



CATHERINE JESSUS
et VINCENT LAUDET

Les vies minuscules d'Édouard Chatton

CNRS EDITIONS

Présentation de l'éditeur



Apparus sur notre planète il y a plus d'un milliard d'années, on les trouve aujourd'hui dans toutes les eaux, dans tous les sols et même au sein d'autres êtres vivants. Jouant un rôle essentiel pour les grands équilibres de la Terre, ils adoptent toutes sortes de formes et de couleurs, changent d'aspect au rythme de spectaculaires métamorphoses, nagent, rampent, s'accrochent à un support ou se laissent flotter au gré des courants... Fascinants et magnifiques, ils sont également si minuscules que nous ne les voyons pas.

Ni bactéries, ni virus, ce sont les protistes, des êtres microscopiques formés d'une seule cellule. Il y a un siècle, un chercheur génial les a passionnément étudiés : Édouard Chatton, formé à l'Institut Pasteur, professeur des universités de Strasbourg, de Montpellier et de la Sorbonne, directeur des stations marines de Sète, puis de Villefranche-sur-Mer et de Banyuls-sur-Mer. Fasciné par la beauté étrange et mystérieuse de ces protistes, il en a percé les secrets intimes, faisant émerger au passage des concepts visionnaires qui ont fourni des cadres à la biologie contemporaine, et les a dessinés avec talent. Originaux, colorés, chargés d'une merveilleuse beauté autant que d'exactitude scientifique, voici les dessins qui vous feront plonger dans ces mondes infinitésimaux dont Édouard Chatton a été le fabuleux explorateur.

Catherine Jesus est directrice de recherche au CNRS. Elle a dirigé le Laboratoire de biologie du Développement à Sorbonne Université, et l'Institut des Sciences biologiques (INSB) du CNRS. Elle a dirigé l'ouvrage Étonnant vivant (CNRS Éditions, 2017).

Vincent Laudet a dirigé, comme Édouard Chatton, la station marine de Banyuls-sur-Mer. Il est professeur de Biologie Marine à Okinawa Institute of Science and Technology (OIST) au Japon.

Catherine Jessus et Vincent Laudet

Les vies minuscules d'Édouard Chatton

Préface de Tim Hunt,
Prix Nobel de Physiologie ou Médecine

Postface de Nathalie Gallissot

CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche - 75005 Paris

Dans la collection « Étonnant vivant »
dirigée par Catherine Jessus

Maquette de couverture : © Sylvain Collet

© CNRS éditions, Paris, 2020
ISBN : 978-2-271-13498-1

*À notre collègue et ami,
le protistologue Hervé Moreau*

*« Là où le télescope s'arrête,
le microscope commence ; qui peut dire
lequel offre la vision la plus grandiose ? »*

VICTOR HUGO

Préface

Je n'avais jamais entendu parler d'Édouard Chatton jusqu'à ce que mon nouveau collègue, Vincent Laudet, me montre ses magnifiques dessins et me parle de la préparation de l'ouvrage qui le célèbre. Je regrette profondément de n'avoir jamais visité la station marine de Banyuls que Chatton a dirigée à l'époque de la Seconde Guerre mondiale. Et je ne m'étais jamais demandé, même un instant, qui avait séparé les procaryotes des eucaryotes et créé ces termes. Dès lors, sachant à quel point cette distinction est ancrée dans la vision que les biologistes d'aujourd'hui se font du monde, j'ai été très surpris de découvrir les grands microbiologistes Roger Stanier et C. B. van Niel discutant, sérieusement et longuement, pas plus tard qu'en 1962, du « Concept de la Bactérie¹ » et attribuant à Chatton le mérite d'avoir fait de la distinction entre cellules avec ou sans noyau le socle fondamental de la classification des êtres vivants. Et les preuves, que vous pourrez découvrir dans cet ouvrage, sont plutôt convaincantes. Bien sûr, en 1925 et même en 1938, l'importance de la chromatine et de l'ADN n'était qu'un lointain futur, et je suppose que les questions de transmission et de variabilité des procaryotes étaient alors absolument énigmatiques. Inutile donc, à cette époque, de se perdre en conjectures.

Mais Chatton a été bien plus qu'un honnête classificateur – de fait, la question précédente semble avoir plutôt été pour lui une simple parenthèse – car comme Catherine Jessus le montre très bien, il a été un merveilleux scientifique, passionné par son domaine de spécialité, à savoir les micro-organismes eucaryotes, et parmi eux, les créatures que j'ai été contraint d'étudier, comme les amibes, les euglènes, les spirogyres et Volvox. À l'époque, ils servaient à illustrer l'émergence de l'être humain depuis ses origines unicellulaires, ou, plus curieusement, l'évolution des plantes à fleurs *via* les fougères et les

mousses. Je me débats encore aujourd'hui avec la succession de ces générations, sporophyte, gamétophyte et endosperme triploïde. L'un des plus beaux (et des plus ingénieux) dessins de Chatton est la Planche 14, sur la reproduction sexuelle des plantes. Je rêve que mon professeur de biologie à l'école en ait eu connaissance, et ait pu me la transmettre. La description de cette planche est d'ailleurs magnifiquement claire.

Je ne pense pas qu'on en sache beaucoup sur les cours que ces superbes images illustrent, mais il existe une donnée tout à fait frappante. J'ai été extrêmement surpris de trouver le nom d'André Lwoff, co-auteur de plusieurs publications de Chatton – s'agit-il du même Lwoff, récipiendaire du Prix Nobel, qui a découvert que les rayons UV induisaient l'activation des phages dans les bactéries lysogènes? En effet, c'est bien lui, et on découvre qu'il a fait ses dents scientifiques, si l'on peut dire, sous la direction de Chatton. Mais ce n'est pas tout, car un autre grand scientifique, Jacques Monod, a fait également des débuts de protistologue en étant fréquemment en contact avec Chatton. Ce ne peut pas être une coïncidence. Chatton a dû être un grand maître, ou un modèle magnifique, pour ceux dont l'intelligence était à même d'apprécier sa formidable puissance d'analyse et son attachement rigoureux à la vérité scientifique. Sans parler de ses talents artistiques. J'ai imprimé le tableau qu'il a fait de son laboratoire, avec vue sur la mer. C'est très beau.

Alors, un grand merci aux éditeurs et auteurs de cet ouvrage pour avoir réanimé ce formidable biologiste, presque entièrement tombé dans l'oubli. Je salue la mémoire d'Édouard Chatton!

Tim Hunt,
Prix Nobel de physiologie ou médecine, Septembre 2020

1. Roger Yate Stanier et Cornelis Bernardus van Niel, «The concept of a bacterium». 1962. *Arch. Mikrobiol.*, vol. 42, p. 17-35.

Chapitre 1

Édouard Chatton ou la passion de la biologie

« Il ne m'appartient pas de dire ce qu'ont été mes enseignements de Biologie Générale, de Zoologie et de Protistologie, à Strasbourg et à Montpellier. Pour mieux les mettre à la portée de mes élèves, j'ai composé et entièrement dessiné à la main, 125 planches murales de 1,60 m sur 1,10 m¹. »

Celui qui explique dans son mémoire scientifique en 1937 le procédé pédagogique qu'il a créé et qui préfigure les diapositives et diaporama utilisés dans les amphithéâtres d'aujourd'hui est le professeur Édouard Chatton. Les planches qu'il évoque ont longtemps été oubliées dans la poussière des greniers du laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer dont il a été le directeur de 1937 à 1947, jusqu'à ce qu'elles soient sauvées *in extremis* en 1984. Alors qu'elles devaient être évacuées à la décharge lors d'un nettoyage des greniers, Marie-Odile Soyer-Gobillard et André Lwoff y reconnaissent la main d'Édouard Chatton. Les planches sont archivées au laboratoire Arago de Banyuls, au Museum d'Histoire naturelle de Perpignan et au Museum national d'Histoire naturelle à Paris. Sauvées certes, mais toujours à l'abri des regards, à l'exception de certaines qui sortent de leurs placards à la faveur de quelques expositions. Originales, colorées, furieusement esthétiques, elles représentent une foultitude d'êtres microscopiques marins, souvent formés d'une seule cellule* à l'architecture sophistiquée, dont les structures étranges et énigmatiques sont illustrées avec un luxe de détails. Chargées d'une merveilleuse beauté autant que d'une exactitude scientifique rigoureuse, elles sont hélas restées confinées sans la diffusion qu'elles méritaient, à l'égal de celles d'Ernst Haeckel, de John James Audubon ou de Georges de Buffon. La raison en tient peut-être à ce

qu'originellement, elles n'étaient destinées qu'à servir de support à des cours et n'avaient pas été conçues pour étayer des publications de recherche ou des ouvrages à destination du grand public.

L'oubli dans lequel a été plongé leur auteur, Édouard Chatton, est tout aussi injuste. Son œuvre scientifique, considérable et visionnaire, est toujours d'actualité. C'est lui qui a distingué et baptisé les deux grands types cellulaires qui fondent le vivant, celui des cellules sans noyaux* (les procaryotes*) et celui des cellules nucléées (eucaryotes*). Cette distinction fondamentale qui fournit un cadre à la biologie cellulaire est aujourd'hui parée d'une évidence qui nous a fait oublier les capacités d'observation et de conceptualisation de l'esprit curieux et ouvert à l'origine de cette découverte.

Fasciné par les êtres unicellulaires* du monde marin, Édouard Chatton en a étudié le fonctionnement avec passion et précision et a dégagé des théories sur leur évolution* et leur hérédité à travers l'étude de leurs divisions*, de leur sexualité*, de leur cycle de vie*, de la genèse de leurs incroyables architectures cellulaires. Tout cela se retrouve dans les planches qu'il dessine pour ses étudiants. Impossible de dissocier ces magnifiques tableaux de cours de leur auteur, et de rendre hommage aux dessins sans évoquer sa vie et son œuvre scientifique.

1. Édouard Chatton, *Titres et Travaux scientifiques (1906-1937)*. 1937. Imprimeur Sottano, Sète.

De l'écllosion d'une vocation naturaliste à Belfort aux débats biologiques parisiens (1883-1901)

Rien dans les origines d'Édouard Chatton ne semble le prédestiner à la passion des êtres microscopiques marins qui animera toute sa vie. C'est en effet bien loin de la mer qu'il voit le jour, en 1883, à Romont, en Suisse, non loin de Fribourg, entre les lacs de Neuchâtel et Léman, à une cinquantaine de kilomètres de la frontière avec la France. Il est suisse par son père, Léon Chatton, et français par sa mère, Berthe Merle. La famille s'installe dans la ville natale de Berthe, Belfort, alors qu'il est adolescent et il y effectue ses études secondaires (Figure 1). Influencé et initié par un grand-père naturaliste avec lequel il herborise lors de promenades autour de Belfort (Figure 2), il s'oriente vers l'étude des sciences naturelles et rejoint la faculté des Sciences de Paris en 1901.

La période est le siège de débats scientifiques animés entre biologistes de courants différents. Cette année-là a vu le décès d'une figure tutélaire de la biologie française, le professeur Henri de Lacaze-Duthiers. Contraint d'abandonner ses activités de médecin pour avoir refusé de faire allégeance à Napoléon III, il s'est réorienté vers la biologie et est devenu spécialiste de la faune marine. Sa pensée et ses approches imprègnent profondément la communauté des biologistes universitaires. Son école a jeté les prémices d'une zoologie moderne, grâce à l'émergence d'études expérimentales menées en labora-

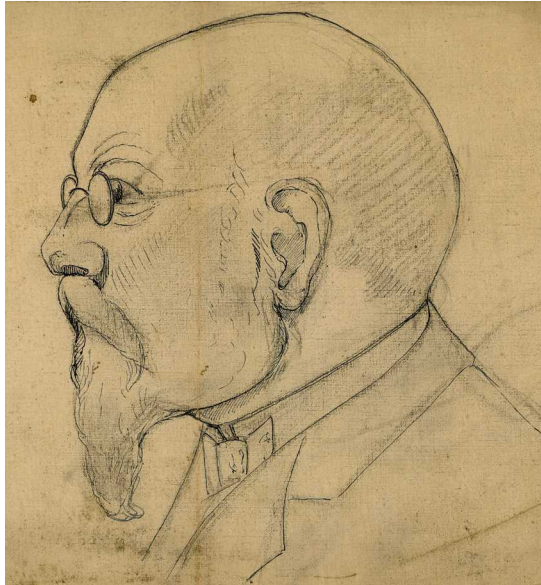


Figure 1. Édouard Chatton adolescent, en famille. De gauche à droite, assis: Édouard Chatton, sa grand-mère, sa mère et son père. À l'arrière-plan, debout: son grand-père.



Henri de Lacaze-Duthiers (1821-1901).

Né dans le Lot-et-Garonne, il étudie la médecine à Paris et obtient le titre de docteur en médecine en 1851. Ayant refusé de prêter serment après le coup d'État de Louis-Napoléon-Bonaparte en 1852, il est contraint de quitter ses fonctions et obtient un doctorat ès Sciences l'année suivante. Il se lance dans l'étude des organismes marins et devient professeur de Zoologie de l'université de Lille, puis maître de conférences à l'École normale supérieure de Paris. En 1865, il obtient la Chaire d'histoire naturelle des mollusques, des vers et des zoophytes du Museum national d'Histoire naturelle. Il fonde deux laboratoires de biologie marine, celui de Roscoff en 1872 et celui de Banyuls, qu'il nomme laboratoire Arago, en 1882. Il est également le fondateur de la revue *Archives de Zoologie expérimentale et générale*. Il s'intéresse à la description de nombreux invertébrés marins, en particulier les mollusques. Il a pour élèves Georges Pruvot, qui se réorientera vers l'océanologie côtière dont il posera les premiers principes, Alfred Giard, qui introduira timidement le darwinisme* dans les cours d'évolution, Edmond Perrier, futur directeur du Museum, qui continuera à propager la doctrine transformiste* en restant résolument anti-darwiniste, ou Yves Delage, qui lance véritablement les premières approches expérimentales qui caractérisent la zoologie moderne. Édouard Chatton sera formé par ses élèves, notamment Yves Delage ou Georges Pruvot, et par ceux d'Alfred Giard, Maurice Caullery et Félix Mesnil. Durant toute sa vie, il tirera profit de la riche documentation d'Henri de Lacaze-Duthiers, archivée à Banyuls.



Alfred Giard (1846-1908).

Élève de l'École normale supérieure de Paris, docteur ès Sciences en 1872, il est formé dans le laboratoire d'Henri de Lacaze-Duthiers pour lequel il était préparateur. Il devient professeur à l'université de Lille et fonde la station marine de Wimereux en 1874. Il est ensuite nommé maître de conférences à l'École normale supérieure de Paris puis professeur titulaire de l'université de la Sorbonne. Ses travaux sont essentiellement dédiés aux insectes, mais il enseigne aussi la biologie marine. Il compte parmi ses élèves Maurice Caullery et Félix Mesnil. En 1888, il obtient la charge du premier cours consacré à l'évolution à l'université de la Sorbonne. Il y dispense une combinaison d'idées néo-lamarckiennes* (transformisme) et darwiniennes (sélection naturelle). Il remporte la lutte avec les tenants universitaires anti-darwiniens et obtient que la chaire dont il est titulaire soit intitulée «Évolution des Êtres organisés». Son cours joue un rôle considérable dans la diffusion de la théorie de l'évolution en France, en faisant néanmoins la place belle au transformisme néo-lamarckien comme moteur. Édouard Chatton reçoit ce type d'enseignement universitaire lors de son arrivée à Paris. À la mort d'Alfred Giard, cette chaire est reprise par son élève, Maurice Caullery, qui fait évoluer l'enseignement qui y est dispensé, l'ouvrant progressivement à la théorie darwinienne et y introduisant la génétique mendélienne.

toire. Néanmoins, ses élèves sont restés les tenants de la grande tradition biologique issue de Georges Cuvier, Henri de Blainville ou Armand de Quatrefages : établir le catalogue exhaustif de la morphologie comparée de tous les êtres vivants grâce à l'analyse minutieuse de leur structure. Ce cadre conceptuel ne permet pas d'aborder certaines questions biologiques modernes dont les bases ont pourtant déjà été jetées en France par Jean-Baptiste de Lamarck ou Georges de Buffon. Les grandes questions de l'origine de la vie, de l'évolution des espèces, des mécanismes de l'hérédité, de la signification de la sexualité animent les biologistes allemands, anglais et américains, mais trouvent un faible écho en France, si ce n'est une franche hostilité de la part de son *establishment* universitaire.

En particulier, l'évolution est toujours considérée comme guidée par le « transformisme* » de Lamarck, qui veut que les êtres vivants évoluent en réponse au milieu environnant en créant de nouveaux caractères adaptés à ses conditions changeantes. Lamarck est le premier à proposer que les êtres vivants dérivent les uns des autres par un mécanisme d'évolution naturelle à partir



Figure 2. Édouard Chatton, à droite, avec sa boîte à herboriser.

d'un ou de quelques ancêtres communs. D'après lui, leur organisation se complexifierait progressivement sous l'effet d'une dynamique interne; mais surtout, la diversification des êtres vivants, et donc l'apparition de nouvelles espèces, résulterait d'une adaptation à leur milieu qui « transforme » leurs organes ou leurs comportements, ces transformations étant ensuite léguées de façon héréditaire à leurs descendants. Charles Darwin a adopté l'hypothèse d'une évolution naturelle, postulée un demi-siècle auparavant par Lamarck. Mais il propose que la diversification des êtres vivants, et donc l'apparition de nouvelles espèces, obéit plutôt à une sélection naturelle: au sein d'une même espèce, seuls les descendants des individus les mieux adaptés à leur environnement survivent et se reproduisent, transmettant à leur descendance les caractères utiles qui ont contribué à leur survie. Ces caractères deviennent ainsi prédominants au sein d'une population, formant

avec le temps une nouvelle espèce dominante. Si la théorie darwinienne se répand rapidement parmi les scientifiques européens comme étant le socle de l'évolution, elle est pourtant contestée par la communauté scientifique française. De même, les lois de la génétique* établies par Mendel (Planches 16 à 18) et qui fournissent une base rationnelle à l'hérédité qui sous-tend les mécanismes de l'évolution, sont peu diffusées. La France accumule du retard et menace de rater ce grand tournant de la biologie en restant limitée à des inventaires anatomiques et morphologiques.

Au moment où Édouard Chatton arrive à Paris, un courant de pensée fondé sur les nouvelles notions qui bouleversent la biologie s'est développé. Le professeur Alfred Giard ébranle quelque peu la règle qui instaure le fait anatomique en unique préoccupation, introduit en France la théorie darwinienne et l'enseignement de la génétique et de l'évolution, même s'il teinte très



Maurice Caullery (1868-1958).

Élève de l'École normale supérieure de Paris, agrégé de Sciences naturelles, docteur ès Sciences, il est l'élève d'Alfred Giard. Il devient professeur titulaire de l'université de la Sorbonne à la mort de ce dernier, reprenant la chaire «Évolution des Êtres organisés» qu'il avait créée et la direction de la station marine de Wimereux. Lors de ses études à l'École normale supérieure, il noue une profonde amitié avec un autre étudiant, également élève d'Alfred Giard, Félix Mesnil, amitié qui perdurera jusqu'à la mort de ce dernier. Les deux hommes sont également des collaborateurs très proches, la majorité des publications de Maurice Caullery étant signées avec Félix Mesnil. Ils deviennent également beaux-frères, Félix Mesnil ayant épousé

la sœur de Maurice Caullery et ayant baptisé son fils Maurice, en hommage à son ami. En 1891, les deux hommes obtiennent une bourse qui leur permet de séjourner dans les laboratoires de zoologie les plus réputés d'Europe de l'Est et du Nord: Heidelberg, Berlin, Munich, Iéna, Amsterdam, Utrecht, Gand, Liège. Maurice Caullery s'y initie à la pensée et aux concepts d'écoles scientifiques en évolution et génétique, alors pratiquement censurés en France, et en rapporte un solide carnet d'adresses. Cela lui permettra de faire évoluer l'enseignement néo-lamarckien de la chaire d'Alfred Giard, d'introduire l'enseignement de la théorie darwinienne et de pousser son assistant, Albert Chappellier, à traduire en français pour la première fois deux articles de Gregor Mendel, en 1907. Ce voyage initiatique le convainc aussi de l'enrichissement apporté par les séjours dans les laboratoires étrangers, les discussions directes et l'établissement de contacts durables. Il prend aussi une part active à la vie éditoriale scientifique, siégeant dans les conseils d'administration et comités scientifiques des principales revues françaises. Membre de nombreuses sociétés savantes françaises et internationales, récipiendaire de nombreuses distinctions, président de l'Académie des sciences jusqu'en 1945, il devient une personnalité puissante de la vie scientifique française jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Il est zoologiste et s'intéresse à nombre d'aspects de la discipline: embryologie, reproduction, parasitisme et symbiose*, tout en embrassant des groupes animaux très divers, unicellulaires et invertébrés. Au début de sa carrière, il encourage fortement Édouard Chatton dans ses premiers travaux, puis l'adresse à Félix Mesnil pour qu'il soit recruté à l'Institut Pasteur.

fortement cette dernière de néo-lamarckisme* et n'accorde qu'un rôle mineur et stabilisateur à la sélection naturelle dans l'évolution des êtres vivants! Ce nouveau courant est légitimé avec la création de la chaire consacrée à « l'Évolution des Êtres organisés » sous la responsabilité d'Alfred Giard, puis de son élève, le professeur Maurice Caullery. C'est ce dernier qui fait traduire les travaux de Gregor Mendel pour la première fois en France, 41 ans après leur publication originale.

Autre fait marquant de l'époque, Henri de Lacaze-Duthiers a fondé deux stations consacrées à la biologie marine, l'une à Roscoff, en 1872, et l'autre à Banyuls-sur-Mer dix ans plus tard (Figure 4). Le choix de leurs emplacements a été soigneusement et génialement pensé. Rien n'a été laissé au hasard, dans l'objectif d'avoir le meilleur accès possible à un maximum de ressources marines: prise en compte des marées, des caractéristiques du littoral (roches, sables, herbiers...), des courants, présence ou non de fosses, etc. Sans oublier les facilités d'accès depuis Paris et les horaires des trains! Grâce à l'esprit visionnaire d'Henri de Lacaze-Duthiers, les observatoires océanographiques de Roscoff et de Banyuls (ce dernier baptisé laboratoire Arago par Lacaze-Duthiers qui admire profondément le physicien, natif de la région), qui dépendent toujours aujourd'hui de Sorbonne Université, restent des sites de choix pour l'étude des espèces marines. Comme il y a un siècle, ils accueillent en permanence des étudiants et des chercheurs du monde entier.

Entre la Sorbonne et les stations océanographiques: naissance d'une passion pour la faune marine (1901-1906)

C'est dans cette ambiance stimulante qu'Édouard Chatton débute une licence de Sciences naturelles à l'université de la Sorbonne, en 1901. Il est marqué par les cours du professeur Yves Delage, élève et ancien assistant de Henri de Lacaze-Duthiers. Ses travaux de recherche sont consacrés aux animaux marins. Il a notamment mis au point une technique de fécondation de l'oursin *in vitro* qui lui permet de faire des études en laboratoire, une approche expérimentale à l'époque très moderne. En 1901, il a pris la direction de la station de biologie marine de Roscoff.

1. *Ibid.*



Yves Delage (1854-1920).

Docteur en médecine en 1880 et docteur ès Sciences en 1881, il est nommé préparateur à la station biologique de Roscoff, puis maître de conférences à l'université de la Sorbonne en 1882. Il part pour l'université de Caen et dirige la station de biologie marine de Luc-sur-Mer qui en dépend. En 1886, il devient professeur à l'université de la Sorbonne et prend la direction d'un laboratoire de zoologie expérimentale. En 1901, il devient directeur de la station de biologie marine de Roscoff. Si, en 1902, il prend part à un débat sur le Saint Suaire de Turin où il argumente en faveur de son authenticité, il est l'un des fondateurs de la zoologie moderne, introduisant les approches expérimentales en laboratoire, sur des sujets comme la fécondation ou la parthénogenèse. Très intéressé par l'évolution, il reste de tendance néo-lamarckienne, comme Edmond Perrier ou Alfred Giard. Ses cours de zoologie de licence et les séjours à la station de Roscoff qu'il organise pour les étudiants détermineront la vocation d'Édouard Chatton pour la zoologie marine.

L'année suivante, dans le cadre de ses études, Édouard Chatton y séjourne pour la première fois. C'est le choc, la découverte du monde immense et diversifié de la faune marine, selon ses propres mots – « *la révélation d'un monde nouveau*¹ » –, qui décide définitivement de sa vocation scientifique: il se prend de passion, le terme n'est pas trop fort, pour les êtres microscopiques marins à qui il consacrera toute sa vie.

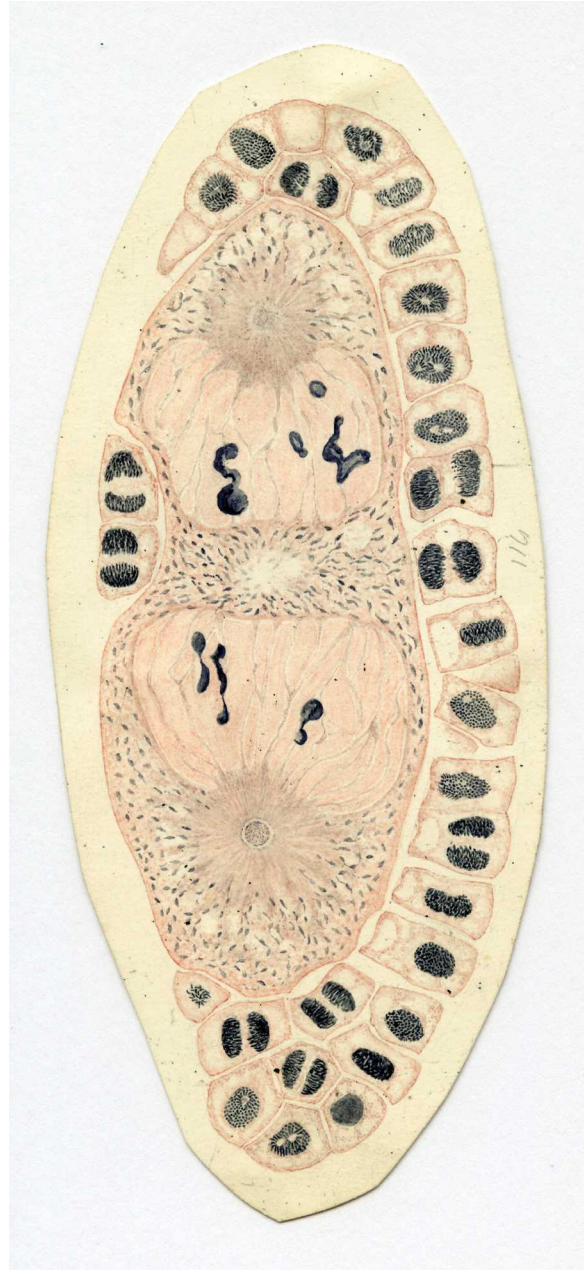
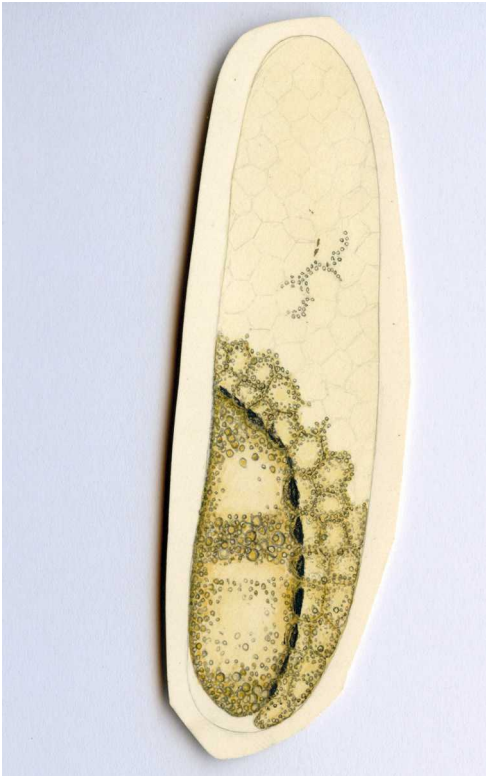
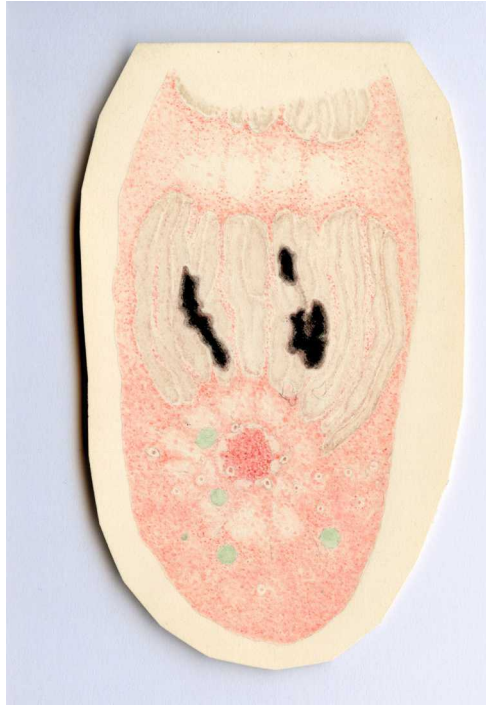
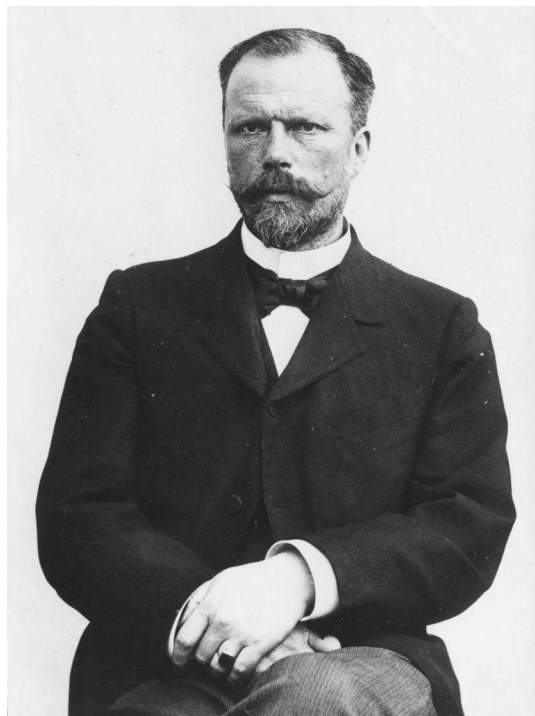


Figure 3. Quelques blastodiniens dessinés par Édouard Chatton (*Blastodinium crassum* en haut à gauche, *Blastodinium mangini* en bas à gauche, *Blastodinium spinulosum* à droite). Il s'agit des formes parasitaires retrouvées à l'intérieur de copépodes. Le nombre élevé de cellules dû aux divisions de ce dinoflagellé unicellulaire avait conduit les scientifiques à considérer cet organisme comme un être pluricellulaire.

En 1904, Édouard Chatton entame ses premiers travaux de recherche au sein du laboratoire de Georges Pruvot, qui a succédé au fondateur du laboratoire Arago à Banyuls, et en assure la direction. Georges Pruvot, initialement zoologiste, est devenu l'un des



Georges Pruvot (1852-1924).

Docteur en médecine en 1882, puis docteur ès Sciences en 1885, il s'intéresse initialement à la zoologie, et plus spécifiquement aux espèces marines. Professeur à l'université de la Sorbonne, il prend la succession d'Henri de Lacaze-Duthiers à la direction du laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer en 1900. En 1910, il épouse Alice Fol, zoologiste spécialiste des mollusques et fille du zoologiste Hermann Fol, qui a fondé le laboratoire de biologie marine de Villefranche-sur-Mer en 1880. Georges Pruvot délaisse ensuite les questions zoologiques pour s'orienter vers un domaine alors émergent, l'océanologie côtière, dont il est l'un des fondateurs. Il accueille Édouard Chatton dans son laboratoire en 1904 et lui laisse toute liberté d'action quant aux choix et à la conduite de ses activités de recherches, tout en lui apportant son soutien. Il quitte la direction du laboratoire Arago en 1922, et Octave Duboscq lui succède.

pionniers de l'océanographie, jetant les bases de l'océanographie côtière et de l'écologie marine. Il laisse à Édouard Chatton le choix de ses thèmes de recherches en biologie, un domaine pour lequel son propre intérêt s'est quelque peu émoussé. Édouard Chatton démarre donc ses premiers travaux à l'âge de 21 ans avec une rare autonomie, tout en bénéficiant des conseils de Maurice Caullery. Son choix se porte sur l'étude des protistes*, des êtres formés d'une seule cellule (ou unicellulaires) avec noyau (ce qui les distingue des bactéries*, unicellulaires elles-aussi, mais sans noyau). Ils peuplent les mers dont ils constituent le socle de l'ensemble des chaînes alimentaires et forment l'essentiel du plancton*. Ils sont libres, parasites ou symbiontes, selon les espèces. Certains possèdent des capacités photosynthétiques*, d'autres en sont dépourvus et dépendent d'une source alimentaire de carbone. Ils représentent la majeure partie de la biodiversité de notre planète, c'est dire leur importance!

Ce qui a immédiatement fasciné Édouard Chatton est leur incroyable diversité. Ils revêtent des formes extraordinairement diverses, laissant présager l'existence de milliers d'espèces totalement inconnues. Un monde inexploré d'une ampleur vertigineuse... Connaissant l'attrait d'Édouard Chatton pour la peinture, qu'il pratiquera toute sa vie en dilettante, gageons que la contemplation de ces formes de vie à l'étrange et inquiétante beauté a dû lui procurer un plaisir esthétique qui contribue à la passion qu'il leur voue. En ce début de xx^e siècle, le champ de la protistologie* vient de s'ouvrir. Le cercle des chercheurs qu'intègre le jeune Édouard Chatton a compris tout ce qu'il pouvait escompter de l'étude de ces êtres microscopiques : outre l'exploration de ce vaste

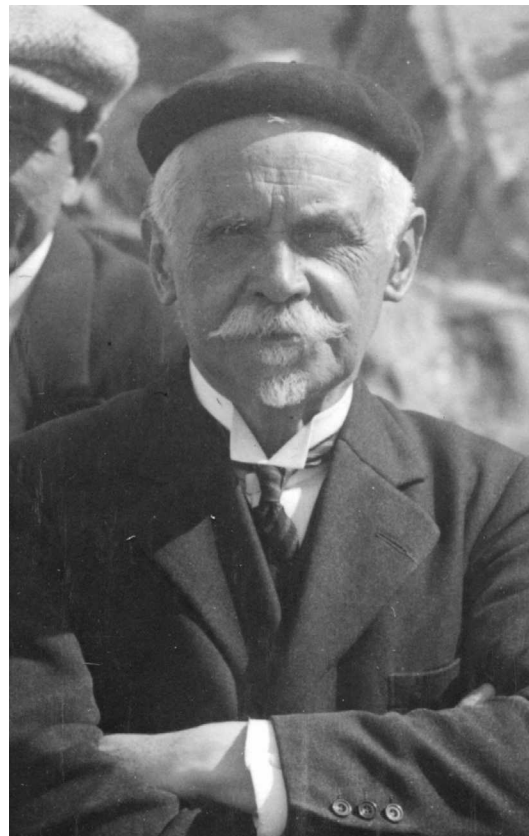


Figure 4. Le laboratoire Arago à la fin du XIX^e siècle.

monde avec la description et la classification des êtres qui le forment, les protistes pourraient livrer les clés des origines de la vie, enrichir les lois de la transmission héréditaire des caractères, éclairer les règles de la reproduction par voie sexuée ou par simple division clonale, dévoiler les secrets de l'édification et du fonctionnement de la cellule, révéler les premières grandes lignes de l'évolution.

Depuis ce premier séjour initiatique, Édouard Chatton est devenu un habitué des stations marines de Roscoff et de Banyuls, qu'il fréquentera toute sa vie : quand il n'y sera pas en poste, il y passera toutes ses vacances estivales (à la seule exception de la période de la guerre de 14-18), employées à récolter et étudier les protistes marins. En 1905, c'est à Banyuls qu'il fait une découverte remarquable, à la base de la première grande série de travaux qui l'occupera près de 20 ans. Il identifie en effet un étrange organisme qui parasite le tube digestif de petits crustacés du plancton, les copépodes (Planche 72 et Figure 3). Il pense au départ que cet organisme est un être multicellulaire* car il semble composé de centaines de cellules. C'est là que ses talents d'observateur autant que son ouverture d'esprit et son affranchissement des dogmes en vigueur se révèlent et s'exercent pour la première fois : ils lui permettent de comprendre que ce petit parasite est en fait un protiste unicellulaire du groupe des dinoflagellés*. Les dinoflagellés sont des protistes mobiles grâce à un double flagelle* (une sorte de prolongement cellulaire animé de mouvements périodiques) dotés d'un noyau très particulier, appelé dinocaryon, où les chromosomes sont en permanence condensés.

À l'époque, on considère que tous les dinoflagellés sont des êtres libres, et jamais des parasites. L'organisme découvert par Édouard Chatton ne rentre donc pas dans la catégorie ainsi définie, puisqu'il s'agit d'un parasite, que ses cellules sont agrégées les unes avec les autres à la manière d'un être multicellulaire, qu'elles ne possèdent pas de flagelle et ne sont pas dotées du fameux dinocaryon. Mais Édouard Chatton ne se limite pas, comme nombre de ses confrères, à observer l'organisme fixé (c'est-à-dire tué avant l'observation au microscope). Il en étudie la forme vivante tout au cours de son cycle de vie. Comme tous les parasites, l'organisme découvert alterne entre une phase de vie parasitaire au cours de laquelle il vit fixé à l'intérieur du copépode, et une forme de vie dite « libre », qui se déroule en dehors du copépode



Octave Duboscq (1868-1943)

Docteur en médecine en 1894, puis docteur ès Sciences en 1899, il s'intéresse comme Édouard Chatton aux protistes marins, notamment parasites. De 1904 à 1923, il est professeur titulaire de la chaire de Zoologie et Biologie générale de l'université de Montpellier et directeur de la station marine de Sète. Eugène Bataillon lui succède. En 1923, il est nommé professeur titulaire de la chaire de Biologie marine de l'université de la Sorbonne et directeur du laboratoire Arago, et à partir de 1931 également directeur de la station marine de Villefranche-sur-Mer. À sa retraite en 1937, Édouard Chatton lui succède. Parmi ses élèves figurent Pierre-Paul Grassé, auteur d'un important *Traité de Zoologie*, et Odette Tuzet. Il a encouragé et soutenu les premiers travaux d'Édouard Chatton, menés à Banyuls. Les deux hommes entretiennent des échanges scientifiques tout au long de leur carrière, avec parfois des divergences de vue (voir « Confrontation d'un texte de O. Duboscq et P. Grassé, avec un texte de E. Chatton sur la signification phylétique du spermatozoïde » paru en 1934 dans *Arch. Z. E.*, LXXVI, N et R., p. 51-55).

parasité et lui permet de se disperser dans l'environnement extérieur et de coloniser de nouveaux hôtes. Édouard Chatton réalise que la forme libre de dispersion de ce mystérieux organisme reprend toutes les caractéristiques d'un dinoflagellé typique, ce qui lui permet de le classer parmi ce groupe. Il a 23 ans, et vient de découvrir les *Blastodinium*. Aujourd'hui encore, la majeure partie de nos connaissances sur ce groupe nous vient de l'immense travail qu'il poursuit dans les années qui suivent sa première observation, vivement encouragé par Maurice Caullery et Octave Duboscq, qui succède à Georges Pruvot à la direction du laboratoire Arago.

Édouard Chatton décrit ensuite l'essentiel des espèces de *Blastodinium* connues aujourd'hui. Le travail est magistral, révélant la totalité de ce nouveau groupe, analysant minutieusement leurs structures

subcellulaires (noyau, organelles*) et la façon extrêmement particulière dont ils se divisent, sans rupture de l'enveloppe entourant le noyau, mais aussi leurs cycles de vie. Il comprend que seule la spore des dinoflagellés, qui est la forme adoptée par la cellule pour effectuer une reproduction sexuée, appelée « dinospore » dans ce cas, garde une morphologie identique quelle que soit l'espèce considérée, alors que ces protistes peuvent adopter toute une panoplie de formes diverses selon qu'ils sont parasites ou libres. La spore est donc la marque de fabrique des dinoflagellés qui permet de les identifier comme tels, seul point de repère au sein de toutes les formes qu'ils sont susceptibles d'adopter. Fort de cette découverte, il ne se limite pas au groupe des *Blastodinium*. Il explore le monde des dinoflagellés parasites et en découvre de multiples genres.

En 1910, il étudie un très curieux parasite qu'il nomme *Paradinium poucheti*. Cet organisme occupe la cavité générale de certains copépodes, les petits crustacés que nous avons déjà évoqués, et en est expulsé par l'anus. Une fois libre dans l'eau de mer, il réalise des divisions très particulières correspondant en tous points à celles qui forment les cellules reproductrices des animaux et que l'on appelle la méiose* : Édouard Chatton révèle pour la première fois que des êtres unicellulaires primitifs peuvent réaliser exactement le même processus très sophistiqué que celui qui forme les spermatozoïdes des animaux. À la même période, une nouvelle découverte, celle des *Syndinium*, le conduit à revisiter des dogmes bien ancrés. À cette époque, des chercheurs avaient émis l'hypothèse que certains copépodes seraient dotés d'un surprenant développement musculaire, totalement atypique, d'ailleurs tellement ahurissant que cette découverte était de nature à révolutionner toutes les notions classiques de la formation des muscles. Édouard Chatton renverse cette doctrine naissante. Il découvre en effet que les soi-disant muscles atypiques du copépode ne sont autres que des parasites unicellulaires, les *Syndinium* (Planche 34 et Figure 5)! C'est là le premier des dogmes qu'il renverse, ce ne sera pas le dernier. Comme il l'écrit par la suite : « Si l'auteur [de cette révolutionnaire théorie musculaire] n'avait pas mis en œuvre que du matériel fixé, sans l'avoir préalablement étudié sur le vif », il ne se serait pas fourvoyé et n'aurait pas pollué la science d'une doctrine erronée dont la mise à bas prend toujours beaucoup plus de temps qu'il n'en



Figure 5. *Syndinium turbo*, un dinoflagellé parasite des copépodes. En haut : un copépode (tête à droite), envahi par le parasite visible sous la forme de ses multiples noyaux en divisions. En bas : les fibres musculaires du copépode, sous la forme de bandelettes horizontales striées, et autour, les chromosomes du parasite, sous forme de filaments granulaires, interprétés à tort par les scientifiques comme un muscle atypique.

a fallu pour la construire et la propager. Et Édouard Chatton de mettre en garde ses confrères : « *la tolérance technique et critique telle qu'une image défectueuse dans une préparation insuffisante, une lacune documentaire, une faute de contrôle, peuvent donner l'illusion d'une découverte*¹ ». Ces propos traduisent la rigueur conceptuelle et méthodologique dont il fera preuve toute sa vie. Plus largement, ils plaident pour une recherche menée avec minutie sur des temps longs et pointent le danger d'observations incomplètes et précipitées livrant des annonces spectaculaires... mais fausses. Une pratique hélas d'actualité, entretenue par la pression à la publication qui pèse sur les chercheurs.

Édouard Chatton poursuit ses recherches avec l'étude minutieuse du genre *Haplozoon*, des parasites de vers marins déjà décrits comme des êtres multicellulaires représentant un nouvel embranchement qui avait reçu son propre nom, les *Catenata* (Planche 32). Il propose qu'ils soient en fait des dinoflagellés déformés par le parasitisme et prédit que leurs spores, qu'il n'arrive pas à visualiser, devraient être des dinospores typiques, une prédiction confirmée en 1924 par un chercheur américain. L'étude des dinoflagellés, initialement conçus comme des êtres vivants à l'état libre, mais de fait parasites dans des conditions et à des degrés divers, lui permet de formuler des hypothèses sur les modifications régressives qu'ils ont subies et qui les rendent aptes au parasitisme. Sa thèse², entièrement rédigée et déposée auprès de l'université en 1914 mais dont la soutenance et la publication, retardées par la guerre, ne seront effectives qu'en 1919, et sa monographie³ de 1920 sur les dinoflagellés parasites, demeurent pour les chercheurs une référence majeure pour de nombreux genres de dinoflagellés. Ces premiers travaux auront jeté pour les générations futures les prémices de divers champs d'investigation toujours très actuels : la phylogénie* des protistes par exemple, où les approches moléculaires et génomiques* les plus pointues d'aujourd'hui regroupent divers protistes, comme les ciliés*, un ensemble de parasites appelés les apicomplexes et les dinoflagellés, au sein du groupe des Alvéolés dont il sera question dans

le chapitre 2, confirmant les intuitions d'Édouard Chatton ; mais aussi des notions de biologie cellulaire fondamentales, comme l'organisation de la division des cellules, ou la ségrégation de la chromatine* (ou ADN*) ou des organelles intracellulaires au sein des cellules-filles, de manière symétrique ou non. Ainsi, dès 1907, Édouard Chatton a étudié un étrange dinoflagellé non-parasite doté de plusieurs noyaux, *Polykrikos schwartzii*, et révélé sa surprenante complexité structurale (Planches 28 et 29) qui pose la question de la genèse de ses micro-appareils incroyablement sophistiqués lors de sa division. Ce modèle sera longtemps étudié par la suite et esquisse le cadre conceptuel de ses études futures sur les ciliés.

Depuis son arrivée à Paris, Édouard Chatton a baigné au sein de différents courants scientifiques tous aussi stimulants et formateurs les uns que les autres : les tenants d'un naturalisme descriptif basé sur les ressorts de l'anatomie, les adeptes d'une prise en compte de l'évolution et de l'hérédité, l'émergence d'approches expérimentales, l'essor fantastique de la biologie marine et l'accès à des laboratoires en bord de mer. Cette stimulante conjonction d'influences façonnera de manière irrémédiable sa carrière. En 1907, Maurice Caullery, qui a suivi avec intérêt ses premiers travaux, lui conseille d'intégrer l'Institut Pasteur.

Une page se tourne.

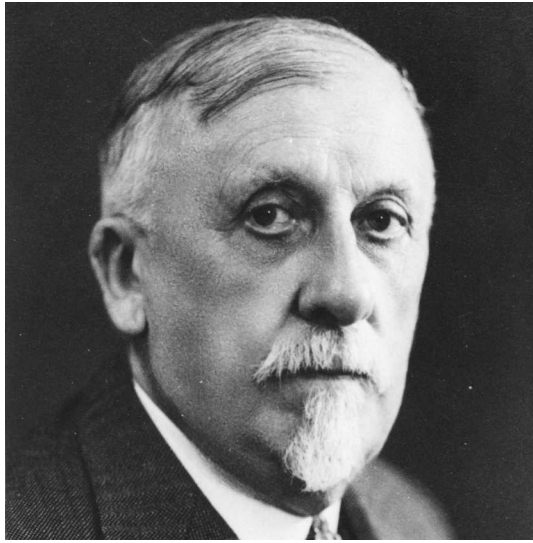
À l'Institut Pasteur de Paris : protistologie et pathogénicité (1907-1913)

Pourquoi l'Institut Pasteur ? D'abord parce que depuis peu, la protistologie y est un domaine activement étudié. La découverte d'Alphonse Laveran, médecin devenu pastorien et récipiendaire du Prix Nobel en 1907, a en effet révélé qu'un protiste, le *Plasmodium*, est à l'origine du paludisme, et donc que des maladies parasitaires représentant des fléaux pour l'être humain peuvent être provoquées par des protistes, et pas seulement par des bactéries ou des virus* comme on le pensait auparavant.

1. *Ibid.*

2. Édouard Chatton, *Les Péridiniens parasites. Morphologie, Reproduction, Éthologie*. 1919. Thèse, Librairie H. Le Soudier, Paris.

3. Édouard Chatton, « Les péridiniens parasites. Morphologie, Reproduction, Éthologie ». 1920. *Arch. zool. exp. et gén.*, vol. 59, p. 1-475.



Félix Mesnil (1868-1938).

Élève de l'École normale supérieure de Paris, agrégé de Sciences naturelles, docteur ès Sciences, il est l'élève d'Alfred Giard. À l'École normale supérieure, il noue une profonde amitié avec un autre étudiant, également élève d'Alfred Giard, Maurice Caullery, amitié qui perdurera jusqu'à sa mort. Les deux hommes sont également des collaborateurs scientifiques très proches, et sont beaux-frères, Félix Mesnil ayant épousé la sœur de Maurice Caullery et donné à son fils le prénom de son ami. En 1892, il entre à l'Institut Pasteur comme agrégé-préparateur, devient secrétaire de Louis Pasteur et commence ses recherches sur les parasites unicellulaires responsables de maladies humaines et sur les principes de l'immunité. Avec Alphonse Laveran (qui obtiendra le Prix Nobel en 1907 pour sa découverte de l'agent responsable du paludisme), il découvre une nouvelle classe d'unicellulaires responsables de divers types de fièvres, qui seront appelés les *Leishmania*. Il soutiendra très activement les laboratoires de l'Institut Pasteur implantés à l'étranger, notamment en Afrique. Il dirige le Service de Protistologie et de Microbiologie coloniale de l'Institut Pasteur de Paris quand il y accueille Édouard Chatton en 1907. Il joue un rôle capital dans la carrière de ce dernier en le formant aux méthodes rigoureuses des cultures pastoriennes et en l'autorisant à poursuivre en parallèle ses recherches sur des protistes marins non-pathogènes de l'homme et éloignés des préoccupations de l'Institut Pasteur. Il l'encourage, le conseille et le soutient toute sa vie, et noue avec lui une profonde amitié, leurs échanges épistolaires ne s'interrompant qu'avec la mort.

Même si les intérêts de l'Institut Pasteur se portent naturellement sur les protistes pathogènes de l'être humain, on estime que la connaissance des protistes en général peut être une importante contribution. Louis Pasteur lui-même, alors qu'il était professeur et doyen de la faculté des Sciences de Lille, avait fortement soutenu le professeur Giard dans sa recherche de fonds pour implanter une station de biologie marine dans le Boulonnais, à Wimereux (station dont Maurice Caullery deviendra le directeur), convaincu qu'il était que les protistes marins représentaient un gisement d'informations utiles à la connaissance des pathogènes humains.

En 1907, à l'Institut Pasteur, est fondé le « Service de Protistologie et de Microbiologie coloniale », très actif et très moderne, un lieu idéal pour que le jeune Édouard Chatton consolide son éducation scientifique et surtout se forme à la pratique d'une expérimentation méthodique et rigoureuse. Ce service est dirigé par Félix Mesnil, dernier secrétaire de Louis Pasteur, collaborateur, beau-frère et très grand ami de Maurice Caullery. Introduit par ce dernier, Édouard Chatton voit sa candidature accueillie très favorablement. Il a 24 ans, et le voici recruté dans le service de Félix Mesnil, deux ans à peine après avoir achevé à la Sorbonne sa licence de Sciences naturelles.

Il y bénéficie de l'enseignement d'Émile Roux, proche collaborateur de Louis Pasteur, initiateur des premiers cours Pasteur et directeur de l'Institut, d'Alphonse Laveran (Nobel 1907), d'Elie Metchnikoff (Nobel 1908), de Charles Nicolle (Nobel 1928), d'André Calmette (l'un des inventeurs du BCG) et de beaucoup d'autres grands maîtres, qui lui inculquent la rigueur scientifique pastoriennne. Édouard Chatton travaille sous la direction de Félix Mesnil, spécialiste des trypanosomes, les agents de la maladie du sommeil et de la maladie de Chagas. Il parfait ainsi son expertise en microbiologie en étudiant des pathogènes divers, notamment des protistes flagellés* parasites d'insectes dont il énonce les caractéristiques et la succession des stades du cycle de vie. Ces résultats éclaireront par la suite les mécanismes d'infection de la mouche tsé-tsé par les trypanosomes responsables de la maladie du sommeil (Planches 44 à 47). Loin de se cantonner à l'observation et à la description, il adopte des approches expérimentales rigoureuses, notamment les fameuses techniques de la « culture pure » qui sont la marque de l'Institut Pasteur. Il s'agit de mettre en culture, de façon qu'ils

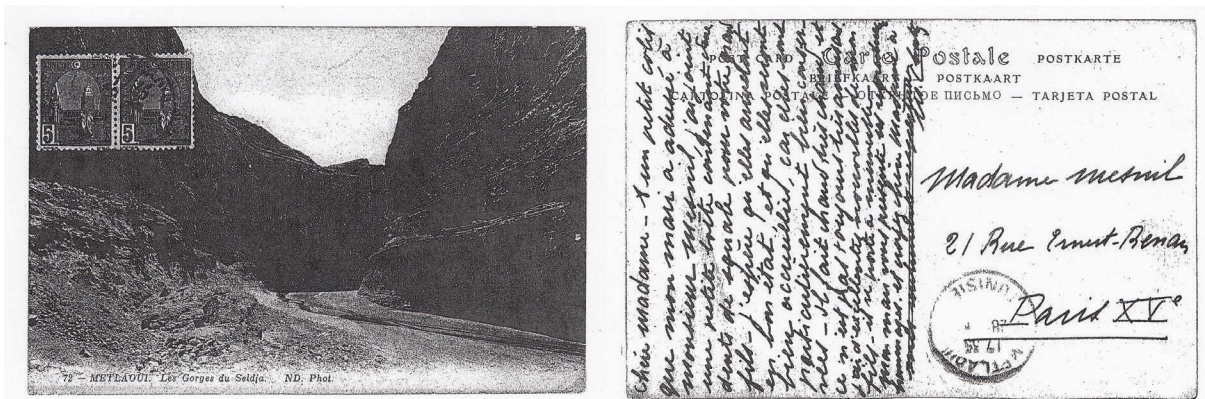


Figure 6. Carte postale de Mme Chatton à Mme Mesnil, expédiée de Tunisie (entre 1916 et 1918) : *Chère madame – « À un petit colis que mon mari a adressé à monsieur Mesnil, j'ai joint une petite boîte contenant des dents de requin pour votre grand fils. J'espère qu'elles arriveront en bon état, et qu'elles seront bien accueillies, car elles sont particulièrement bien conservées. Il fait chaud, très chaud et ce n'est pas toujours très amusant. J'ai d'excellentes nouvelles de mon fils, il se porte à merveille. Mon mari vous présente ses respectueux hommages et croyez, chère madame, à mes sentiments respectueux. M. Chatton. »*

prolifèrent, des protistes dans des conditions où l'espèce étudiée croît de manière isolée, en l'absence de bactéries ou de tout autre micro-organisme. Ces cultures pures rendent le chercheur maître du jeu : il peut perturber les conditions du milieu sans se soucier que d'autres êtres vivants contaminants ne soient à l'origine des réponses qu'il observe. Ce défi technologique, dont Édouard Chatton a saisi toute l'importance de manière prémonitoire, reviendra en leitmotiv pendant toute sa carrière.

Dans le même temps, il poursuit activement ses études sur les protistes marins non-pathogènes pour l'homme, grâce à des séjours réguliers dans les stations marines françaises, notamment le laboratoire Arago de Banyuls où il travaille à sa thèse. Il faut reconnaître à l'Institut Pasteur, en l'occurrence à Félix Mesnil, une ouverture d'esprit et un altruisme scientifique rares, laissant à l'un de leurs employés la liberté d'étudier des objets qui ne sont pas au cœur des priorités stratégiques de l'institution, mais dont l'intérêt scientifique est reconnu et respecté. Édouard Chatton entremêle avec une aisance qui force l'admiration des études très distinctes et complexes, entre les dinoflagellés qu'il a découverts lui-même en 1905 à Banyuls, et les pathogènes variés étudiés à l'Institut Pasteur, soit comme il l'écrit lui-même « *des travaux de biologie pure et désintéressée,*

qui sont l'expression de mon éducation universitaire » et « *des recherches de zoologie appliquée à l'étude de la pathologie humaine ou animale qui procèdent naturellement de mes fonctions à l'Institut Pasteur* ». Les années 1907-1913 sont, dira-t-il plus tard, « *les mieux remplies de ma carrière de chercheur*¹ ».

Des années heureuses également sur le plan personnel. Lors de ses séjours estivaux à Banyuls, il rencontre Marie Herre, une jeune fille d'une famille de notables du village, de quatre ans sa cadette. Elle devient son épouse en 1908, mais aussi sa première élève et sa fidèle collaboratrice. Ils signeront tous deux une dizaine d'articles scientifiques. Leur fils, Pierre, naît à Paris en 1910. Et puis Édouard Chatton noue avec Félix Mesnil, dont il admire et respecte les qualités tant scientifiques qu'humaines, une amitié profonde dont témoigne une correspondance constante et fournie, démarrée en 1907 et interrompue par la mort de Félix Mesnil en 1938. Dans ces centaines de lettres et cartes postales échangées non seulement entre Édouard Chatton et Félix Mesnil mais aussi entre leurs épouses, on parle beaucoup de science, mais aussi de politique scientifique, et de politique tout court, notamment pendant la Première Guerre mondiale, on parle des amis et de la famille, on s'inquiète des enfants (en 1916, il est question de Pierre, le fils d'Édouard Chatton, 6 ans, qui supporte mal la chaleur du Sud tunisien, et de Maurice,

1. Édouard Chatton, *Titres et Travaux*, op. cit.

Planche 49. <i>La division d'Amœba mira</i>	208	Planche 64. <i>Ciliature buccale de divers protistes ciliés</i>	238
Planche 50. <i>L'amibe dysentérique</i>	210	Planche 65. <i>Ciliés Hypotriches</i>	240
Planche 51. <i>La sexualité d'Actinophrys</i>	212	Planche 66. <i>Ciliés Péritriches</i>	242
Planche 52. <i>Schizocystis gregarinoïdes</i>	214	Planche 67. <i>Migration de la bouche</i> <i>chez les Nicollellidæ</i>	244
Planche 53. <i>Le cycle d'Eimeria</i>	216	Planche 68. <i>La conjugaison du cilié Collinia</i>	246
Planche 54. <i>Plasmodium vivax</i>	218	Planche 69. <i>Le cycle de vie de Podophrya</i>	248
Planche 55. <i>Plasmodium præcox</i>	220	Planche 70. <i>L'infraciliature de Podophrya</i>	250
Planche 56. <i>Adelina</i>	222	ANIMAUX	
Planche 57. <i>Sarcocystis platydactili, parasite du gecko</i>	224	Planche 71. <i>Deux tuniciers de la classe</i> <i>des Appendiculaires, Oïkopleura et Fritillaria</i>	252
Planche 58. <i>Les kystes de Sarcocystis platydactili,</i> <i>parasite du gecko</i>	226	Planche 72. <i>Un petit crustacé du plancton,</i> <i>le copéode Calanus helgolandicus</i>	254
Planche 59. <i>Chilodon uncinatus</i>	228	Planche 73. <i>Larve trochophore</i>	256
Planche 60. <i>La conjugaison de Chilodon uncinatus</i>	230	Planche 74. <i>Larves Auricularia et Tornaria</i>	258
Planche 61. <i>Le système infraciliaire de Sphenophrya</i> <i>dosiniæ</i>	232	Planche 75. <i>Larves Cyphonautes</i>	260
Planche 62. <i>Le système infraciliaire de Glaucoma</i> <i>piriformis</i>	234	Planche 76. <i>La Bonellie</i>	262
Planche 63. <i>Continuité des systèmes ciliaires</i> <i>dans la famille des Foettingériidés</i>	236	Planche 77. <i>Les spermatophores des Céphalopodes</i>	264
		Planche 78. <i>Crâne de la brème de Mer Rouge</i>	266
Sources			277

Retrouvez tous les ouvrages de CNRS Éditions sur notre site www.cnrseditions.fr