
MÉMOIRE

SUR

LES TEMPÉRATURES DU GLOBE TERRESTRE ET
DES ESPACES PLANÉTAIRES.

PAR M. FOURIER.

LA question des températures terrestres, l'une des plus importantes et des plus difficiles de toute la philosophie naturelle, se compose d'éléments assez divers qui doivent être considérés sous un point de vue général. J'ai pensé qu'il serait utile de réunir dans un seul écrit les conséquences principales de cette théorie; les détails analytiques que l'on omet ici se trouvent pour la plupart dans les ouvrages que j'ai déjà publiés. J'ai désiré surtout présenter aux physiciens, dans un tableau peu étendu, l'ensemble des phénomènes et les rapports mathématiques qu'ils ont entre eux.

La chaleur du globe terrestre dérive de trois sources qu'il est d'abord nécessaire de distinguer.

1° La terre est échauffée par les rayons solaires, dont l'inégale distribution produit la diversité des climats.

2° Elle participe à la température commune des espaces planétaires, étant exposée à l'irradiation des astres innombrables qui environnent de toutes parts le système solaire.

3° La terre a conservé dans l'intérieur de sa masse une partie de la chaleur primitive, qu'elle contenait lorsque les planètes ont été formées.

En considérant chacune de ces trois causes et les phénomènes qu'elle produit, nous ferons connaître le plus clairement qu'il nous sera possible, et autant que l'état de la science le permet aujourd'hui, les principaux caractères de ces phénomènes.

Notre système solaire est placé dans une région de l'univers dont tous les points ont une température commune et constante, déterminée par les rayons de lumière et de chaleur qu'envoient tous les astres environnants. Cette température froide du ciel planétaire est peu inférieure à celle des régions polaires du globe terrestre. La terre n'aurait que cette même température du ciel, si deux causes ne concourent à l'échauffer. L'une est la chaleur intérieure que ce globe possédait lorsque les corps planétaires ont été formés, et dont une partie seulement s'est dissipée à travers la surface. La seconde cause est l'action continuelle des rayons solaires qui ont pénétré toute la masse, et qui entretiennent à la superficie la différence des climats.

La chaleur primitive du globe ne cause plus d'effet sensible à la surface; mais elle peut être immense dans l'intérieur de la terre. La température de la surface ne surpasse pas d'un trentième de degré centésimal la dernière valeur à laquelle elle doit parvenir : elle a d'abord diminué très-rapidement; mais, dans son état actuel, ce changement continue avec une extrême lenteur.

Les observations recueillies jusqu'à ce jour indiquent que les divers points d'une même verticale prolongée dans

la terre solide sont d'autant plus échauffés que la profondeur est plus grande, et l'on a évalué cet accroissement à un degré pour 30 ou 40 mètres. Un tel résultat suppose une température intérieure très-élevée; il ne peut provenir de l'action des rayons solaires : il s'explique naturellement par la chaleur propre que la terre tient de son origine.

Cet accroissement, d'environ un degré pour 32 mètres, ne sera pas toujours le même, il diminue progressivement; mais il s'écoulera un grand nombre de siècles (beaucoup plus de trente mille années) avant qu'il soit réduit à la moitié de sa valeur actuelle.

Si d'autres causes jusqu'ici ignorées peuvent expliquer les mêmes faits, et s'il existe d'autres sources ou générales ou accidentelles de la chaleur terrestre, on les découvrira par la comparaison des résultats de cette théorie avec ceux des observations.

Les rayons de chaleur que le soleil envoie incessamment au globe terrestre y produisent deux effets très-distincts : l'un est périodique et s'accomplit tout entier dans l'enveloppe extérieure, l'autre est constant; on l'observe dans les lieux profonds, par exemple, à 30 mètres au-dessous de la surface. La température de ces lieux ne subit aucun changement sensible dans le cours de l'année, elle est fixe; mais elle est très-différente dans les différents climats : elle résulte de l'action perpétuelle des rayons solaires et de l'inégale exposition des parties de la surface, depuis l'équateur jusqu'aux pôles. On peut déterminer le temps qui a dû s'écouler pour que cette impression des rayons du soleil ait produit la diversité des climats telle que nous l'observons aujourd'hui. Tous ces résultats s'accordent avec ceux des théories dyna-

miques qui nous ont fait connaître la stabilité de l'axe de rotation de la terre.

L'effet périodique de la chaleur solaire consiste dans les variations diurnes ou annuelles. Cet ordre de faits est représenté exactement et dans tous ses détails par la théorie. La comparaison des résultats avec les observations servira à mesurer la faculté conductrice des matières dont l'enveloppe terrestre est formée.

La présence de l'atmosphère et des eaux a pour effet général de rendre la distribution de la chaleur plus uniforme. Dans l'Océan et les lacs, les molécules les plus froides, ou plutôt celles dont la densité est la plus grande, se dirigent continuellement vers les régions inférieures, et les mouvements de la chaleur dus à cette cause sont beaucoup plus rapides que ceux qui s'accomplissent dans les masses solides en vertu de la faculté conductrice. L'examen mathématique de cet effet exigerait des observations exactes et nombreuses : elles serviraient à reconnaître comment ces mouvements intérieurs empêchent que les effets de la chaleur propre du globe soient sensibles dans la profondeur des eaux.

Les liquides conduisent très-difficilement la chaleur ; mais ils ont, comme les milieux aériformes, la propriété de la transporter rapidement dans certaines directions. C'est cette même propriété qui, se combinant avec la force centrifuge, déplace et mêle toutes les parties de l'atmosphère et celles de l'Océan ; elle y entretient des courants réguliers et immenses.

L'interposition de l'air modifie beaucoup les effets de la chaleur à la surface du globe. Les rayons du soleil, traversant les couches atmosphériques condensées par leur propre

pois, les échauffent très-inégalement : celles qui sont plus rares sont aussi plus froides, parce qu'elles éteignent et absorbent une moindre partie de ces rayons. La chaleur du soleil, arrivant à l'état de lumière, possède la propriété de pénétrer les substances solides ou liquides diaphanes, et la perd presque entièrement lorsqu'elle s'est convertie, par sa communication aux corps terrestres, en chaleur rayonnante obscure.

Cette distinction de la chaleur lumineuse et de la chaleur obscure explique l'élévation de température causée par les corps transparents. La masse des eaux qui couvrent une grande partie du globe, et les glaces polaires, opposent moins d'obstacles à la chaleur lumineuse affluente qu'à la chaleur obscure, qui retourne en sens contraire dans l'espace extérieur. La présence de l'atmosphère produit un effet du même genre, mais qui, dans l'état actuel de la théorie et à raison du manque d'observations comparées, ne peut encore être exactement défini. Quoiqu'il en soit, on ne peut douter que l'effet dû à l'impression des rayons du soleil sur un corps solide d'une dimension extrêmement grande ne surpasse beaucoup celui qu'on observerait en exposant un thermomètre à la lumière de cet astre.

Le rayonnement des couches les plus élevées de l'atmosphère, dont le froid est très-intense et presque constant, influe sur tous les faits météorologiques que nous observons : il peut être rendu plus sensible par la réflexion à la surface des miroirs concaves. La présence des nuages qui interceptent ces rayons tempère le froid des nuits.

On voit que la superficie du globe terrestre est placée entre une masse solide dont la chaleur centrale peut sur-

passer celle des matières incandescentes, et une enceinte immense dont la température est inférieure à celle de la congélation du mercure.

Toutes les conséquences précédentes s'appliquent aux autres corps planétaires. On peut les considérer comme placés dans une enceinte, dont la température commune et constante, est peu inférieure à celle des pôles terrestres. Cette même température du ciel est celle de la surface des planètes les plus éloignées ; car l'impression des rayons du soleil, même augmentée par la disposition de la superficie, serait trop faible pour occasionner des effets sensibles ; et nous connaissons, par l'état du globe terrestre, que, dans les planètes dont la formation ne peut être moins ancienne, il ne subsiste plus à la surface aucune élévation de température due à la chaleur propre.

Il est également vraisemblable que, pour la plupart des planètes, la température des pôles est assez peu élevée au-dessus de celle de l'espace planétaire. Quant à la température moyenne que chacun de ces corps doit à l'action du soleil, elle n'est point connue, parce qu'elle peut dépendre de la présence d'une atmosphère et de l'état de la surface. On peut seulement assigner d'une manière approchée la température moyenne que la terre acquerrait, si elle était transportée dans le même lieu que la planète.

Après cet exposé, nous examinerons successivement les différentes parties de la question, et nous avons d'abord à exprimer une remarque qui s'étend à toutes ces parties, parce qu'elle est fondée sur la nature des équations différentielles du mouvement de la chaleur. Elle consiste en ce que les effets qui proviennent de chacune des trois causes

que l'on a indiquées peuvent être calculés séparément, comme si chacune de ces causes existait seule. Il suffit ensuite de réunir les effets partiels; ils se superposent librement comme les dernières oscillations des corps.

Nous décrirons, en premier lieu, les résultats principaux dus à l'action prolongée des rayons solaires sur le globe terrestre.

Si l'on place un thermomètre à une profondeur considérable au-dessous de la surface de la terre solide, par exemple, à 40 mètres, cet instrument marque une température fixe.

On observe ce fait dans tous les points du globe. Cette température des lieux profonds est constante pour un lieu déterminé; mais elle n'est pas la même dans les divers climats. Elle décroît en général lorsqu'on s'avance vers les pôles.

Si l'on observe la température des points beaucoup plus voisins de la surface, par exemple, à un mètre ou 5 ou 10 mètres de profondeur, on remarque des effets très-différents. La température varie pendant la durée d'un jour ou d'un an; mais nous faisons d'abord abstraction de l'enveloppe terrestre où ces variations s'accomplissent, et supposant que cette enveloppe est supprimée, nous considérons les températures fixes de tous les points de la nouvelle superficie du globe.

On peut concevoir que l'état de la masse a varié continuellement à mesure qu'elle recevait la chaleur sortie du foyer. Cet état variable des températures intérieures s'est altéré par degrés, et s'est approché de plus en plus d'un état final qui n'est sujet à aucun changement. Alors chaque point de la sphère solide a acquis et conserve une température dé-

terminée, qui ne dépend que de la situation de ce point.

L'état final de la masse, dont la chaleur a pénétré toutes les parties, est exactement comparable à celui d'un vase qui reçoit par des ouvertures supérieures le liquide que lui fournit une source constante, et en laisse échapper une quantité précisément égale par une ou plusieurs issues.

Ainsi la chaleur solaire s'est accumulée dans l'intérieur du globe, et s'y renouvelle continuellement. Elle pénètre les parties de la surface voisine de l'équateur, et se dissipe à travers les régions polaires. La première question de ce genre qui ait été soumise au calcul, se trouve dans un mémoire que j'ai lu à l'Institut de France sur la fin de 1807, art. 115, page 167 : cette pièce est déposée aux archives de l'Académie des sciences. J'ai traité alors cette première question pour offrir un exemple remarquable de l'application de la nouvelle théorie exposée dans le mémoire, et pour montrer comment l'analyse fait connaître les routes que suit la chaleur solaire dans l'intérieur du globe terrestre.

Si nous rétablissons présentement cette enveloppe supérieure de la terre, dont les points ne sont pas assez profondément situés pour que leurs températures soient devenues fixes, on remarque un ordre de faits plus composés dont notre analyse donne l'expression complète. A une profondeur médiocre, comme 3 à 4 mètres, la température observée ne varie pas pendant la durée de chaque jour ; mais elle change très-sensiblement dans le cours d'une année ; elle s'élève et s'abaisse alternativement. L'étendue de ces variations, c'est-à-dire, la différence entre le *maximum* et le *minimum* de température, n'est pas la même à toutes les profondeurs ; elle est d'autant moindre que la distance à la

surface est plus grande. Les différents points d'une même verticale ne parviennent pas en même temps à ces températures extrêmes. L'étendue des variations, les temps de l'année qui correspondent aux plus grandes, aux moyennes ou aux moindres températures, changent avec la position du point dans la verticale. Il en est de même des quantités de chaleur qui descendent et s'élèvent alternativement : toutes ces valeurs ont entre elles des relations certaines, que les expériences indiquent et que l'analyse exprime très-distinctement. Les résultats observés sont conformes à ceux que la théorie fournit ; il n'y a pas d'effet naturel plus complètement expliqué. La température moyenne annuelle d'un point quelconque de la verticale, c'est-à-dire la valeur moyenne de toutes celles qu'on observerait en ce point dans le cours d'une année, est indépendante de la profondeur. Elle est la même pour tous les points de la verticale, et par conséquent celle que l'on observerait immédiatement au-dessous de la surface : c'est la température fixe des lieux profonds.

Il est évident que, dans l'énoncé de cette proposition, nous faisons abstraction de la chaleur intérieure du globe, et à plus forte raison des causes accessoires qui pourraient modifier ce résultat en un lieu déterminé. Notre objet principal est de reconnaître les phénomènes généraux.

Nous avons dit plus haut que les divers effets peuvent être considérés séparément. Nous devons observer aussi, par rapport à toutes les évaluations numériques citées dans ce Mémoire, qu'on ne les présente que comme des exemples de calcul. Les observations météorologiques propres à fournir les données nécessaires, celles qui feraient connaître la capacité de chaleur et la perméabilité des matières qui composent

le globe, sont trop incertaines et trop bornées pour qu'on puisse maintenant déduire du calcul des résultats précis; mais nous indiquons ces nombres pour montrer comment les formules doivent être appliquées. Quelque peu approchées que soient ces évaluations, elles sont beaucoup plus propres à donner une juste idée des phénomènes que des expressions générales dénuées d'applications numériques.

Dans les parties de l'enveloppe les plus voisines de la superficie, le thermomètre s'élève et s'abaisse pendant la durée de chaque jour. Ces variations diurnes cessent d'être sensibles à la profondeur de 2 ou 3 mètres. On ne peut observer au-dessous que les variations annuelles, qui disparaissent elles-mêmes à une plus grande profondeur.

Si la vitesse de rotation de la terre autour de son axe devenait incomparablement plus grande, et s'il en était de même du mouvement de cette planète autour du soleil, les variations diurnes et les variations annuelles cesseraient d'être observées; les points de la superficie auraient acquis et conserveraient les températures fixes des lieux profonds. En général, la profondeur qu'il faut atteindre pour que les variations cessent d'être sensibles a un rapport très-simple avec la durée de la période qui ramène les mêmes effets à la surface. Cette profondeur est exactement proportionnelle à la racine carrée de la période. C'est pour cette raison que les variations diurnes ne pénètrent qu'à une profondeur dix-neuf fois moindre que celle où l'on observe encore les variations annuelles.

La question du mouvement périodique de la chaleur solaire a été traitée pour la première fois et résolue dans un écrit séparé que j'ai remis à l'Institut de France en octobre 1809.

J'ai reproduit cette solution dans une pièce envoyée sur la fin de 1811, et imprimée dans la Collection de nos Mémoires.

La même théorie donne le moyen de mesurer la quantité totale de chaleur qui, dans le cours d'une année, détermine les alternatives des saisons. On a eu pour but, en choisissant cet exemple de l'application des formules, de montrer qu'il existe une relation nécessaire entre la loi des variations périodiques et la quantité totale de chaleur qui accomplit cette oscillation; en sorte que cette loi étant connue par les observations faites en un climat donné, on peut en conclure la quantité de chaleur qui s'introduit dans la terre et retourne dans l'air.

Considérant donc une loi semblable à celle qui s'établit d'elle-même dans l'intérieur du globe, on trouve les résultats suivants. Un huitième d'année, après que la température de la surface s'est élevée à sa valeur moyenne, la terre commence à s'échauffer; les rayons du soleil la pénètrent pendant six mois. Ensuite la chaleur de la terre prend un mouvement opposé; elle sort et se répand dans l'air et l'espace extérieur: or la quantité de chaleur qui subit ces oscillations dans le cours d'un an est exprimée par le calcul. Si l'enveloppe terrestre était formée d'une substance métallique, le fer forgé (matière que j'ai choisie pour exemple après en avoir mesuré les coefficients spécifiques), la chaleur qui produit l'alternative des saisons serait, pour le climat de Paris et pour un mètre carré de superficie, équivalente à celle qui fondrait une colonne cylindrique de glace ayant pour base ce mètre carré, et dont la hauteur serait environ 3^m, 1. Quoique l'on n'ait pas encore mesuré la valeur des coefficients propres aux matières dont

le globe est formé, on voit facilement qu'ils donneraient un résultat beaucoup moindre que celui qui vient d'être indiqué. Il est proportionnel à la racine carrée du produit de la capacité de chaleur rapportée au volume et de la perméabilité.

Considérons maintenant cette seconde cause de la chaleur terrestre qui réside, selon nous, dans les espaces planétaires. La température de cet espace exactement définie est celle que marquerait le thermomètre, si l'on pouvait concevoir que le soleil et tous les corps planétaires qui l'accompagnent cessent d'exister, et que l'instrument fût placé dans un point quelconque de la région du ciel présentement occupée par le système solaire.

Nous allons indiquer les faits principaux qui nous ont fait reconnaître l'existence de cette chaleur propre aux espaces planétaires, indépendante de la présence du soleil et indépendante de la chaleur primitive que le globe a pu conserver. Pour acquérir la connaissance de ce singulier phénomène, il faut examiner quel serait l'état thermométrique de la masse terrestre si elle ne recevait que la chaleur du soleil; et pour rendre cet examen plus facile, on peut d'abord supposer que l'atmosphère est supprimée. Or s'il n'existait aucune cause propre à donner aux espaces planétaires une température commune et constante, c'est-à-dire si le globe terrestre et tous les corps qui forment le système solaire étaient placés dans une enceinte privée de toute chaleur, on observerait des effets entièrement contraires à ceux que nous connaissons. Les régions polaires subiraient un froid immense, et le décroissement des températures depuis l'équateur jusqu'aux pôles serait incomparablement plus rapide et plus étendu que le décroissement observé.

Dans cette hypothèse du froid absolu de l'espace, s'il est possible de la concevoir, tous les effets de la chaleur, tels que nous les observons à la surface du globe, seraient dus à la présence du soleil. Les moindres variations de la distance de cet astre à la terre occasionneraient des changements très-considérables dans les températures, l'excentricité de l'orbite terrestre donnerait naissance à diverses saisons.

L'intermittence des jours et des nuits produirait des effets subits et totalement différents de ceux qui subsistent. La surface des corps serait exposée tout-à-coup, au commencement de la nuit, à un froid infiniment intense. Les corps animés et les végétaux ne résisteraient point à une action aussi forte et aussi prompte, qui se reproduirait en sens contraire au lever du soleil.

La chaleur primitive conservée dans l'intérieur de la masse terrestre ne pourrait point suppléer à la température extérieure de l'espace, et n'empêcherait aucun des effets que l'on vient de décrire; car nous connaissons avec certitude, par la théorie et par les observations, que cette chaleur centrale est devenue depuis long-temps insensible à la superficie, quoiqu'elle puisse être très-grande à une profondeur médiocre.

Nous concluons de ces diverses remarques, et principalement de l'examen mathématique de la question, qu'il existe une cause physique toujours présente qui modère les températures à la surface du globe terrestre, et donne à cette planète une chaleur fondamentale indépendante de l'action du soleil, et de la chaleur propre que sa masse intérieure a conservée. Cette température fixe que la terre reçoit ainsi de l'espace diffère peu de celle que l'on mesurerait aux pôles terrestres. Elle est nécessairement moindre que la température

qui appartient aux contrées les plus froides ; mais , dans cette comparaison , l'on ne doit admettre que des observations certaines , et ne point considérer les effets accidentels d'un froid très-intense qui serait occasioné par l'évaporation , par des vents violents et une dilatation extraordinaire de l'air.

Après avoir reconnu l'existence de cette température fondamentale de l'espace sans laquelle les effets de chaleur observés à la superficie du globe seraient inexplicables , nous ajouterons que l'origine de ce phénomène est pour ainsi dire évidente. Il est dû au rayonnement de tous les corps de l'univers , dont la lumière et la chaleur peuvent arriver jusqu'à nous. Les astres que nous apercevons à la vue simple , la multitude innombrable des astres télescopiques ou des corps obscurs qui remplissent l'univers , les atmosphères qui environnent ces corps immenses , la matière rare disséminée dans diverses parties de l'espace , concourent à former ces rayons qui pénètrent de toutes parts dans les régions planétaires. On ne peut point concevoir qu'il existe un tel système de corps lumineux ou échauffés , sans admettre qu'un point quelconque de l'espace qui les contient acquiert une température déterminée.

Le nombre immense des corps compense les inégalités de leurs températures , et rend l'irradiation sensiblement uniforme.

Cette température de l'espace n'est pas la même dans les différentes régions de l'univers ; mais elle ne varie pas dans celles où les corps planétaires sont renfermés , parce que les dimensions de cet espace sont incomparablement plus petites que les distances qui le séparent des corps rayonnants. Ainsi , dans tous les points de l'orbite de la terre , cette planète trouve la même température du ciel.

Il en est de même des autres planètes de notre système; elles participent toutes également à la température commune, qui est plus ou moins augmentée, pour chacune d'elles, par l'impression des rayons du soleil, selon la distance de la planète à cet astre. Quant à la question qui aurait pour objet d'assigner la température que chaque planète a dû acquérir, voici les principes que fournit une théorie exacte. L'intensité et la distribution de la chaleur à la surface de ces corps résulte de la distance au soleil, de l'inclinaison de l'axe de rotation sur l'orbite et de l'état de la superficie. Elle est très-différente, même dans sa valeur moyenne, de celle que marquerait un thermomètre isolé que l'on placerait au lieu de la planète; car l'état solide, la très-grande dimension, et sans doute la présence de l'atmosphère et la nature de la surface concourent à déterminer cette valeur moyenne.

La chaleur d'origine qui s'est conservée dans l'intérieur de la masse a cessé depuis long-temps d'avoir un effet très-sensible à la superficie; l'état présent de l'enveloppe terrestre nous fait connaître avec certitude que la chaleur primitive de la surface s'est presque entièrement dissipée. Nous regardons comme très-vraisemblable, d'après la constitution de notre système solaire, que la température des pôles de chaque planète, ou du moins de la plupart d'entre elles, est peu différente de celle de l'espace. Cette température polaire est sensiblement la même pour tous ces corps, quoique leurs distances au soleil soient très-inégales.

On peut déterminer d'une manière assez approchée le degré de chaleur que le globe terrestre acquerrait s'il était substitué à chacune de ces planètes; mais la température de la planète elle-même ne peut être assignée; car il faudrait con-

naître l'état de la superficie et de l'atmosphère. Toutefois cette incertitude n'a plus lieu pour les corps situés aux extrémités du système solaire comme la planète découverte par Herschell. L'impression des rayons du soleil sur cette planète est presque insensible. La température de sa superficie est donc très-peu différente de celle des espaces planétaires. Nous avons indiqué ce dernier résultat dans un discours public prononcé récemment en présence de l'Académie. On voit que cette conséquence ne peut s'appliquer qu'aux planètes les plus éloignées. Nous ne connaissons aucun moyen d'assigner avec quelque précision la température moyenne des autres corps planétaires.

Les mouvements de l'air et des eaux, l'étendue des mers, l'élévation et la forme du sol, les effets de l'industrie humaine et tous les changements accidentels de la surface terrestre modifient les températures dans chaque climat. Les caractères des phénomènes dus aux causes générales subsistent; mais les effets thermométriques observés à la superficie sont différents de ceux qui auraient lieu sans l'influence des causes accessoires.

La mobilité des eaux et celle de l'air tendent à modérer les effets de la chaleur et du froid; elle rend la distribution plus uniforme; mais il serait impossible que l'action de l'atmosphère suppléât à cette cause universelle qui entretient la température commune des espaces planétaires; et si cette cause n'existait point, on observerait, nonobstant l'action de l'atmosphère et des mers, des différences énormes entre les températures des régions équatoriales et celle des pôles.

Il est difficile de connaître jusqu'à quel point l'atmosphère influe sur la température moyenne du globe, et l'on cesse

d'être guidé dans cet examen par une théorie mathématique régulière. On doit au célèbre voyageur M. de Saussure une expérience qui paraît très-propre à éclairer cette question. Elle consiste à exposer aux rayons du soleil un vase couvert d'une ou de plusieurs lames de verre bien transparent, placées à quelque distance les unes au-dessus des autres. L'intérieur du vase est garni d'une enveloppe épaisse de liége noirci, propre à recevoir et à conserver la chaleur. L'air échauffé est contenu de toutes parts, soit dans l'intérieur de la boîte, soit dans chaque intervalle compris entre deux plaques. Des thermomètres placés dans ce vase et dans les intervalles supérieurs marquent le degré de chaleur acquise dans chacune de ces capacités. Cet instrument a été exposé au soleil vers l'heure de midi, et l'on a vu, dans diverses expériences, le thermomètre du vase s'élever à 70, 80, 100, 110 degrés et au-delà (division octogésimale). Les thermomètres placés dans les intervalles ont acquis des degrés de chaleur beaucoup moindres; et qui décroissaient depuis le fond de la boîte jusqu'à l'intervalle supérieur.

L'effet de la chaleur solaire sur l'air contenu par des enveloppes transparentes avait été depuis long-temps observé. L'appareil que nous venons de décrire a pour objet de porter la chaleur acquise à son *maximum*, et surtout de comparer l'effet solaire sur une montagne très-élevée à celui qui avait lieu dans une plaine inférieure. Cette observation est principalement remarquable par les conséquences justes et étendues que l'inventeur en a tirées : elle a été répétée plusieurs fois à Paris et à Édimbourg, et a donné des résultats analogues.

La théorie de cet instrument est facile à concevoir. Il suffit

de remarquer, 1^o que la chaleur acquise se concentre, parce qu'elle n'est point dissipée immédiatement par le renouvellement de l'air; 2^o que la chaleur émanée du soleil a des propriétés différentes de celles de la chaleur obscure. Les rayons de cet astre se transmettent en assez grande partie au-delà des verres dans toutes les capacités et jusqu'au fond de la boîte. Ils échauffent l'air et les parois qui le contiennent : alors leur chaleur ainsi communiquée cesse d'être lumineuse; elle ne conserve que les propriétés communes de la chaleur rayonnante obscure. Dans cet état, elle ne peut traverser librement les plans de verre qui couvrent le vase; elle s'accumule de plus en plus dans une capacité enveloppée d'une matière très-peu conductrice, et la température s'élève jusqu'à ce que la chaleur affluente soit exactement compensée par celle qui se dissipe. On vérifierait cette explication, et l'on en rendrait les conséquences plus sensibles, si l'on variait les conditions, en employant des verres colorés ou noircis, et si les capacités qui contiennent les thermomètres étaient vides d'air. Lorsqu'on examine cet effet par le calcul, on trouve des résultats entièrement conformes à ceux que les observations ont donnés. Il est nécessaire de considérer attentivement cet ordre de faits et les résultats du calcul lorsqu'on veut connaître l'influence de l'atmosphère et des eaux sur l'état thermométrique du globe terrestre.

En effet, si toutes les couches d'air dont l'atmosphère est formée conservaient leur densité avec leur transparence, et perdaient seulement la mobilité qui leur est propre, cette masse d'air ainsi devenue solide, étant exposée aux rayons du soleil, produirait un effet du même genre que celui que l'on vient de décrire. La chaleur, arrivant à l'état de lumière

jusqu'à la terre solide, perdrait tout-à-coup et presque entièrement la faculté qu'elle avait de traverser les solides diaphanes; elle s'accumulerait dans les couches inférieures de l'atmosphère, qui acquerraient ainsi des températures élevées. On observerait en même temps une diminution du degré de chaleur acquise, à partir de la surface de la terre. La mobilité de l'air qui se déplace rapidement dans tous les sens et qui s'élève lorsqu'il est échauffé, le rayonnement de la chaleur obscure dans l'air diminuent l'intensité des effets qui auraient lieu sous une atmosphère transparente et solide, mais ne dénaturent point entièrement ces effets. Le décroissement de la chaleur dans les régions élevées de l'air ne cesse point d'avoir lieu; c'est ainsi que la température est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d'obstacle pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure.

Nous considérerons maintenant la chaleur propre que le globe terrestre possédait aux époques où les planètes ont été formées, et qui continue de se dissiper à la surface sous l'influence de la température froide du ciel planétaire.

L'opinion d'un feu intérieur, cause perpétuelle de plusieurs grands phénomènes, s'est renouvelée dans tous les âges de la philosophie. Le but que je me suis proposé est de connaître exactement suivant quelles lois une sphère solide, échauffée par une longue immersion dans un milieu, perdrait cette chaleur primitive si elle était transportée dans un espace d'une température constante inférieure à celle du premier milieu. Cette question difficile, et qui n'appartenait point encore aux sciences mathématiques, a été résolue par

une nouvelle méthode de calcul qui s'applique à divers autres phénomènes.

La forme du sphéroïde terrestre, la disposition régulière des couches intérieures rendue manifeste par les expériences du pendule, leur densité croissante avec la profondeur et diverses autres considérations concourent à prouver qu'une chaleur très-intense a pénétré autrefois toutes les parties du globe. Cette chaleur se dissipe par l'irradiation dans l'espace environnant dont la température est très-inférieure à celle de la congélation de l'eau. Or l'expression mathématique de la loi du refroidissement montre que la chaleur primitive contenue dans une masse sphérique d'une aussi grande dimension que la terre diminue beaucoup plus rapidement à la superficie que dans les parties situées à une grande profondeur. Celles-ci conservent presque toute leur chaleur durant un temps immense; et il n'y a aucun doute sur la vérité des conséquences, parce que j'ai calculé ces temps pour des substances métalliques plus conductrices que les matières du globe.

Mais il est évident que la théorie seule ne peut nous enseigner que les lois auxquelles les phénomènes sont assujettis. Il reste à examiner si, dans les couches du globe où nous pouvons pénétrer, on trouve quelque indice de cette chaleur centrale. Il faut vérifier, par exemple, si au-dessous de la surface, à des distances où les variations diurnes et annuelles ont entièrement cessé, les températures des points d'une verticale prolongée dans la terre solide augmentent avec la profondeur: or tous les faits qui ont été recueillis et discutés par les plus habiles observateurs nous apprennent que cet accroissement subsiste: il a été estimé d'environ un degré pour 30 ou 40 mètres.

La question mathématique a pour objet de découvrir les conséquences certaines que l'on peut déduire de ce seul fait, en l'admettant comme donné par l'observation directe, et de prouver qu'il détermine, 1° la situation de la source de chaleur, 2° l'excès de température qui subsiste encore à la surface.

Il est facile de conclure, et il résulte d'ailleurs d'une analyse exacte, que l'augmentation de température dans le sens de la profondeur ne peut être produite par l'action prolongée des rayons du soleil. La chaleur émanée de cet astre s'est accumulée dans l'intérieur du globe; mais le progrès a cessé presque entièrement; et si l'accumulation continuait encore, on observerait l'accroissement dans un sens précisément contraire à celui que nous venons d'indiquer.

La cause qui donne aux couches plus profondes une plus haute température est donc une source intérieure de chaleur constante ou variable placée au-dessous des points du globe où l'on a pu pénétrer. Cette cause élève la température de la surface terrestre au-dessus de la valeur que lui donnerait la seule action du soleil. Mais cet excès de la température de la superficie est devenu presque insensible, et nous en sommes assurés, parce qu'il existe un rapport mathématique entre la valeur de l'accroissement par mètre, et la quantité dont la température de la surface excède encore celle qui aurait lieu si la cause intérieure dont il s'agit n'existait pas. C'est pour nous une même chose de mesurer l'accroissement par unité de profondeur ou de mesurer l'excès de température de la surface.

Dans un globe de fer, l'accroissement d'un trentième de degré par mètre donnerait seulement un quart de degré

centésimal pour l'élévation actuelle de la température de la surface. Cette élévation est en raison directe de la conductibilité propre de la substance dont l'enveloppe est formée, toutes les autres conditions demeurant les mêmes. Ainsi l'excès de température que la surface terrestre a présentement en vertu de cette source intérieure est très-petit; il est vraisemblablement au-dessous d'un trentième de degré centésimal. Il faut bien remarquer que cette dernière conséquence s'applique à toutes les suppositions que l'on pourrait faire sur la nature de la cause, soit qu'on la regarde comme locale ou universelle, constante ou variable.

Lorsqu'on examine attentivement et selon les principes des théories dynamiques toutes les observations relatives à la figure de la terre, on ne peut douter que cette planète n'ait reçu à son origine une température très-élevée, et, d'un autre côté, les observations thermométriques montrent que la distribution actuelle de la chaleur dans l'enveloppe terrestre est celle qui aurait lieu si le globe avait été formé dans un milieu d'une très-haute température, et qu'ensuite il se fût continuellement refroidi.

La question des températures terrestres m'a toujours paru un des plus grands objets des études cosmologiques, et je l'avais principalement en vue en établissant la théorie mathématique de la chaleur. J'ai d'abord déterminé l'état variable d'un globe solide qui, après avoir été long-temps plongé dans un milieu échauffé, est transporté dans un espace froid. J'ai considéré aussi l'état variable d'une sphère solide qui, ayant été plongée successivement et durant un temps quelconque dans deux ou plusieurs milieux de températures diverses, subirait un refroidissement final dans

un espace de température constante. Après avoir remarqué les conséquences générales de la solution de cette question, j'ai examiné plus spécialement le cas où la température primitive acquise dans le milieu échauffé serait devenue commune à toute la masse ; et attribuant à la sphère une dimension extrêmement grande, j'ai cherché quelles seraient les diminutions progressives de la température dans les couches assez voisines de la surface. Si l'on applique les résultats de cette analyse au globe terrestre pour connaître quels seraient les effets successifs d'une formation initiale semblable à celle que l'on vient de considérer, on voit que l'accroissement d'un trentième de degré par mètre, considéré comme résultant de la chaleur centrale, a été autrefois beaucoup plus grand, et qu'il varie maintenant avec une lenteur extrême. Quant à l'excès de température de la surface, il varie suivant la même loi ; la diminution séculaire ou la quantité dont il s'abaisse durant un siècle est égale à la valeur actuelle divisée par le double du nombre de siècles qui se sont écoulés depuis l'origine du refroidissement, et comme une limite de ce nombre nous est donnée par les monuments historiques, on en conclut que, depuis l'école grecque d'Alexandrie jusqu'à nous, la température de la surface terrestre n'a pas diminué, pour cette cause, de la trois centième partie d'un degré. On retrouve ici ce caractère de stabilité que présentent tous les grands phénomènes de l'univers. Cette stabilité est d'ailleurs un résultat nécessaire, et indépendant de toute considération de l'état initial, puisque l'excès actuel de la température est extrêmement petit, et qu'il ne peut que diminuer pendant un temps indéfiniment prolongé.

L'effet de la chaleur primitive que le globe a conservée

est donc devenu pour ainsi dire insensible à la superficie de l'enveloppe terrestre ; mais il se manifeste dans les profondeurs accessibles, puisque la température des couches augmente avec leur distance à la surface. Cet accroissement, rapporté à l'unité de mesure, n'aurait pas la même valeur à des profondeurs beaucoup plus grandes : il diminue avec cette profondeur ; mais la même théorie nous montre que la température excédante, qui est presque nulle à la dernière surface, peut être énorme à la distance de quelques myriamètres, en sorte que la chaleur des couches intermédiaires pourrait surpasser beaucoup celle des matières incandescentes.

Le cours des siècles apportera de grands changements dans ces températures intérieures ; mais à la surface ces changements sont accomplis, et la déperdition continuelle de la chaleur propre ne peut occasionner désormais aucun refroidissement du climat.

Il est important d'observer que la température moyenne d'un lieu peut subir, pour d'autres causes accessoires, des variations incomparablement plus sensibles que celles qui proviendraient du refroidissement séculaire du globe.

L'établissement et le progrès des sociétés humaines, l'action des forces naturelles, peuvent changer notablement, et dans de vastes contrées, l'état de la surface du sol, la distribution des eaux et les grands mouvements de l'air. De tels effets sont propres à faire varier, dans le cours de plusieurs siècles, le degré de la chaleur moyenne ; car les expressions analytiques comprennent des coefficients qui se rapportent à l'état superficiel et qui influent beaucoup sur la valeur de la température.

Quoique l'effet de la chaleur intérieure ne soit plus sensible à la surface de la terre, la quantité totale de cette chaleur qui se dissipe dans un temps donné, comme une année ou un siècle, est mesurable, et nous l'avons déterminée : celle qui traverse durant un siècle un mètre carré de superficie et se répand dans les espaces célestes, pourrait fondre une colonne de glace qui aurait pour base ce mètre carré et une hauteur d'environ 3 mètres.

Cette conséquence dérive d'une proposition fondamentale qui appartient à toutes les questions du mouvement de la chaleur, et qui s'applique surtout à celle des températures terrestres : je veux parler de l'équation différentielle qui exprime pour chaque instant l'état de la surface. Cette équation, dont la vérité est sensible et facile à démontrer, établit une relation simple entre la température d'un élément de la surface et le mouvement normal de la chaleur. Ce qui rend ce résultat théorique très-important et plus propre qu'aucun autre à éclairer les questions qui sont l'objet de ce Mémoire, c'est qu'il subsiste indépendamment de la forme et des dimensions des corps, et quelle que soit la nature des substances homogènes ou diverses dont la masse intérieure serait composée. Ainsi les conséquences que l'on déduit de cette équation sont absolues ; elles subsistent, quels que puissent être la constitution matérielle et l'état originaire du globe.

Nous avons publié, dans le cours de l'année 1820, l'extrait d'un Mémoire sur le refroidissement séculaire du globe terrestre (Bulletin des sciences, Société philomatique, année 1820, pag. 58 et suivantes). On y a rapporté les formules principales, et notamment celles qui expriment l'état variable du solide uniformément échauffé jusqu'à une profondeur

déterminée et extrêmement grande. Si la température initiale, au lieu d'être la même jusqu'à une très-grande distance de la surface, résulte d'une immersion successive dans plusieurs milieux, les conséquences ne sont ni moins simples ni moins remarquables. Au reste, ce cas et plusieurs autres que nous avons considérés sont compris dans les expressions générales qui ont été indiquées.

La lecture de cet extrait me donne lieu de remarquer que les formules (1) et (2) qui y sont rapportées n'avaient pas été transcrites exactement. Je suppléerai par la suite à cette omission, qui, au reste, ne change rien aux autres formules, ni aux conséquences dont l'extrait renferme l'énoncé.

Pour décrire les principaux effets thermométriques qui proviennent de la présence des mers, concevons d'abord que les eaux de l'Océan sont retirées des bassins qui les renferment, en sorte qu'il ne reste que des cavités immenses dans les terres solides. Si cet état de la superficie terrestre, privée de l'atmosphère et des eaux, avait duré pendant un très-grand nombre de siècles, la chaleur solaire produirait des alternatives de température semblables à celles que nous observons dans les continents, et assujetties aux mêmes lois. Les variations diurnes ou annuelles cesseraient à de certaines profondeurs, et il se formerait dans les couches inférieures un état invariable qui consisterait dans le transport continu de la chaleur équatoriale vers les régions polaires.

Dans le même temps, la chaleur originaire du globe se dissipant à travers la surface extérieure des bassins, on y observerait, comme dans toutes les autres parties de la superficie, un accroissement de température en pénétrant à de plus

grandes profondeurs, suivant une ligne normale à la surface du fond.

Il est nécessaire de remarquer ici que l'accroissement de température dû à la chaleur d'origine dépend principalement de la profondeur normale. Si la surface extérieure était horizontale, on trouverait d'égales températures dans une couche horizontale inférieure : mais si la superficie de la terre solide est concave, ces couches d'égale température ne sont point horizontales, et diffèrent entièrement des couches de niveau. Elles suivent les formes sinueuses de la superficie : c'est pour cette raison que, dans l'intérieur des montagnes, la chaleur centrale peut pénétrer jusqu'à une grande hauteur. C'est un effet composé que l'on détermine par l'analyse mathématique, en ayant égard à la forme et à l'élévation absolue des masses.

Si la superficie était concave, on observerait en sens inverse un effet analogue, et cela aurait lieu dans l'hypothèse que nous considérons. Les couches d'égale température seraient concaves, et cet état continuerait de subsister si la terre n'était point recouverte par les eaux.

Concevons maintenant que ce même état ayant duré un grand nombre de siècles, on rétablisse ensuite les eaux dans le fond des mers et des lacs, et qu'elles demeurent exposées aux alternatives des saisons. Lorsque la température des couches supérieures du liquide deviendra moindre que celle des parties inférieures, quoique surpassant de quelques degrés seulement la température de la glace fondante, la densité de ces couches supérieures augmentera ; elles descendront de plus en plus, et viendront occuper le fond des bassins qu'elles

refroidiront par leur contact : dans le même temps, les eaux plus échauffées et plus légères s'élèveront pour remplacer les eaux supérieures, et il s'établira dans les masses liquides des mouvements infiniment variés dont l'effet général sera de transporter la chaleur vers les régions élevées.

Ces phénomènes sont plus composés dans l'intérieur des grandes mers, parce que les inégalités de température y occasionnent des courants dirigés en sens contraires, et déplacent ainsi les eaux des régions les plus éloignées.

L'action continuelle de ces causes est modifiée par une autre propriété de l'eau, celle qui limite l'accroissement de la densité, et la fait varier en sens opposé lorsque la température continue de s'abaisser et s'approche de celle qui détermine la formation de la glace. Le fond solide des mers est donc soumis à une action spéciale qui se renouvelle toujours, et qui le refroidit perpétuellement depuis un temps immense par le contact d'un liquide entretenu à une température supérieure de quelques degrés seulement à celle de la glace fondante. On trouve en effet que la température des eaux diminue à mesure que l'on augmente la profondeur des sondes ; cette température est dans nos climats d'environ 4 degrés au fond de la plupart des lacs. En général, si l'on observe la température de la mer à des profondeurs de plus en plus grandes, on approche sensiblement de la limite qui convient à la plus grande densité ; mais il faut, dans les questions de ce genre, avoir égard à la nature des eaux, et surtout aux communications établies par les courants : cette dernière cause peut changer totalement les résultats.

Cet accroissement de température, que nous observons en Europe en portant le thermomètre dans l'intérieur du globe

solide à de grandes profondeurs, ne doit donc pas subsister dans l'intérieur des mers, et le plus généralement l'ordre des températures doit être inverse.

Quant aux parties immédiatement placées au-dessous du fond des mers, la loi de l'accroissement de chaleur n'est pas celle qui convient aux terres continentales. Ces températures sont déterminées par une cause spéciale de refroidissement, le vase étant exposé, comme on l'a dit, au contact perpétuel d'un liquide qui conserve la même température. C'est pour éclairer cette partie de la question des températures terrestres, que j'ai déterminé, dans la théorie analytique de la chaleur (chapitre IX, pag. 495 et suiv.), l'expression de l'état variable d'un solide primitivement échauffé d'une manière quelconque, et dont la surface est retenue pendant un temps indéfini à une température constante. L'analyse de ce problème fait connaître distinctement suivant quelle loi la cause extérieure fait varier les températures du solide. En général, après avoir établi les équations fondamentales du mouvement de la chaleur et la méthode de calcul qui sert à les intégrer, je me suis attaché à résoudre les questions qui intéressent l'étude des températures terrestres et font connaître les rapports de cette étude avec le système du monde.

Après avoir expliqué séparément les principes de la question des températures terrestres, il faut réunir sous un point de vue général tous les effets que l'on vient de décrire, et par là on se formera une juste idée de l'ensemble des phénomènes.

La terre reçoit les rayons du soleil, qui pénètrent sa masse et s'y convertissent en chaleur obscure; elle possède aussi une chaleur propre qu'elle tient de son origine, et qui se

dissipe continuellement à la superficie ; enfin, cette planète reçoit des rayons de lumière et de chaleur des astres innombrables parmi lesquels le système solaire est placé. Voilà les trois causes générales qui déterminent les températures terrestres. La troisième, c'est-à-dire l'influence des astres, équivaut à la présence d'une enceinte immense fermée de toutes parts, dont la température constante serait peu inférieure à celle que nous observerions dans les contrées polaires terrestres.

On pourrait sans doute supposer à la chaleur rayonnante des propriétés jusqu'ici inconnues, qui tiendraient lieu en quelque sorte de cette température fondamentale que nous attribuons à l'espace ; mais dans l'état actuel des sciences physiques et sans recourir à d'autres propriétés que celles qui dérivent d'observations positives, tous les faits connus s'expliquent naturellement. Il suffit de se représenter que les corps planétaires sont dans un espace dont la température est constante. Nous avons donc cherché quelle devrait être cette température pour que les effets thermométriques fussent semblables à ceux que nous observons : or ils en différeraient entièrement si l'on admettait un froid absolu de l'espace ; mais si l'on élève progressivement la température commune de l'enceinte qui enfermerait cet espace, on voit naître des effets semblables à ceux que nous connaissons. On peut affirmer que les phénomènes actuels sont ceux qui seraient produits si le rayonnement des astres donnait à tous les points de l'espace planétaire la température d'environ 40 degrés au-dessous de zéro. (Division octogésimale.)

La chaleur primitive intérieure, qui n'est point encore dissipée, ne produit plus qu'un effet très-petit à la surface

du globe terrestre; elle se manifeste, par une augmentation de température, dans les couches profondes. A de plus grandes distances de la surface, elle peut surpasser les plus hautes températures que l'on ait encore mesurées.

L'effet des rayons solaires est périodique dans les couches superficielles de l'enveloppe terrestre; il est fixe dans tous les lieux profonds. Cette température fixe des parties inférieures n'est point la même pour toutes; elle dépend principalement de la latitude du lieu.

La chaleur solaire s'est accumulée dans l'intérieur du globe, dont l'état est devenu invariable. Celle qui pénètre par les régions équatoriales est exactement compensée par la chaleur qui s'écoule à travers les régions polaires. Ainsi la terre rend aux espaces célestes toute la chaleur qu'elle reçoit du soleil, et elle y ajoute une partie de celle qui lui est propre.

Tous les effets terrestres de la chaleur du soleil sont modifiés par l'interposition de l'atmosphère et par la présence des eaux. Les grands mouvements de ces fluides rendent la distribution plus uniforme.

La transparence des eaux et celle de l'air concourent à augmenter le degré de chaleur acquise, parce que la chaleur lumineuse affluente pénètre assez facilement dans l'intérieur de la masse, et que la chaleur obscure sort plus difficilement suivant une route contraire.

Les alternatives des saisons sont entretenues par une quantité immense de chaleur solaire qui oscille dans l'enveloppe terrestre, passant au-dessous de la surface durant six mois, et retournant de la terre dans l'air pendant l'autre moitié de l'année. Rien ne peut contribuer davantage à éclairer cette

partie de la question que les expériences qui ont pour objet de mesurer avec précision l'effet produit par les rayons du soleil à la surface terrestre.

J'ai réuni, dans ce Mémoire, tous les éléments principaux de l'analyse des températures terrestres. Il est formé de plusieurs résultats de mes recherches, depuis long-temps publiés. Lorsque j'ai entrepris de traiter ce genre de questions, il n'existait aucune théorie mathématique de la chaleur, et l'on pouvait même douter qu'une telle théorie fût possible. Les mémoires et ouvrages dans lesquels je l'ai établie contiennent la solution exacte des questions fondamentales ; ils ont été remis et communiqués publiquement, ou imprimés, et analysés dans les recueils scientifiques depuis plusieurs années.

Dans le présent écrit je me suis proposé un autre but, celui d'appeler l'attention sur un des plus grands objets de la philosophie naturelle, et de présenter les vues et les conséquences générales. J'ai espéré que les géomètres ne verraient pas seulement dans ces recherches des questions de calcul, mais qu'ils considéreraient aussi l'importance du sujet. On ne pourrait point aujourd'hui résoudre tous les doutes dans une matière aussi étendue qui comprend, outre les résultats d'une analyse difficile et nouvelle, des notions physiques très-variées. On multipliera par la suite les observations exactes ; on étudiera les lois du mouvement de la chaleur dans les liquides et dans l'air. On découvrira peut-être d'autres propriétés de la chaleur rayonnante, ou des causes qui modifient les températures du globe. Mais toutes les lois principales du mouvement de la chaleur sont connues ; cette théorie, qui repose sur des fondements invariables,

forme une nouvelle branche des sciences mathématiques : elle se compose aujourd'hui des équations différentielles du mouvement de la chaleur dans les solides et dans les liquides, des intégrales de ces premières équations, et des théorèmes relatifs à l'équilibre de la chaleur rayonnante.

Un des principaux caractères de l'analyse qui exprime la distribution de la chaleur dans les corps solides, consiste dans la composition des mouvements simples. Cette propriété dérive de la nature des équations différentielles du mouvement de la chaleur, et elle convient aussi aux dernières oscillations des corps ; mais elle appartient plus spécialement à la théorie de la chaleur, parce que les effets les plus complexes se résolvent réellement en ces mouvements simples. Cette proposition n'exprime pas une loi de la nature, et ce n'est pas le sens que je lui attribue ; elle exprime un fait subsistant, et non une cause. On trouverait ce même résultat dans les questions dynamiques où l'on considérerait les forces résistantes qui font cesser rapidement l'effet produit.

Les applications de la théorie de la chaleur ont exigé de longues recherches analytiques, et il était d'abord nécessaire de former la méthode du calcul, en regardant comme constants les coefficients spécifiques qui entrent dans les équations ; car cette condition s'établit d'elle-même et dure un temps infini, lorsque les différences de températures sont devenues assez petites, comme on l'observe dans la question des températures terrestres. D'ailleurs, dans cette question qui est l'application la plus importante, la démonstration des principaux résultats est indépendante de l'homogénéité et de la nature des couches intérieures.

On peut donner à la théorie analytique de la chaleur toute l'extension qu'exigeraient les applications les plus variées. Voici l'énumération des principes qui servent à généraliser cette théorie.

1^o Les coefficients étant assujettis à des variations très-petites que les observations font connaître, on détermine, par le procédé des substitutions successives, les corrections qu'il faut apporter aux résultats du premier calcul.

2^o Nous avons démontré plusieurs théorèmes généraux qui ne dépendent point de la forme des corps, ou de leur homogénéité. L'équation générale relative à la surface est une proposition de ce genre. On en trouve un autre exemple très-remarquable si l'on compare les mouvements de la chaleur dans des corps semblables, quelle que puisse être la nature de ces corps.

3^o Lorsque la résolution complète des équations différentielles dépend d'expressions difficiles à découvrir, ou de tables qui ne sont point encore formées, on détermine les limites entre lesquelles les quantités inconnues sont nécessairement comprises; on arrive ainsi à des conséquences certaines sur l'objet de la question.

4^o Dans les recherches sur les températures du globe terrestre, la grandeur des dimensions donne une forme spéciale aux résultats du calcul, et en rend l'interprétation plus facile. Quoique l'on ignore la nature des masses intérieures et leurs propriétés relatives à la chaleur, on peut déduire des seules observations faites dans les profondeurs accessibles, des conséquences fort importantes sur la stabilité des climats, sur l'excès actuel de température dû à la chaleur d'origine, sur la variation séculaire de l'accroissement de température

dans le sens de la profondeur. C'est ainsi que nous avons pu démontrer que cet accroissement qui est, en divers lieux de l'Europe, d'environ un degré pour 32 mètres, a eu précédemment une valeur beaucoup plus grande, qu'il diminue insensiblement, et qu'il s'écoulera plus de trente mille années avant qu'il soit réduit à la moitié de sa valeur actuelle. Cette conséquence n'est point incertaine, quoique nous ignorions l'état intérieur du globe; car les masses intérieures, quels que puissent être leur état et leur température, ne communiqueront à la surface qu'une chaleur insensible pendant un laps de temps immense. Par exemple, j'ai voulu connaître quel serait l'effet d'une masse extrêmement échauffée, de même étendue que la terre, et que l'on placerait au-dessous de la surface à quelques lieues de profondeur. Voici le résultat de cette recherche.

Si, à partir de la profondeur de douze lieues, on remplaçait la masse terrestre inférieure jusqu'au centre du globe par une matière quelconque dont la température serait égale à cinq cents fois celle de l'eau bouillante, la chaleur communiquée par cette masse aux parties voisines de la superficie demeurerait très-long-temps insensible; il s'écoulerait certainement plus de deux cent mille années avant que l'on pût observer à la surface un accroissement de chaleur d'un seul degré. La chaleur pénètre si lentement les masses solides, et surtout celles dont l'enveloppe terrestre est formée, qu'un intervalle d'un très-petit nombre de lieues suffirait pour rendre inappréciable pendant vingt siècles l'impression de la chaleur la plus intense.

L'examen attentif des conditions auxquelles le système des planètes est assujéti donne lieu de conclure que ces corps

ont fait partie de la masse du soleil, et l'on peut dire qu'il n'y a aucun phénomène observé qui ne concoure à fonder cette opinion. Nous ne connaissons pas combien l'intérieur de la terre a perdu de cette chaleur d'origine; on peut seulement affirmer qu'à l'extrême superficie, l'excès de chaleur dû à cette seule cause est devenu pour ainsi dire insensible; l'état thermométrique du globe ne varie plus qu'avec une extrême lenteur; et si l'on pouvait concevoir qu'à partir d'une distance de quelques lieues au-dessous de la surface, on remplace les masses inférieures jusqu'au centre du globe, soit par des corps glacés, soit par des portions de la substance même du soleil qui auraient la température de cet astre, il s'écoulerait un grand nombre de siècles avant qu'on ne pût observer aucun changement appréciable dans la température de la surface. La théorie mathématique de la chaleur fournit plusieurs autres conséquences de ce genre dont la certitude est indépendante de toute hypothèse sur l'état intérieur du globe terrestre.

Ces théories acquerront à l'avenir beaucoup plus d'étendue, et rien ne contribuera plus à les perfectionner que des séries nombreuses d'expériences précises; car l'analyse mathématique (qu'il nous soit permis de reproduire ici cette réflexion)(1) peut déduire des phénomènes généraux et simples l'expression des lois de la nature; mais l'application de ces lois à des effets très-composés exige une longue suite d'observations exactes.

(1) Discours préliminaire de la Théorie de la chaleur.