

Le silicium cristallisé prend feu au contact de ce gaz et brûle avec éclat en donnant du fluorure de silicium; le bore adamantin y brûle avec plus de difficulté. Le carbone semble sans action.

Le fer et le manganèse en poudre y brûlent avec étincelles, il attaque avec violence la plupart des corps organiques; l'alcool, l'éther, la benzine, l'essence de térébenthine, le pétrole prennent feu à son contact; un morceau de liège, placé auprès de l'extrémité de l'ajutage de platine par lequel le gaz se dégage, se carbonise rapidement et s'enflamme.

Ajoutons que le chlorure de potassium fendu est attaqué à froid avec dégagement de chlore.

Bornons-nous à citer ces expériences, et arrivons à leur interprétation.

Dans sa note du 28 juin 1886, M. Moissan indique, sans se prononcer à cet égard, les trois hypothèses que l'on peut faire sur la nature du gaz dégagé dans l'électrolyse de l'acide fluorhydrique.

On peut admettre qu'on se trouve en face du fluor ou bien d'un perfluorure d'hydrogène ou enfin d'un mélange d'acide fluorhydrique et d'ozone assez actif pour expliquer l'action si énergique que ce gaz exerce sur le silicium cristallisé par exemple.

La troisième hypothèse suppose que dans ses expériences M. Moissan a eu constamment de l'eau en présence de l'acide fluorhydrique; il la rejette pour les raisons suivantes:

« Si l'acide fluorhydrique renferme une petite quantité d'eau, soit par manque de soin, soit qu'on l'ait ajoutée avec intention, il se dégage tout d'abord au pôle positif de l'ozone qui n'exerce aucune action sur le silicium cristallisé. Au fur et à mesure que l'eau contenue dans l'acide est ainsi décomposée, on remarque (grâce à l'ampère-mètre) que la conductibilité du liquide décroît rapidement. Avec de l'acide fluorhydrique absolument anhydre, le courant ne passe plus. Dans plusieurs de nos expériences, nous sommes arrivés à obtenir un acide anhydre tel qu'un courant de 25 ampères était totalement arrêté.

« Nous nous sommes assuré par des expériences directes faites au moyen d'ozone saturé d'acide fluorhydrique qu'un semblable mélange ne produit aucune des réactions produites précédemment. Il en est de même de l'acide fluorhydrique gazeux. »

Dans sa dernière note, M. Moissan rejette également la deuxième hypothèse pour une raison péremptoire. Le gaz dégagé au pôle positif ne renferme pas d'hydrogène, le fer l'absorbe en totalité, en donnant du fluorure de fer, en petits cristaux d'un blanc légèrement verdâtre, si on a préalablement pris soin d'éliminer la petite quantité de vapeur d'acide fluorhydrique, entraînée par le gaz, en le faisant passer à travers une petite colonne de fluorure de potassium anhydre. L'opération se fait dans un tube de platine, dans une

atmosphère d'acide carbonique, où il serait facile de retrouver l'hydrogène dégagé.

On trouvera, dans le mémoire de M. Moissan, le détail de ces expériences délicates. Elles nous paraissent justifier sa conclusion finale: « Le gaz que l'électrolyse dégage de l'acide fluorhydrique anhydre est donc bien le fluor. »

L'histoire de ce corps, si difficile à étudier, entre donc dans une phase nouvelle. Nous pouvons maintenant agir directement sur le fluor et aborder ainsi l'étude de questions importantes, réputées insolubles jusqu'ici.

H. DEBRAY,

de l'Institut.

PHYSIOLOGIE

Les mutilations spontanées ou l'autotomie.

I.

J'ai proposé, en 1882, d'appeler *Autotomie* (action de s'amputer soi-même, de *αὐτός* et *τέμνω*), l'acte au moyen duquel beaucoup d'animaux (orvet, lézards, beaucoup de crustacés, d'araignées et d'insectes) échappent à l'ennemi qui les a saisis par un membre ou par la queue, en provoquant activement, mais d'une façon inconsciente, *par voie réflexe*, la rupture de l'extrémité captive. Le sacrifice d'une partie du corps assure, dans ce cas, le salut du tout.

M. H. Dewitz, en Allemagne (1), et MM. de Varigny et P. Parize, en France (2), ont répété et complété quelques-unes des expériences que j'avais indiquées et en ont vérifié l'exactitude. En outre, M. Parize a signalé deux faits qui seraient de nature à donner, de ces actes de mutilation active, une interprétation notablement différente de la mienne.

D'après M. Parize, il suffit qu'un suçoir de poulpe vienne se fixer sur une patte de crabe, pour que celui-ci lui abandonne son membre et s'enfuit sous un abri. L'excitation violente produite par la peur serait ici le point de départ de la mutilation: il ne s'agirait point d'un mouvement réflexe.

Voici l'autre fait:

« Beaucoup d'araignées communes, des groupes des Thériidés et des Épéiridés savent abandonner leurs pattes lorsqu'elles les sentent engagées dans un piège: c'est ainsi qu'en présentant à un animal de ces espèces une allumette enduite de matière poisseuse ou glutineuse, de manière à y faire adhérer quelques-

(1) *Biologisches Centralblatt*, 1^{er} juin 1884.

(2) Voir les numéros du 4 septembre et du 18 septembre 1886 de cette Revue.

unes de ses pattes, celles-ci y demeurent sans que l'insecte (*sic*) ait paru faire de contractions violentes. »

J'aurai l'occasion de revenir sur les deux expériences de M. Parize, dans l'exposé que je vais faire des phénomènes d'amputation réflexe observés chez les crustacés, les insectes, les arachnides et les reptiles.

II.

AUTOTOMIE CHEZ LES CRUSTACÉS.

Tous ceux qui ont manié des crabes savent avec quelle facilité ces animaux perdent leurs pattes. Il suffit de saisir brusquement un crabe (*Carcinus maenas*, par exemple) par une des extrémités, en la pinçant fortement, pour que celle-ci casse près de la base et vous reste entre les doigts; l'animal, délivré par ce singulier moyen de défense, s'enfuit aussi vite que le lui permettent les pattes qui lui restent. De cette façon, on peut, sur un même crabe, provoquer successivement la rupture des dix pattes. Les formidables pinces des gros

crabes tourteaux (*Platycarcinus pagurus*) tomberont avec la même facilité que les membres grêles des araignées de mer (*Maja Squinado*).

La cassure est circulaire et des plus nettes; elle siège, non au niveau d'une articulation, mais dans la continuité du deuxième article à partir du corps. Cet article se trouve brisé en deux parties, l'une qui tombe avec la patte, l'autre qui reste adhérente au moignon. La portion conservée est la plus petite et ne forme qu'un anneau solide de peu d'importance.

Le deuxième article des pattes du crabe représente, en réalité, deux articles des pattes du homard ou de l'écrevisse (le deuxième ou *Basipodite* et le troisième ou *Ischiopodite*) soudés en une seule pièce. C'est au niveau

du sillon qui correspond à cette soudure que se fait invariablement la rupture de la patte.

La figure 21 représente la première et la deuxième paire de pattes d'un crabe tourteau vues par la face ventrale. A droite, la ligne *ab* indique sur chaque patte le niveau du deuxième article auquel se fait la rupture. A gauche, le premier article et la portion du second article qui restent adhérents sont représentés par des traits pleins. La portion caduque de la patte est figurée par des traits interrompus.

Chez tous les crabes que j'ai eu l'occasion d'examiner (*Carcinus*, *Platycarcinus*, *Portunus*, *Xantho*, *Maja*, *Hyas*, etc.) et chez la langouste, la rupture se fait également dans la substance du deuxième article, au

niveau de la soudure du *basipodite* et de l'*ischiopodite*.

Chez le homard et l'écrevisse, la première paire de pattes qui porte la pince présente seule cette disposition anatomique. Sur les quatre autres pattes, le *basipodite* et l'*ischiopodite* sont des pièces distinctes, mobiles l'une sur l'autre et reliées par une véritable articulation; c'est au niveau de cette articulation, entre le deuxième et le troisième article, que se

fait la rupture des pattes ambulatoires chez le homard, quand on réussit à la provoquer. Car le homard se prête bien moins que le crabe à cette étude, et l'expérience n'est pas toujours couronnée de succès. Il est nécessaire d'opérer sur des sujets fraîchement capturés et possédant toute leur vigueur, comme l'étaient ceux qui étaient mis à ma disposition au laboratoire de zoologie expérimentale de Roscoff.

L'écrevisse paraît casser assez facilement la pince: la rupture des autres pattes ne m'a pas réussi, quoique j'aie cherché à la provoquer sur une demi-douzaine d'individus assez vigoureux.

La rupture des pattes n'est due en aucune façon à

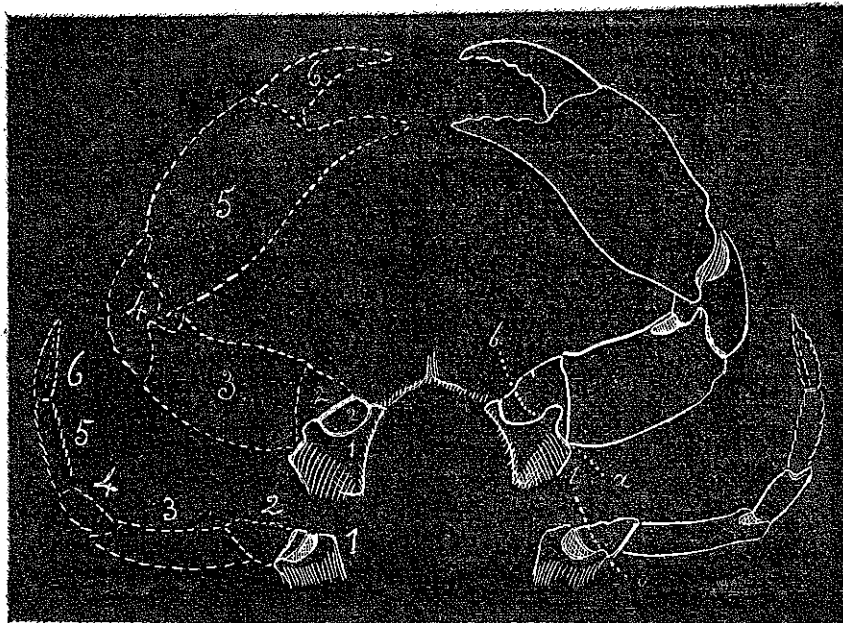


Fig. 21. — Les deux premières paires de pattes du Crabe tourteau vues par la face ventrale (1/3 de grandeur naturelle).

A droite de la figure, la ligne pointillée *ab* indique le niveau auquel se fait la rupture. A gauche, le premier article et la portion du deuxième, qui reste adhérente au corps, sont seuls représentés en traits pleins. La portion caduque de la patte est indiquée en traits interrompus.

1, *Coxopodite* ou premier article.

2, 2, Deuxième article résultant de la soudure du *basipodite* et de l'*ischiopodite*.

leur fragilité exagérée, comme on pourrait être tenté de le croire. L'expérience directe prouve que chez un crabe mort, ou dont le système nerveux est paralysé, les pattes sont fort résistantes et supportent, avant de se rompre, un effort de traction représentant parfois jusqu'à cent fois le poids du corps entier de l'animal.

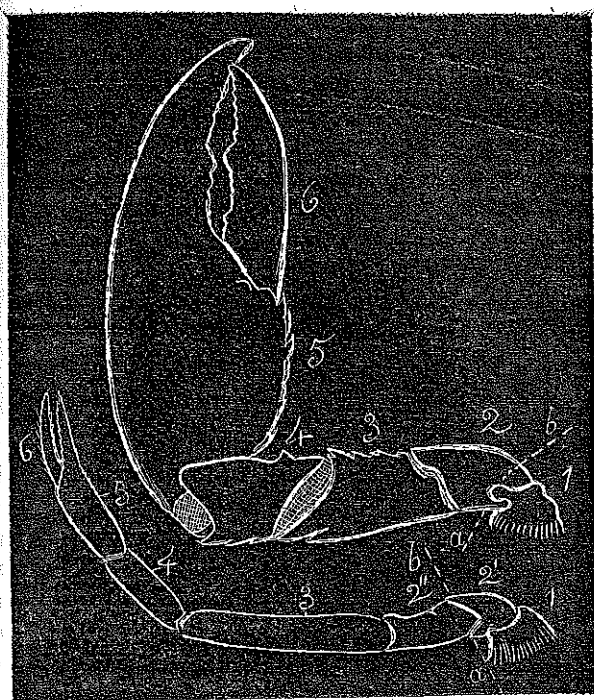


Fig. 22. — Première et deuxième pattes de droite du Homard, vues par la face ventrale.

La première est constituée comme les pattes du Crabe. L'article no 2 est formé par la soudure du *basipodite* avec l'*ischiopodite*, réunis au niveau de la ligne pointillée *ab*. Sur la deuxième patte et sur les suivantes, le *basipodite* 2^e est séparé de l'*ischiopodite* 2^e par l'articulation *ab*, au niveau de laquelle se produit la rupture de la patte.

Sur un petit *Carcinus maenas* (céphalo-thorax ayant 5 centimètres de large sur 4 de haut) à masse nerveuse ventrale détruite, la première patte portant la pince résista à une traction de 3 kilogrammes et demi, mais fut arrachée par un poids de 4 kilogrammes. La deuxième patte céda entre 4 kilogrammes et demi et 5 kilogrammes. La troisième et la quatrième, entre 3 kilogrammes et demi et 3¹/₂, 7. La cinquième se rompit entre 3 kilogrammes et demi et 4 kilogrammes.

Lorsqu'on arrache une patte par traction sur l'animal mort, elle se rompt d'ordinaire entre le céphalo-thorax et le premier article, parfois à l'articulation suivante. La surface de rupture porte souvent une houppe de muscles qui se sont détachés en même temps. On produit beaucoup moins souvent par traction la cassure décrite précédemment et siégeant dans la continuité du second article.

L'amputation de la patte chez l'animal vivant n'est donc pas le résultat d'un accident dû au manque de résistance de cet appendice. Comme nous allons le

voir, elle est provoquée par un mouvement actif. Le crabe rompt lui-même sa patte à l'endroit d'élection par une contraction musculaire énergique.

Quelle est la signification du phénomène de rupture des pattes? Faut-il y voir un acte intelligent ou instinctif dans lequel la volonté, l'émotion de l'animal peuvent intervenir, comme le croit M. Parize et comme l'affirme Huxley dans son livre sur l'écrevisse?

« Lorsque cet animal est retenu par une de ses pinces, dit l'illustre naturaliste anglais, de façon qu'il ne puisse s'échapper, il est capable de résoudre la difficulté en rompant le membre qui reste dans la main du pêcheur, tandis que l'écrevisse s'échappe. »

Les expériences suivantes me paraissent contredire formellement cette interprétation :

On enfonce à moitié une demi-douzaine de clous dans le fond d'un grand tiroir de bois, dont l'atmosphère est maintenue humide au moyen de plusieurs éponges mouillées. A chacun des clous est attaché, par une patte, un gros *Carcinus maenas* possédant toute sa vigueur. Les uns ont la patte fixée directement contre le clou ; aux autres on laisse un peu plus de liberté, en allongeant le bout de ficelle qui les retient. De temps à autre on imprime à leur prison une série de chocs brusques pour les exciter à fuir. Aussi les prisonniers font-ils des efforts violents, mais infructueux pour se détacher ; aucun d'eux n'a l'idée de se sauver en brisant le membre qui le retenait captif.

Au bout de six heures, on met fin à l'expérience. La patte qui a été retenue si longtemps n'a pas perdu la faculté de se briser : il suffit de la pincer vivement en son milieu pour provoquer immédiatement la rupture à la base.

De même, un crabe qu'on retient à la main par une patte, sans écraser celle-ci, n'aura jamais recours à l'autotomie pour se délivrer.

Il y a plus : si l'on coupe brusquement, au moyen de ciseaux, l'extrémité d'une autre patte que celle qui retient l'animal, le crabe brisera non cette dernière patte, ce qui le rendrait à la liberté, mais la patte mutilée, celle dont la perte ne lui est d'aucune utilité. L'absence d'intention intelligente est manifeste ici : nous avons affaire à un mécanisme nerveux préétabli, qui fonctionne en aveugle, à la façon des centres réflexes des animaux vertébrés.

Il m'est donc difficile de croire au fait, signalé par M. P. Parize, du crabe qui abandonne sa patte au poulpe, afin d'éviter d'être dévoré en entier par lui.

Peut-être le poulpe avait-il écrasé la patte du crabe. Dans ce cas, l'organisme du poulpe, considéré au point de vue de la chasse au crabe, demanderait à se perfectionner : quand on veut conserver un crabe pour son déjeuner, il vaut mieux le saisir délicatement par une extrémité que de l'écraser brutalement. Plus fait douceur que violence.

Voici d'autres expériences qui parlent en faveur de mon interprétation.

On pratique sur plusieurs crabes la destruction des masses nerveuses sus-œsophagiennes, ou l'ablation de toute la région dorsale et céphalique du corps. On sait, d'après les expériences d'Émile Yung, que la masse nerveuse sus-œsophagienne est, chez les crustacés, le siège de la volonté et de la coordination des mouvements : elle peut donc être comparée fonctionnellement au cerveau des vertébrés. Or la rupture des pattes s'obtient encore avec la plus grande facilité sur les crustacés décapités (*sit venia verbo*) ou privés de cerveau.

Plaçons un crabe vivant dans un bocal avec une éponge imbibée d'éther ou de chloroforme. Les vapeurs de la substance anesthésique provoquent d'abord une grande agitation chez l'animal, puis les mouvements deviennent de moins en moins actifs. Si on soustrait le crabe à l'action des vapeurs anesthésiques avant qu'il soit tout à fait paralysé, on pourra constater l'engourdissement des fonctions intellectuelles et la suspension des mouvements intentionnels : à ce stade, on obtient encore la rupture des pattes à l'endroit d'élection. Cette rupture paraît donc bien être ici un acte inconscient, dans la production duquel la volonté de l'animal n'a aucune part.

C'est un acte purement réflexe auquel président la masse nerveuse ventrale et les nerfs sensibles et moteurs de la patte. La rupture de la patte s'obtient chaque fois que le nerf sensible de la patte est vivement excité, soit mécaniquement, soit par une action chimique, soit par l'électricité, soit par la chaleur.

Excitation mécanique du nerf sensible de la patte. — Pour obtenir à coup sûr la rupture spontanée de la patte, il convient d'opérer de la façon suivante : on soulève un crabe vivant en le saisissant par le milieu d'une patte (au niveau du troisième article, par exemple), entre le pouce et l'index. Sur l'animal ainsi suspendu, le corps en bas, on coupe brusquement l'extrémité de la patte (au niveau du quatrième ou du cinquième article, par exemple) qui dépasse. L'excitation du nerf sensible, causée par la section, provoque immédiatement une violente contraction des muscles de la patte, qui se porte vivement dans l'extension forcée et casse aussitôt près de sa base au niveau du deuxième article. Le bout de patte reste entre les doigts de l'opérateur, le crabe tombe à terre et s'enfuit. On peut répéter la section sur chacune des dix pattes, et l'animal les rompra successivement lui-même.

L'expérience est plus étonnante encore si on place le crabe sur le dos, sans le suspendre et sans le fixer. L'animal cherche à se retourner ; pendant qu'il agite ses pattes, en signe de détresse, on coupe brusquement l'extrémité de l'une d'elles. Aussitôt la patte se porte

dans l'extension forcée, vient butter contre la carapace et casse à l'endroit d'élection.

Le nerf sensible de la patte paraît ne pas s'étendre jusqu'à l'extrémité de l'avant-dernier article et manquer totalement dans le dernier article (doigt mobile de la pince, griffe qui termine les autres pattes). Ces parties sont insensibles à la section : on peut impunément couper le doigt mobile de la pince ou la griffe et l'extrémité de l'avant-dernier article des autres pattes. La patte ne se détache que si l'on coupe à partir des trois quarts internes du cinquième article, ou plus près du corps. Il est bon de tenir compte de ce fait lorsqu'on veut saigner des crabes par la section des pattes. Ils laisseront tomber toutes leurs pattes si l'on coupe celles-ci autre part qu'à leur extrémité. Les moignons résultant de l'amputation spontanée ne saignent presque pas.

Pour être efficace, l'excitation du nerf par la section de la patte doit être brusque : il faut employer des ciseaux bien tranchants.

Excitant chimique. — Si l'on comprime lentement la patte entre les lames des ciseaux, on écrasera le nerf graduellement et l'on pourra arriver à opérer la section complète sans provoquer la rupture spontanée. Si l'on plonge alors l'animal entier dans un liquide irritant, de l'alcool par exemple, le nerf mis à nu sera excité, et l'on pourra dans quelques cas assister à la rupture de la patte.

Mon savant collègue Édouard van Beneden m'a raconté avoir plus d'une fois observé des faits analogues pendant son voyage au Brésil. De gros crustacés marins abandonnaient leurs pattes au moment où il les plongeait dans l'alcool (dans un but de conservation).

Excitant thermique. — Il suffit d'approcher une patte de la flamme d'une bougie pour qu'elle se rompe immédiatement à la base. H. Dewitz a cité le cas d'écrevisses qui cassèrent leurs pinces au moment où il les plongeait dans l'eau chaude. Il ne parvint malheureusement pas à réussir l'expérience une seconde fois.

Excitant électrique. — Si l'on soulève un crabe par une patte et qu'on applique la pince électrique à l'extérieur, sur le trajet du nerf sensible, par exemple au niveau de l'articulation entre le troisième et le quatrième article, la patte se rompt brusquement à l'endroit d'élection, au moment où l'on tétanise le nerf par des chocs d'induction (chariot de du Bois-Reymond).

Il n'est pas difficile de mesurer, au moyen de la méthode graphique, la durée du temps qui s'écoule entre l'excitation électrique du nerf et la rupture de la patte.

On suspend le crabe par la patte vers le milieu d'un levier horizontal muni d'un style écrivain. Le levier est mobile dans un plan vertical et écrit sur le cylindre enregistreur placé verticalement ; le levier est soutenu

par un fil de caoutchouc ou tout autre ressort dont l'élasticité fait équilibre au poids du crabe. Le ressort est chargé de relever brusquement le levier, en vertu de son élasticité, au moment où le crabe tombera et de faire tracer à la plume le signal de rupture de la patte sur le papier enfumé de l'appareil enregistreur. On inscrit sur le même cylindre tournant le signal de rupture de la patte et le signal d'excitation électrique du nerf, au moyen de l'appareil Marcel Deprez. Le retard du premier signal sur le second correspond au temps qui s'écoule entre l'excitation du nerf et la section de la patte. Ce temps m'a paru extrêmement variable : depuis quelques centièmes de seconde jusqu'à une seconde entière et davantage.

A quel centre nerveux aboutit l'excitation provoquée dans le nerf sensible de la patte? Ce ne peut être qu'à la masse ventrale, puisque l'expérience d'autotomie réussit tout aussi bien après destruction des ganglions sus-œsophagiens. Dès qu'on enlève la masse nerveuse ventrale, on supprime au contraire la réaction de rupture. On peut alors couper successivement toutes les pattes, exercer en même temps sur elles de fortes tractions, sans obtenir une seule fois la cassure si caractéristique qui se produit sur l'animal intact.

Comme contre-épreuve, j'ai essayé à plusieurs reprises de porter l'excitant électrique sur la masse nerveuse ventrale; dans un cas, j'ai pu provoquer la rupture d'une patte par irritation directe des ganglions de la masse ventrale.

L'amputation des pattes par voie réflexe suppose donc l'intégrité physiologique des parties suivantes : 1° voie nerveuse centripète : les fibres sensibles du nerf mixte de la patte; 2° centre nerveux réflexe : la masse ganglionnaire ventrale, chez les crabes, la chaîne ventrale chez les macroures; 3° voie nerveuse centrifuge : les nerfs moteurs des muscles dont la contraction provoque la cassure de la patte.

Il nous reste à étudier cette action musculaire et à déterminer par quel mécanisme s'opère la rupture.

Comme l'a montré Milne Edwards dans ses belles recherches sur l'histoire naturelle des crustacés, chaque article d'une patte de crabe est constitué par une coque dure en forme d'étui plus ou moins cylindrique.

L'articulation de deux tubes voisins est disposée de façon à ne permettre que des mouvements de flexion ou d'extension. Les bases de deux articles voisins ne sont ni planes ni circulaires; elles ne se touchent que par deux points en saillie, situés aux extrémités du grand diamètre de cette base (axe de l'articulation). Ces deux points de contact servent comme de charnière à l'articulation. Les mouvements de flexion et d'extension de chaque article sur le précédent sont produits par l'action de deux muscles, un fléchisseur et un extenseur. Les fibres de ces muscles s'insèrent sur

un tendon chitinisé qui aboutit à l'extrémité proximale de l'article à mouvoir; d'autre part, elles se fixent à la face interne de l'article précédent. Ainsi, pour prendre un exemple, l'extenseur et le fléchisseur du cinquième article sur le quatrième se fixent, d'une part, à la base de ce cinquième article et, de l'autre, sur toute la surface interne du quatrième article qu'ils remplissent presque complètement.

Le second article de la patte, au niveau duquel se fait la rupture, est constitué sur le même plan général. Il s'articule avec le premier article par deux saillies situées aux extrémités d'un diamètre de sa base; c'est l'axe de l'articulation, autour duquel le second article exécute sur le premier des mouvements très étendus d'extension ou de flexion.

L'extenseur *a* et le fléchisseur *b* (fig. 23) s'attachent au bord proximal du second article, suivant les extrémités

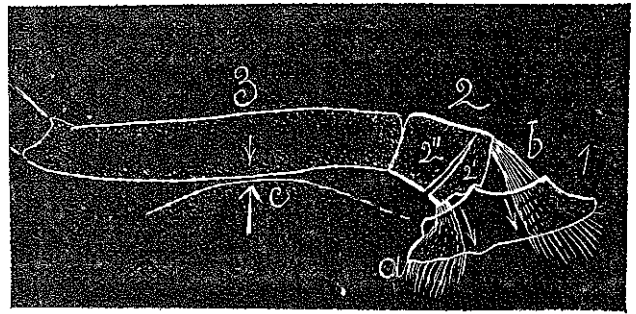


Fig. 23. — (Demi-schématique) destinée à illustrer le mécanisme de la cassure du deuxième article de la patte du Crabe ou de la Langouste. L'animal est placé sur le dos; la figure représente une patte de droite, vue par sa face postérieure.

1, Premier article logeant le fléchisseur *b* et l'extenseur *a* du deuxième article.

2, Deuxième article; la fente entre 2' et 2'' indique le niveau de la rupture du deuxième article.

3, Troisième article.

c, Carapace contre laquelle vient butter la patte par les contractions de l'extenseur *a*. La patte étant fixée, le muscle continue à se contracter et sépare 2' de 2''.

d'un diamètre perpendiculaire à l'axe de l'articulation. Ces deux muscles s'insèrent donc sur la partie du second article qui n'est pas soutenue par le premier article et qui porte à faux. Tous deux interviennent probablement dans la rupture de la patte, mais l'expérience directe prouve que l'extenseur seul est indispensable.

On peut, au moyen de ciseaux fins et pointus, que l'on glisse sous la membrane articulaire, sectionner le tendon du fléchisseur, sans empêcher ultérieurement le réflexe de rupture. Au contraire, la section isolée du tendon de l'extenseur, pratiquée par le même procédé, m'a paru supprimer dans tous les cas le phénomène de cassure réflexe de la patte. Ce muscle est donc indispensable à cette cassure.

Voici comment je me rends compte de son mode d'action. (Voir fig. 23, qui représente schématiquement l'action du muscle extenseur *a* et du fléchisseur *b*.) Dès qu'on irrite le nerf sensible d'une patte, on provoque

par voie réflexe une contraction énergique de l'extenseur (*a*) du deuxième article et probablement d'autres muscles, ce qui amène une extension forcée de la patte. La patte vient alors butter contre le bord de la carapace (en *c*, fig. 23), où son mouvement d'extension se trouve arrêté. L'extrémité distale 2' du deuxième article participe forcément à ce mouvement et se trouve fixé immédiatement de cette façon. Le muscle extenseur *a*, continuant à se contracter, exerce une traction sur la partie proximale 2' (en forme d'anneau) du deuxième article et finit par la séparer de la portion distale 2' qui se trouve retenue. Il existe là un sillon circulaire, entaillant plus ou moins profondément la paroi du deuxième article surtout à sa face interne, et constituant un *locus minoris resistentiæ* au niveau duquel s'effectue la rupture.

La condition *sine quâ non* de la rupture est donc l'intégrité du muscle extenseur (*a*) du deuxième article. Il faut également que la patte et la partie distale du deuxième article trouvent un point d'appui résistant soit contre la carapace de l'animal, soit entre les doigts de l'expérimentateur qui a saisi la patte.

L'utilité du réflexe d'autotomie saute aux yeux. D'ailleurs, le profit que le crabe retire du sacrifice de sa patte est double : d'abord il échappe à un ennemi sérieux, puisque ce dernier avait entamé la coque dure de la patte et atteint le nerf sensible. En outre, il n'est pas exposé à périr d'hémorragie. La plaie formée par la cassure ne saigne presque pas; je crois qu'il faut attribuer cette absence d'hémorragie à la contraction persistante du muscle extenseur; ce muscle, gonflé par la contraction tonique, bouche l'orifice qui correspond à la cavité de la patte, et ne permet pas au sang de s'écouler.

La coque du deuxième article, les nerfs et les vaisseaux sont déchirés; mais les muscles, paraissent intacts : ceux qui meuvent le deuxième article sur le premier restent en entier dans le moignon qu'ils fixent solidement et dont ils empêchent l'hémorragie. Ceux qui meuvent le troisième article sur le second paraissent entièrement contenus dans la partie caduque.

On sait avec quelle facilité les pattes des crustacés repoussent quand elles ont été arrachées. On trouve fréquemment des crabes présentant une ou plusieurs pattes de formation récente, plus petites que les autres. Chez eux, la patte nouvelle est greffée sur le moignon de l'ancienne, au niveau du milieu du deuxième article. C'est donc également là que se fait la rupture chez l'animal vivant à l'état de nature.

Outre le homard, l'écrevisse, la langouste et les différents crabes que j'ai cités précédemment, j'ai observé la rupture des pattes chez le Bernard l'Hermitte (*Pagure*) et chez les *Palæmon* et *Crangon*.

La rupture ne présente pas le même caractère

étrange chez tous ces crustacés. Ainsi c'est par des contractions musculaires, généralisées par de violentes secousses imprimées à tout le corps, que le homard, dont on pince une des quatre dernières pattes, se délivre en arrachant la patte au niveau de l'articulation entre le basipodite et l'ischiopodite. L'animal me paraît incapable de provoquer cette rupture à la façon du crabe, par la contraction d'un seul ou d'un petit nombre de muscles.

III.

AUTOTOMIE CHEZ LES INSECTES.

Les Orthoptères sauteurs, les Diptères à longues pattes comme les Tipules, quelques Hémiptères, et beaucoup d'autres insectes sans doute, perdent leurs pattes avec la plus grande facilité. Les expériences suivantes montrent que chez les sauterelles la rupture des pattes se fait par autotomie, c'est-à-dire par voie réflexe inintelligente. Si l'on maintient une sauterelle par une des pattes de derrière, en la saisissant, par exemple, à l'extrémité distale de la grosse cuisse (ou fémur), près de l'articulation avec la pièce appelée tibia, l'animal fera des efforts pour s'échapper, mais ne rompra pas la patte à moins que l'on n'ait serré trop fort et froissé les nerfs sensibles. Dans ce dernier cas la rupture s'obtient immédiatement au niveau de l'articulation du fémur avec le trochanter. La partie caduque comprend donc le fémur, le tibia et le tarse. Comme chez le crabe, la meilleure façon de provoquer la rupture consiste à soulever l'insecte en le saisissant délicatement par une cuisse, et à couper brusquement, aux ciseaux, l'extrémité distale de celle-ci. La cuisse se détache immédiatement à sa base et l'animal tombe à terre. On peut répéter l'expérience avec le même succès sur l'autre patte de derrière. Les deux premières paires de pattes, au contraire, beaucoup plus courtes que la dernière, ne présentent pas le phénomène de la cassure.

De même que chez les Crustacés, c'est la chaîne ganglionnaire ventrale qui préside aux réflexes d'autotomie. Les grosses pattes du saut se rompent tout aussi facilement chez une sauterelle décapitée que chez l'animal intact.

Du reste, la chaîne ganglionnaire ventrale des insectes représente une série de centres nerveux capables de provoquer des mouvements réflexes ou automatiques parfaitement coordonnés. La sauterelle décapitée conserve son attitude normale, se retourne quand on la met sur le dos, continue à respirer régulièrement, etc. Si on lui pince légèrement l'abdomen, les pattes sauteuses se défont avec ensemble et font décrire au tronc un bond qui ne le cède en rien à ceux qu'exécute l'animal intact. Tout le monde sait qu'une guêpe décapitée peut continuer à bourdonner, c'est-à-

dire à exécuter des mouvements des ailes régulièrement coordonnés. L'expérience peut même réussir sur un corselet de guêpe isolé avec pattes et ailes, mais privé de tête et d'abdomen.

Le bénéfice que la sauterelle retire de son sacrifice involontaire est du même genre que chez le crabe. L'animal échappe au danger d'être immédiatement détruit. Cependant les pattes, une fois tombées, ne repoussent pas : une sauterelle, privée d'une ou de deux pattes de derrière, sera donc pour toujours estropiée, et infiniment plus exposée aux causes de destruction que l'animal entier et intact. Mais, comme la durée de l'existence de l'insecte parfait est, en général, assez courte, il suffit, dans beaucoup de cas, que la vie soit prolongée pendant quelques jours pour que les produits sexuels arrivent à maturité et assurent la propagation de l'espèce. Peu importe ensuite que l'individu périsse ou reste en vie.

IV.

AUTOTOMIE CHEZ LES ARACHNIDES.

Mes expériences ont été faites sur des *Phalangium*, sur des *Epeira diadema* et sur quelques autres araignées communes. Ici aussi, l'animal peut être maintenu captif par une ou plusieurs pattes, sans qu'il songe à les briser, si l'on a soin d'éviter tout froissement qui pourrait irriter les nerfs sensibles. Ici aussi, l'animal soulevé par le milieu d'une patte entre le pouce et l'index rompt celle-ci à la base dès qu'on en sectionne l'extrémité au moyen de ciseaux. C'est un cas d'autotomie des mieux caractérisés. Comme chez les Crustacés et les Insectes, les moignons fort courts, résultant de l'amputation provoquée, ne saignent pas.

A l'exemple de M. Parize, j'ai présenté à des Faucheurs, à des Épeires et à plusieurs autres espèces d'araignées des allumettes enduites de matière poisseuse (emplâtre à la glu, baume de Canada épaissi), de manière à faire adhérer une ou plusieurs pattes. Aucun des animaux retenus de cette façon n'a abandonné une seule de ses pattes.

V.

AUTOTOMIE CHEZ LES REPTILES.

Chez l'orvet, la rupture de la queue est également provoquée par une contraction musculaire et n'est pas due uniquement à la fragilité exagérée de cet appendice, comme pourraient le faire supposer les noms *Anguis fragilis* et *serpent de verre*. Je citerai d'abord l'expérience suivante, faite sur un orvet dont la mort remontait à vingt-quatre heures, et dont les muscles et les nerfs étaient définitivement paralysés. Je fixe à l'ex-

trémité de la queue, au moyen de bandelettes collodonnées, un lien auquel je suspends un petit plateau de balance que je charge de poids. Je suis obligé d'exercer une fraction de plus de 490 grammes avant de rompre la queue. L'orvet pesait 19 grammes; il a donc fallu, pour arracher la queue, un poids vingt-cinq fois plus fort que celui de l'animal entier.

L'orvet vivant se comporta tout autrement. Suspendu par la queue la tête en bas, il se tordit dans différentes directions, mais sans chercher à s'échapper par la rupture de la queue. J'irritai alors vivement l'extrémité de la queue, en l'amputant par une section brusque au moyen de ciseaux tranchants. Aussitôt la portion de queue située au-dessous du point par lequel l'orvet était suspendu exécuta une série de mouvements de latéralité, ayant pour résultat de détacher complètement l'animal, qui tomba à terre et s'enfuit.

Je repris l'animal et le maintins suspendu en le saisissant par l'extrémité du reste de la queue, que je froissais vivement entre les doigts. L'animal se brisa de nouveau immédiatement au-dessous du point saisi, par le même mécanisme de contractions alternatives du côté droit et gauche du corps. Je crois donc qu'il s'agit ici, comme chez le crabe, d'une rupture active, d'un mouvement musculaire provoqué par voie réflexe, à la suite d'une vive irritation des nerfs sensibles de la queue.

Les fragments de queue enlevés par les ciseaux ou amputés par l'animal frétilent pendant plusieurs minutes, exécutant des mouvements oscillatoires d'incurvation alternativement à droite et à gauche.

J'ai constaté au microscope que, dans la queue brisée de l'orvet, la rupture des muscles s'était partout opérée au niveau des tendons, et jamais dans la substance contractile des fibres charnues.

Chez les lézards, la queue se brise également avec la plus grande facilité. On peut retenir un lézard vivant, par la queue entre le pouce et l'index, à condition d'éviter soigneusement tout froissement. Dès qu'on irrite, même légèrement, l'extrémité de cet appendice, il se rompt immédiatement à la base.

Il serait intéressant de déterminer quelles sont les parties du système nerveux central qui président chez les lézards et l'orvet à l'autotomie de la queue. On sait qu'elle repousse avec facilité.

VI.

Comme on vient de le voir, les faits de mutilation active, mais inconsciente, réflexe, s'observent chez un assez grand nombre d'animaux appartenant à des groupes zoologiques variés. L'orvet, les lézards brisent leur queue; beaucoup de crustacés, d'araignées et d'insectes cassent leurs pattes avec la plus grande facilité et sauvent leur vie en faisant le sacrifice d'un ou

de plusieurs membres. La rupture si fréquente des bras des Comatules et des Ophiures n'est-elle pas également un cas d'amputation provoquée activement? Je suis persuadé que les exemples de ce curieux moyen de défense se multiplieront lorsque l'attention des naturalistes aura spécialement été attirée sur ce point. Peut-être le rencontrera-t-on chez tous les animaux de petite taille à extrémités dures et très grêles. Ces faits de mutilation active constituent un phénomène tellement étrange, qu'on me pardonnera sans doute d'avoir, pour les désigner, forgé un mot nouveau à signification précise, celui d'*autotomie*.

LÉON FREDERICQ.

PHYSIQUE

Voyage à la surface d'une goutte d'eau (1).

Dans ce voyage à la surface d'une goutte d'eau, je ne veux faire ni une excursion de naturaliste, ni des fouilles de chimiste, mais une simple promenade de physicien avec un peu de géométrie topographique.

Il est vrai que le terrain sur lequel je me propose de cheminer peut paraître bien bizarrement choisi, à deux points de vue tout au moins.

D'abord, il est généralement réputé peu solide; mais c'est là justement la grave erreur que je voudrais combattre. En second lieu, il est certainement bien restreint, presque microscopique; seulement, avec l'aide de ces appareils de projection, j'espère agrandir assez notre goutte d'eau pour en rendre tous les détails de forme et de couleur visibles, même au loin, et puis, pour les démonstrations théoriques, je vous prierai d'armer votre imagination d'un microscope infiniment plus puissant que le mien, capable de grossir notre goutte d'eau jusqu'aux dimensions du globe terrestre. Notre esprit est ainsi fait, heureusement, qu'il sait (on l'a dit depuis longtemps) contempler l'infini jusque dans un raccourci d'atome. Or, vis-à-vis de notre goutte d'eau, nous sommes encore bien loin de ce cas extrême.

Enflons-la, en effet, dans l'énorme proportion que j'indiquais tout à l'heure et les dernières petites particules semblables qui la font ce qu'elle est, ses homéométries, comme disaient Anaxagore et après lui Lucrèce, ses molécules, comme disent les physiciens contemporains, n'atteindront point encore, si nous en croyons les calculs du mathématicien Thomson, les dimensions d'un grain de plomb. C'est vous dire s'il y en a des myriades à la surface de notre goutte d'eau, si c'est là un terrain bien peuplé et, de plus, fertile en révolu-

tions, qui se traduisent, pour nos sens, par mille phénomènes physiques des plus variés.

Toutes les énergies de la nature, en effet, peuvent se rencontrer dans la fine enveloppe qui entoure une goutte d'eau :

Énergie mécanique, dont la force a été évaluée algébriquement par Laplace et mesurée en grammes et en milligrammes par les physiciens contemporains; en France, par Athanase Dupré, MM. Duclaux et Terquem; en Belgique, par Plateau et Van der Mensbrugge; — énergie acoustique, notée par Savart, dans une veine liquide et due aux déformations de l'enveloppe des gouttelettes qui tombent; — énergie calorifique évidente, due au déplacement des molécules qui abandonnent la surface pour rentrer dans le rang ou qui remontent dans la couche superficielle; — énergie lumineuse, devinée déjà par Lucrèce, entrevue expérimentalement dans les bulles de savon par Boyle et Hooke et laissée en somme par Newton aux investigations définitives de deux hommes de génie, Young et Fresnel; — enfin énergie électrique, étudiée récemment par M. Lipmann.

Toutes ces énergies de la nature, avec leurs transformations réciproques les unes dans les autres, peuvent être manifestées dans la fine membrane de moins d'un dix millième de millimètre d'épaisseur qui entoure une goutte d'eau. Nous ne descendrons pas certainement à une plus grande profondeur, comme j'espère vous le montrer à la fin de cette causerie; de plus, nous nous bornerons à ce que l'on peut voir en une heure, c'est-à-dire à l'étude rapide de l'énergie mécanique, parce qu'elle est la source de toutes les autres et à l'examen plus rapide encore de l'énergie lumineuse, parce que coloré étant, pour le physicien, synonyme de mince, les couleurs de notre goutte d'eau pourront nous révéler la finesse extrême de sa membrane enveloppante.

Pour marcher plus vite, plus commodément et avec plus de profit, nous nous aiderons d'un fil directeur, qui nous empêchera de dévier à droite ou à gauche : *la théorie de la tension superficielle*. Nous aurons recours à une vieille conception de l'universel docteur anglais, Thomas Young, remise en honneur par les physiciens contemporains. Ce génie intuitif qu'on peut placer, peut-être, en parallèle avec le génie déductif de Laplace, imagina d'expliquer les phénomènes exceptionnels que présentent les petites masses liquides isolées, en admettant qu'elles sont entourées d'une mince membrane élastique, en tout pareille à une enveloppe de caoutchouc, moins dense que les couches plus profondes, capable d'adhérer parfaitement à ces couches et aussi plus ou moins fortement aux corps solides; en sorte que le petit sac contractile qui entoure une goutte d'eau la tient suspendue aux branches des arbres et aux tuiles des toits jusqu'à ce que le poids de son contenu triomphe de sa tension superficielle.

(1) Conférence de l'Association scientifique et littéraire de Caen