

## PHYSIQUE.

## I

Le poinçonnement des alcoomètres et des thermomètres, rapport à l'Académie des sciences.

Le conseil général de la Charente, se faisant l'organe des vœux des producteurs d'eau-de-vie, réclamait depuis longtemps l'application aux alcoomètres et aux thermomètres qui les accompagnent, d'un système de vérification par l'autorité, à la suite duquel on pût appliquer un contrôle sur les instruments reconnus bons et comparables, comme on le fait pour les mesures de capacité et pour les poids, aux termes de la loi du 17 juillet 1837. Pour satisfaire à ce désir, l'administration avait besoin de savoir si la mesure demandée était praticable scientifiquement. En 1858, le ministre de l'agriculture et du commerce fit appel aux lumières de l'Académie des sciences, qui chargea une commission, présidée par M. Pouillet, d'examiner cette question.

Le rapport de M. Pouillet s'est fait attendre assez longtemps, et, malheureusement, le temps mis à étudier la question n'en a pas facilité davantage la solution. Ce rapport est, en effet, négatif quant à la possibilité de soumettre à un contrôle légal les alcoomètres et thermomètres.

La commission a pensé qu'elle devait d'abord faire un examen approfondi des principes sur lesquels repose la

construction de l'alcoomètre centésimal de Gay-Lussac; elle s'y est décidée par un double motif: en premier lieu parce qu'il s'était élevé des doutes sur la vraie densité de l'alcool dans des publications recommandables qui remontent à peu d'années; ensuite, parce que l'Académie ne possède, ni dans ses archives ni dans ses publications, aucune pièce authentique sur les densités des mélanges d'eau et d'alcool dont Gay-Lussac avait fait des déterminations directes à des degrés de chaleur variés, depuis la température de 0 jusqu'à celle de 30 degrés.

Il fallait donc, avant tout, reprendre à nouveau la densité de l'alcool absolu, en opérant sur de telles masses et avec de telles précautions qu'il ne pût rester de doutes dans l'esprit de personne sur ce point fondamental de la question; il fallait, en second lieu, ce qui était une tâche bien autrement étendue, arriver à la certitude qu'il n'y avait aucune erreur notable, soit dans les densités de toute la série des mélanges alcooliques possibles adoptés par la loi de 1824, soit dans les corrections de températures qui s'y rapportent.

M. Pouillet a entrepris la longue série d'expériences et de vérifications qu'il fallait exécuter dans ce but, et c'est après avoir coopéré à une partie de ses recherches et après en avoir examiné et discuté l'ensemble et les détails, que la commission déclare « qu'aucun doute ne peut s'élever sur la parfaite exactitude des principes et des densités qui servent de base à la graduation de l'alcoomètre centésimal, et que, sous le rapport de la théorie, cet instrument est irréprochable. »

D'un autre côté, au point de vue de l'application pratique, l'alcoomètre constitue un excellent instrument.

Telles sont les qualités scientifiques et industrielles de l'alcoomètre.

Si nous considérons maintenant cet instrument au point de vue de la loi de 1837, il devient analogue à l'aréomètre

en général, au thermomètre et à tous les instruments de cette espèce qui, sous le rapport de la vérification légale, laissent grandement à désirer. En effet, il est indispensable, dit M. Pouillet, de remarquer :

1° Que les alcoomètres ne sont comparables que dans certaines limites de tolérance ;

2° Que leur graduation, une fois faite, s'altère avec le temps dans des proportions difficiles à définir ;

3° Que cette graduation n'est pas à l'abri des entreprises d'un faussaire, qui peut la rendre plus forte ou plus faible, suivant qu'il agit comme vendeur ou comme acheteur ;

4° Que l'alcoomètre ou le thermomètre ainsi faussés ne pourraient pas sans peine être saisis par la justice comme pièces de conviction, tant il est facile, seulement en le laissant tomber, d'anéantir le corps du délit.

Un instrument qui se présente dans de telles conditions doit-il recevoir le timbre de l'État? Peut-il rentrer dans la catégorie des poids et des mesures définis par la loi de 1837? La commission ne pense pas que cette assimilation soit matériellement impraticable, mais elle est convaincue qu'il n'en résulterait aucun avantage réel pour les transactions commerciales, puisque le timbre, qui serait un témoignage de la vérité le jour où il serait apposé, pourrait bien, quelques jours plus tard, servir seulement de couverture à la fraude.

En conséquence, l'Académie des sciences a répondu à M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, que, « scientifiquement, les graduations du thermomètre et de l'alcoomètre reposent sur des principes incontestables, et que, néanmoins, il y aurait sans doute plus d'inconvénients que d'avantages à assimiler ces instruments aux *poids* et aux *mesures de capacité* compris dans la loi de 1837, et, comme tels, de les soumettre aux vérifications rendues obligatoires par cette loi, en tant

qu'ils seraient appliqués à déterminer les valeurs alcooliques des esprits et des eaux-de-vie. »

## 2

Le pluvioscope de M. Hervé Mangon.

M. Hervé Mangon a rendu un véritable service à la météorologie par l'invention d'un appareil tout nouveau, le *pluvioscope*, qui permettra de faire, dans des conditions beaucoup plus variées qu'autrefois, les observations relatives à la pluie. L'*udomètre* ou *pluviomètre*, qui sert aux observations ordinaires relatives à la mesure de la pluie, n'est autre chose qu'une surface librement ouverte à l'extérieur, et qui permet de recueillir et de mesurer exactement le volume d'eau tombée des nuages dans un temps donné. Cet instrument, que l'on n'observe qu'une fois par jour, ne fournit pas le moyen de reconnaître si le volume d'eau recueillie est tombé en une ou plusieurs fois, en quelques minutes ou en plusieurs heures. Encore moins permet-il de reconnaître le nombre et le volume des gouttes de pluie, la variation qu'elles éprouvent en traversant une couche d'air d'une certaine hauteur, la direction de leur chute, etc. Ces divers renseignements seraient d'un grand intérêt pour l'étude complète du phénomène de la pluie, pour l'examen de son action sur les plantes, sur le régime des cours d'eau et des ouvrages d'hydraulique. Par exemple, un certain volume d'eau tombant en quelques minutes, peut occasionner la perte des récoltes, faire déborder les torrents, rendre insuffisants les débouchés des ponts et des égouts, tandis que le même volume d'eau tombé à divers intervalles, distribué en plusieurs ondées successives, produirait une pluie bienfaisante.

L'instrument, presque rudimentaire, dont les météorologistes font usage pour leurs observations udométriques,

ne pouvant fournir aucun renseignement autre que la quantité absolue d'eau recueillie dans un temps donné, il importait, pour pouvoir étudier avec détail le phénomène de la pluie, de posséder un instrument capable d'enregistrer l'heure et la durée de chaque pluie, de compter les gouttes d'eau tombées pendant une ondée, de peser ces gouttes et déterminer la direction de leur chute. Ces diverses conditions, qui semblaient autant d'impossibilités, accumulées comme à plaisir, sont pourtant rigoureusement remplies par le remarquable appareil qui a été imaginé par M. Hervé Mangon.

Pour résoudre les divers petits problèmes énumérés ci-dessus, il a suffi à M. Hervé Mangon de chercher une surface, une sorte de papier chimique, pouvant conserver la trace des gouttes d'eau que reçoit cette surface quand on l'expose à la pluie. Le très-habile et très-distingué professeur de l'École des ponts et chaussées a fait usage dans ce but, d'une feuille de papier que l'on a imprégnée de sulfate de fer, en la trempant dans une dissolution de sulfate de fer, la laissant sécher, puis, frottant le papier contre ce sel de fer, avec de la poudre de noix de galles, mélangée de sandaraque, qui fait adhérer la noix de galles à la surface du papier. On comprend ce qui doit arriver, lorsqu'un papier ainsi préparé, vient à recevoir une goutte d'eau ou de pluie : l'eau, en contact avec le papier, dissout simultanément le sulfate de fer et l'acide gallique de la noix de galles ; dès que ces deux matières sont en présence, elles réagissent l'une sur l'autre et forment du gallate de fer, composé noir qui ne diffère que fort peu de notre encre noire ordinaire. Ainsi, une goutte d'eau claire, tombant sur une feuille de papier, y produit une tache d'encre ; c'est une de ces curieuses surprises auxquelles la chimie nous a habitués, mais qui n'en sont pas moins singulières.

Un disque de ce papier chimique tournant uniformé-

ment sur son centre, constitue essentiellement le nouveau *pluvioscope* de M. Hervé Mangon. Un cadran de ce papier sensible faisant, grâce à un mouvement d'horlogerie, un tour en vingt-quatre heures, est placé horizontalement dans une caisse percée d'une ouverture à sa partie supérieure ; les gouttes d'eau tombant par cette ouverture, sur le papier sensible qui tourne dans l'intérieur de la caisse, y laissent des taches noires indiquant l'heure et la durée de chaque ondée.

Quand la pluie est un peu forte les gouttes se confondent et ne laissent sur le cadran une tache unique. Pour les conserver séparées, l'auteur emploie un large ruban de fil préparé comme le papier sensible, c'est-à-dire contenant du sulfate de fer et de la noix de galles, et se déroulant, avec un degré de vitesse convenable, grâce au mouvement d'horlogerie, sous une ouverture exposée à la pluie.

Le *pluvioscope à cadran* permettra de corriger les indications du pluviomètre ordinaire ; il dénotera des pluies très-faibles et qui ne sont pas sensibles à ce dernier instrument. La comparaison des feuilles journalières d'un certain nombre de *pluvioscopes à cadran*, placés dans des stations plus ou moins éloignées, indiquera le temps qu'une même ondée met à se propager d'un point à un autre et, par suite, la vitesse de cette ondée.

Telles sont les applications futures envisagées et citées par l'inventeur de cet instrument ; mais il est certain que ses applications seront beaucoup plus variées. Les observations faites avec le nouveau *pluvioscope* ne sont pas encore assez nombreuses pour que l'on puisse s'étendre sur le chapitre de ses applications ; ce qu'il importe seulement, c'est que cet appareil, si ingénieux, si original, si commode, soit connu des personnes qui s'occupent de météorologie pratique.

## 5

Sur quelques propriétés physiques de la glace.

M. Thomson a fait en Angleterre quelques expériences intéressantes et nouvelles sur certaines propriétés physiques propres à la glace, et en particulier sur le phénomène du *regel*. Nous emprunterons l'exposé de ces faits nouveaux à M. Léon Foucault, qui en a donné dans le *Journal des Débats* l'excellente description qui va suivre :

« Lorsque l'eau exposée au froid, dit M. Léon Foucault, passe à l'état de glace, elle prend sous cette forme un ensemble de propriétés qui n'appartiennent qu'à elle, et qui, longtemps méconnues, semblent cependant jouer dans la nature un rôle important. Seul entre tous les corps solides, la glace est essentiellement glissante, c'est-à-dire que quel que soit l'état de sa surface, le frottement qu'elle développe contre les solides est étonnamment moindre que celui des corps les plus durs et les mieux polis. D'un autre côté, la glace se soude facilement elle-même comme le ferait une substance plastique; en sorte que cette même neige sur laquelle on glisse en traîneau, pressée entre les mains, s'agglomère en boule que l'on roule et qui grossit aux dépens des couches qu'elle foule en passant.

« Quand la glace est formée en masse compacte et continue, elle a tout l'air d'un corps parfaitement dur et élastique qui fond comme le verre et résiste aux déformations; cependant un phénomène grandiose, la progression lente et continue des glaciers, qui du sommet des plus hautes montagnes descendent mollement dans la plaine, révèle dans ces masses gigantesques une sorte de ductilité qui les accommode aux formes et aux dimensions des espaces à franchir.

« Qu'est-ce donc que la glace? Est-ce un corps dur ou un corps mou? Est-ce seulement une substance solide que celle qui, réunie en masse, cherche son niveau, transmet les pressions en tous sens, s'écoule lentement comme une poix, et se déverse, obéissant à la gravité, en gagnant les parties déclives?

« Si l'on s'en réfère à la définition, on ne peut s'empêcher de ranger la glace parmi les solides parfaits: car à moins de la

briser ou de la fondre, on ne saurait déranger d'une manière permanente la disposition intérieure de ses molécules; la glace, comme le verre, rompt et ne se déforme pas, mais elle a de plus que le verre une propriété adhésive qui corrige la fragilité et qui, dans un corps naturellement glissant, fournit toutes les apparences d'une véritable plasticité.

« La propriété adhésive de la glace apparaît surtout dans le phénomène auquel on a donné le nom de *regel*, lequel consiste en ce que deux morceaux de glace fondante, appliqués l'un sur l'autre, se soudent immédiatement par la solidification de la couche liquide qui mouille leurs surfaces.

« Lorsque les deux fragments sont fortement pressés l'un sur l'autre, le *regel* qui s'opère s'explique d'une manière fort élégante au moyen de considérations relatives à l'influence que la pression exerce sur le changement d'état.

« De ce que l'eau se dilate en passant à l'état de glace, il faut nécessairement conclure, comme l'a montré le professeur Thomson, que la pression abaisse la température du point de congélation de l'eau. En effet, si le point de congélation était absolument fixe et indépendant de la pression exercée sur l'eau, il arriverait que le travail produit par le changement d'état croîtrait sans limite avec la pression.

« Cet abaissement du point de congélation sous l'influence d'une pression extérieure est très-petit et n'a pu être rendu sensible que par des expériences très-déliées; mais il suffit, pour sauver la théorie mécanique de la chaleur, de la difficulté qu'on aurait pu soulever à l'occasion de la puissance motrice développée dans le mouvement de dilatation irrésistible qui accompagne la formation de la glace. Ce fait une fois admis que la pression abaisse le point de congélation de l'eau, on en tire aisément l'explication du *regel* de la glace et de l'état glissant de sa surface, qui deviennent alors comme deux propriétés corrélatives l'une de l'autre.

« Lorsqu'un corps solide est posé sur la glace, la pression exercée et accumulée au premier instant sur la petite étendue des points de contact y détermine la liquéfaction d'une petite quantité d'eau qui s'interpose aux surfaces et diminue considérablement le frottement; le corps aussitôt glisse, et le renouvellement des points de contact assure la reproduction incessante du même phénomène. Mais supposons qu'on opère glace contre glace, en évitant de faire mouvoir les deux parties l'une sur l'autre. Il y aura, comme précédemment, fusion aux pre-

miers points de contact; mais si les deux parties ne changent pas de position, la fusion survenue en ces points les délivre aussitôt de la pression qui, transportée en d'autres points, permet à la couche liquéfiée de se reprendre en glace. Ainsi se forment les premiers centres de soudure, qui, par le déplacement progressif des pressions, s'étendent et se consolident jusqu'à ce que la somme des sections des adhérences soit assez grande pour supporter sans changement d'état la somme des forces qui sollicitent l'une vers l'autre les deux masses de glace. Ainsi la même cause qui produit le glissement engendre consécutivement l'adhérence.

« Mais ce corps qui glisse et qui adhère à lui-même est encore affecté d'une fragilité extrême, en sorte que par le concours de ces trois propriétés si singulièrement dévolues à une même substance, on arrive à donner l'explication rationnelle de la belle expérience du professeur Tyndall, qui d'un coup de balancier écrasant un morceau de glace, en forme une médaille cohérente, continue, transparente comme le cristal et présentant l'empreinte exacte de la surface des coins. Ainsi, dans une substance vitreuse et fragile comme la glace, le dégel et le regel qui accompagnent les changements de pression permettent d'exécuter des changements de forme aussi étendus, aussi complets, que si l'on opérât sur une substance malléable ou plastique.

« Maintenant que ces curieuses propriétés sont bien constatées, qu'on les fasse intervenir dans les montagnes, au sein de ces glaciers qui descendent en bon ordre, lentement, continuellement, sans secousses, et l'on se rendra compte du mécanisme qui les dirige à travers les anfractuosités du terrain; on assistera en pensée au travail intérieur qui, sous l'influence combinée de la pesanteur et de la fonte des couches profondes, détermine des fissures en tous sens et partage incessamment ces masses en fragments diversément configurés, lesquels glissent imperceptiblement les uns sur les autres, se ressoudent pour se partager encore, en sorte que des petits mouvements de toutes les parties résultent à la fois une progression et un remaniement continuels de l'ensemble.

« Après avoir contemplé avec admiration la marche des glaciers sur les hautes montagnes, on crut tout expliquer en faisant remarquer combien la glace est à la fois friable et glissante; aujourd'hui on voit bien que l'explication était insuffisante. Une glace douée seulement de ces deux propriétés pourrait, il

est vrai, cheminer sur la pente des montagnes, mais elle n'avancerait qu'en se désagrégeant de plus en plus; l'observation montre au contraire que dans les parties basses les glaciers sont au moins aussi compactes que dans les régions supérieures; et pour qu'il en soit ainsi, il faut nécessairement qu'après avoir été disjointes les parties se ressoudent, ce qui est proprement l'effet du regel.

« L'explication que nous avons donnée au sujet du regel est celle qui a été proposée par M. Thomson; elle est assurément très-ingénieuse et très-vraisemblable; cependant elle prête encore matière à objection. Suivant l'opinion de M. Faraday, on peut reprocher à l'hypothèse de M. Thomson que les changements de pression et de température auxquels il attribue le regel sont souvent trop faibles et trop peu appréciables pour produire un effet sensible; et dans le but d'exclure toute pression des particules de glace les unes sur les autres, M. Faraday s'est décidé à faire des expériences sous l'eau.

« On commençait par amener rigoureusement à la température stable de zéro degré une cuve remplie d'eau, en la faisant séjourner dans une enceinte de glace fondante. Puis deux blocs prismatiques de glace amarrés chacun par un fil au fond de la cuve étaient librement suspendus au sein du liquide, à une certaine distance l'un de l'autre. Au moyen d'une baguette de verre préalablement refroidie, on pouvait agir sur ces blocs et les porter à la rencontre l'un de l'autre. Or, pour peu qu'on les mit en contact, on les voyait adhérer malgré la tendance qu'ils avaient à se séparer sous l'influence d'une certaine tension de fils. M. Faraday suppose qu'en opérant avec précaution on peut de la sorte déterminer le contact sans exercer de pression sensible; et comme dans ces circonstances le regel se produit franchement, M. Faraday en tire une conclusion décidément contraire à l'hypothèse de M. Thomson. Certainement l'expérience est délicatement faite; cependant quelques réflexions que nous allons hasarder, si elles étaient écoutées de M. Faraday, pourraient peut-être lui inspirer quelques doutes au sujet des conclusions qu'il tire de sa propre expérience.

« Supposons, ce qui est très-vraisemblable, que l'attraction capillaire de l'eau pour la glace soit sensiblement moindre que celle de l'eau pour elle-même. Dans cette hypothèse l'eau ne cesserait pas de mouiller la glace; mais au sommet de l'angle rentrant compris entre deux parois de glace rapprochées au contact, la capillarité produirait même au sein de l'eau une

diminution de pression hydrostatique qui, conformément aux idées de M. Thomson, déterminerait la congélation. Il resterait seulement à démontrer qu'au sein de l'eau le jeu des forces capillaires sur la glace est tel que nous l'avons supposé.

« Du reste, il faut bien le reconnaître, en dehors de la théorie proposée par M. Thomson, le phénomène du regel demeure à peu près inexplicable. On ne saurait admettre, avec M. Forbes, que le regel se produit sous l'influence d'une différence persistante de température entre la glace et l'eau, dans laquelle elle demeure sans changer d'état, car une pareille supposition implique contradiction avec la définition même de l'égalité des températures. D'un autre côté, on sent bien que l'esprit n'est pas entièrement satisfait de l'explication de M. Faraday, qui, pour rendre compte du phénomène, suppose qu'une particule d'eau peut rester liquide tant qu'elle n'est en contact avec la glace que d'un côté, mais qu'elle passe à l'état solide dès que le contact a lieu des deux côtés à la fois. Il y a là plus qu'une supposition, c'est l'expression même du fait acquis, mais on n'y trouve pas la raison de sa manifestation.

« Dans la théorie, où tous les phénomènes d'adhérence observés sur la glace sont attribués à des variations de pression, on aurait au moins l'avantage de trouver les éléments d'une explication véritable, car toutes les propriétés que nous avons signalées dans la glace y seraient présentées comme les conséquences mécaniques du seul fait de l'augmentation de volume qui accompagne la congélation de l'eau. Cette théorie, toute séduisante qu'elle est, n'a pas obtenu l'assentiment complet de M. Faraday, et l'illustre physicien a dirigé ses expériences de manière à écarter les pressions auxquelles on fait jouer un rôle fondamental; les fragments de glace sur lesquels il opère sont maintenant complètement submergés dans le but d'éviter l'influence de la capillarité. Comme dans ces conditions le regel se produit, comme en outre il se consolide avec le temps, M. Faraday conclut que la pression n'y fait rien. Nous avons dit comment il est possible de concevoir que, même au sein de l'eau, la capillarité continue d'agir; si elle agit au premier instant, elle agit encore aux environs et à une certaine distance du point de contact, et la même raison qui expliquerait le regel expliquerait aussi sa consolidation. Il en serait de même de ce que M. Faraday désigne sous le nom d'*adhésion flexible*.

« Au moment où le regel vient de se produire entre deux morceaux de glace qui se touchent et s'unissent par des parties

convexes, on observe que, malgré la solidarité qui vient de s'établir, on peut, sans les désunir, incliner les deux fragments l'un sur l'autre et changer progressivement l'angle de leurs positions relatives, de telle sorte qu'ils perdent la tendance à revenir à la position première. C'est encore un phénomène de fausse plasticité, d'apparente malléabilité au point de soudure, et dont la bizarrerie procédant des mêmes causes s'harmonise avec le caractère des faits déjà cités. Quand deux morceaux de glace se sont unis en un point par le regel et qu'on cherche à les incliner l'un sur l'autre, le mouvement exercé produit au même instant la rupture du point congelé et la mise en contact de deux points infiniment rapprochés; il en résulte que le point de regel se promène à la convexité des deux fragments en simulant un phénomène d'adhésion flexible. Rien dans ce cas ne contrarie la théorie, car ce roulement des parties l'une sur l'autre est évidemment accompagné de pressions inévitables.

« En ce moment, où l'on a sous la main de la glace et de l'eau à une température voisine de son point de congélation, rien n'est plus facile que de constater la parfaite exactitude des faits si bien observés par M. Faraday. Sans recourir aux précautions requises pour l'étude scientifique des phénomènes, qu'on mette seulement deux glaçons de forme irrégulière à flotter dans l'eau, qu'on les approche doucement l'un vers l'autre, et l'on verra comme au moindre contact se manifeste la propriété qu'ils ont de se souder ensemble; on peut rompre cette adhésion et la reproduire à son gré; on peut constater également qu'elle a bien l'espèce de flexibilité annoncée par M. Faraday.

« Il est rare qu'une propriété bien définie et bien constatée se montre exclusivement dans une seule substance. Parmi les métaux, le fer n'est pas le seul à posséder la vertu magnétique; la tourmaline n'est pas le seul minéral qui s'électrise par les changements de température. Il était donc naturel de rechercher s'il n'y aurait pas dans la nature quelque autre substance capable de fournir quelques traces du regel. M. Faraday a fait sans succès des tentatives sur le bismuth fondu, qui, de même que l'eau, se dilate en passant à l'état solide. Les mêmes résultats négatifs ont été obtenus avec le plomb et l'étain. Le nitre fondu a manifesté dans quelques cas des signes d'adhésion, mais il n'est pas prouvé que l'effet observé ne provenait pas de ce que le nitre est un corps qui, comme l'eau, se dilate en passant de l'état liquide à l'état solide; il n'est donc pas impossible

qu'il partage jusqu'à un certain point les propriétés de l'eau sous le rapport de l'adhésion.

« L'acide acétique gelé, non-seulement est privé de la force qui produit le regel, mais il paraît même présenter le phénomène en sens inverse.

« M. Faraday a encore soumis aux mêmes épreuves un grand nombre de solutions saturées d'autres sels, telles que nitrates, sulfates, chlorures, carbonates, tartrates de toutes espèces, mais sans jamais découvrir de résultat positif. Il faut donc en conclure, quant à présent, que parmi tous les corps solides la glace d'eau est le seul qui possède d'une manière certaine les singulières propriétés que nous venons de rapporter. »

## 4

Observations nouvelles sur l'abaissement du point de congélation des liquides.

On savait déjà que l'eau peut descendre jusqu'à plusieurs degrés au-dessous de zéro sans prendre la forme solide. Quand on refroidit l'eau par l'évaporation en opérant dans le vide de la machine pneumatique, si l'on a soin de n'imprimer aucune agitation au liquide refroidi, on le voit descendre sans se congeler, jusqu'à 7 ou 8 degrés au-dessous de zéro. Mais si l'on vient à lui imprimer un mouvement d'agitation, l'eau se solidifie en masse et instantanément. Voilà à peu près ce que l'on savait sur la variation que peut subir le point de congélation des liquides. Un physicien de Lauzanne, M. L. Dufour, a singulièrement ajouté à ce fait élémentaire. Par une série d'expériences ingénieuses, il a généralisé le phénomène qui n'avait été observé que dans la congélation de l'eau, et il a tiré de ces mêmes expériences un intéressant aperçu concernant la formation de la grêle.

En isolant l'eau de tout contact solide, en la plaçant dans un milieu qui ait la même densité, on peut retarder à un degré remarquable son point de congélation. L'eau,

placée dans un mélange de chloroforme et d'huile d'amandes douces, prend la forme de sphères parfaites, et flotte en équilibre dans l'intérieur du mélange. Si l'on refroidit ce mélange, on remarque que l'eau, dans cet état globulaire, et dans cet isolement de tout solide, ne gèle presque jamais qu'à  $-6$  ou  $-10$  degrés. Des globules ont même été conservés, ainsi liquides, jusqu'à  $-20$  degrés. Ces globules (de cinq à six millimètres de diamètre), maintenus dans le mélange de chloroforme et d'huile, peuvent être agités, déformés, sans se solidifier. On peut amener dans leur intérieur et par des températures de  $-10$  degrés, des corps étrangers, des cristaux de sels, sans produire de changement d'état. Un fragment de glace provoque, au contraire, toujours et immédiatement la solidification. Une étincelle provenant de la bouteille de Leyde, un courant galvanique passant à travers les globules, ne les font point geler; mais la décharge plus puissante d'une machine de Ruhmkorff provoque toujours le changement d'état.

Lorsqu'une sphère de glace, formée dans le mélange de chloroforme et d'huile, est entourée d'autres sphères encore liquides, on peut provoquer la congélation de celles-ci, en les amenant en contact avec la première. On obtient alors des effets divers suivant la température et suivant les dimensions des globules. Tantôt, pour des globules plus petits, ou pour des températures plus basses, les sphères touchées gèlent tout à coup et demeurent isolées les unes des autres; tantôt, pour des globules plus volumineux ou des températures moins basses, les sphères touchées se recouvrent plus ou moins complètement, elles se soudent, elles s'étalent les unes sur les autres au moment de la solidification. On peut obtenir, dans ce dernier cas, des morceaux de glace aux formes les plus diverses; des sphères irrégulières formées par des couches concentriques, des sphères avec des proéminences, des bosselures, etc.

« Ces formes variées n'auraient, dit l'auteur, qu'un médiocre intérêt en elles-mêmes si elles ne rappelaient pas inévitablement la constitution par zones concentriques, et les formes souvent bizarres et incompréhensibles des grains de grêle. On est frappé de cette ressemblance lorsqu'on exécute les expériences dont il est ici question, et l'on se demande naturellement si les grêlons ne se forment pas dans des conditions analogues. »

Dans le mémoire qu'il a publié dans la *Bibliothèque universelle de Genève*, l'auteur examine de plus près cette analogie; il s'efforce d'établir qu'elle n'est pas superficielle, mais se conserve jusque dans les détails. Il cherche à montrer que ce cas particulier de la congélation de l'eau rend convenablement compte des caractères généraux, ainsi que de la plupart des particularités accidentelles des grêlons. Selon lui, des globules aqueux peuvent se refroidir ainsi au-dessous de zéro dans l'atmosphère; ces globules peuvent geler, être réunis comme dans le mélange de chloroforme et d'huile, et les grains de glace formés de cette manière, accrus de la condensation de la vapeur atmosphérique à leur surface, pourraient fort bien être les grêlons.

Quoi qu'il en soit de ces vues théoriques relatives à la formation de la grêle, le phénomène fondamental qui les a suggérées à l'ingénieur physicien de Lausanne est digne d'être signalé. Au point de vue purement physique, il constitue un cas particulier, vraiment remarquable, de la congélation de l'eau.

Cette manière de retarder la solidification des substances, en les mettant en suspension dans un liquide d'une densité égale à leur propre densité, n'est pas d'ailleurs une expérience pure et simple. On peut dire que c'est une méthode et l'auteur l'a bien montré en soumettant au même genre d'observations différents corps autres que l'eau, et en arrivant à produire les mêmes effets physiques.

M. Dufour a fait des observations intéressantes sur le retard que subissent dans leur solidification, le soufre, le phosphore et la naphthaline. Pour nous en tenir au soufre, M. Dufour prend une dissolution de chlorure de zinc d'une densité égale à celle du soufre liquide; cette dissolution peut être chauffée jusqu'au delà de 115 degrés sans bouillir; on peut donc y mettre en fusion du soufre, qui flotte alors sous forme de globules. Quand cette liqueur se refroidit, les globules de soufre liquide descendent jusqu'à 70 degrés sans se solidifier; on sait pourtant que le soufre fond à 108 degrés.

Nous nous bornerons à cet exemple pour montrer comment, par l'ingénieuse méthode imaginée par M. Dufour, on peut facilement conserver quelques corps à l'état liquide jusqu'à des températures fort inférieures à celle de leur solidification ordinaire. Ces faits sont évidemment de nature à modifier quelques principes communément professés en physique.

## 5

Sur la solidification de l'acide carbonique, par MM. A. Loir et Ch. Drion.

Dans une note présentée à l'Académie des sciences en 1860, MM. Loir et Drion avaient annoncé que l'acide carbonique est susceptible de se liquéfier sous la pression de l'atmosphère, lorsqu'on le refroidit jusqu'à la température que produit dans le vide l'évaporation de l'ammoniaque liquide. En modifiant un peu les conditions de l'expérience, ces physiciens sont arrivés à obtenir la solidification de l'acide carbonique, à l'aide d'un appareil aussi simple que ceux qu'on emploie journellement dans les laboratoires de chimie; cette opération, qui s'exécutait jusqu'ici par des procédés toujours très-coûteux et présentant des dangers réels, pourra donc à l'avenir

être facilement répétée dans les cours publics de physique.

Si l'on introduit de l'ammoniaque liquide dans un ballon de verre, et qu'on mette l'intérieur de ce ballon en communication avec une bonne machine pneumatique, par l'intermédiaire d'un vase contenant du coke imprégné d'acide sulfurique, la température du liquide s'abaisse rapidement dès les premiers coups de piston. Ce liquide commence à se solidifier vers  $-81$  degrés; bientôt il se prend en masse, et, si la machine pneumatique permet de réduire la pression jusqu'à 1 millimètre de mercure environ, la température de l'ammoniaque solide s'abaisse de quelques degrés encore, et atteint  $-89$  degrés, 5. Cette limite est suffisante pour déterminer la liquéfaction de l'acide carbonique sous la pression de l'atmosphère. En faisant passer un courant de gaz carbonique sec dans un petit tube en U plongeant dans l'ammoniaque, on constate, en effet, que le gaz s'est liquéfié; mais, comme la température obtenue est inférieure d'un petit nombre de degrés seulement à celle qui correspond à la saturation, on n'obtient jamais qu'une liquéfaction très-peu abondante. Au contraire, si l'on fait intervenir une légère élévation de pression, l'expérience devient très-facile et donne, en très-peu de temps, de notables quantités d'acide carbonique solide. Voici, disent les auteurs, comment on peut la disposer :

On introduit environ 150 centimètres cubes d'ammoniaque liquide dans une cloche de verre renversée, les bords de cette cloche sont mastiqués dans une virole métallique sur laquelle s'applique exactement un plateau percé de deux ouvertures. Dans l'ouverture centrale est fixé un tube de verre, fermé intérieurement et descendant jusqu'au fond de la cloche; l'autre ouverture sert à mettre l'intérieur de la cloche en communication avec la machine pneumatique. L'acide carbonique est produit en chauffant, dans un matras de cuivre rouge, du bicarbonate de soude

préalablement desséché : le col contient des fragments de chlorure de calcium; ce matras communique par un tube de plomb, d'une part avec le tube qui plonge dans l'ammoniaque liquide, d'autre part avec un petit manomètre à air comprimé. L'air étant préalablement chassé de l'appareil, et la température de l'ammoniaque ayant été abaissée au voisinage du point de solidification, on chauffe le matras en observant constamment le manomètre. On maintient ainsi la pression entre trois et quatre atmosphères. Bientôt on voit apparaître, sur les parois du tube intérieur, des cristaux transparents dont la masse augmente assez rapidement; au bout d'une demi-heure environ, toute la portion du tube qui plonge dans l'ammoniaque est recouverte d'une épaisse couche de cristaux. On peut alors mettre fin à l'expérience et démonter l'appareil.

L'acide carbonique solide, obtenu par ce moyen se présente sous la forme d'une masse incolore, ayant la transparence de la glace. On la détache aisément des parois du tube condenseur, au moyen d'une baguette de verre : elle se divise alors en gros cristaux d'apparence cubique, ayant de trois à quatre millimètres de côté.

Ces cristaux, exposés à l'air, reprennent lentement l'état gazeux; ils s'évaporent sans laisser de résidu. Déposés sur la main, ils ne font éprouver aucune sensation de chaleur ou de froid; ils se laissent difficilement saisir entre les doigts, et s'échappent, sous une faible pression, comme s'ils étaient enveloppés d'une matière éminemment onctueuse. Lorsqu'on réussit à maintenir un de ces cristaux entre le pouce et l'index, il ne tarde pas à produire une véritable brûlure.

Mélangés avec de l'éther, dans un petit creuset de porcelaine, les cristaux d'acide carbonique donnent un mélange réfrigérant dans lequel le thermomètre marque  $-81$  degrés.