

faire entrer au nombre des causes auxquelles sont dus les phénomènes de la géologie. D'autre part, les chlorures sont très fréquemment au nombre des matières dissoutes dans les eaux minérales, et dans ses *Réflexions sur les volcans*, publiées en 1823, Gay-Lussac observe que le sel marin, mis en présence de silicates, est décomposé par la vapeur d'eau, avec dégagement d'acide chlorhydrique. Cette observation suffirait pour rendre compte de la présence de cet acide en bien des points de l'intérieur du sol, et ce gaz rencontrant de la fluorine qui fait partie de toutes les gangues des filons, peut, à température plus ou moins élevée, donner lieu à des vapeurs contenant du fluor. On sait du reste que les substances volatiles que dégagent les roches éruptives renferment des vapeurs de chlorures métalliques, de l'hydrogène sulfuré, des acides chlorhydrique et carbonique, de la vapeur d'eau et des composés fluorés, en proportions qui varient avec leur température. Les phénomènes de cristallisation peuvent donc se produire, à l'intérieur des filons, avec le concours de pressions et de températures plus ou moins considérables, soit par voie de dissolution, soit par l'action des divers agents minéralisateurs.

Les eaux minérales imprégnées par les fumerolles volcaniques, qui, dans les couches profondes de la terre se sont échauffées et chargées de substances diverses, possèdent elles-mêmes une activité minéralisatrice qui se traduit de la façon la plus nette dans les dépôts actuels qu'elles produisent. Des sources ferrugineuses coulant sur des terrains chargés de matières organiques dont la décomposition dégage de l'hydrogène sulfuré peuvent engendrer de la pyrite, et quelquefois l'action de ces eaux a lieu en un temps relativement court, qui permet de la prendre, pour ainsi dire, sur le fait; c'est ce qui est arrivé à Plombières et à Bourbonne-les-Bains par exemple.

A Plombières, les sources dont la température est de 73 degrés jaillissent aux salbandes de filons de quartz et de fluorine contenant de la barytine, de la pyrite, de l'hématite rouge, etc., et traversent des granites; les Romains avaient capté ces sources à l'aide de murs et d'une nappe de béton formé de fragments de brique et de grès bigarré avec ciment calcaire. En y pratiquant des fouilles, Daubrée a trouvé briques et mortier complètement transformés par les eaux qui, elles, contiennent des fluorures et du silicate de potasse, etc.; partout les cavités étaient recouvertes d'enduits mamelonnés, parfois cristallisés, dans lesquels il a reconnu beaucoup de *zéolites*; sur un coq romain en bronze demeuré enfoui pendant plus de quinze siècles se trouvaient de petits cristaux de sulfure de cuivre rhomboïdal (*chalcosine*).

A Bourbonne, c'est au fond d'un ancien puits romain mis à sec pour l'exécution de sondages que

Daubrée a examiné une boue argileuse noire dans laquelle étaient enfouis divers objets de bronze, d'argent et d'or; leur surface était couverte de minéraux bien cristallisés, *chalcosine, covelline, phillipsite, cuivre gris, galène, anglésite, chlorure de plomb, etc.*, produits par les sources à une température de 60 degrés environ, et qui étaient accompagnés de toutes sortes de *zéolites* formées dans les cavités du mortier.

Ainsi, nous le voyons, à température peu élevée et à la pression ordinaire, les eaux minérales peuvent former des substances métallifères cristallisées; à l'intérieur du sol, où la température est plus élevée et la pression plus forte, les choses ont pu se passer comme dans les tubes de de Sénarmont; soit en présence de l'eau, soit en son absence, les minéralisateurs ont accompli, dans les fentes ou dans les fissures du sol, leur œuvre de déplacement et de cristallisation de diverses substances; enfin la voie sèche a pu, elle aussi, donner lieu à la formation de cristaux par l'un ou l'autre des mécanismes que nous avons indiqués.

Des méthodes nouvelles viendront certainement s'ajouter à celles que nous venons d'exposer; elles donneront des résultats plus parfaits sans doute, mais dès à présent les chimistes peuvent considérer comme résolu le problème de la reproduction des minéraux métallifères des filons par les agents artificiels dont ils disposent.

ALFRED DITTE.

642, 8

PHYSIOLOGIE

Y a-t-il des nerfs spéciaux pour la douleur?

LETTRE DE M. L. FREDERICQ

Dans son *Étude biologique sur la douleur* (*Revue Scientifique* du 22 août 1896), M. Ch. Richet pose en principe que *la douleur dépend toujours d'une excitation sensitive forte*. Cette proposition, qui sert de point de départ à sa théorie philosophique de la douleur, peut être admise, me semble-t-il, par tous les physiologistes.

Mais, si j'ai bien compris l'exposé de M. Ch. Richet, il admet également la réciproque de ce principe, à savoir *qu'une excitation quelconque de la périphérie peut devenir douloureuse, si elle est suffisamment intense*; et il en fait l'application aux nerfs optique et acoustique et à ceux du goût, de l'odorat et de la sensibilité thermique et tactile.

Formulée de cette façon, cette théorie met en question la validité du principe de l'*énergie spécifique* des organes des sens, introduite en physiologie par Jean Müller, et qui constitue, sans aucun doute, le progrès le plus marquant

réalisé dans ce domaine de la physiologie. Il me paraît nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques développements.

Nous admettons, depuis Jean Müller, que chaque catégorie de nerfs sensibles ne peut nous donner qu'une espèce de sensation, sensation toujours la même pour la catégorie de nerfs considérée, quel que soit l'agent qui a provoqué l'excitation du nerf. La nature de la sensation dépend donc de la nature, de l'énergie spécifique du nerf considéré (ou plutôt de l'organe central auquel il aboutit) et nullement de la nature de l'agent physique qui a servi d'excitant.

Le nerf optique par exemple ne peut nous donner que des sensations lumineuses (agréables ou désagréables, peu importe), quelle que soit la nature ou l'intensité de l'agent qui ébranle ses terminaisons rétinienne ou son tronc (radiations solaires, traumatisme, électricité, etc.). Réciproquement, le même agent physique, les radiations solaires, par exemple, produira un effet différent suivant l'organe sensible sur lequel il exerce son action : chaleur s'il s'agit de la peau, lumière s'il s'agit de l'œil, etc.

Par conséquent, si un même organe peut nous donner plusieurs genres de sensations différentes, nous devons admettre dans cet organe autant de catégories de terminaisons sensibles, spécifiquement distinctes, qu'il y a de genres de sensations. Ainsi, si la lumière du soleil tombant sur notre œil, devient douloureuse dans certains cas, c'est apparemment qu'elle agit encore sur d'autres nerfs que ceux de la rétine, car l'expérience directe a prouvé que l'excitation la plus intense du nerf optique (sa section au couteau) produit une sensation de vive lumière, mais n'est pas douloureuse.

J'ajouterai que, dans la production des sensations lumineuses colorées, nous devons admettre autant de catégories de fibres [sensibles] que nous admettons de sensations colorées élémentaires (fibres du rouge, du vert, du violet, dans la théorie de Young-Helmholtz).

De même, on admet que l'excitation du nerf acoustique ne peut nous donner que des sensations de son (agréables [ou désagréables : consonnance, dissonance] nettement distinctes des sensations douloureuses. Si un son trop intense nous blesse, c'est qu'il agit sur d'autres nerfs que le nerf acoustique.

On applique le même principe pour les sensations de goût ou d'odorat. Les sensations de goût s'expliquent, comme on sait, en admettant dans la langue quatre ordres de terminaisons nerveuses, donnant respectivement les sensations de sucré, d'amer, de salé et d'acide, à côté des terminaisons tactiles proprement dites. Certains points de la langue sont particulièrement sensibles au contact des substances dites sucrées : quelle que soit l'intensité de l'excitant (saccharine pure) que l'on porte sur ces points, nous ne pouvons éprouver qu'une sensation sucrée. De même pour les sensations de salé ou d'amer provoquées par l'excitation des points de la langue affectés

à ces deux ordres de sensations : jamais leur excitation ne peut devenir douloureuse. Il me paraît difficile d'admettre que le principe de la spécificité applicable au nerf optique, au nerf acoustique et aux trois quarts des nerfs du goût se trouve en défaut pour le quart restant et qu'une excitation suffisamment forte des fibres sensibles à l'acide puisse changer de nature et devenir douloureuse. La seule explication conforme au principe de la spécificité, c'est que lorsqu'on cautérise en bloc la muqueuse de la langue par de l'acide sulfurique concentré, on atteint des fibres spécialement affectées aux sensations de douleur, fibres autres que celles du goût acide qui, elles, ne peuvent donner que des sensations gustatives.

Même raisonnement pour le sens de l'olfaction. L'excitation du nerf olfactif ne peut nous donner que des sensations d'odeur. La sensation douloureuse produite par les vapeurs d'ammoniac doit avoir pour raison l'excitation d'autres terminaisons nerveuses, celles du trijumeau par exemple.

Telle est, je pense, la doctrine classique, en ce qui concerne les organes des sens spéciaux.

Reste la peau. Ici, par une inconséquence vraiment singulière, un certain nombre de physiologistes abandonnent le principe de l'énergie spécifique qui servait de base à la physiologie des autres sens. Ils admettent qu'une excitation suffisamment forte, soit des nerfs de la pression (sensibilité tactile), soit des nerfs du chaud ou de ceux du froid (sensibilité thermique), peut devenir douloureuse, c'est-à-dire donner naissance à une nouvelle catégorie de sensations.

Un des arguments que l'on fait valoir, c'est le passage insensible que nous croyons constater entre les sensations de pression proprement dites ou les sensations thermiques d'une part et les sensations douloureuses d'autre part. Cet argument n'est guère probant : en effet, le passage insensible apparent entre deux catégories de sensations est parfaitement compatible avec l'existence de deux catégories de terminaisons nerveuses spécifiquement différentes. Le vert du spectre solaire nous semble passer insensiblement au bleu et au violet d'un côté, au jaune, à l'orangé, puis au rouge de l'autre, et cependant nous admettons que les sensations de vert, de rouge, de violet, sont produites par trois catégories de fibres nerveuses spécifiquement distinctes.

Autre exemple concernant la peau. Les sensations cutanées de température nous paraissent, depuis les températures basses jusqu'aux températures élevées, former une série continue, passant par des gradations insensibles les unes aux autres, alors que nous savons, par les expériences de Blix, de Goldscheider, tant de fois répétées et confirmées, qu'il y a dans la peau, pour le sens de la température, deux appareils nerveux entièrement distincts, les nerfs du chaud et les nerfs du froid. Blix a montré que certains points de la peau nous donnent ex-

clusivement des sensations de chaud, d'autres de froid, d'autres enfin des sensations de pression ou de contact, quelle que soit la nature de l'excitant punctiforme employé.

Pour sauvegarder le principe des énergies spécifiques, il faut donc admettre dans la peau une quatrième catégorie de terminaisons nerveuses affectées aux sensations de douleur. Un froid intense, une température élevée, une pression excessive nous causent de la douleur, non parce qu'ils excitent fortement les nerfs de la sensibilité tactile ou thermique, mais parce qu'ils excitent des nerfs spéciaux affectés aux impressions douloureuses.

Voici d'ailleurs quelques arguments spéciaux que l'on peut faire valoir en faveur de l'existence autonome des nerfs de la douleur *dans la peau* :

1° Dans plusieurs circonstances, la sensibilité à la douleur est supprimée, alors que la sensibilité tactile ou thermique est conservée. C'est le cas au début de l'anesthésie chloroformique ou dans le cours de certaines maladies nerveuses. Le patient sent le contact ou le froid du couteau qui divise la peau, mais n'éprouve aucune douleur.

2° Le temps nécessaire pour que les excitations douloureuses se transforment en sensation est plus long que pour les sensations tactiles. C'est un fait d'observation courante qu'un choc violent porté sur la peau est perçu presque immédiatement comme contact de pression, et seulement au bout d'un intervalle assez long comme douleur.

3° D'après Schiff, les voies de conduction des impressions douloureuses à travers la moelle épinière seraient différentes (substance grise) de celles qui transmettent les excitations tactiles. Comme M. Ch. Richet le fait observer, ce point n'est pas accepté par tous les physiologistes.

4° Certaines régions très sensibles à la douleur le sont relativement peu aux impressions tactiles proprement dites. La peau du gland, qui n'est guère sensible au froid (sensibilité thermique), est très sensible à la douleur.

5° Quel que soit l'agent qui produit la douleur, piqûre, incision, brûlure, cautérisation chimique, courant électrique, la sensation douloureuse est identique, du moment que la surface cutanée lésée a la même étendue et que l'excitant a la même intensité (intensité maximale par exemple). Ainsi il est impossible de distinguer une lésion par instrument piquant d'une brûlure punctiforme. Un coup de fouet grille la peau du dos comme le ferait une brûlure linéaire. Il est entendu qu'il s'agit uniquement de lésions douloureuses n'intéressant que la peau. Les douleurs qui ont leur point de départ dans les os, les articulations, les organes internes, etc., ont un caractère subjectif différent de la douleur cutanée; ce qui n'a rien d'étonnant, puisqu'elles sont dues à l'excitation d'autres nerfs.

En résumé, si l'on se place sur le terrain de la doc-

trine des énergies spécifiques, il n'est guère admissible que la douleur produite par une brûlure, par une piqûre, soit due à une excitation exagérée des nerfs de la sensibilité thermique ou tactile. Il est bien plus rationnel d'attribuer cette douleur à l'excitation de nerfs spéciaux : *nerfs de la douleur*.

Comme M. Ch. Richet l'a montré, ces nerfs ont ceci de particulier qu'ils ne répondent qu'à des excitations fortes : ébranlement mécanique, traumatisme, froid ou chaleur excessive, courant électrique intense. Tandis que les nerfs des organes des sens sont terminés à la périphérie par des appareils récepteurs spécialement accordés, peut-on dire, pour certaines formes de mouvement périodique (son, lumière, etc.), ceux de la douleur n'ont de préférence pour aucun excitant spécial : ils ne semblent donc pas terminés par des appareils différenciés vibrant plus facilement pour certaines formes de l'énergie. Aussi faut-il les ébranler fortement pour en tirer quelque chose.

RÉPONSE DE M. CH. RICHEL

Je remercie M. L. Fredericq de sa pénétrante critique; mais, ainsi qu'il l'a remarqué lui-même, il me fait dire un peu plus que je n'ai dit.

Il y a en effet deux propositions qui ne sont pas nécessairement connexes :

1° Toute excitation forte produit de la douleur.

2° Les nerfs qui transmettent les excitations faibles sont les mêmes que les nerfs qui transmettent la douleur.

Or la première proposition me paraît prouvée, indépendamment de toute hypothèse sur l'énergie spécifique des nerfs. Quel que soit le mode de transmission, il n'en est pas moins évident que la lumière forte, le bruit strident, l'odeur intense, l'électrisation, la pression, la température poussés plus ou moins loin vont développer dans notre organisme des sentiments, qui, pour être quelque peu différents, n'en seront pas moins tous douloureux.

D'ailleurs, cette première loi peut prendre deux formes assez distinctes :

A. Toute excitation forte produit de la douleur.

B. Toute douleur est due à une excitation forte.

Si la première A n'est pas contestable; la seconde B ne laisse pas que de l'être un peu; car, dans certains cas, lorsqu'il s'agit de nerfs très délicats, ou hyperesthésiés, la douleur peut être amenée par des excitants assez faibles. Qu'est-ce qu'un grain de poussière, comme excitant mécanique? Bien peu de chose assurément. Pourtant ce minuscule objet fera éprouver de vives douleurs, s'il arrive au contact de la conjonctive ou de la cornée.

Nous devons donc nous borner à la première loi, sous