pour déterminer la *somme de température* nécessaire à la maturation d'une récolte on détermine la date de l'année où la plante entre en végétation. Pour le blé, la végétation commence à la température de  $+ 6^{\circ}$  qui est réalisée à Paris vers le 15 mars, à Orange vers le 1<sup>er</sup> mars.

A partir de cette date, on additionne jour par jour les températures moyennes diurnes; leur total jusqu'à la maturité du blé, 25 juin en moyenne à Orange, 1<sup>er</sup> août à Paris, représente la somme de température relative à la maturation du blé.

Ces sommes de température caractéristiques sont à peu près constantes d'une année à l'autre pour une même région, mais varient avec le climat et croissent avec le nombre



de jours que comprend la période de végétation.

Localités	Nombre de jours de végétation	Sommes de température
Orange . . . . .	117	1 601 <sup>o</sup>
Paris . . . . .	138	1 970
Upsal . . . . .	122	1 546
Lynden . . . . .	72	675

M. de Gasparin, en formant les sommes de températures observées à l'aide d'un thermomètre noirci exposé au soleil, a trouvé des nombres plus rapprochés pour des localités différentes. On arriverait certainement à un résultat encore plus concordant en substituant aux sommes de température les sommes de quantité de chaleur reçue. La connaissance de la somme de température nécessaire à la maturation d'une récolte permet de calculer, près d'un mois à l'avance, l'époque de maturité. M. Angot, dans une étude fort intéressante sur la date des vendanges, a montré que l'on pouvait en quelque sorte trouver la température moyenne de la période de végétation de la vigne dans les diverses années en connaissant la date des vendanges.

En effet, la date de l'entrée en végétation étant à peu près fixe, il suffit de diviser la somme de température de maturation  $2\ 800^{\circ}$  par le nombre de jours qui séparent cette époque fixe de la date variable des vendanges pour obtenir la température moyenne de la période. De même, et inversement, si l'on arrive au 25 août avec une somme de température de  $2\ 304^{\circ}$  par exemple, et que la température moyenne diurne soit alors de  $16^{\circ}$ , on pourra en conclure que, pour fournir à la vigne les  $2\ 800 - 2\ 304 = 496^{\circ}$  qui lui font défaut, il faudra attendre encore  $\frac{496}{16} = 31$  jours. Les vendanges pourront être prévues pour le 25 septembre.

**78. Influence de la température sur la distribution des espèces végétales.** — La température de l'air règle essentiellement la distribution des espèces végétales à la surface du globe. L'organisme végétal se plie moins que l'organisme animal aux exigences différentes des divers milieux. L'acclimatation n'existe pas pour la plante et sa naturalisation dans des régions différentes du milieu d'origine ne s'opère qu'autant que la plante peut trouver dans son nouveau milieu des conditions météorologiques à peu près semblables. Parmi ces diverses conditions du climat, la température occupe la pre-

mière place. Il est par suite, assez naturel, de substituer dans l'étude de la répartition des espèces végétales les lignes d'égale température aux cercles d'égale latitude.

**79. L'hémisphère nord peut se diviser en 6 zones climatériques de végétation.**

— La première zone va de l'équateur à l'isotherme de  $23^{\circ}$ . La sécheresse de l'atmosphère y fait varier beaucoup les conditions de la végétation. La dessiccation du sol exagérée par une température élevée crée le désert du Sahara tandis que l'abondance des condensations aqueuses, combinée avec une température voisine de l'optimum, développe une végétation luxuriante dans les forêts vierges de l'Amérique ou dans les jungles voisines du golfe du Bengale. La deuxième zone s'étend de l'isotherme  $23^{\circ}$  à celui de  $20^{\circ}$ . Le palmier y mûrit ses fruits dans sa partie méridionale; elle s'étend sur l'Algérie et la Tunisie, Alger la limite vers le Nord. La troisième zone va de l'isotherme de  $20^{\circ}$  à celui de  $15^{\circ}$ . C'est la région de l'oranger et de l'olivier; elle s'étend en Europe sur l'Espagne, l'Italie, le midi de la France, la Grèce et la Turquie. La quatrième zone est limitée par les isothermes de  $15^{\circ}$  et de  $10^{\circ}$ . C'est le climat de la vigne; il s'étend sur la plus grande partie de la France



depuis Perpignan jusque un peu au-delà de Paris. La cinquième zone va de l'isotherme  $10^{\circ}$  à celui de  $5^{\circ}$ . La vigne disparaît complètement, les forêts s'y développent en même temps que les pâturages. L'atmosphère y devient plus humide et moins transparente. C'est le climat de l'Angleterre et de l'Écosse. La sixième zone de végétation va de l'isotherme de  $5^{\circ}$  à celui de  $0^{\circ}$ . La végétation se rabougrit dans sa partie septentrionale où elle n'est plus représentée que par quelques maigres arbustes. Le blé y accompagne l'homme jusque dans le voisinage de sa limite vers le Nord.

La *limite culturale* de chaque plante est en relation assez directe avec un isotherme déterminé. C'est ainsi que le bananier s'arrête à l'isotherme de  $24^{\circ}$ , la canne à sucre à celui de  $19^{\circ},5$ , le caféier  $18^{\circ}$ , l'oranger  $17^{\circ}$ , le dattier  $14^{\circ}$ , l'olivier  $13^{\circ},5$ , la vigne  $10^{\circ}$ .

L'influence de la température n'est pas moins manifeste dans la limitation altitudinale des diverses espèces végétales. Sur les flancs du Canigou, dans les Pyrénées-Orientales, l'olivier s'arrête à 420 mètres, la vigne à 550, le châtaignier à 800, l'orge et la pomme de terre à 1 640, le sapin à 1 930, le bouleau à 2 000, le pin à 2 430, le rhododendron à 2 540 mètres.

**80. La température et l'évolution des ferments agricoles.** — La température intervient d'une manière très active pour régler les succès des principales manipulations opérées par l'agriculteur. Dans plusieurs d'entre elles, manipulation des caves et celliers, manipulation des laiteries et fromageries, l'action prépondérante de la température s'explique par son rôle sur l'évolution des ferments qui règlent en partie la marche de ces opérations. La *fermentation lactique* qui transforme le sucre de lait en acide lactique est assurée par le développement du *bacillus lacticus*. Son activité croît depuis une température assez basse jusqu'à 44°. De 44 à 53° elle reste à peu près constante, puis elle décroît. Le bacille de la *fermentation butyrique* nuisible succède parfois à la fermentation lactique utile. Cet organisme est peu résistant à une température élevée et succombe à une ébullition de 5 minutes. Le *bacillus syncianus* qui détermine l'altération du *lait bleu* présente son optimum d'évolution de 15 à 18°; l'altération est déjà retardée à 25° et ne se fait plus à 37°. On favorise le caillage du lait en hiver en le chauffant pour le rapprocher de la température optimale de développement du ferment lactique 45°. Un autre ferment, le *bacillus* ou *tyrothrix tenuis*,

concourt également à la *coagulation du lait* en sécrétant une présure spéciale : son maximum d'activité est entre 25 et 35°. Indépendamment de l'action des ferments, la température intervient encore dans la manipulation du lait en déterminant dans le barattage l'agglutination plus ou moins rapide des globules gras.

Dans la *fermentation des vins* l'action de la température n'est pas moins importante. Le ferment alcoolique du vin présente son optimum de développement vers 25°. Dans les régions septentrionales, les vendanges trop tardives déterminent en général des fermentations imparfaites, la température des celliers est alors trop au-dessous de la température optima du ferment. Dans le midi de la France, en Algérie surtout, la fermentation rapide à haute température élève la température des foudres jusqu'au delà de 40°. A cette température, la fermentation normale est entravée, des ferments nuisibles se développent et le viticulteur se préoccupe beaucoup dans ces régions, depuis quelques années, de l'abaissement artificiel de la température des moûts. Plusieurs procédés ont été mis en œuvre pour lutter contre ces conditions défavorables de température. Tantôt la masse du moût traverse des appareils réfrigérants à circulation



d'eau froide, tantôt on réalise une plus grande déperdition de chaleur en augmentant la conductibilité des parois des foudres (cuves métalliques), tantôt encore on refroidit la masse d'air du cellier en vaporisant de l'eau dans un courant d'air créé par un ventilateur. La température des cuves et celliers règle également la rapidité des altérations dont le vin peut être l'objet. Le ferment acétique demande, pour se développer rapidement, une température de 15 à 20°, son optimum est de 25 à 30°. Le ferment de la tourne ne se développe pas, en général, à basse température mais trouve des conditions d'évolution favorables pendant les chaleurs de l'été. Ce sont également les variations de la température de l'air qui déterminent la clarification des vins pendant l'hiver ou la reprise accidentelle de sa fermentation au printemps. Avec les froids de l'hiver, la solubilité de certains sels (bitartrates de potasse), diminue et leur précipitation produit une espèce de collage. Avec l'élévation de température du printemps la solubilité de l'acide carbonique dans le vin décroît et les bulles de gaz en excès tendent à remuer les lies. La diminution de pression extérieure (orages de printemps) concourt au même résultat et ensemence le liquide de ferments qui trouvent en

même temps pour évoluer une température plus favorable. De là l'utilité des soutirages du printemps.

C'est encore la température de l'air et du sol qui règle l'activité des *ferments du sol*. La nitrification due au ferment nitrique est nulle à 5°; elle atteint son maximum d'intensité à 37° et cesse à partir de 55°. La production des nitrates à 37° serait, d'après M. Schlœsing, 10 fois plus considérable qu'à 14°. Le développement du ferment ammoniacal, *micrococcus ureæ* et de la bactérie fixatrice d'azote des légumineuses est de même sous la dépendance directe de la température.

#### LA TEMPÉRATURE ET L'ORGANISME ANIMAL

**81. L'organisme animal présente une très grande élasticité dans sa résistance aux températures extrêmes.** — L'homme peut supporter quelque temps des températures allant de — 56,7 (Fort Reliance) jusqu'à + 53° à l'ombre (Sénégal). Un expérimentateur, Bladgen, a pu séjourner 8 minutes dans une étuve à 129°. Le refroidissement, dû à une activité plus grande que la transpiration, explique cette résistance temporaire aux hautes températures.

**82. Régulation de la température de l'organisme animal.** — Entre les limites habituelles de température, c'est-à-dire depuis  $-10^{\circ}$  jusqu'à  $+40^{\circ}$  la température des divers animaux à sang chaud, se maintient à peu près constante, quelle que soit la température de l'air extérieur. Si la température augmente, l'activité du cœur s'accroît et fait passer plus de sang par les capillaires et surtout par ceux de la peau dont les artérioles se dilatent. Il en résulte une déperdition plus grande de chaleur par la peau dont la conductibilité est augmentée. En outre, la sueur est sécrétée en abondance, et son évaporation amène aussi une perte de calorique. Quand la température baisse, les phénomènes inverses se produisent et assurent la constance de la température qui, pour le corps humain, oscille autour de  $36^{\circ},9$ .

**83. La température et la sensation physiologique du froid et du chaud.** — La sensation physiologique du chaud et du froid que nous éprouvons n'est pas proportionnelle aux indications du thermomètre. L'impression du froid s'exagère dans un air sec. Tout le monde sait également que, dans un air calme, un froid rigoureux est facilement supportable alors qu'il devient intolérable dans un air agité. La sèche-



resse de l'air et l'action du vent ont pour effet d'augmenter la vitesse d'évaporation et de faciliter la déperdition du calorique. En même temps, le renouvellement rapide de l'air à la surface de la peau facilite l'émission de chaleur par conductibilité. La vitesse de refroidissement peut varier de 1 à 5 entre les limites de 0 mètre et 6 mètres de vitesse du vent par seconde, et la vitesse de l'évaporation d'une surface liquide peut varier de 1 à 20 entre les limites de vitesses 0 et 10 mètres par seconde. L'humidité de l'air, en modérant la transpiration pendant les fortes chaleurs, détermine une gêne sensible dans l'exercice de cette fonction nécessaire à la vie de l'organisme ; il en résulte une impression désagréable, une sorte de malaise qui fait dire que la chaleur est lourde et accablante. Il est utile de tenir compte de ces diverses impressions de la chaleur sur l'organisme animal dans l'aération des écuries, des étables et des magnaneries. Le thermomètre ne doit pas seul être consulté quand on se propose d'évaluer l'action de la température sur les fonctions physiologiques de l'animal.

PROTECTION DES VÉGÉTAUX CONTRE LES  
ABAISSEMENTS DE LA TEMPÉRATURE

84. — De tous les éléments météorologiques contre lesquels l'agriculteur a pu lutter plus utilement pour l'asservir aux exigences de la végétation, la température de l'air et du sol est certainement celui qui occupe la première place. L'horticulteur et l'agriculteur savent, en effet, depuis longtemps, tantôt accumuler la chaleur dans les milieux où se développent leurs cultures, tantôt prévenir les abaissements nuisibles de la température de l'air.

85. **Accumulation de la chaleur. Châssis et serres.** — Les horticulteurs utilisent sur une large échelle les propriétés thermiques du verre, pour retenir à la surface du sol les radiations du soleil. Le verre est en effet transparent pour la chaleur lumineuse et à peu près opaque pour la chaleur obscure. Les radiations qui traversent les châssis vitrés d'une serre se trouvent en quelque sorte prises au piège. Lumineuses, elles entrent ; obscures, elles ne peuvent sortir ; le sol et les végétaux contenus dans la serre opèrent cette rapide transformation. De

Saussure, après avoir exposé pendant une matinée au soleil une caisse de bois fermée par plusieurs lames de verre, observa une élévation de température de 109° centigrades. Les cloches de verre, les châssis vitrés qui recouvrent les bâches de nos jardins, les vitrages des serres, réalisent par ce procédé l'élévation de la température de l'air et du sol qu'ils recouvrent. Pour prévenir le refroidissement des serres pendant la nuit, on y déroule des paillassons ou bien l'on emploie, dans leur partie supérieure, un vitrage à double paroi qui y immobilise une couche d'air peu conductrice. Enfin, quand ce procédé d'accumulation de la chaleur n'est pas suffisant, on détermine l'échauffement de l'air par son chauffage direct. Les calorifères à air chaud, les thermo-siphons, permettent d'entretenir une température constamment élevée dans les serres destinées à la culture des plantes exotiques ou des fruits de primeurs. La *culture de la vigne en serre* a pris notamment un certain développement en Angleterre et dans le nord de la France. Dans le procédé de culture de la vigne en pot, on consacre la première année qui suit le bouturage de la vigne à l'élevage en vase du jeune plan. Pendant la première phase ds l'élevage, on élève graduellement la



température de l'air de 24 à 30°, puis on l'abaisse progressivement pendant que les pots sont transportés dans une couche chaude à 30 ou 32°. On détermine ensuite, vers la fin de l'année, l'aoutement des sarments en abaissant la température du sol à 25 ou 26°, puis en enterrant les pots hors de la serre dans un lit de mâchefer concassé à un endroit abrité et bien exposé au midi. A la fin de novembre, on rapporte les vignes dans la serre ; elles fructifient l'année même. Les horticulteurs qui se livrent à la culture de la vigne en verre sont tellement maîtres des conditions de végétation, que la fructification y est particulièrement abondante, et que le volume des grappes dépasse beaucoup celui que l'on peut obtenir de la culture en plein air. Il est à remarquer également que cette industrie s'est développée exclusivement dans les régions où la vigne, abandonnée à elle-même, ne pourrait mûrir ses fruits. C'est là un fort bel exemple de l'asservissement des éléments météorologiques à la volonté de l'agriculteur.

En l'absence de calorifères à air chaud, les horticulteurs élèvent encore la température du sol d'une manière artificielle dans la *culture sur couches*. Un lit de terre végétale riche, repose sur un lit de fumier frais ; la fermentation

lente des matières végétales détermine une élévation sensible de la température du sol. Les couches chaudes doivent avoir une température de 25 à 30°, les couches tièdes de 18 à 22°, les couches sourdes de 15 à 18°.

### **86. Protection contre les gelées d'hiver.**

— Cette protection s'obtient par deux procédés différents. Le premier consiste à immobiliser l'atmosphère autour du végétal en formant une enceinte à l'aide de paillassons. C'est le procédé employé par les horticulteurs pour soustraire aux froids de l'hiver un assez grand nombre de végétaux qui, bien que se développant en pleine terre, auraient à souffrir des abaissements rigoureux de la température. Ces abris sont, en général, disposés de manière à pouvoir s'ouvrir sur la face sud pendant la journée afin de faciliter le renouvellement de l'atmosphère confinée, d'assurer à la plante l'éclairement qui lui est nécessaire et de permettre au sol de faire provision de chaleur pour la nuit suivante.

Le second procédé de défense consiste à modifier le relief du sol pour obliger l'air froid à s'éloigner du végétal. L'air froid plus dense peut être assimilé à un liquide extrêmement mobile qui obéit aux lois de la pesanteur, et occupe toujours les dépressions du sol. La masse d'air

froid, immobilisée par le relief du sol, permet, aussi bien que l'air plus chaud, le rayonnement du sol et le refroidissement local de ce dernier tend à s'exagérer. Pour éloigner d'un végétal la nappe d'air froid nuisible, il suffit de modifier assez légèrement, en l'exhaussant, le relief local du sol. L'air froid s'écoule alors d'une manière continue en s'éloignant du pied de la plante. Cette méthode de protection est appliquée à la vigne dont on chausse les ceps pendant l'hiver. Dans d'autres vignobles, les fossés d'écoulement, servant à l'assèchement du sol pendant les périodes humides, permettent également l'évacuation de l'air froid pendant les gelées d'hiver.

**87. Protection contre les gelées de printemps.** — Les gelées de printemps peuvent être parfois provoquées par le refroidissement général de la masse de l'atmosphère. Dans ce cas, les seuls procédés de défense sont ceux que nous venons d'indiquer pour les gelées d'hiver. Mais, le plus souvent, les gelées de printemps sont déterminées par l'exagération locale de l'activité du rayonnement nocturne. Leurs conditions déterminantes sont un léger refroidissement général de la masse de l'air, et la transparence de l'atmosphère. Les divers procédés de protection sont basés sur l'atténuation du



rayonnement nocturne. Cette atténuation peut être obtenue soit par des dispositions préventives réalisées dès l'origine de la période des gelées de printemps, soit par une protection accordée temporairement au végétal au moment même où la gelée se manifeste.

**88. Procédés de défense préventifs.** —

Une première méthode très générale de protection est réalisée en interceptant le rayonnement nocturne dans la direction zénithale à l'aide d'*écrans* appropriés. Un écran, même très limité, disposé au dessus du cep, réalise une protection très efficace. On emploie, dans ce but, des écrans en planches minces, en carton, en paille, adaptés soit au corps du cep, soit aux échelas qui lui servent de tuteur. Ce procédé de protection est très efficace mais assez coûteux.

Quelques viticulteurs emploient préventivement, dans le même but, diverses *poudres*, chaux, plâtre, dont ils saupoudrent abondamment les bourgeons et les jeunes pousses afin de diminuer leur pouvoir émissif. La pratique ne s'est pas encore prononcée définitivement en faveur de l'efficacité de ce procédé de défense qui serait très économique.

L'*irrigation* préventive du sol a donné d'excellents résultats pour la protection des vi-

gnobles. L'eau, grâce à sa chaleur spécifique élevée, sert de volant régulateur à la température et le refroidissement critique de l'atmosphère au lever du soleil, qui procède directement de l'abaissement de température du sol, est ainsi évité. De plus, la saturation à peu près complète de l'air, voisin du sol humide assure, au moment du refroidissement critique de l'atmosphère, la condensation d'une partie de sa vapeur. Cette condensation s'opère avec dégagement de 600 calories par kilogramme de rosée, qui prévient l'abaissement de la température jusqu'à 0°.

**89. Procédé des nuages artificiels.** — Ce procédé consiste à intercepter temporairement le rayonnement nocturne par la production de nuages artificiels de fumée ou de vapeur d'eau. Le grand avantage de cette méthode de protection provient de ce qu'il suffit de la mettre en œuvre pour les seules journées où les gelées sont à craindre. Les dépenses qu'entraînent son application ne sont ainsi jamais faites en pure perte.

Comme les gelées contre lesquelles l'agriculture a à lutter se produisent toujours dans les premières heures de la matinée, il est très utile d'être averti dès la veille de l'imminence du danger. Cette prévision peut être obtenue assez

exactement en s'appuyant sur les considérations suivantes :

**90. Prévion des gelées de printemps.**

— L'étude de la distribution de la température dans le cours de l'année révèle des anomalies singulières, dont l'interprétation n'a pas été donnée, mais dont il est cependant utile de tenir compte dans la prévion des gelées de printemps. Certaines dates du printemps paraissent plus spécialement prédisposées aux refroidissement de l'atmosphère. Le tableau suivant donne ces dates critiques pour trois localités, d'après la moyenne des observations d'un assez grand nombre d'années successives.

DATE DES PRINCIPAUX ABAISSEMENTS DE TEMPÉRATURE

Localités	Janvier	Février	Mars
Montpellier . . .	5 15	10	12 27
Nancy . . . . .	12 20	7 13 24	3 13 23
Bruxelles. . . . .	10	15	12
	Avril	Mai	Juin
Montpellier . . .	11 24	6 12 25	15 30
Nancy . . . . .	12	10	12 17
Bruxelles. . . . .	13	5 6	30



L'observation de la transparence et de l'humidité de l'atmosphère la veille au soir fournit d'ailleurs une indication plus précise pour les chances de gelée du lendemain. M. Kammermann a indiqué le procédé suivant : On observe pendant quelques journées successives la température d'un thermomètre mouillé à 3 heures du soir et on la compare au minimum du lendemain matin. L'écart observé reste à peu près constant. De telle sorte que si, pour une localité déterminée, on a observé un écart de  $4^{\circ}$ , une température du thermomètre mouillé de  $+ 3^{\circ}$  à 3 heures du soir indiquerait une gelée à  $- 1^{\circ}$  pour le lendemain matin.

Une autre méthode de prévision a été indiquée par M. Mohn ; elle consiste à rechercher si l'air serait saturé avant d'avoir atteint la température de  $0^{\circ}$ . Dans ce cas, il n'y a pas de gelée, parce que la condensation de vapeur dégage de la chaleur et prévient le refroidissement. Dans le cas contraire on peut prévoir la gelée. Ex : On observe la veille au soir, au moment du coucher du soleil, un état hygrométrique de 0,90 dans un air à  $+ 3^{\circ}$ . La table des tensions de vapeur indique que à  $3^{\circ}$  la tension de l'air saturé est  $5^{\text{mm}},7$  ; la tension actuelle de la vapeur dans l'air est donc

$5,7 \times 0,90 = 5^{\text{mm}},2$ . Si l'on consulte de nouveau la table des tensions de vapeur, on trouvera que cette tension de  $5^{\text{mm}},2$  sera suffisante pour saturer l'air à la température  $+ 2^{\circ}$ . Donc, il n'y aura pas gelée bien que la température ait été déjà très basse  $+ 3^{\circ}$ , au moment du coucher du soleil.

91. — Ces deux méthodes présentent, il faut l'avouer, un certain degré d'incertitude parce que les conditions d'humidité et de transparence de l'atmosphère peuvent être accidentellement troublées par l'irruption de masses d'air venues de régions différentes. Il est donc utile d'ajouter une prévision plus directe donnée par un *thermomètre avertisseur*. Ces instruments sont réglés de manière à donner, par la mise en marche d'une sonnerie, l'avertissement de la gelée lorsque la température de  $+ 1^{\circ}$  vient d'être réalisée. Il suffit, à ce moment, de produire la protection par l'allumage des foyers producteurs des nuages artificiels dont on prolonge la combustion une demi-heure ou une heure après le lever du soleil.

Ces foyers sont constitués, soit par des résines impures (foyers Lestout), soit par du goudron de houille, soit par des herbes sèches ou des broussailles arrosées de goudron. On augmente

l'opacité des fumées en projetant un peu d'eau sur les foyers en combustion. La durée d'un foyer résineux du poids de 7 kilogrammes environ est de quatre ou cinq heures, et suffit à réaliser la protection pendant une matinée. On dispose les foyers sur le bord du vignoble par où pénètre le vent, le plus généralement dans la région, à l'ouest dans le Bordelais, au nord dans la région méridionale, à l'entrée des vallées occupées par le vignoble. Le rapprochement des foyers sur la ligne de défense varie avec leur importance. La protection du nuage créé par un foyer peut intéresser une région très étendue si l'air n'est que faiblement agité. Le groupement des vignobles à protéger réalise une importante économie de combustibles. Quelques syndicats se sont formés pour la protection, à frais communs, des vignobles d'une même région.

Enfin, nous citerons en terminant l'étude des procédés de défense contre les gelées, la réalisation de combinaisons mécaniques très ingénieuses permettant l'*allumage automatique* des foyers par la gelée. De ce nombre sont les dispositifs de MM. Lestelle, Schaall et Aechslin, Héguilus. Le seul reproche que l'on puisse formuler à leur égard est leur prix de revient,



en général assez élevé par hectare, et la délicatesse d'un certain nombre de leurs organes. Une plus grande sécurité parait donnée par l'emploi d'un thermomètre avertisseur et l'allumage à main d'homme qui peut être fait très rapidement en projetant sur chaque foyer quelques gouttes de pétrole.

#### LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

92. — De tous les éléments météorologiques, la pression atmosphérique est certainement celui dont l'action directe sur l'organisme animal et végétal est le moins accusé. Les animaux peuvent supporter des variations de pression assez étendues sans en être incommodés. Toutefois, lorsque l'on fait rapidement l'ascension d'une montagne, l'organisme en éprouve certaines perturbations (mal de montagne) qui sont en partie déterminées par les brusques variations de la pression atmosphérique. On sait également qu'une augmentation de pression dans l'atmosphère équivaut à une plus grande proportion d'oxygène disponible dans l'unité de volume et accroît l'activité des combustions respiratoires. Mais comme au niveau

du sol les variations de pression ne dépassent pas en général 40 millimètres, oscillant au maximum à 20 millimètres d'intervalle, au-dessus et au-dessous de la valeur moyenne de la pression 760 millimètres, et comme de plus ces variations ne sont pas brusques, mais plus ou moins lentes et progressives, nous n'en éprouvons d'ordinaire aucune gêne sensible. Cependant, les diminutions rapides de la pression atmosphérique sont quelquefois accompagnées d'une impression de malaise qui nous font dire que l'air est plus lourd, plus accablant, alors réellement qu'il est plus léger.

**93. La pression atmosphérique et le soutirage des vins.** — Les vigneron ont pour principe de ne soutirer les vins que par le vent du nord. La pression atmosphérique n'est pas étrangère à cette pratique. Les vents du nord concordent en général avec le régime du beau temps et une pression élevée. Or, les bulles de gaz qui sont à l'intérieur du liquide, adhérentes aux particules en suspension dans ce dernier, constituent de véritables ludions. Quand la pression diminue, la bulle grossit et les particules solides s'élèvent; le vin se trouble. Quand la pression augmente, le ludion redescend et les impuretés du vin se précipitent.

C'est à ce moment-là qu'il convient d'opérer le soutirage. Il est donc utile, avant de soutirer son vin, de consulter son baromètre et de vérifier que depuis quelques jours l'atmosphère a été soumise à un régime de pressions élevées.

**94. Prévision locale du temps par le baromètre.** — Nous avons indiqué, en rapportant la loi d'évolution d'un orage, la méthode de prévision générale du temps, basée sur les courbes isobares tracées à la surface du globe. La prévision locale du temps par le baromètre dérive du même principe. Nous en résumerons ici les bases essentielles.

1° L'oscillation diurne est régulière : signe de beau temps.

2° Après une période de beau temps l'oscillation diurne disparaît ou devient irrégulière : annonce du mauvais temps.

3° Une baisse lente, régulière et modérée de 3 millimètres à 4 millimètres, indique le passage à distance d'une dépression barométrique. Assez souvent le baromètre remonte sans que la pluie arrive.

4° Une baisse soudaine, même faible, annonce une perturbation atmosphérique voisine ; elle présage des coups de vent ou des averses de courte durée.



5° Une forte baisse lente et continue annonce du mauvais temps de longue durée. C'est l'indice du passage assez rapproché d'une dépression orageuse de grand diamètre.

6° Une hausse très rapide, succédant à une baisse prolongée, indique un beau temps de courte durée. Assez souvent, avant que le baromètre soit revenu à 760, une seconde baisse se produit indiquant l'arrivée d'une nouvelle dépression.

7° Une hausse lente, progressive, succédant à une première période de hausse plus ou moins rapide, indique que la dépression tend à se combler et que l'atmosphère tend à reprendre sa condition normale d'équilibre, c'est le signe du retour du beau temps.

8° Un régime de fortes pressions, persistant pendant plusieurs jours, indique l'existence d'une aire de fortes pressions assez étendue. Si le temps est mauvais, il persistera ; si il est beau, et c'est le cas le plus général, le beau temps sera durable.

Il y a un grand intérêt à combiner les indications du baromètre avec celles de la girouette. Le supplément d'information que l'on obtient est rapporté plus loin (voir : *Prévision de la pluie*).

## LES VENTS ET LES COURANTS MARINS

95. — La distribution des vents au point de vue de leur fréquence pour une direction déterminée intéresse directement le climat d'une région. Si le vent dominant est l'ouest et le sud-ouest, vents chauds et humides, le climat y gagnera un bénéfice de température et de pluviosité; si, au contraire, le vent dominant est le nord et le Nord-Est, vents froids et secs, les condensations annuelles seront plus rares, la sécheresse de l'air plus grande et à latitude égale la température moins élevée. Le tableau suivant met en regard l'inégale distribution de la fréquence des vents à Nancy et à Montpellier :

FRÉQUENCE RELATIVE DES VENTS EXPRIMÉE EN  
NOMBRE DE JOURS PAR AN

Localités	N	N-E	E	S-E	S	S-O	O	N-O
Nancy (1)	34,3	43,9	41,5	19,3	43	108,6	49,6	24,8
Montpellier (2)	58,3	46,3	52,8	49,5	37,6	22,2	34,1	64,3

(1) C. MILLOT. — *Fréquence relative et propriétés physiques des différents vents à Nancy*, 1894.

(2) F. HOUDAILLE. — *Régime des pluies et des vents à Montpellier*, 1890.

La direction des vents dominants détermine celle des abris locaux que l'agriculteur dispose pour atténuer sa violence et diminuer l'activité de l'évaporation qui en résulte. Dans certains points de la vallée du Rhône, des abris en roseaux brisent le mistral et préviennent ses effets destructeurs. Le long des plages sableuses de la Méditerranée des abris semblables sont disposés parallèlement au littoral dans les vignobles qu'ils protègent à la fois contre l'ensablement et contre la brûlure des vents marins. Dans les régions où les grands vents sont à redouter, les meules de blé ou de paille sont orientées, quand la disposition des lieux le permet, parallèlement à la direction des vents dominants de manière à leur présenter leur moindre section.

La direction des vents dominants fait varier dans une large mesure la vitesse d'ensablement littoral provoqué par le phénomène des dunes. Celles-ci se forment à peine sur le littoral de la Méditerranée, parce que les vents dominants du nord charient plus tôt les sables vers la mer. Les dunes de la Gascogne ont, au contraire, déterminé un envahissement rapide des régions déboisées des Landes parce que le vent dominant de l'ouest et du sud-ouest chasse constamment le sable vers l'intérieur des terres.



96. L'utilisation de la force motrice du vent par les agriculteurs est un fait de date fort ancienne. — Les moulins à vent, après avoir actionné les meules à blé, sont aujourd'hui plus généralement utilisés pour l'évaporation de l'eau. Le vent facteur de l'évaporation sert ainsi à atténuer la sécheresse du sol. La valeur des vitesses moyennes diurnes observées sous divers climats en France varie de 4 à 5 mètres par seconde. A Montpellier, la vitesse moyenne annuelle du vent est de  $4^m,43$  ; elle exerce une pression d'environ  $2^{kg},39$  par mètre carré. Le travail disponible par mètre carré de section du courant d'air serait ainsi de 10 kilogrammètres par seconde environ. C'est à peu près le travail maximum que peut fournir un homme. On voit par là quelle est l'importance de cette force naturelle. Son utilisation par l'agriculteur serait certainement plus fréquente si la vitesse des vents n'était sujette à de nombreuses variations qui, pour des valeurs trop faibles, laissent le récepteur en repos et qui, pour des valeurs trop fortes, compromettent sa solidité.

97. **Influence des vents pluvieux sur la production agricole.** — Le relief du sol combiné avec la trajectoire habituelle des dépressions

pluvieuses ou des vents réguliers détermine la pluviosité habituelle de certains vents. Sur la plus grande partie de la France, les vents chauds et humides du sud-ouest apportent la plus grande partie de la quantité d'eau fournie par les pluies annuelles. Mais sur le trajet de ces vents pluvieux la distribution des pluies peut être profondément modifiée par les surfaces de condensation présentées à ce courant par le relief montagneux. C'est dans cette action qu'il convient de rechercher plus spécialement les différences de conditions de végétation si accusées sur des régions de constitution géologique semblables. « Il n'est pas besoin, faisait remarquer récemment M. Duclaux (1), d'aller loin pour se convaincre de cette prédominance de la météorologie sur la géologie. Il suffit de songer à la grande cuvette du bassin parisien et de comparer les affleurements Est-Ouest des couches qui le forment. On voit, par exemple, que la Champagne est faite du même terrain géologique que les collines du Perche ou le pays de Caux ; l'Argonne, du même terrain que la Basse-Normandie. Pourquoi la végétation et la population ne suivent-

---

(1) DUCLAUX. — *Relations entre la géographie et la météorologie*, 1894. *Annales de géographie*.

elles pas le terrain ? Parce que, bien que la latitude soit à peu près la même, le climat météorologique est différent. Le pays de Caux, placé en première ligne sur le trajet des vents chauds et humides du grand courant du S. O., reçoit plus d'eau que le Perche, placé plus au sud mais protégé par la Bretagne et les collines de Normandie. Il en reçoit beaucoup plus que la Champagne placée à son Est, mais enfoncée dans les terres par rapport aux vents d'ouest et encore plus par rapport aux vents du S. O. Mêmes différences entre la Basse-Normandie et l'Argonne ».

Dans le midi de la France, les premiers contreforts des Cévennes reçoivent annuellement des vents du S. O. jusqu'à 2 mètres de pluie, tandis qu'au-delà, vers le nord, les régions d'altitude voisine ne reçoivent que 1 mètre environ et que la zone littorale ne s'enrichit à proximité des côtes que de 0<sup>m</sup>,50 seulement. Un relief local très peu accusé interposé sur le trajet d'un vent pluvieux, fait varier dans une large mesure comme l'a observé M. H. Marès sur le petit massif de la Gardiole près de Cette, la quantité de pluie recueillie sur les deux versants opposés.

Il y a lieu de distinguer dans la statistique



des vents pluvieux d'une région la proportion pour cent de jours pluvieux par chaque vent et la hauteur annuelle moyenne de pluie tombée par chaque vent. Les vents du nord, qui sont rarement pluvieux, peuvent exceptionnellement à raison de leurs propriétés refroidissantes et condensantes, provoquer des pluies abondantes : Un vieux dicton en fait foi : *Quand le Nord va à l'eau, il y va à plein seau*. Fréquence et abondance des pluies sont deux éléments distincts qui, assez souvent, ne concordent pas et peuvent modifier considérablement le caractère des vents pluvieux d'une région.

**98. Influence des courants marins.** — L'atmosphère chaude et humide qui accompagne le trajet du gulf-stream détermine pendant l'hiver sur les côtes ouest de France, des conditions très favorables à la végétation. Les camélias passent l'hiver en pleine terre sous le climat de Nantes et le figuier plus que centenaire de Roscoff est redevable au gulf-stream de sa longévité à une latitude aussi élevée. Le Japon, dont le climat présente plusieurs analogies avec celui de la France, doit au kouro-sivo, équivalent de notre gulf-stream, son climat tempéré si directement opposé au climat excessif de la Chine.

## HUMIDITÉ DU SOL ET DE L'AIR

99. On fixe en général à 8 % le taux d'humidité du sol, limite compatible avec le développement normal de la végétation. Dans la région méridionale la teneur en eau s'abaisse assez fréquemment pendant la sécheresse de l'été jusqu'à 6 % dans une notable épaisseur de la couche arable superficielle. Dans certains sols cette déshydratation pénètre jusqu'au delà de 0<sup>m</sup>,50 et les variations de l'humidité sont encore très sensibles à 1 mètre de profondeur. La résistance des végétaux à la sécheresse est assez variable tant à cause de l'activité inégale de leur absorption racinaire que de la vitesse différente de la transpiration végétale. Cette résistance varie beaucoup avec la longueur du système racinaire qui pénètre parfois très profondément dans le sol. La vigne résiste très bien à la sécheresse dans un climat où la végétation du blé serait régulièrement compromise par la sécheresse de l'été. M. Dehérain a toutefois montré récemment qu'un végétal à système racinaire superficiel, tel que le blé, pouvait, sous l'action de la sécheresse, développer

très profondément ses racines dans le cas où la dessiccation du sol était lente et progressive. A ce point de vue, la détermination de la marche de la dessiccation des sols présente un intérêt tout spécial pour déterminer les conditions de végétation de nos cultures. Il faut également tenir compte, pour fixer la quantité d'eau disponible pour la végétation, de la transmission continue et assez abondante de l'humidité des couches profondes vers les couches superficielles pendant les périodes de sécheresse et de l'émigration inverse des eaux pluviales pendant les périodes d'humidité.

L'état hygrométrique de l'air  $\frac{f}{F}$  règle la vitesse de transpiration de la plante et le facteur  $F - f$ , la vitesse d'évaporation du sol. La vitesse de transpiration du végétal n'est pas toutefois liée invariablement à la valeur de l'état hygrométrique; elle obéit à la température et à la radiation solaire et ne s'annule pas dans un air complètement saturé. La vitesse d'évaporation du sol obéit plus directement au facteur  $F - f$  et lui est à peu près proportionnelle dans un air calme et pour un sol constamment mouillé à sa surface. La dessiccation des couches superficielles en été réduit considérablement la vitesse d'évaporation; il en est de même de la division du sol (labours,



binages) (1). La vitesse du vent et la radiation solaire augmentent beaucoup la vitesse d'évaporation du sol. Ce sont ces trois conditions réunies, sécheresse de l'air, vitesse du vent et radiation solaire, qui expliquent la gravité des dégâts provoqués dans le vignoble algérien et tunisien par le souffle impétueux et brûlant du vent du sud (siroco).

100. — La mesure directe de l'évaporation d'une surface liquide (évaporomètre) peut rendre de réels services à l'agriculteur pour fixer la quantité d'eau qu'il importe de restituer périodiquement au sol par voie d'irrigation pendant le cours de l'année. On pourrait adopter dans ce but le procédé suivant : 1° Mesurer le pouvoir évaporant de l'atmosphère aux différents mois de l'année ; 2° Déduire de la comparaison de l'évaporation totale annuelle  $E'$  avec la pluie totale annuelle  $P$  la valeur du coefficient  $\alpha = \frac{P}{E'}$  par lequel il convient de multiplier l'évaporation donnée par l'évaporomètre pour en déduire l'évaporation du sol  $E$ . On formerait ensuite, à la fin de chaque mois, la différence  $P - E$  entre la

---

(1) CHABANEIX. — *Évaporation du sol, influence de l'ameublissement superficiel*, Bulletin météorologique de l'Hérault, 1886.

pluie tombée et l'évaporation du sol. Les valeurs négatives de  $P - E$  représenteraient les exigences du sol en eau et la couche d'eau annuellement disponible pour l'irrigation serait distribuée proportionnellement à la valeur absolue de  $P - E$ . On obtiendrait ainsi une meilleure utilisation de l'eau disponible qui serait fournie à la plante suivant ses besoins, et cela d'autant plus exactement que ces périodes de restitution seraient plus rapprochées. Ce mode de distribution de l'eau serait plus spécialement à recommander dans les régions où l'eau d'irrigation est obtenue par voie de barrages et où il importe plus qu'ailleurs de ne pas dépenser en pure perte une quantité d'eau toujours limitée.

**101. Influence de la végétation sur l'évaporation du sol.** — L'évaporation d'un sol est considérablement augmentée par la végétation qui le recouvre. Un hectare de terre planté en avoine dégage par jour, pendant sa végétation active, 25 000 kilogrammes d'eau et un hectare de maïs transpire, en 10 heures, 36 300 kilogrammes d'eau. Ces chiffres correspondent à une évaporation de  $2^{\text{mm}},5$  par jour et de  $3^{\text{mm}},6$  en 10 heures. Les arbres de nos forêts provoquent une évaporation analogue dans le sol où ils s'alimentent. On peut estimer en

moyenne à 3 millimètres par jour l'évaporation d'un hectare de terre cultivé correspondant au prélèvement de 540 millimètres d'eau pour une période de végétation de 6 mois. C'est à peu près ce que reçoit le climat de Paris pendant l'intervalle de 12 mois et l'on peut se demander comment les eaux pluviales peuvent satisfaire aux exigences de la végétation. Mais on peut remarquer que la transpiration de la plante se règle en partie sur le taux d'humidité du sol <sup>(1)</sup> et que, d'autre part, l'eau utilisée par la végétation provient souvent de nappes d'infiltration plus ou moins profondes qui s'alimentent dans des régions souvent assez éloignées et où l'absence partielle de végétation laisse un excédent d'eau disponible. Les expériences de M. Marié-Davy ont montré que, pendant les périodes de sécheresse, le sol gazonné se desséchait plus activement qu'un sol nu jusqu'à 0<sup>m</sup>,50 de profondeur. Un sol nu dosait, au 1<sup>er</sup> juin, 14,6 % d'humidité à 0<sup>m</sup>,25 et 16,4 à 0<sup>m</sup>,50, tandis que le taux de l'humidité n'excédait pas dans le sol gazonné 10,8 et 10,5 % aux mêmes profondeurs.

---

(1) E. GAIN. — *Action de l'eau du sol sur la végétation*. Revue générale de botanique, t. VII, n° 74, 1895.



LA PLUIE ET LES CONDENSATIONS AQUEUSES  
DE L'ATMOSPHÈRE

102. — La distribution annuelle des pluies est une des caractéristiques fondamentales du climat agricole d'une région. De même que, pour une température trop basse, la plante cesse de se développer, de même aussi, à partir d'une certaine teneur du sol en humidité un végétal déterminé refuse de se développer normalement et si la teneur en eau s'abaisse au-dessous d'une certaine limite la plante périt. Or, c'est la pluie et sa distribution annuelle qui est le régulateur essentiel de la marche de la dessiccation du sol et de sa teneur en eau.

A ce point de vue, la *fréquence des pluies* assure au climat une humidité plus grande en général que leur *abondance*. Le fait est particulièrement caractérisé pour le midi de la France qui, recevant  $\frac{1}{3}$  d'eau en plus que Paris est cependant essentiellement plus sec. La fréquence des jours de pluie explique cette contradiction apparente : le nombre des jours de pluie est en moyenne de 50 jours par an à Montpellier ; il est voisin de 200 à Paris.

103. — La distribution annuelle du nombre

de jours de pluie et de la quantité d'eau mensuellement apportée au sol exerce une action non moins importante sur le développement de la végétation. Au nord-est de Paris s'étend la région des pluies d'été. Dans le centre et le midi de la France se développe le climat des pluies d'hiver de printemps, et d'automne, avec sécheresse marquée de l'été. Les pays à printemps sec et à été pluvieux ne sauraient se prêter à la culture des céréales et les régions à été sec ne peuvent convenir à la culture des fourrages.

La rapidité de chute des pluies ou leur *intensité* fait également varier dans une large mesure les bénéfices que la végétation peut retirer de la chute d'une même quantité d'eau. Une pluie d'orage, tombant à raison de 60 millimètres à l'heure, bat le sol, ruisselle à sa surface et moins de la moitié de ses eaux pénètre dans le sol. Belgrand a estimé, d'après le débit des cours d'eau, au  $\frac{3}{7}$  de la pluie tombée, le ruissellement de l'eau pluviale à la surface du sol de la France. Les pluies lentes de l'hiver, de l'automne et du printemps sont essentiellement bienfaisantes.

**104. Apport de l'azote nitrique et ammoniacal par les pluies.** — La pluie annuelle restituée au sol une quantité d'azote assez importante pour qu'il soit utile d'en tenir compte

dans la détermination des poids de substances alimentaires que l'on doit restituer au sol pour lui assurer une fertilité constante : La mesure des quantités d'azote apportées par les pluies a été obtenue à l'observatoire de Montsouris, par une série de nombreuses déterminations poursuivies pendant seize années consécutives. La richesse des eaux de pluie en azote ammoniacal varie avec l'époque de l'année ; elle serait maxima en hiver et minima en été. La richesse en azote nitrique est à peu près constante. Le tableau suivant donne le poids d'azote ammoniacal et d'azote nitrique aux divers mois de l'année, d'après les observations de Montsouris. Ces poids sont exprimés en milligrammes et par litre d'eau.

AZOTE AMMONIACAL ET AZOTE NITRIQUE DES PLUIES  
(MONTSOURIS 1876-92)

Gaz	D	J	F	M	A	M
Azote ammoniacal . . .	2,1	2,6	2,0	2,3	2,0	1,8
Azote nitrique . . . .	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7
Gaz	J	J	A	S	O	N
Azote ammoniacal . . .	1,5	1,4	1,8	1,9	1,9	2,0
Azote nitrique . . . .	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7



Le poids d'azote ammoniacal annuel s'élève à 1<sup>mgr</sup>,89 et celui de l'azote nitrique à 0,73, soit à 2<sup>mgr</sup>,62 pour les deux réunis. Pour une tranche d'eau de 0<sup>m</sup>,55, épaisseur moyenne annuelle des pluies à Paris, le poids P d'azote reçu par hectare sera :

$$\begin{aligned} P &= 2,62 \times 5,5 \times 1\,000\,000 = \\ &= 14\,410\,000^{\text{mgr}} = 14^{\text{kg}},410 \end{aligned}$$

c'est à peu près le  $\frac{1}{4}$  du prélèvement d'une récolte de blé. Si l'on ajoute à cet apport fertilisant de l'atmosphère celui des rosées et la fixation d'azote par la bactérie des légumineuses, on voit que l'air atmosphérique concourt pour une large part à l'entretien de la fertilité des terres arables.

**105. Les pluies et les reboisements forestiers.** — L'influence des forêts sur l'humidité des climats est manifeste. L'absorption de la radiation solaire par le feuillage des arbres et sa transformation en chaleur de dissociation ou de vaporisation détermine une température toujours plus basse sous bois que hors bois. Une plus grande humidité de l'air des zones forestières en est la conséquence directe en même temps que l'abaissement général de la température dans leur voisinage favorise les

condensations aqueuses et régularise la distribution annuelle des pluies. La forêt, par les débris végétaux qu'elle ne cesse d'accumuler à la surface du sol constitue un absorbant très efficace des masses d'eau apportées par les pluies d'orage. Celles-ci se distribuent dans la masse du sol, et ne ruissèlent pas brusquement à sa surface en servant d'amorce aux torrents dévastateurs. Le débit des sources qui proviennent des massifs forestiers leur doit une plus grande régularité. Le reboisement des forêts permet ainsi de modifier à la longue le climat d'une région. C'est là un des exemples les plus démonstratifs de l'intervention efficace de l'homme pour modifier l'action des forces naturelles, quelque puissantes qu'elles soient.

**106. Prévion de la pluie.** — Les agriculteurs, à défaut de baromètre et d'hygromètre, obtiennent une première indication de l'approche des pluies d'orage par l'observation de divers animaux qui sont plus ou moins sensibles aux variations de la pression, de la température de l'état hygrométrique et peut-être aussi de l'état électrique de l'atmosphère. Les chats qui toussent, les poules qui se grattent, les mouches qui piquent, les hirondelles qui volent bas, donnent souvent un avertissement

très utile de l'imminence d'un orage pendant l'été.

Mais le mode de prévision le plus précis est basé sur l'ordre particulier qu'affecte la succession régulière des pressions, de la direction des vents, de l'apparition des nuages et de la pluie pendant l'évolution normale des dépressions pluvieuses. La connaissance de l'enchaînement de ces divers éléments météorologiques permet de formuler une prévision assez précise à courte échéance. Les relations qui unissent la pluie avec les variations successives de la direction du vent varient avec la position de la localité intéressée par rapport à la trajectoire de la dépression orageuse ; elles sont toutefois assez semblables sur une assez grande partie de la France qui se trouve toujours en général au sud de la trajectoire suivie par les mouvements tourbillonnaires qui nous apportent la pluie. Nous empruntons à M. Millot la description très exacte de l'évolution normale d'une dépression pluvieuse à Nancy.

« Après une série de beaux jours, quand les cirrus viennent à blanchir le ciel et que le baromètre a commencé de baisser, le vent, qui était jusque-là fixé au N.-E. et soufflait assez fort dans le milieu de la journée, tourne à l'E. en



mollissant, puis au S.-E. où il tombe, en même temps que le ciel se couvre dans le S. et que l'air devient plus humide. Après cette période de transition qui peut durer moins de 12 heures ou plus d'un jour, suivant la rapidité plus ou moins grande de la baisse barométrique, le vent ne tarde pas à se lever du S. à augmenter de force pendant que le ciel achève de se couvrir et que débute la pluie ; puis il tourne au S.-O. et souffle encore plus fort, il pleut averse, le baromètre descend plus rapidement. Après quelques heures, quelquefois presque un jour entier de ce mauvais temps, la pluie cesse, le vent tombe, des éclaircies laissent voir une certaine étendue de ciel bleu, le baromètre ne baisse plus, il ne remonte pas encore : à ce moment le centre de la dépression est à sa plus courte distance de l'observateur. Cette accalmie trompeuse peut durer d'une demi heure à une heure rarement plus. Une masse de nuages menaçants, montant rapidement de l'O.-N.-O. et disposés parfois de façon à former un arc sombre bandé sur l'horizon vient y mettre fin : une bourrasque violente éclate tout à coup de cette direction, le vent souffle en tempête, l'averse est diluvienne, heureusement de courte durée, une demi-heure au maximum ; elle est parfois accompagnée de grésil ; c'est le

*grain de saute*, ainsi appelé par les marins à cause de la saute brusque du vent du S.-O. à l'O.-N.-O. qui le caractérise. Si l'on court à ses instruments on voit que le baromètre a monté subitement beaucoup ; on est entré dans la seconde moitié de la dépression, le centre s'éloigne. Le thermomètre, qui montait avant l'arrivée du calme central baisse à ce moment d'une façon rapide ».

Tels sont les caractères que présente l'enchaînement de la pluie avec la pression et la direction des vents pendant le passage d'un violent orage dont le centre passe à proximité du point d'observation. Lorsque le centre de la dépression passe à une certaine distance de la localité intéressée, les deux périodes pluvieuses peuvent être séparées par plusieurs jours d'intervalle. Dans ce cas, le vent, au lieu de sauter brusquement, tourne progressivement du S.-O. à l'O.-S.-O., à l'O. et à l'O.-N.-O. L'éclaircie centrale moins tranchée se révèle seulement par une diminution de la force du vent, par quelques interruptions de la pluie. La pluie reprend ensuite quand le vent franchit l'Ouest dans sa rotation continue. Si le vent continue à tourner vers le N.-O. la pluie devient plus rare, les éclaircies plus fréquentes. Si le baromètre continue à

monter, si la température reste fraîche et si le vent continue sa rotation vers le N. et le N.-E. le retour du beau temps est assuré.

L'arrivée de la dépression pluvieuse qui succède au beau temps est annoncée par l'envahissement progressif du ciel dans la direction d'où vient l'orage par un banc de nuages. Les lois de la perspective nous font voir le nuage s'étendre simultanément à droite et à gauche de son point d'apparition, comme s'il contournait l'horizon en s'éloignant de l'observateur. Ce n'est là le plus souvent, qu'une illusion et quelques instants plus tard les nuages, qui n'ont cessé d'avancer directement vers l'observateur, ne tardent pas à envahir complètement le ciel en amenant la pluie. C'est en vertu d'une illusion du même genre que les orages défilant en ligne droite à une certaine distance du point d'observation semblent contourner l'horizon, en décrivant une trajectoire plus ou moins circulaire. Pour trouver la direction réelle suivie par un orage et pour prévoir les localités qu'il va parcourir, il suffit de joindre sur un cercle portant l'indication des rhumbs de vents le point de l'horizon où l'orage a apparu avec le point de l'horizon où l'orage a disparu. Exemple : un orage apparaît au N.-O., et disparaît au N.-E., sa ligne de propagation est



de l'Ouest à l'Est. Si, à un moment donné, on a vu à distance la pluie tomber sur une localité déterminée, la trajectoire exacte de l'orage s'établira en menant par ce point une ligne dirigée de l'Ouest à l'Est.

**107. Prévision de la grêle.** — Les orages de grêle se produisent plus fréquemment en été et plus spécialement en juin et juillet. Les chutes de grêle sont rares après le 15 août. Les orages à grêle sont généralement annoncés par un air calme et une chaleur accablante qui semble beaucoup plus élevée que ne le ferait prévoir l'indication du thermomètre. La première moitié du tourbillon local de diamètre restreint à quelques kilomètres évolue en général sans chute de pluie. La baisse du baromètre peut être de peu d'amplitude. Une bouffée de vent sec souffle du sud en soulevant des tourbillons de poussière; le ciel se couvre brusquement de nuages noirs à aspect sinistre. Le bruit du tonnerre va en grandissant en même temps qu'un bruit confus, analogue à un roulement continu, se fait entendre et paraît provenir des hautes régions de l'atmosphère. C'est le plus souvent au moment précis où le baromètre commence à remonter que débute la grêle avec saute de vent à l'ouest. Elle dure peu de temps, parfois

quelques minutes seulement, et la pluie lui succède plus ou moins abondante. La température baisse aussitôt très brusquement. Si le vent tombe peu après et si la température remonte, un nouvel orage est à craindre. Si, au contraire, le temps reste frais et que le vent tourne au N.-O. et au N., on peut conjecturer le retour du beau temps.

**108. Lésions provoquées par la grêle.** — Les lésions provoquées par la grêle entraînent la mortification partielle ou totale des tissus des rameaux herbacés atteints par les grêlons. La suppression radicale des parties atteintes est un des meilleurs palliatifs des dégâts, lorsque les chutes de grêle se produisent à une époque où la végétation n'est pas trop avancée. Les tissus nécrosés sont facilement envahis par des champignons parasites. Le sulfatage des vignes atteintes et leur taille en vert sont les deux remèdes les plus efficaces auxquels ont recours les viticulteurs éprouvés par le fléau. Les chutes de grêle mélangées de pluie sont en général bien moins meurtrières pour la végétation.

## L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

**109. Paratonnerres.** — La protection des édifices contre la foudre peut être obtenue à l'aide des paratonnerres à longue tige, servant à égaliser le potentiel électrique des couches voisines de l'atmosphère en permettant un écoulement continu de l'électricité du nuage orageux vers le sol. On peut également adopter le système de protection moins coûteux proposé par M. Melsens, consistant à faire courir au-dessus du toit de l'édifice à protéger, un réseau de fils métalliques à mailles fort larges terminés par quelques aigrettes de fil de fer. On oblige ainsi l'électricité à se répartir également à la surface extérieure du bâtiment dont l'intérieur se trouve ainsi protégé et amené à un potentiel électrique nul ou égal à celui du sol. L'installation des paratonnerres Melsens est assez simple, et cependant fort peu d'habitations agricoles en sont pourvues. Cela vient en partie de ce que l'agriculteur, avant de songer à lui-même, songe à ses récoltes et de ce que les magasins où il les met en réserve ne les contiennent que pendant une courte période de l'année et, en général, pendant celle de l'automne et de l'hiver où les chutes de



foudre sont peu à craindre. La récolte la plus exposée aux incendies déterminés par la foudre est celle du blé alors qu'il est en meule. Lorsque les gerbiers sont rassemblés dans la cour de ferme, il ne serait pas impossible d'obtenir une protection suffisante en adaptant à chacun d'eux un paratonnerre à aigrette. Mais il ne faut pas oublier qu'un paratonnerre défectueux par défaut de conductibilité est plus dangereux qu'utile.

**110. Électricité et végétation.** — Si l'agriculteur n'a pas bénéficié dans une large mesure de la découverte de Franklin, pour la préservation de ses récoltes, il a du moins cherché à diverses reprises à tirer parti de l'électricité atmosphérique. Les expériences de l'abbé Nollet et de Berthollon avaient montré l'influence manifeste de l'électricité pour favoriser la germination. Les agronomes contemporains se sont demandés si l'on ne pourrait pas trouver dans ce même élément un aide précieux pour favoriser le développement de la végétation. Les expériences favorables de M. Grandeau ont été contredites par les résultats de divers expérimentateurs. Des expériences ont été récemment entreprises dans le département de la Loire et des perches, dites *géomagnétiques*, ont

été installées en rase campagne pour distribuer, à l'aide de canalisations en fils de fer, l'électricité atmosphérique à l'intérieur du sol. Les résultats des premières années, sans être décisifs semblaient fort encourageants ; ceux de la dernière année sont moins concluants et de nouvelles expériences seraient nécessaires.

#### 111. L'électricité et les orages à grêle.

-- M. Vaussenat, le regretté directeur de l'observatoire du Pic du Midi, avait à diverses reprises attiré l'attention des météorologistes et des agriculteurs sur la diminution des orages dans les plaines des Pyrénées à la suite de l'installation des nombreux paratonnerres de l'observatoire. Les habitants de la commune de Campan qui votaient prévisionnellement une certaine quantité de bois à distribuer chaque année aux sinistrés de la foudre, n'avaient eu, en 1890, aucun accident à déplorer depuis plus de 4 ans, époque à laquelle furent installés quatorze grands paratonnerres sur le cône terminal du Pic du Midi. Si l'efficacité du procédé des perches géomagnétiques était vérifiée, son application aurait un résultat doublement avantageux : prévenir les chutes de foudre et utiliser l'électricité atmosphérique au profit de la végétation.

## LES PHÉNOMÈNES LUMINEUX DE L'ATMOSPHÈRE

112. — Les phénomènes lumineux de l'atmosphère intéressent l'agriculteur en ce qu'ils peuvent être fréquemment mis à contribution pour concourir à la prévision locale du temps.

L'arc-en-ciel a été considéré de toute antiquité comme l'indice de la fin du mauvais temps ou d'une pluie de courte durée. Les conditions nécessaires à sa manifestation dans l'après-midi sont, en effet, une atmosphère libre de nuage du côté de l'Est, afin que les rayons du soleil puissent aller frapper à l'ouest le rideau de pluie situé au-delà de l'observateur. Cette condition de transparence n'est réalisée que pour un ciel peu encombré de nuages et tend plus particulièrement à se manifester lorsque le défilé de nuages, amené par les dépressions pluvieuses venant de l'ouest, touche à sa fin. L'arc-en-ciel du soir est ainsi un gage de beau temps.

La coloration rouge du ciel au soleil couchant ou au soleil levant, traduisent l'abondance de la vapeur d'eau, dans les couches de l'atmosphère vues à l'horizon sous leur plus grande épaisseur. Les agriculteurs considèrent avec



raison cette coloration rouge des stratus de l'horizon comme un symptôme précurseur de la pluie ou du vent du midi.

113. — L'observation de la lune, grâce aux phénomènes optiques de l'atmosphère, fournit un excellent moyen de juger de la pureté du ciel et de l'abondance de l'humidité dans les régions supérieures de l'atmosphère. Le phénomène très fréquent des auréoles qui entourent la lune et qui fait dire que la *lune boit* est dû à la diffusion de la lumière lunaire par les fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'atmosphère. La largeur de la couronne lumineuse qui environne cet astre dépend de la finesse et de l'abondance des gouttelettes d'eau interposées et révèle l'humidité des régions supérieures, alors que la limpidité du ciel en paraît à peine voilée. Si les gouttelettes sont petites le diamètre de la couronne est plus grand. On peut ainsi prévoir la pluie lorsque la lune, *ayant bu* pendant plusieurs jours, le diamètre de son auréole va en se rétrécissant progressivement.

La *netteté des cornes* de la lune ainsi que la *coloration plus ou moins rouge* de son disque sont aussi des indices de l'humidité de l'atmosphère. On peut résumer ainsi ces deux indications :

*Signes de beau temps* : Les cornes du croissant lunaire tranchent nettement sur le fond du ciel ; la lune au plein est claire et sans auréole à l'entour.

*Signes de mauvais temps* : Les cornes sont estompées, le croissant est marqué de taches noires, le disque de la lune est rougeâtre ; il est accompagné la nuit d'auréoles rougeâtres ou grisâtres.

Tels sont les points les plus saillants qu'il nous a paru utile de relever dans l'utilisation actuelle des éléments météorologiques par l'agriculteur et dans la lutte qu'il a engagée avec eux. Loin d'être désarmé devant les forces imposantes des phénomènes de l'atmosphère, l'agriculteur cherche depuis longtemps leurs côtés faibles ; il les emprisonne quand il peut les utiliser ; il leur résiste quand ses moyens d'action sont suffisants, et s'il est le plus faible, il prend ses dispositions pour laisser passer l'orage sans s'exposer à ses coups. Dans cette lutte incessante, où l'homme n'est pas toujours vainqueur, mais où il peut aspirer à le devenir, la météorologie agricole doit lui fournir des armes. Plus jeune que beaucoup de sciences appliquées, qui, comme la chimie, la physique,

la géologie, la mécanique agricole, ont déjà apporté à l'agriculteur de puissants moyens d'action, la météorologie agricole ne peut prétendre qu'à un rôle plus modeste. Mais il nous a semblé qu'elle avait déjà trouvé sa place et qu'elle devait aspirer, comme ses aînées, à contribuer au progrès incessant de notre agriculture nationale.

---





## BIBLIOGRAPHIE

---

### CHAPITRE PREMIER

#### *Phénomènes généraux de l'atmosphère Radiation solaire*

- DELAUNAY. — *Cours élémentaire d'astronomie.*  
YOUNG. — *Le soleil.*  
— *Annuaire du bureau des longitudes.*  
JAMIN et BOUTY. — *Cours de physique de l'École Polytechnique*, 3<sup>me</sup> fascicule : *Étude des radiations.*  
RADAU. — *Actinométrie.*  
— *La lumière et les climats.*  
— *Les radiations chimiques du soleil.*  
CROVA. — *Notices actinométriques*, 1883-1894. Bull. mét. de l'Hérault.  
A. CROVA et HOUDAILLE. — *Observations faites au sommet du mont Ventoux sur l'intensité calorifique de la radiation solaire.* Annales de chimie et de physique, 6<sup>e</sup> série, t. XXI, 1890.  
E. BECQUEREL. — *La lumière, ses causes et ses effets.*  
TYNDALL. — *La chaleur considérée comme cause de mouvement.*  
— *La lumière.*

*Température de l'air et du sol*

- BECQUEREL. — *Recherches sur la température du sol.*  
Atlas météorologique de l'observatoire de Paris,  
1875-76.
- KAEMTZ. — *Traité de météorologie.* Traduction Ch.  
Martins.
- CROVA. — *Mesure de la température du sol à Mont-*  
*pellier.* Bull. mét. de l'Hérault, 1876.
- GUILLAUME. — *Température gel et dégel des sols.*  
Bulletin météorol. de Meurthe-et-Moselle, 1891.
- F. HOUDAILLE. — *Marche annuelle de la température*  
*du sol à Montpellier.* Bull. mét. de l'Hérault,  
1891.
- MARIÉ-DAVY. — *Physique et météorologie agricoles.*
- MILLOT. — *Cours de météorologie professé à la Fa-*  
*culté des sciences de Nancy.*
- BECQUEREL. — *Les climats.*
- H. MARÈS. — *Climat de la région méridionale de la*  
*France.* Livre de la ferme, t. II.
- POUILLET. — *Traité de physique. Le rayonnement*  
*nocturne.*

*L'humidité de l'air et du sol*

- PELLAT. — *Cours de physique (hygrométrie).*  
*Annuaire de l'observatoire de Montsouris.*
- MOHN. — *Les phénomènes de l'atmosphère.*
- MILLOT. — *L'humidité de l'air à Nancy.* Bulletin  
de la Société des Sciences de Nancy, 1893.



- F. HOUDAILLE. — *Marche annuelle de l'humidité du sol*. Bulletin météorologique de l'Hérault, années 1886, 1890, 1892, 1894.
- CHABANEIX. — *Mémoire sur l'évaporation du sol*. In Bull. mét. de l'Hérault, 1886, 1887 et 1888.

*La pression et les mouvements de l'atmosphère*

- DUCLAUX. — *Cours de physique et de météorologie agricole*.
- FITZ ROY. — *Le livre du temps. Manuel pratique de météorologie*.
- R. SCOTT. — *Cartes du temps et avertissement des tempêtes*.
- H. PIDDINGTON. — *Guide du marin sur la loi des tempêtes*.
- MOHN. — *Les phénomènes de l'atmosphère*.
- MILLOT. — *Marche apparente et trajectoire vraie des orages sur l'horizon*.

*Les condensations aqueuses de l'atmosphère*

- DUCLAUX. — *Cours de physique et de météorologie agricoles. Hygrométrie. Pluie. Grêle*.
- MILLOT. — *La classification des nuages de Poëy*.
- CH. MARTINS. — *Pluies et orages à Montpellier*.
- F. HOUDAILLE. — *Étude des pluies de 1885 et de 1886 à Montpellier et régime des pluies et des vents à Montpellier*. Bulletin météor. de l'Hérault, 1885-1886 et 1889.
- TYNDALL. — *La Chaleur. Théorie de la Rosée*.

*Phénomènes électriques et phénomènes optiques  
de l'atmosphère*

- PALMIERI. — *Lois et origines de l'électricité atmosphérique.*
- ANDRÉ. — *Relations des phénomènes météorologiques. Électricité atmosphérique, p. 91 à 144.*
- KAEMTZ. — *Traité de météorologie. Phénomènes lumineux de l'atmosphère.*
- ANGOT. — *L'électricité atmosphérique d'après les travaux de Sir William Thomson et la conférence de M. Mascart. Ann. de la Soc. météor. de France, t. XXV.*

CHAPITRE II

*Mesure des éléments météorologiques*

- RENOU. — *Instructions météorologiques.*
- ANGOT. — *Instructions météorologiques.*
- A. CROVA. — *Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire. Bull. météor. de l'Hérault, 1876.*
- LÉVY. — *L'actinomètre Arago-Davy.*
- F. HOUDAILLE. — *Comparaisons actinométriques; l'actinomètre à vaporisation. Bull. mét. de l'Hérault, 1893.*
- A. CROVA. — *Mesure de la température du sol.*
- *Hygromètre à condensation intérieure. In Journal de physique, t. II, 2<sup>e</sup> série.*

- F. HOUDAILLE. — *Mesure de la rosée et mesure de l'évaporation.* Bulletin météorologique de l'Hérault, 1890 et 1892.
- A. CROVA. — *Instruction pour l'usage des anéroïdes.* Bull. mét. de l'Hérault, 1876.
- *Tables météorologiques internationales.*

## CHAPITRE III

*Prévision du temps, utilisation des éléments  
météorologiques et moyens de défense*

- DUCLAUX. — *Cours de physique et de météorologie agricole.*
- TH. SCHLESING. — *Chimie agricole.*
- PLUMANDON. — *Le baromètre appliqué à la prévision du temps.*
- MILLOT. — *Propriétés physiques des différents vents à Nancy.*
- E. ROCHE. — *Marche annuelle de la température à Montpellier.* Bull. mét. de l'Hérault, 1881.
- VAN TIEGHEM. — *Traité de botanique,* 1891.
- BEAUNIS. — *Nouveaux éléments de physiologie humaine.*
- BOUSSINGAULT. — *Études agronomiques.*
- DÉHÉRAIN. — *Traité de chimie agricole,* 1892.
- F. HOUDAILLE. — *Le soleil et l'agriculteur.*
- PORTES et RUYSSSEN. — *Traité de viticulture.*
- A. ANGOT. — *Étude sur les vendanges en France.* Annales du bureau central météorologique, t. I, année 1883.
- ANGOT. — *Étude sur les phénomènes de la végéta-*



- tion et la migration des oiseaux en France.* Ann. du Bureau central, 1884-1886.
- CANU et LARBALETRIER. — *Manuel de météorologie agricole.*
- MARIÉ-DAVY. — *Physique et météorologie agricoles.*
- NAUDIN et le BARON VON MULLER. — *Manuel de l'acclimatation des plantes.*
- GRISEBACH. — *Géographie végétale.*
- MOUCHOT. — *La chaleur solaire et ses applications.*
- CH. TELLIER. — *La conquête pacifique du Sahara. Générateur solaire à ammoniaque.*
- CH. FLAHAULT. — *Programme d'observations sur les phénomènes périodiques de la végétation.* Bulletin météorol. de l'Hérault, 1889.
- RAFARIN. — *Traité du chauffage des serres.*
- CH. NAUDIN. — *Serres et orangeries en plein air.*
- RENOUARD. — *La culture artificielle du raisin en Angleterre.* Journal « La Nature », 1890.
- DUCLAUX. — *Des fermentations.*
- MACÉ. — *Traité pratique de bactériologie.*
- CHABANEIX. — *Notices météorologiques et agricoles.* Bulletin météorologique de l'Hérault.
- MARIÉ-DAVY. — *Annuaire de Montsouris.* Météorologie agricole, années 1875, 76-77.
- MASCART. — *Instructions pour l'observation des phénomènes périodiques des animaux et des végétaux.*
-

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVERTISSEMENT . . . . .	5

### CHAPITRE PREMIER

#### LES PHÉNOMÈNES DE L'ATMOSPHÈRE

<i>La radiation solaire.</i> . . . . .	9
Constitution physique du soleil. . . . .	10
Les trois formes de l'énergie solaire. . . . .	12
La radiation calorifique du soleil. . . . .	12
Les saisons . . . . .	14
Causes des variations de l'intensité calorifique . . . . .	15
La lumière du soleil . . . . .	17
Nébulosité du ciel . . . . .	18
L'énergie chimique du soleil. . . . .	19
<i>La température de l'air et du sol.</i> . . . . .	21
Les divers modes de propagation de la chaleur. . . . .	21
Température du sol. . . . .	23
Pouvoir absorbant, pouvoir émissif et conductibilité du sol. . . . .	24
Marche diurne et marche annuelle de la température du sol . . . . .	25
Pénétration de la gelée dans le sol . . . . .	26
Température de l'air. . . . .	27
Marche diurne de la température de l'air. . . . .	28
Le rayonnement nocturne. . . . .	28
Les époques critiques de refroidissement . . . . .	30
Distribution des températures à la surface du globe . . . . .	31
Les climats. Climats de la France . . . . .	32

	Pages
<i>L'humidité de l'air et du sol . . . . .</i>	33
Tensions maxima de la vapeur d'eau : table des tensions de 0 à 40° . . . . .	33
État hygrométrique et poids de vapeur par mètre cube d'air . . . . .	36
Vitesse d'évaporation . . . . .	36
Taux d'humidité du sol . . . . .	38
<i>La pression et les mouvements de l'atmosphère.</i>	39
Variation diurne de la pression atmosphérique .	40
Marche annuelle de la pression atmosphérique .	41
Distribution de la pression atmosphérique à la surface du globe . . . . .	42
Lignes isobares, direction et vitesse du vent . .	43
Prévision du temps basée sur les cartes d'isobares . . . . .	45
Les vents réguliers de l'atmosphère . . . . .	47
Alisés, moussons, brises . . . . .	48
Les courants marins : le gulf-stream. . . . .	50
<i>Les condensations aqueuses de l'atmosphère.</i>	51
Les nuages : cirrus, cumulus, stratus, nimbus .	51
La pluie . . . . .	53
Distribution annuelle des pluies : altitude et relief du sol . . . . .	54
La neige . . . . .	55
La rosée . . . . .	56
Gelée blanche et verglas . . . . .	57
La grêle . . . . .	58
<i>Phénomènes électriques de l'atmosphère . . .</i>	59
Électricité atmosphérique : éclair et tonnerre .	60
<i>Phénomènes optiques de l'atmosphère . . . .</i>	61
Arc-en-ciel . . . . .	61
Halos et couronnes . . . . .	62



## CHAPITRE II

## MESURE DES ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

	Pages
Du choix des instruments d'observation météorologique . . . . .	63
<i>Mesure de la radiation solaire</i> . . . . .	65
Actinomètre de M. Crova . . . . .	68
" à thermomètres conjugués . . . . .	68
Actinomètre à vaporisation . . . . .	71
Actinographe de Campbell . . . . .	74
<i>Mesure des températures</i> . . . . .	76
Thermomètre du sol . . . . .	76
Abri thermométrique . . . . .	78
Thermomètres pour la mesure de la température de l'air . . . . .	81
Thermomètre à maxima . . . . .	81
" à minima . . . . .	82
" enregistreur . . . . .	83
Thermomètres avertisseurs . . . . .	83
Réparation de quelques accidents survenus aux thermomètres . . . . .	84
<i>Mesure de l'humidité de l'air</i> . . . . .	85
Hygromètre Alluard à condensation extérieure . . . . .	85
" Crova à condensation intérieure . . . . .	87
Psychromètre . . . . .	87
Tables psychrométriques . . . . .	90
Hygromètre à cheveu . . . . .	102
Évaporomètres . . . . .	103
Mesure de l'humidité du sol . . . . .	104

	Pages
<i>Mesure de la pression atmosphérique</i> . . .	106
Baromètre à mercure . . . . .	106
Correction de température : tables de correction.	107
"    d'altitude . . . . .	111
Baromètre anéroïde . . . . .	112
<i>Mesure de la direction et de la vitesse du vent.</i>	113
Girouette et banderolle. Miroir à nuages . . .	113
Anémomètres . . . . .	116
Échelle de la force du vent . . . . .	116
<i>Mesure de la pluie</i> . . . . .	117
Pluviomètres . . . . .	117
Mesure de la rosée . . . . .	119

## CHAPITRE III

UTILISATION DES ÉLÉMENTS MÉTÉOROLOGIQUES  
PAR L'AGRICULTEUR ET MOYENS DE DÉFENSE

<i>Influence de la radiation solaire sur les végétaux.</i> . . . . .	120
Croissance de la plante. . . . .	120
Assimilation du carbone . . . . .	122
Transpiration végétale . . . . .	124
Influence générale de la lumière sur la végétation . . . . .	125
Protection des végétaux contre les excès de radiation . . . . .	127
Utilisation directe de la radiation solaire . . .	128
Moteurs solaires . . . . .	129
<i>La température et la vie de la plante</i> . . .	131
Températures limites et températures optima .	131
Influence de la température sur l'absorption radiculaire . . . . .	133
Température et fonction chlorophyllienne. . .	135

	Pages
La température et les phases de la végétation. . .	136
Sommes de température . . . . .	137
Influence de la température sur la distribution des espèces végétales. . . . .	139
Zones de végétation et limites culturales . . .	140
La température et l'évolution des ferments agri- coles . . . . .	142
<i>La température et la vie animale.</i> . . . .	145
Résistance de l'animal aux températures ex- trêmes. . . . .	145
Température et sensation physiologique du froid et du chaud . . . . .	146
<i>Protection des végétaux contre les abaisse- ments de la température</i> . . . . .	148
Accumulation de la chaleur : châssis et serres .	148
Protection contre les gelées d'hiver . . . . .	151
"    contre les gelées de printemps. . .	152
Écrans, poudres, irrigation . . . . .	153
Procédé des nuages artificiels . . . . .	154
Méthodes de prévision des gelées de printemps.	155
Disposition et allumage des foyers : allumeurs automatiques . . . . .	158
<i>La pression atmosphérique</i> . . . . .	159
Influence de la pression sur l'organisme animal et végétal. . . . .	159
La pression atmosphérique et le soutirage des vins. . . . .	160
Prévision locale du temps par le baromètre . .	161
<i>Les vents et les courants marins.</i> . . . .	163
Fréquence relative des vents : les vents domi- nants . . . . .	163



	Pages
Utilisation de la force motrice du vent. . . . .	165
Influence des vents pluvieux sur la production agricole . . . . .	165
Influence des courants marins . . . . .	168
<i>Humidité du sol et de l'air</i> . . . . .	169
Humidité du sol et développement de la végétation . . . . .	169
La pratique des irrigations et la mesure de l'évaporation . . . . .	171
Influence de la végétation sur l'évaporation du sol . . . . .	172
<i>La pluie et les condensations aqueuses de l'atmosphère.</i> . . . . .	174
La distribution des pluies et les climats . . . . .	174
Apport de l'azote par les eaux pluviales. . . . .	175
Les pluies et les reboisements forestiers . . . . .	177
Prévision de la pluie . . . . .	178
"    de la grêle . . . . .	183
Effets destructeurs de la grêle sur la végétation. . . . .	184
<i>L'électricité atmosphérique</i> . . . . .	185
Paratonnerres . . . . .	185
Électricité et végétation . . . . .	186
L'électricité et les orages à grêle . . . . .	187
<i>Les phénomènes optiques de l'atmosphère.</i> . . . . .	188
L'arc-en-ciel et la pluie. . . . .	188
Les couronnes lunaires et la prévision de la pluie . . . . .	189
Conclusions. . . . .	190
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	193

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, BUSSIÈRE FRÈRES



FORMULAIRE  
DE  
**L'ÉLECTRICIEN**

PAR

**E. HOSPITALIER**

Ingénieur des Arts et Manufactures

Professeur à l'École de physique et de chimie industrielles  
de la Ville de Paris

Rédacteur en chef de l'*Industrie Électrique*

**Treizième année. — 1895**

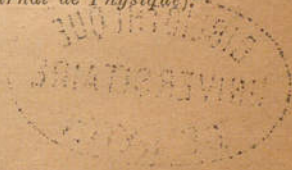
1 vol. in-18° avec figures dans le texte, cartonné toile, tran-  
ches rouges . . . . . 5 fr.

Le succès toujours croissant de cet excellent recueil plaide mieux que tous les arguments en faveur de cet ouvrage que l'on doit rencontrer dans les mains de quiconque s'occupe d'électricité.

L'auteur, dont la compétence n'est plus à établir, a su y rassembler, sous la forme la plus réduite, tous les renseignements théoriques et pratiques. Définitions, lois, unités de mesures, appareils et méthodes, sont ainsi constamment sous la main de l'électricien qui dispose également de tous les résultats aujourd'hui incontestablement acquis par les nombreuses expériences que la science et l'industrie nous apportent tous les jours.

Ajoutons que, avec un soin scrupuleux, l'ouvrage est tenu chaque année au courant de tout ce qui survient, donnant ainsi un exemple dont bien des publications devraient faire leur profit.

(*Journal de Physique*)





TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE  
D'ÉLECTRICITÉ

PAR

**J. JOUBERT**

Inspecteur général de l'Instruction publique

3<sup>e</sup> édition revue et augmentée

1 vol. in-8° avec 379 fig. dans le texte . . . . . 8 fr.

---

L'auteur s'est proposé, dans ce livre, d'exposer d'une manière simple et cependant assez complète, la théorie de l'électricité et les principales applications qui s'y rattachent; il a eu en vue un lecteur désireux non seulement de connaître les faits, mais d'en suivre l'enchaînement logique et de se rendre un compte exact des phénomènes; il ne lui a supposé d'ailleurs d'autres connaissances que celles qui forment la base de l'enseignement élémentaire classique.

Les hypothèses et les détails historiques ont été strictement écartés de cet ouvrage: autant l'auteur les croit intéressants et profitables pour ceux qui savent, autant il les estime peu utiles pour ceux qui apprennent, et c'est à ces derniers qu'il s'adresse.

Ajoutons que cette 3<sup>e</sup> édition a subi des remaniements assez nombreux en vue de tenir compte des travaux récents. Les chapitres relatifs au *Magnétisme*, à l'*Electro-magnétisme*, aux *Courants alternatifs* et aux *Oscillations électriques* sont ceux qui ont reçu les modifications les plus importantes.



CLINIQUE MÉDICALE DE LA CHARITÉ

LEÇONS & MÉMOIRES

Par le professeur POTAIN

et ses collaborateurs

**Ch. A. François-Franck**

Professeur suppléant au Collège de France

**E. Suchard**

Chef de laboratoire d'anatomie pathologique

**H. Vaquez**

Chef de clinique à la Faculté de Médecine

**P. J. Teissier**

Interne des Hôpitaux de Paris

1 fort vol. in-8° de 1,060 p. avec nombreuses fig. dans le texte. 30 fr.

Ce volume contient tout d'abord des *leçons* du professeur, recueillies par M. VAQUEZ. Celles qui ont été choisies se rapportent toutes aux maladies du cœur. — Le reste du livre est composé de travaux et de recherches poursuivis dans le service : deux mémoires de M. POTAIN (*des souffles cardio-pulmonaires et du choc de la pointe du cœur*), sont la démonstration complète de certains points de la séméiologie cardiaque. — M. VAQUEZ a donné un mémoire sur la *Phlébite des membres*; M. TEISSIER a rédigé les *Rapports du rétrécissement mitral pur avec la tuberculose*; M. SUCHARD a fourni un intéressant travail sur la *Technique des autopsies cliniques*. — Enfin, M. FRANÇOIS-FRANCK a rédigé un très important mémoire, *l'Analyse de l'action expérimentale de la digitaline*. — L'ensemble de ce volume forme donc un tout traitant tout spécialement des maladies du système circulatoire.

TRAITÉ

DES MALADIES DES YEUX

Par Ph. PANAS

Professeur de clinique ophtalmologique à la Faculté de Médecine  
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu — Membre de l'Académie de Médecine

2 vol. gr. in-8° avec 453 fig. et 7 pl. coloriées, cartonnés. . . 40 fr.

Dans cet ouvrage, l'auteur s'est attaché à donner d'une façon concise l'état actuel de la science ophtalmologique en prenant pour base la clinique sans négliger l'enseignement et les recherches de laboratoire. — Le premier volume comprend l'anatomie, la physiologie, l'embryologie, l'optique et la pathologie du globe de l'œil. — Le second contient ce qui a trait à la musculature, aux paupières, aux voies lacrymales, à l'orbite et aux sinus cranio-faciaux; le tout envisagé au point de vue de l'anatomie, de la physiologie et de la pathologie. En un mot, essentiellement pratique, ce livre s'adresse autant aux étudiants qu'aux ophtalmologues de profession.

SYMPTOMATOLOGIE  
ET  
ANATOMIE PATHOLOGIQUE  
DES  
MALADIES DE LA PEAU

Par MM.

**LELOIR**

Professeur à la Faculté de Médecine  
de Lille

**E. VIDAL**

Médecin de l'Hôpital Saint-Louis

Un Atlas de 54 planches grand in-8° tirées en couleur et accompagnées d'un texte explicatif . . . . . 70 francs

**NOTA.** — L'ouvrage devra être accompagné d'un traité descriptif, publié par ordre alphabétique (ACHROMIE-FAVUS) qui n'a pas été continué à la suite de la mort de M. E. VIDAL. Les 380 pages publiées sont remises gratuitement aux acquéreurs de l'Atlas.

TRAITÉ PRATIQUE  
DES  
MALADIES DES YEUX

Par le Dr Edouard MEYER

4<sup>e</sup> édition entièrement revue et augmentée, 1 vol. petit in-8°, avec  
261 figures . . . . . 12 fr.

En présence du succès toujours croissant des trois premières éditions de son ouvrage, l'auteur a pensé qu'il avait pour devoir de le tenir continuellement au courant des progrès de la science. Aussi a-t-il revu cette nouvelle édition avec le plus grand soin; en retranchant ce qui est devenu inutile, il a trouvé la place pour tout ce que les travaux récents ont apporté de pratiquement utile ou de scientifiquement intéressant sans augmenter son volume.





# REVUE DES SCIENCES

Et de leurs Applications aux Arts et à l'Industrie

*Journal Hebdomadaire Illustré*

RÉDACTEUR EN CHEF

Gaston TISSANDIER

43 VOLUMES

PUBLIÉS

VINGT-TROIS ANNÉES de Succès

Recettes et Procédés Utiles

Récréations Scientifiques

Actualités Scientifiques

Boîte aux Lettres

*Les Abonnements et Renouvellements sont reçus*

à la Librairie G. MASSON

120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

Un an : Paris, 20 fr. Départements, 25 fr. Union postale, 26 fr.  
Six mois — 10 fr. — 12 fr. 50 — 13 fr.

PRIX

d'Abonnements :

Le Numéro : 50 Centimes



LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS

PRÉPARATION A L'ÉCOLE SPÉCIALE MILITAIRE DE SAINT-CYR

PRÉCIS  
DE GÉOGRAPHIE

*A l'usage des candidats à l'École spéciale Militaire de Saint-Cyr*

PAR

**Marcel DUBOIS**

Professeur de Géographie coloniale à la  
Faculté des lettres de Paris

**Camille GUY**

Ancien élève de la Sorbonne, Professeur  
agrégé de Géographie et d'Histoire

UN TRÈS FORT VOLUME IN-8°

Avec nombreuses cartes, croquis et figures dans le texte

Broché. . . 12 fr. 50 — Relié. . . 14 fr.

Ce nouvel ouvrage est une adaptation des connaissances géographiques à la première éducation militaire qu'on exige des candidats à Saint-Cyr et qui les prépare à la Géographie que nos officiers leur enseigneront plus tard à l'École avec une supériorité incontestée.

Le *Précis de Géographie* reste fidèle à la méthode que les Maîtres et les Éèves apprécient dans les ouvrages antérieurs de M. Marcel Dubois. C'est le livre d'une classe vraiment spéciale et orientée dans une direction déterminée faisant la part de l'éducation large et libérale du futur officier sans jamais négliger la préoccupation immédiate de l'examen.

PRÉCIS  
D' HISTOIRE  
MODERNE ET CONTEMPORAINE

*A l'usage des candidats à l'École spéciale Militaire de Saint-Cyr*

Par **F. CORRÉARD**

Professeur au lycée Charlemagne

Un volume in-8 de 800 pages. Broché. 10 fr. 50 Relié. 12 fr.

En rédigeant cet ouvrage l'auteur a eu constamment présente à l'esprit l'indication suivante qui figure en tête du programme des conditions d'admission à l'École de Saint-Cyr. « Le programme de l'examen d'histoire et de géographie a été rapproché, autant que possible, du programme d'enseignement des lycées pour éviter que les candidats ne se croient obligés à se donner une préparation trop spéciale et nuisible par là même à leur éducation intellectuelle. Les candidats doivent, avant toutes choses, faire preuve de connaissances générales et réfléchies en histoire. L'examen ne portera pas sur les menus détails de l'histoire des guerres ». En conséquence l'auteur, suivant la méthode employée dans les précédents ouvrages, s'est attaché d'abord à choisir et à caractériser les faits et les personnages significatifs, puis à marquer la suite et l'enchaînement des événements. Pour les opérations militaires mentionnées dans le programme, il s'est efforcé de faire comprendre le sens et le but soit des campagnes, soit des batailles, en évitant les considérations trop techniques qui supposent des connaissances que les candidats n'auront que plus tard.

## ÉLÉMENTS

DE

# CHIMIE PHYSIOLOGIQUE

PAR

**MAURICE ARTHUS**

Docteur ès sciences physiques, docteur ès sciences naturelles,  
préparateur chargé de conférences de physiologie à la Sorbonne.

1 vol. in-18 avec figures dans le texte . . . . . 4 fr.

---

Actuellement il n'existe pas d'ouvrage qui, intermédiaire aux traités de chimie physiologique et aux traités de physiologie, contienne toutes les notions chimiques et rien que les notions chimiques nécessaires à l'étudiant en physiologie. L'auteur s'est proposé de combler cette lacune.

---

## RECETTES

ET

# PROCÉDÉS UTILES

RECUEILLIS PAR

**GASTON TISSANDIER**

RÉDACTEUR EN CHEF DU JOURNAL « LA NATURE »

---

QUATRE SÉRIES PUBLIÉES

Formant 4 volumes in-18 avec figures

Chaque volume est vendu séparément :

Broché. . . . 2 fr. 25 | Cartonné . . . . 3 fr.

---

Ces quatre volumes contiennent une mine inépuisable de renseignements et de documents que l'auteur a compulsés et méthodiquement réunis. Ils seront utilement consultés par les personnes appartenant aux professions les plus différentes : femmes de ménage, chimistes, physiciens, industriels, et généralement tous les amateurs et amis des sciences.

En outre, on trouve dans cet ouvrage la description de petits appareils domestiques, de systèmes bien conçus que le lecteur aura intérêt à connaître, et dont il aura occasion de se servir avec profit.



LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS  
Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

# COURS DE PHYSIQUE

DE  
L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PAR M. J. JAMIN

QUATRIÈME ÉDITION

AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE,

PAR

M. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre Tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et  
14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE  
COMPLET) . . . . . 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

(\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 fig.  
et 1 planche . . . . . 5 fr.

2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures . . . . . 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

(\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Thermométrie. Dilatations*; avec 98 fig. . . . . 5 fr.

(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches . . . . . 5 fr.

3<sup>e</sup> fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*;  
avec 47 figures . . . . . 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

1<sup>er</sup> fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures. . . . . 4 fr.

(\*) 2<sup>e</sup> fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 plan-  
ches . . . . . 4 fr.

3<sup>e</sup> fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et  
calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont  
2 planches de spectres en couleur . . . . . 14 fr.

(\*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans  
les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1<sup>er</sup> fascicule; Tome II, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> fascicules;  
Tome III, 2<sup>e</sup> fascicule.



**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS**

TOME IV (1<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

1<sup>er</sup> fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 fig. et 1 planche . . . . . 7 fr.

2<sup>o</sup> fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 fig. et 1 planche . . . . . 6 fr.

TOME IV. — (2<sup>o</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

3<sup>o</sup> fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Electromagnétisme. Induction*; avec 240 figures. . . . . 8 fr.

4<sup>o</sup> fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 fig. et 1 pl. . . . . 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

*Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs, des quatre volumes du Cours de Physique.* In-8; 1891 . . . . . 60 c.

*Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.*

**ANDRIEU (Pierre)**, Chimiste agronome. — *Le vin et les vins de fruits. Analyse du moût et du vin. Vinification. Sucrage. Maladies du vin. Etude sur les levures de vin cultivées. Distillation.* In-8 de 380 pages, avec 78 figures; 1894. . . . . 6 fr. 50

**ARNOUX (Gabriel)**, ancien Officier de Marine. — *Essais de Psychologie et de Métaphysique positives. — Arithmétique graphique. — Les espaces arithmétiques hypermagiques.* Grand in-8, avec figures et 1 planche en couleur; 1894. Papier Hollande, 12 fr., Vêlin. . . . . 6 fr.

**BARILLOT (Ernest)**, Expert-Chimiste près les Tribunaux, Membre de la Société chimique de Paris. — *Traité de Chimie légale. Analyse toxicologique. Recherches spéciales.* In-8, avec figures; 1894. . . . . 6 fr. 50

**BOUSSAC**, inspecteur général des Postes et Télégraphes. — *Construction des lignes électriques aériennes. (Ecole Professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes).* Ouvrage complété par E. MASSIN, ingénieur des Télégraphes. Grand in-8, avec 201 figures; 1894. . . . . 6 fr. 50

**GIRARD (Aimé)**. — *Recherches sur la culture de la pomme de terre industrielle et fourragère.* 2<sup>e</sup> édition. Un volume de texte grand in-8 avec figures et Atlas contenant 6 belles planches en héliogravure; 1891 . . . . . 8 fr.

*On vend séparément :*

Texte. . . . . 3 fr. 75 | Atlas . . . . . 5 fr.

**HERZBERG (Wilhelm)**, Directeur du Bureau Royal d'Analyse des papiers à Berlin. — *Analyse et essais des papiers, suivis d'une Etude sur les papiers destinés à l'usage administratif en Prusse (Normal-Papier)*, par Carl Hoffmann, Ingénieur civil, Directeur de la *Papier Zeitung*. Ouvrage avec figures et 2 planches; 1894. . . . . 5 fr.

**MANNHEIM (Le Colonel A.)**, Professeur à l'Ecole Polytechnique. — *Principes et Développement de la Géométrie cinématique. Ouvrage contenant de nombreuses applications à la théorie des surfaces.* In-4, avec 186 figures; 1894. . . . . 25 fr.

# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

## ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondées par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées

**APPERT (Léon) et HENRIVAUX (Jules)**, Ingénieurs. — **Verre et Verrerie**. Grand in-8° de 460 p. avec 130 fig. et un Atlas de 14 planches in-4°; 1894 (E. I.). . . . . 20 fr.

Historique. — Classification. — Composition des agents physiques et chimiques. — Produits réfractaires. — Fours de verrerie. — Combustibles. — Verres ordinaires. — Glaces et produits spéciaux. — Verre de Bohême. — Cristal. — Verres d'optique. — Phares. — Strass. — Email. — Verres colorés. — Mosaïque. — Vitraux. — Verres durs. — Verres malléables. — Verres durcis par la trempe. — Etude théorique et pratique des défauts du verre.

**BRICKA (C.)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'Etat. — **Cours de Chemins de fer, professé à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées**. 2 beaux volumes grand in-8, se vendant séparément. (E. T. P.)

**TOME I** : *Etudes. — Construction. — Voie et appareils de voie*. Avec 326 figures, 1894 . . . . . 20 fr.

**TOME II** : *Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers*. Avec 177 figures; 1894 . . . . . 20 fr.

L'éminent ingénieur Sévène, qui a longtemps professé le Cours de Chemins de fer à l'Ecole des Ponts et Chaussées, avait fait autographier ses Leçons; mais cet Ouvrage est épuisé depuis longtemps, — et d'ailleurs, si grande qu'ait été sa valeur, il ne serait plus au courant des progrès réalisés depuis cette époque. Aussi M. Bricka a-t-il rendu un service signalé à tous ceux qui s'intéressent à l'art de l'Ingénieur en publiant l'Ouvrage considérable que nous annonçons et qui contient non seulement les matières du cours oral, mais beaucoup de questions et bien des détails que les Leçons ne peuvent donner.

Cette œuvre émane d'un homme qui a beaucoup fait, beaucoup vu faire, et qui maintenant dirige l'un des grands services des Chemins de fer de l'Etat, en même temps qu'il enseigne à nos futurs ingénieurs la plus difficile des parties de leur art. C'est dire qu'elle apporte une puissante contribution à toutes les questions relatives aux Chemins de fer.

**CRONEAU (A.)**, Ingénieur de la Marine, Professeur à l'Ecole d'application du Génie maritime. — **Architecture navale. — Construction pratique des navires de guerre**. 2 volumes gr. in-8° se vendant séparément (E. T. P.)

**TOME I** : *Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de navires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts*. Gr. in-8, avec 365 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. . . . . 18 fr.

**TOME II** : *Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouvertures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. — Poids et résistance des coques*. Grand in-8, avec 359 figures; 1894 . . . . . 15 fr.

**DEHARME (E.)**, Ingénieur principal du Service central de la Compagnie du Midi, Professeur du Cours de Chemins de fer à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, et **PULIN (A.)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur-Inspecteur principal de l'Atelier central du Chemin de fer du Nord. — **Chemins de fer. Matériel roulant. Résistance des trains. Traction**. Un volume grand in-8 de xxx-441 pages, avec 95 figures et 1 planche; 1895. (E. I.). . . . . 15 fr.



LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Ce livre est une première suite à l'Ouvrage *Superstructure*, publié par l'un des auteurs dans l'*Encyclopédie des Travaux publics*. M. Deharme était alors sur le terrain des Ingénieurs de l'Etat et des Ingénieurs des Compagnies chargés de la construction et de l'entretien. Aujourd'hui il pénètre avec M. Pulin dans le domaine de l'Ingénieur de l'Exploitation technique et de celui de la construction des machines. Est-il nécessaire d'ajouter que les types les plus récents sont discutés dans le plus grand détail, et qu'on n'a rien négligé pour se mettre au niveau de tout ce qui a été réalisé depuis quelques années, en s'efforçant même de guider les inventeurs qui chercheront à l'avenir à réaliser des progrès nouveaux? Le lecteur jugera bien vite de l'utilité actuelle et des promesses d'une œuvre ainsi comprise.

**DENFER (J.)**, Architecte, Professeur à l'École Centrale. — **Architecture et constructions civiles. — Couvertures des édifices. — Ardoises, tuiles, métaux, matières diverses, chéneaux et descentes.** Grand in-8 de 463 pages, avec 423 figures; 1893. (E. T. P.) . . . . . 20 fr.

M. Denfer est connu par les grands travaux qu'il a exécutés à Paris et en province et par le succès de ses ouvrages précédents : *Maçonnerie; Charpente en bois et menuiserie*.

La *Couverture des édifices* est une de ces monographies de spécialités destinées à rester longtemps classiques, tant elles sont complètes, claires, bien illustrées de dessins exacts pouvant servir dans les applications. Elle se divise en huit chapitres dont voici les titres :

CHAP. I : *Considérations générales.* — CHAP. II : *Couvertures en ardoises.* — CHAP. III : *Couvertures en pierres, ciments et asphaltes.* — CHAP. IV : *Couvertures en tuiles.* — CHAP. V : *Couvertures en verre.* — CHAP. VI : *Couvertures métalliques.* — CHAP. VII : *Couvertures en matériaux ligneux.* — CHAP. VIII : *Gouttières, chéneaux et accessoires de couverture.*

**DENFER (J.)**, Architecte, professeur à l'École Centrale. — **Architecture et Constructions civiles. — Charpenterie métallique. Menuiserie en fer et serrurerie.** — 2 beaux volumes se vendant séparément. (E. T. P.)

TOME I : *Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poteaux. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer.* Grand in-8 de 584 pages, avec 479 figures; 1894. 20 fr.

TOME II : *Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Fermeaux des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Serres et vérandas).* Grand in-8, de 626 pages, avec 571 figures; 1894 . . . . . 20 fr.

**GOUILLY (Alexandre)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Répétiteur de mécanique appliquée à l'École Centrale. — **Éléments et organes des machines.** Grand in-8, de 406 pages avec 710 figures; 1894 (E. L.) . . . . . 12 fr.

Généralités. La fonte et les principes du moulage. L'acier et le fer fondu. Le fer, cuivre, zinc, étain, nickel, plomb, bronzes, laïtons. Le bois, cuirs, caoutchouc, lubrifiants, etc. Rivure, boulons, écrous et vis. Vis à bois et à métaux, tirefonds, clavettes. Assemblages des bois et ferrures, assemblages des tuyaux, Robinets. Valves, clapets, soupapes, ventouses. Appareils de graissage. Généralités sur les machines à vapeur. Cylindres et presse-étoupe. Pistons et tiges de pistons, bielles. Balancier et parallélogramme de Watt. Manivelles, excentriques, arbres, engrenages, poulies, volants. Mécanismes de modifications de mouvements, paliers, chaises. Travail des forces, rendement des machines, formulaire pour le calcul des organes de machines.

**GUIGNET (Ch.-Er.)**, Ingénieur (École Polytechnique), Directeur des teintures aux Manufactures nationales des Gobelins et de Beauvais; **DOMMER (F.)**, Ingénieur des Arts et manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, et **GRANDMOUGIN (E.)**, Chimiste, Ancien préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse. — **Industries textiles. Blanchiment et apprêts. Teinture et impression. Matières colorantes.** Un volume grand in-8 de 656 pages, avec 345 figures et échantillons de tissus imprimés; 1895. (E. L.) . . . . . 30 fr.



## LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Cet important ouvrage, avec 345 figures dans le texte, et un choix d'échantillons de tissus, s'adresse surtout aux industriels; mais il sera aussi très apprécié par ceux qui désirent connaître l'état actuel des grandes industries textiles. Rien n'a été négligé par les auteurs pour donner une idée aussi exacte que possible des merveilleuses machines récemment créées pour le traitement des fibres textiles à l'état brut ou sous la forme de fils et de tissu. L'emploi des matières colorantes nouvelles est décrit avec tous les détails nécessaires pour guider les praticiens.

**HENRY (Ernest)**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du personnel du Ministère des Travaux-Publics. — **Ponts sous-rails, Ponts-routes à travées métalliques indépendantes, Formules, Barèmes et Tableaux.** *Calculs rapides des moments fléchissants et efforts tranchants pour les ponts supportant des voies ferrées de largeur normale, des voies de un mètre, des routes et chemins vicinaux.* Gr. in-8, avec 267 fig.; 1894. (E. T. P.), 20 fr.

Cet ouvrage a pour but de supprimer les recherches, les calculs ou les épreuves que comporte actuellement la détermination des moments fléchissants et des efforts tranchants. Les charges roulantes prévues, tant pour les ponts sous-rails que pour les ponts-routes, sont celles qui ont été prescrites par le règlement ministériel du 29 août 1891. Les moments fléchissants et les efforts tranchants sont fournis, suivant les cas, soit par des formules simples ou des constructions faciles, soit par des tableaux qui les donnent tout calculés, à des intervalles égaux au dixième de la longueur de la poutre, pour des portées variant de mètre en mètre jusqu'à 100<sup>m</sup>, en ce qui concerne les chemins de fer à voie large, et jusqu'à 75<sup>m</sup> en ce qui concerne les chemins de fer à voie de 1<sup>m</sup> ainsi que les voies de terre.

**LECHALAS (Georges)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. — **Manuel de droit administratif.** *Service des Ponts et Chaussées et des chemins vicinaux.* 2 volumes grand in-8, se vendant séparément. (E. T. P.).

TOME I : *Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principe d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations. Dommages et occupations temporaires;* 1889. . . . . 20 fr.

TOME II (1<sup>re</sup> PARTIE) : *Participation des tiers aux dépenses des travaux publics. Adjudications. Fournitures. Régie. Entreprises. Concessions;* 1893. . . . . 10 fr.

---

# BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

---

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Loude, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

EXTRAIT DU CATALOGUE.

- Courrèges (A.), Praticien. — *Ce qu'il faut savoir pour réussir en Photographie*. Petit in-8; 1894 . . . . . 2 fr. 50
- Davanne. — *La Photographie. Traité théorique et pratique*. 2 beaux volumes grand in-8, avec 234 figures et 4 planches spécimens. 32 fr.  
Chaque volume se vend séparément 16 francs
- Fabre (C.), Docteur ès sciences. — *Traité encyclopédique de Photographie*. 4 beaux volumes gr. in-8, avec plus de 700 figures et 2 planches; 1889-1891. . . . . 48 fr. »  
Chaque volume se vend séparément 14 fr.
- Tous les trois ans, un Supplément, destiné à exposer les progrès accomplis pendant cette période, viendra compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.
- Premier Supplément triennal (A). Un beau volume grand in-8 de 400 pages, avec 176 figures; 1892. . . . . 14 fr.  
Les 5 volumes se vendent ensemble 60 fr.
- Ferret (l'abbé). — *La Photogravure sans Photographie*. In-18 jésus; 1894. . . . . 1 fr. 25
- Fourtier (H.). — *Dictionnaire pratique de Chimie photographique, contenant une Etude méthodique des divers corps usités en Photographie, précédé de Notions usuelles de Chimie et suivi d'une Description détaillée des Manipulations photographiques*. Grand in-8, avec figures; 1892 . . . . . 8 fr. »
- Fourtier (H.). — *Les lumières artificielles en Photographie*. Etude méthodique et pratique des différentes sources artificielles de lumière suivie de recherches inédites sur la puissance des photopoudres et des lampes au magnésium. Grand in-8<sup>o</sup> avec 19 figures et 8 planches; 1895. . . . . 4 fr. 50
- Fourtier (H.), Bourgeois et Bucquet. — *Le Formulaire classéur du Photo-club de Paris*. Collection de formules sur fiches, renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois parties: *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et Renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections.  
Première Série, 1892. 4 fr.; Deuxième série, 1894. 3 fr. 50.
- Horsley-Hinton. — *L'art photographique dans le paysage*. Etude et pratique. Traduit de l'anglais par H. COLARD. Grand in-8, avec 11 planches, 1894 . . . . . 3 fr.
- Mullin (A.), Professeur de Physique au Lycée de Grenoble. — *Instructions pratiques pour produire des épreuves irréprochables au point de vue technique et artistique*. In-18 jésus, avec figures; 1895. . . . . 2 fr. 75
- Trutat (E.). — *La Photographie en montagne*. In-18 jésus, avec figures et 1 planche; 1894 . . . . . 2 fr. 75
- Vidal (Léon). — *Traité de Photolithographie. Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver. — Tours de main et formules diverses*. In-18 jésus, avec 25 figures, 2 planches et spécimens de papiers autographiques; 1893. . . . . 6 fr. 50



Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris

**Appell (Paul)**, Membre de l'Institut. — **Traité de Mécanique rationnelle.** (Cours de Mécanique de la Faculté des Sciences). 3 volumes grand in-8, se vendant séparément.

TOME I : *Statique. Dynamique du point*, avec 178 fig. ; 1893. 46 fr.

TOME II : *Dynamique des systèmes, mécanique analytique*, avec figures, 1895. Prix pour les souscripteurs . . . . . 14 fr.  
Un premier fascicule (192 p.) a paru.

TOME III : (sous presse).

**Brisse (Ch.)**. — **Cours de géométrie descriptive** à l'usage des *Elèves de l'Enseignement secondaire moderne*. Grand in-8, avec 345 figures ; 1895 . . . . . 7 fr.

**Chappuis (J.)**, Professeur de Physique générale à l'École Centrale, et **Berget (A.)**, Docteur ès sciences, attaché au laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne. — **Leçons de Physique générale.** Cours professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures et complété suivant le programme de la Licence ès sciences physiques. 3 volumes grand in-8 se vendant séparément.

TOME I : *Instruments de mesure. Chaleur*. Avec 175 figures ; 1891. 43 fr.

TOME II : *Electricité et Magnétisme*. Avec 305 figures ; 1891. . 43 fr.

TOME III : *Acoustique. Optique ; Electro-optique*. Avec 193 figures ; 1892 . . . . . 10 fr.

**Gautier (Henri)**, et **Charpy (Georges)**, Anciens élèves de l'École Polytechnique, Docteurs ès-Sciences. — **Leçons de Chimie, à l'usage des élèves de Mathématiques spéciales.** 2<sup>e</sup> édition entièrement refondue (notation atomique). Gr.in-8, avec 92 fig. ; 1894. 9 fr.

**Garçon (Jules)**. — **La pratique du teinturier.** 3 volumes in-8, se vendant séparément.

TOME I : *Les méthodes et les essais de teinture. Le succès en teinture* ; 1893. . . . . 3 fr. 50

TOME II : *Le matériel de teinture avec 245 figures* . . . . . 10 fr.

TOME III : *Les recettes et procédés spéciaux de teintures.* (S. P.).

**Janet (Paul)**, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble. — **Premiers principes d'électricité industrielle.** *Piles. Accumulateurs. Dynamos. Transformateurs.* In-8, avec 173 fig. ; 1893. . 6 fr.

**Niewenglowski (B.)**, Professeur de Mathématiques au Lycée Louis-le-Grand, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique. — **Cours de Géométrie analytique**, à l'usage des Elèves de la classe de Mathématiques spéciales et des Candidats aux Ecoles du Gouvernement. 3 volumes grand in-8, avec de nombreuses figures.

TOME I : *Sections coniques* ; 1894 . . . . . 40 fr.

TOME II : *Construction des courbes planes. Compléments relatifs aux coniques*, 1895. . . . . 8 fr.

TOME III : *Géométrie dans l'espace avec une Note sur les transformations en géométrie* ; par E. Borel. (Sous presse.)

**Witz (Aimé)**. — **Problèmes et calculs pratiques d'électricité.** — (L'ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE). In-8, avec 51 figures ; 1893. 7 fr. 50



# TRAITEMENT DE LA TUBERCULOSE PULMONAIRE

DE LA PLEURÉSIE D'ORIGINE TUBERCULEUSE  
ET DES BRONCHITES AIGUES ET CHRONIQUES  
par le

## GAIACOL IODOFORMÉ SÉRAFON

Et le Gaïacol-Eucalyptol iodoformé Sérafon

En solutions pour injections hypodermiques  
et en capsules pour l'usage interne

PRÉPARATION ET VENTE EN GROS : Société Française de Produits Pharmaceutiques, 9 et 11, rue de la Perle, Paris.

### ALIMENTATION

DES

### MALADES

PAR LES

### POUDRES

DE

*Viande*

### ADRIAN

La **POUDRE de BIFTECK ADRIAN** (garantie pure viande de bœuf français) est aussi inodore et insipide qu'il est possible de l'obtenir en lui conservant les principes nutritifs de la viande. C'est exactement de la chair musculaire privée de son eau, gardant sous un volume très réduit et sous un poids quatre fois moindre, toutes ses propriétés nutritives, et chose importante, n'ayant rien perdu des principes nécessaires à l'assimilation de l'aliment.

*Se vend en flacons de 250. 500 gr.  
et 1 kil.*

La **POUDRE DE VIANDE ADRIAN**, d'un prix moins élevé que la poudre de bifeck, ce qui en permet l'emploi aux malades peu fortunés est garantie pure viande de bœuf d'Amérique.

*bottes de 250, 500 gr. et 1 kil.*

LA

## QUASSINE ADRIAN

essentiellement différente de toutes celles du commerce, est la SEULE dont les effets réguliers aient été constatés. Elle excite l'APPÉTIT, développe les FORCES, combat efficacement les DYSPEPSIES ATONIQUES, les COLIQUES HÉPATIQUES et NÉPHRÉTIQUES. (Bulletin général de thérapeutique, 15 novembre 1882).

Dragées contenant 25 milligrammes de Quassine amorphe.

Granules — 2 — Quassine cristallisée.

## ANÉMIE

Dans les cas de CHLOROSE et d'ANÉMIE rebelles aux moyens thérapeutiques ordinaires les préparations à base

## CHLOROSE

## D'HÉMOGLOBINE SOLUBLE

DE V. DESCHIENS

Épuisement

ont donné les résultats les plus satisfaisants. Elles ne constipent pas, ne noircissent pas les dents et n'occasionnent jamais de maux d'estomac comme la plupart des autres ferrugineux.

Se vend sous la forme de

*Affaiblissement  
général*

**SIROP, VIN, DRAGÉES  
ET ÉLIXIR**

préparés par ADRIAN et Cie, 9 rue de la Perle, Paris.

---

## CAPSULES DE TERPINOL ADRIAN

Le TERPINOL a les propriétés de l'essence de Térébenthine dont il dérive, mais il est plus facilement absorbé et surtout *très bien toléré*, ce qui le rend préférable.

Il n'offre pas, comme l'essence de Térébenthine, l'inconvénient grave de provoquer chez les malades des nausées, souvent même des vomissements.

Le TERPINOL est un diurétique et un puissant modificateur des sécrétions catarrhales (bronches, reins, vessie).

Le TERPINOL ADRIAN s'emploie en capsules de 20 centigrammes (3 à 6 par jour).

---

## TRAITEMENT de la SYPHILIS par les PILULES DARDENNE

POLY-IODURÉES SOLUBLES

SOLUBLES dans tous les liquides servant de boisson (Eau, lait, café, vin, bière, etc.) elles peuvent être prises en pilules ou transformées par les malades, en **solutions** ou en **sirops**, au moment d'en faire usage.

**Premier type** (type faible)

(Syphilis ordinaire 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> année)

2 pilules par jour correspondent à une cuillerée à soupe de *Sirop de Gibert*.

**Quatrième type** (type fort)

(accidents tertiaires, viscéraux et cutanés)

8 pilules par jour correspondent à un centig. bi-iodure de mercure et à 4 grammes iodure de potassium.

Vente en Gros : Société Française de Produits Pharmaceutiques,  
9 et 11 rue de la Perle, PARIS.







13

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 300 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

## Ouvrages parus

### Section de l'Ingénieur

- R.-V. PICOU. — Distribution de l'électricité. — I. Installations isolées. II. Usines centrales.
- A. GOULLY. — Transmission de la force par air comprimé ou raréfié.
- DUQUESNAY. — Résistance des matériaux.
- DWILSHAUVERS-DERY. — Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur.
- A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur.
- MAGNIER DE LA SOURCE. — Analyse des vins.
- ALHELLIG. — Recette, conservation et travail des bois.
- AIMÉ WITZ. — Thermodynamique à l'usage des Ingénieurs.
- LARDET. — La bière.
- TH. SCHLÆSING fils. — Notions de chimie agricole.
- SAUVAGE. — Divers types de moteurs à vapeur.
- LE CHATELIER. — Le Grison.
- MADAMET. — Détente variable de la vapeur. Dispositifs qui la produisent.
- DUDEBOUT. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.
- CRONEAU. — Canon, torpilles et cuirasse.
- H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.
- LECOMTE. — Les textiles végétaux.
- ALHELLIG. — Corderie. Cordages en chanvre et en fils métalliques.
- DE LAUNAY. — Formation des gîtes métallifères.
- BERTIN. — État actuel de la marine de guerre.
- FERDINAND JÉRAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.
- BIRTHELOT. — Traité pratique de calorimétrie chimique.
- DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
- MADAMET. — Epures de régulation.
- GUILLAUME. — Unités et étalons.
- WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.
- MINEL (P.). — Électricité industrielle. (2 vol.).

### Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires. Méthodes d'exploration. Signes physiques.
- MAGNAN et SÉRIEUX. — Le délire chronique à évolution systématique.
- AUVARD. — Gynécologie. — Séméiologie génitale.
- G. WEISS. — Technique d'électrophysiologie.
- BAZY. — Maladies des voies urinaires. — Urètre, Vessie.
- WURTZ. — Technique bactériologique.
- TROUSSEAU. — Ophthalmologie. Hygiène de l'œil.
- FIÉRRÉ. — Epilepsie.
- LAVERAN. — Paludisme.
- POLIN et LABIT. — Examen des aliments suspects.
- BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine. Actions moléculaires, Acoustique, Électricité.
- AUVARD. — Menstruation et fécondation.
- MÉGNIN. — Les acariens parasites.
- DEMLIN. — Anatomie obstétricale.
- CUÉNOT. — Les moyens de défense dans la série animale.
- A. OLIVIER. — La pratique de l'accouchement normal.
- BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
- CHARRIN. — Les poisons de l'organisme. Poisons de l'urine.
- ROGER. — Physiologie normale et pathologique du foie.
- BROcq et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie. — I. Pathologie générale cutanée. II. Maladies en particulier.
- HANOT. — De l'endocardite aiguë.
- WRILL-MANTOU. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.
- LANGLOIS. — Le lait.
- DE BRUN. — Maladies des pays chauds. — I. Maladies climatiques et infectieuses. II. Maladies de l'appareil digestif, des lymphatiques et de la peau.
- BROCA. — Le traitement des ostéoarthrites tuberculeuses des membres chez l'enfant.



# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages parus et en cours de publication

## Section de l'Ingénieur

LAVERGNE (Gérard). — Turbines.  
 HEBERT. — Boissons falsifiées.  
 NAUDIN. — Fabrication des vernis.  
 SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières.  
 H. LAURENT. — Théorie des jeux de hasard.  
 GUENÉZ. — Décoration de la porcelaine — au feu de moufle.  
 VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.  
 MEYER (Ernest). — L'utilité publique et la propriété privée.  
 WALLON. — Objectifs photographiques.  
 HÉCOH. — Eau sous pression.  
 DE LAUNAY. — Statistique générale de la production métallifère.  
 CRONEAU. — Construction du navire.  
 DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).  
 PRUD'HOMME. — Teinture et impressions.  
 ALHEILIG. — Construction et résistance des machines à vapeur.  
 SOREL. — La rectification de l'alcool.  
 P. MINEL. — Electricité appliquée à la marine.  
 DWELSHAUVERS-DERY. — Étude expérimentale dynamique de la machine à vapeur.  
 AIMO WITZ. — Les moteurs thermiques.  
 DE BILLY. — Fabrication de la fonte.  
 P. MINEL. — Régularisation des moteurs des machines électriques.  
 HENNEBERT (C). — La fortification.  
 CASPARI. — Chronomètres de marine.  
 HENNEBERT (C). — Les torpilles sèches.  
 LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.  
 DUDEBOIT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.  
 C. BOURLET. — Traité des bicyclettes et bicyclettes.  
 H. LEAULT et A. BERRARD. — Transmissions par câbles métalliques.  
 DE LA BAUME L'ÉVÊQUE. — La théorie des procédés photographiques.  
 HATT. — Les marées.  
 C. VALLIER. — Balistique (2 vol.).  
 SOREL. — La distillation.  
 LELOUTRE. — Le fonctionnement des machines à vapeur.  
 H. LAURENT. — Assurances sur la vie.  
 SEYD. — Statistique graphique.  
 ROUCHE. — La perspective.  
 MOISSAN et OUVRIER. — Le nickel.  
 HOSPITALIER (E.). — Les compteurs d'électricité.  
 GUYE (P. A.). — Matières colorantes.  
 LE VERRIER. — La fonderie.  
 EMILE BOIR. — La sucrerie.  
 HENNEBERT (C). — Bouches à feu.

## Section du Biologiste

DU CAZAL et CATRIN. — Médecine légale militaire.  
 LAPERRONNE (DE). — Maladies des papiers et des membranes externes de l'œil.  
 KEBLER. — Application de la Photographie aux Sciences naturelles.  
 BRAUREGARD. — Le microscope et ses applications.  
 LESAGE. — Le Choléra.  
 LANNELONGUE. — La Tuberculose chirurgicale.  
 CORNEVIN. — Production du lait.  
 J. CHATIN. — Anatomie comparée (1 v.).  
 CASTEX. — Hygiène de la voix parlée et chantée.  
 MAGNAN ET SÉRIEUX. — La paralysie générale.  
 CUENOT. — L'influence du milieu sur les animaux.  
 MERKLEN. — Maladies du cœur.  
 G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.  
 OLLIER. — La régénération des os et les résections sous-périostées.  
 LETULLE. — Pus et suppuration.  
 CRITZMAN. — Le cancer.  
 ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.  
 MÉGNIN. — La faune des cadavres.  
 SEGAS. — Le délire des négations.  
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.  
 GREHANT. — Les Gaz du sang.  
 NOCARD. — Les Tuberculoses animales et la Tuberculose humaine.  
 MOUSSOTS. — Maladies congénitales du cœur.  
 BERTHAULT. — Les prairies naturelles et temporaires.  
 ETARD. — Les nouvelles théories chimiques.  
 BROCC et JACQUET. — Précis élémentaire de Dermatologie. — III. Dermatoses microbiennes et néoplasies.  
 TROUBSAERT. — Parasites des habitations humaines.  
 LAMY. — Syphilis des centres nerveux.  
 RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.  
 THOULET. — Guide d'océanographie pratique.  
 OLLIER. — Les grandes réactions des articulations.  
 BAZY. — Troubles fonctionnels des voies urinaires.  
 FAISANS. — Diagnostic précoce de la tuberculose.  
 BUDIN. — Thérapeutique obstétricale.  
 BASTRE. — La Digestion.  
 AIMO GIRARD. — La betterave à sucre.  
 NAPIAS. — Hygiène industrielle et professionnelle.