

# Paul Sabatier, prix Nobel de chimie 1912 : un universitaire régionaliste et chercheur de talent

## Biographie et œuvre scientifique

Armand Lattes

« Procédé Sabatier-Senderens, hydrogénation catalytique, nickel réduit, 180 °C. » C'est en ces termes que la plupart des chimistes définissent Paul Sabatier et résument son œuvre en lui associant Senderens ! Ceci est évidemment trop réducteur et cache l'exceptionnelle carrière de ce savant « si discret »...

Mais qui était-il donc ? Et qui était Senderens, toujours associé à ses découvertes fondamentales mais oublié du prix Nobel 1912 qui couronnait Paul Sabatier en même temps que Victor Grignard ?

C'est dans la partie moderne de la ville médiévale de Carcassonne que naquit Paul Sabatier, le 5 novembre 1854, septième enfant d'Alexis Sabatier et de Madame née Pauline Guilhem, tous deux originaires du département de l'Aude : Montréal pour Alexis et Arzens pour Madame [1]. À l'origine modeste propriétaire terrien, Alexis avait dû abandonner son exploitation pour « s'exiler en ville » et ouvrir, avec Pauline, un commerce de chapeaux.

Le foyer avait déjà vu naître quatre filles et deux garçons qui, comme dans beaucoup de familles bourgeoises de l'époque, avaient été élevés par des nourrices. Le décès du sixième enfant qui, mal surveillé, avait succombé à des

brûlures, amena les parents à garder auprès d'eux le petit dernier qui fut élevé en grande partie par sa sœur aînée Céline. Plus âgée que lui de 17 ans, très intelligente, elle devait par la suite apprendre le latin et les mathématiques afin de les enseigner à son frère.

Il ne fait aucun doute que c'est dans ce cocon familial que les sentiments régionalistes de notre futur savant ont trouvé naissance et se sont fortement ancrés !

Très doué, très précoce, Paul savait compter à trois ans et connaissait l'alphabet.

Élève à l'école primaire de Carcassonne, où il accumulait les prix, il rejoignit en 1868 le lycée de Toulouse où son oncle Paul Guilhem venait d'être nommé et avait accepté d'être son tuteur.

En mai 1869, la défaite des démocrates aux élections en France fut suivie de mouvements divers dans cet Empire français de Napoléon III qui était de plus en plus contesté. À Toulouse, quelques centaines de perturbateurs mettaient du désordre place du Capitole, désordre dû pour une grande part aux lycéens qui poursuivaient la contestation au sein même de leur lycée. L'administration demanda alors le licenciement de tous les élèves et, bien que Paul Sabatier ne participât point à ce mouvement car il était très dévoué à l'Empereur contrairement à ses collègues lycéens pratiquement tous républicains, il devait subir le sort commun. Ces désordres et l'éloignement de l'oncle Paul, nommé à Montauban, remplissaient d'inquiétude les parents qui décidèrent de confier sa formation aux pères jésuites du collège Sainte-Marie de Toulouse, collège qui devait par la suite devenir le célèbre établissement appelé Le Caousou à partir de 1874.

C'est dans cet environnement que se développèrent plusieurs traits de sa personnalité :

– catholique convaincu – même si, au lycée, sa place de 13<sup>e</sup> en instruction religieuse n'était pas brillante –, il aimait suivre les cérémonies religieuses, les processions, nombreuses en cette année où l'on célébrait les noces d'or du pape Pie IX ; le collège des pères jésuites se révéla favorable au développement de la philosophie religieuse qu'il devait adopter toute sa vie ;

– grand admirateur de l'Armée, il adorait les défilés et se réjouit fort des grandes manœuvres du 14 mars 1870 à Toulouse, ce que sa sœur Valérie rapporta dans une lettre à leur frère Théodore : « notre frère Paul a envie d'être, quelque jour, général. »

Il adorait aussi les sciences et ne manquait pas de suivre, en 1868, les conférences et cours publics de Filhol et de Daguin dans l'amphithéâtre de la Faculté des sciences de la rue Lakanal. Son oncle Paul écrivait d'ailleurs, dans une lettre du 20 février 1869 : « [...] la physique et la chimie passeraient avant tout ce qu'on lui fait apprendre au lycée : il voudrait toujours faire des expériences » ; ou encore, le 27 de ce même



Paul Sabatier adolescent.

mois : « Ses lettres à son frère Théodore sont tout à fait scientifiques et parfois hérissées de formules chimiques et ornées de dessins qui représentent les manipulations qu'il a vu faire en cours et qu'il se propose de refaire lui-même »..., mais il ajoute : « [...] avant tout il faut qu'il fasse de bonnes études littéraires ; lorsqu'il aura le grade de Bachelier ès lettres, il pourra employer tout son temps à faire de sérieuses études scientifiques. »

C'est donc avec les baccalauréats ès lettres et ès sciences en poche, en 1872, qu'il commença ses classes préparatoires à Versailles à l'École Sainte-Geneviève. Deux ans plus tard, il est reçu à la fois à l'École Normale Supérieure (ENS) et à l'École Polytechnique, dans un très bon rang, et choisit l'ENS comme son frère Théodore, professeur de mathématiques à Carcassonne depuis 1870. Le choix de l'ENS peut paraître surprenant quand on se rappelle son adoration pour l'Armée ; il s'explique par la chronologie des résultats d'admission aux deux écoles : les résultats pour l'entrée à Polytechnique ont été publiés plus tard et l'un de ses professeurs avait prédit son échec à ce concours ! À l'ENS, il se lie d'amitié avec Émile Picard et Marcel Brillouin, amitié qui devait ne jamais cesser.

Paul Sabatier était un étudiant instruit à la fois en sciences et en philosophie, mais également ouvert à toutes formes d'art : à des talents de peintre s'ajoutait un don musical certain qui lui permettait même d'improviser au piano. Pendant ses études parisiennes, son goût pour les sciences se trouva renforcé, en particulier grâce aux remarquables enseignements de Charles Friedel et Henri Sainte-Claire-Deville, et à l'environnement expérimental que l'introduction de la recherche à son école par Louis Pasteur, directeur de la section scientifique, avait permis de développer.

Rappelons qu'à cette époque, la chimie française comptait quatre grands savants :

- Louis Pasteur, trois fois président de la Société Chimique de France, dont on connaît les magnifiques travaux, et qui était antipositiviste et spiritualiste ;
- Claude Bernard, qui avait porté à un haut niveau les méthodes expérimentales en physiologie, mais aussi en chimie ;
- Adolphe Wurtz, à la tête de l'école atomiste française, trois fois président de la Société Chimique de France ;
- Marcelin Berthelot, qui présida la Société Chimique de France pendant quatre mandats. Malgré ses grandes qualités scientifiques il continua à utiliser la théorie des équivalents et, à la suite de ses fonctions comme ministre de l'Instruction publique, bloqua l'enseignement de l'atomistique jusqu'en 1890, refusant aussi la classification de Mendeleïev. Rationaliste, intolérant, matérialiste, il était l'opposé de Louis Pasteur au plan philosophique.

En 1877, à 23 ans, Paul Sabatier, reçu premier à l'agrégation de sciences physiques, fut nommé professeur au lycée de Nîmes où il enseigna quelques mois avant de revenir à Paris. Sollicité à la fois par Louis Pasteur et Marcellin Berthelot, il choisit contre toute attente Berthelot et le Collège de France où, en 1878, il devint préparateur. Ce choix de Berthelot peut paraître étonnant car leurs pensées philosophiques étaient totalement divergentes. Il s'explique par l'image internationale de ce grand homme et la qualité de son œuvre scientifique.

Le travail de recherche entrepris par Sabatier concernait les sulfures métalliques. Il devait aboutir, en 1880, à la soutenance d'une thèse de doctorat ès sciences intitulée : *Recherches thermiques sur les sulfures*. Dans ce travail, il fut amené à préparer et étudier de nombreux composés

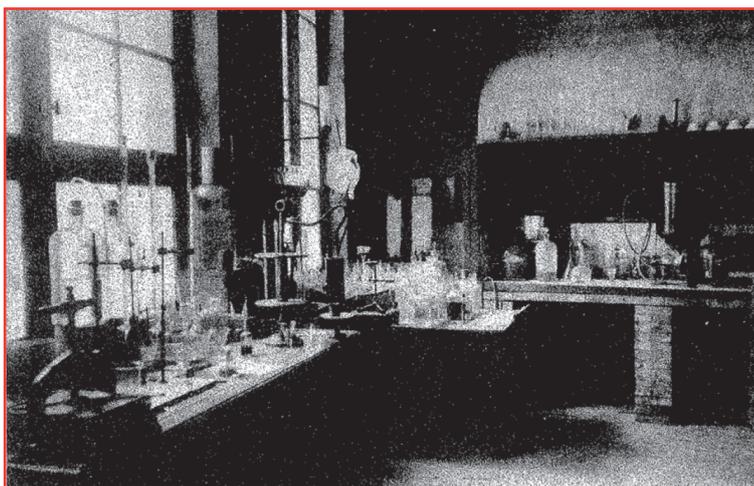
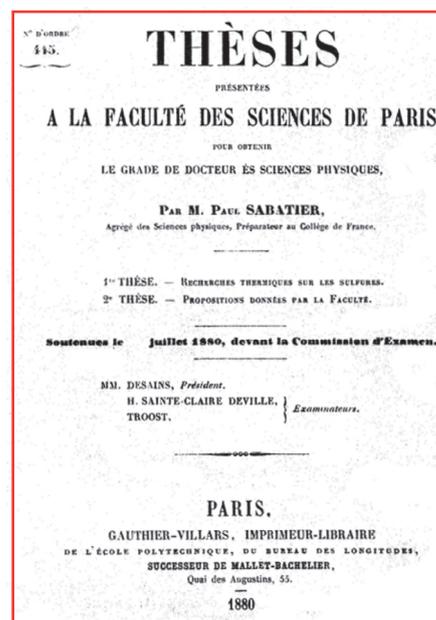
nouveaux ou mal connus avant lui : avec minutie, il y décrit des méthodes de synthèse encore actuelles. Parmi les propriétés des sulfures, il a étudié plus spécialement l'action de l'eau, l'hydrolyse et la formation de sulhydrates [2].

Docteur ès sciences à 26 ans, trois universités lui proposent un poste de maître de conférences (aujourd'hui professeur de 2<sup>e</sup> classe) : Alger, Bordeaux et Lyon. C'est à la Faculté des sciences de Bordeaux (la plus proche de Toulouse !)

qu'il exerça d'abord en enseignant la physique. Moins de deux ans après, en 1882, c'est toujours en physique qu'il sera nommé à Toulouse comme chargé de cours, passant de la physique à la chimie en 1883, pour être enfin nommé professeur titulaire de la Chaire de chimie générale le 24 novembre 1884, à 30 ans, l'âge minimum requis pour occuper un tel poste.

Pour un universitaire, enseigner en Province était à cette époque à la fois un défi et une aventure, et le choix de notre illustre scientifique risquait de compromettre sa carrière de chercheur car le peu de recherche d'alors était réalisé exclusivement, ou presque, à Paris. Ce choix correspondait certes à ses souhaits, mais il ne fait aucun doute qu'il a aussi été aidé par Berthelot qui n'appréciait pas les positions de Paul Sabatier quant aux avancées modernes de la chimie, le système atomique et la classification de Mendeleïev, et préférait le voir s'éloigner de la capitale !

À peine installé, il prend l'initiative de créer le premier laboratoire de recherche de la Faculté des sciences, laboratoire qu'il devait diriger et animer de 1884 à 1939, et dont on lui laissa la jouissance après sa mise à la retraite. C'est d'abord rue Lakanal, dans une dépendance de l'hôtel de Bernuy (aujourd'hui lycée Pierre de Fermat), qu'il s'installa. Les difficultés qu'il dut surmonter pour réaliser cette installation sont



Le premier laboratoire toulousain de Paul Sabatier.

très bien décrites dans un extrait du livre que les Éditions Privat éditèrent à l'occasion du 700<sup>e</sup> anniversaire de la création de l'Université de Toulouse : « *Quand Monsieur Sabatier vint comme chargé de cours remplacer Monsieur Daguin (janvier 1882), il se préoccupa de réaliser pour la physique un laboratoire d'enseignement et de recherches. Il y parvint en transférant dans l'ancien logement du Doyen situé au premier étage, les vitrines du cabinet de physique libérant ainsi au rez de chaussée, derrière la salle de cours, trois pièces que l'on s'efforça d'éclairer et d'aménager pour y installer les travaux pratiques de physique. Une vaste salle humide, qui servait de dépôt de bois de chauffage et ne recevait le jour que d'une cour intérieure voisine de la tour du lycée, put aussi être assainie et devint un laboratoire de recherches.* »

Dès 1892, c'est dans les locaux neufs de la Faculté des sciences, allée Saint-Michel, que furent transférées toutes ces activités.

### Paul Sabatier, régionaliste convaincu et universitaire moderne

Lors de la cérémonie commémorative du centenaire de la naissance de Paul Sabatier, le professeur Camichel, membre de l'Institut, termina ainsi son discours : « *Il a admirablement rempli les deux grandes missions de l'Université : l'enseignement et la recherche ; il nous laisse un grand exemple, j'ajoute qu'il n'a jamais voulu quitter la province qui l'avait vu naître, l'Université et la ville qu'il avait, dès le début de sa carrière, choisies et c'est pour cela qu'à notre admiration pour lui se mêle un sentiment plus doux que le temps n'affaiblira pas, celui de notre profonde reconnaissance et de notre affectueux souvenir* » [3].

Pourtant, les avantages parisiens, par rapport à la situation des provinciaux, ne manquaient pas :

- plus grandes facilités de recherches ;
- salaires plus élevés – en 1881, un professeur débutant avait un salaire de 12 000 francs à Paris, quant un professeur de province en touchait 11 000 au sommet de sa carrière ;
- possibilité de cumul (à Paris, il était possible d'occuper plusieurs postes, c'est ainsi que le physicien et astronome Eleuthère Mascart en occupait quatre) ;
- et possibilité d'être nommé membre titulaire de l'Académie des sciences du quai Conti car le règlement obligeait les académiciens à résider en région parisienne.

À aucun moment de sa carrière il n'avait été tenté de retourner à Paris, à la différence de M. Brillouin et A. Cotton qui n'avaient fait qu'un court séjour à Toulouse. Les occasions ne lui avaient cependant pas fait défaut : lorsque l'Académie des sciences lui décerna le prix Lacaze en 1897, puis le prix Jecker en 1905, et enfin le nomma correspondant de la section chimie cette même année 1905, ses collègues parisiens insistèrent pour qu'il les rejoigne. En 1907, après la mort à quelques mois d'intervalle d'Henri Moissan et de Marcelin Berthelot, ces avances se firent encore plus pressantes et le devinrent davantage quand le prix Nobel de chimie lui fut décerné en 1912. Tous ces appels n'eurent aucun succès, en raison certes de son attachement sentimental à ses racines,

mais aussi parce qu'il considérait que les charges administratives imposées aux scientifiques parisiens étaient très dommageables pour la recherche scientifique. Ajoutons à cela qu'il avait horreur de la vie mondaine – il avait pu l'apprécier lorsque, jeune thésard, il était invité dans le salon de Berthelot fréquenté par Ernest Renan et Georges Clemenceau. La mort de son épouse, en 1898, avait considérablement augmenté cette phobie.

Paul Sabatier était très en avance sur son temps quant à l'image qu'il se faisait de l'Université, de son métier, de la formation des étudiants. Plusieurs de ses initiatives peuvent être considérées comme des innovations révolutionnaires encore d'actualité ou faisant toujours l'objet de débat.

Pour comprendre son œuvre, il est bon de rappeler ce qu'était la situation des établissements d'enseignement supérieur en France sous la Troisième République. Cette situation était critique au milieu des années 1870 : manque de locaux, de crédits, de moyens, absence de laboratoires et misère des bibliothèques. Une réforme devenait indispensable ; elle fut surtout l'œuvre de Jules Ferry et de Louis Liard, directeur de l'Enseignement supérieur au Ministère de l'Instruction publique de 1884 à 1902. Ce

dernier commença par promulguer deux décrets par lesquels les Facultés obtinrent un statut de personnalité juridique, ce qui leur permit de recevoir des aides substantielles de la part des municipalités. Elles sont aussi dotées d'une structure légale comprenant conseils et assemblées, structure en place jusqu'en 1968. De plus, la France était divisée en dix-huit académies dirigées par un recteur en charge à la fois de l'enseignement primaire, secondaire et supérieur.

Liard, pour corriger les défauts de la structure en Facultés indépendantes telles qu'elles existaient dans les seize villes universitaires, décida de créer cinq ou six Universités de province sur tout le territoire, proposition qui devait entraîner immédiatement une compétition entre les autorités locales pour faire partie des villes retenues.

À Toulouse, la déception fut très grande lorsqu'on apprit que la ville rose ne serait pas retenue ! Toutes les personnalités que comptait la cité vont se mobiliser pour faire changer d'avis Liard qui avait fondé son argumentation sur la localisation géographique et les potentialités des futurs centres. Toulouse, entre Montpellier et Bordeaux, pouvait s'effacer au profit de ces deux villes, tandis que la présence de seulement trois Facultés (lettres, sciences et droit, l'École de médecine n'ayant pas les 250 étudiants minimum requis et la Faculté de théologie étant délocalisée à Montauban) ne justifiait pas la création d'une Université. La réaction fut très vive : Bordeaux n'est pas le Midi et Montpellier est surtout associé à Marseille, de plus, c'est à Toulouse que le nombre d'inscriptions augmentait le plus vite, justifiant le doublement du nombre de professeurs entre 1878 et 1888.

Tous ces arguments étaient repris par un homme exceptionnel qui fit de cette promotion un combat qu'il mena avec détermination : Jean Jaurès, maître de conférences à la Faculté des lettres, adjoint au maire de Toulouse et journaliste au journal local *La Dépêche*. Comme adjoint, il avait participé en 1891 à l'inauguration de la nouvelle Faculté des sciences et, en 1892, des nouvelles Facultés des lettres et droit, toutes



Frontispice de l'Université de Toulouse.

construites grâce à l'aide de la municipalité, aide autorisée par les décrets de Liard. En 1890, il avait secondé le recteur Ch.-Marie Perroud et obtenu avec lui la transformation de l'École de médecine en Faculté. Ayant appris que la proposition de Liard devait passer devant le Parlement, il mobilisa tout ce que la ville comptait comme organismes, personnalités, cercles, associations ; il participa à une campagne de sensibilisation dans *La Dépêche* et invita le nouveau ministre de l'Instruction publique, Léon Bourgeois, à visiter les Facultés toulousaines. Comme d'autres villes avaient mené le même combat, le gouvernement céda et ce sont dix-sept corps universitaires qui furent créés en 1893 et baptisés Universités en 1896 : Toulouse était du lot !

Dès sa nomination comme professeur, Paul Sabatier s'investit à fond pour son université, à tel point que le doyen Baillaud le proposa pour lui succéder au décanat pas plus tard qu'en 1885. Rattrapé par ses convictions politiques et religieuses à une époque où s'affrontaient cléricaux et républicains, il avait essuyé un refus de la part du recteur Perroud qui écrivait au ministre : « *Ses opinions et ses croyances religieuses l'ont engagé un peu loin du camp libéral.* » Il ne sera nommé doyen qu'en 1905, distinction dont il exerça les fonctions jusqu'en 1929.

Excellent pédagogue, de l'avis même de ses anciens élèves, il s'était donné comme objectif d'accroître le niveau de formation des étudiants toulousains et de faire participer son établissement à la vie sociale et industrielle du pays en l'orientant en partie vers l'enseignement des sciences appliquées. Il voulait aussi rompre avec le caractère encyclopédique de l'enseignement – tant secondaire que supérieur –, refusant le « par cœur » et privilégiant toute formation personnelle. Favorable à une spécialisation, il proposa que celle-ci intervienne au deuxième semestre de la troisième année de licence, ce qui supposait une diversification de ces licences, réforme que le Ministère refusa.

Il profita par contre d'un décret de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle qui définissait trois fonctions pour les professeurs : formation, recherche et « *rendre service à la Société* ». Ainsi dès 1888, il professait le soir un cours public de chimie agricole dans le vieil amphithéâtre de la rue Lakanal ; le choix de la discipline était lié à l'importance de l'agriculture pour l'économie régionale. Devant le grand succès de ses conférences, un enseignement de chimie agricole fut créé l'année suivante. En 1893, une station agronomique était annexée à la Faculté des sciences, suivie l'année après d'une station d'essais de semences et de pathologie végétale et, en 1901, d'une station de pisciculture et d'hydrobiologie. Tout ce travail devait aboutir en 1909 à la création d'une École d'ingénieurs agricoles grâce aux fonds apportés par la municipalité, le Conseil général de la Haute-Garonne et diverses associations agricoles et horticoles.

Depuis 1896, un enseignement de chimie appliquée était dispensé aux étudiants toulousains et un diplôme de chimiste délivré par la Faculté. En 1906, ce diplôme fut remplacé par un diplôme d'ingénieur chimiste préparé au sein de la Faculté des sciences, dans l'Institut de chimie, Institut de Faculté qui, devant le succès qu'il obtint, fut rapidement promu « Institut d'Université ».

La houille blanche apparaissait à notre savant comme une opportunité pour la région de sortir de la situation qui la faisait apparaître



Le doyen Paul Sabatier (vers 1905).

comme vouée essentiellement à l'agriculture, étant handicapée dans tout développement industriel par l'absence d'approvisionnement proche en charbon. Cette idée est à la base de la création en 1907 de l'Institut d'électrotechnique et de mécanique appliquée qui délivrait un diplôme d'ingénieur, mais aussi celui de conducteur, équivalent de nos jours à celui de technicien supérieur.

C'est dans la gestion et l'animation de ces instituts que le doyen put mettre ses idées novatrices en application. Les élèves avaient ainsi la possibilité de suivre une partie de leurs études dans un autre pays que le leur ; la réciprocité étant de fait : en 1929, les deux tiers des étudiants de l'Institut de



Promotion 1909 de l'Institut de chimie de Toulouse.

Immédiatement à gauche de Paul Sabatier, on reconnaît Alphonse Mailhe, et parmi les élèves (2<sup>e</sup> rang, 4<sup>e</sup> à partir de la droite), Georges Mignonac, major de la promotion.

chimie étaient des étrangers. Grâce à des échanges avec les étudiants américains, les élèves des instituts toulousains pouvaient terminer leurs études à Harvard.

Très novatrice aussi était l'idée d'accepter la formation de contremaîtres et de techniciens dans des établissements relevant de l'Université. Plus révolutionnaire encore apparaissaient ses conceptions d'admettre des élèves non bacheliers dans des établissements relevant de l'enseignement supérieur. Ce fut le cas en 1906 de Georges Mignonac qui a été par la suite à l'origine de très beaux travaux en chimie organique et a été le successeur direct de Sabatier à la direction de l'Institut de chimie.

Institut de chimie en 1906, Institut d'électrotechnique et de mécanique appliquée en 1907, Institut agricole en 1909 : toutes créations remarquables de Paul Sabatier. En 1920, à l'initiative du professeur Camichel, une tentative d'autonomie de ces instituts a été amorcée pour la création d'un Institut polytechnique polyvalent qui devait les regrouper (à l'image de ce qui existe à notre époque avec l'Institut national polytechnique de Toulouse). Face à l'opposition du Conseil de la Faculté des sciences, ce projet devait avorter.

Le succès de ces créations ne se fit pas attendre, comme on peut en juger en observant l'évolution des recrutements ; par exemple, à l'Institut de chimie, enfant chéri du doyen : alors qu'il accueillait seulement onze étudiants en 1906, l'Institut en comptait soixante-neuf en 1911.

Les autres instituts suivirent ce mouvement, à tel point que pendant l'année scolaire 1928-1929, sur les 1 479 étudiants que comptait la Faculté des sciences, 952 étaient inscrits dans ces établissements : 265 en chimie, 492 en électrotechnique et 195 en agriculture. Si l'on enlève les 235 élèves du certificat PCN préparant aux professions médicales, on voit qu'il n'en reste que 292 à la Faculté proprement dite ! Les enseignements appliqués alimentaient donc de façon prédominante les effectifs étudiants.

Pour terminer, on peut citer une autre série de chiffres particulièrement significatifs : en 1927, à côté des 47 diplômés de licenciés attribués, la production des diplômés « appliqués » est significative : 84 ingénieurs chimistes, 4 ingénieurs électrochimistes, 101 ingénieurs électriciens, 26 ingénieurs mécaniciens, 23 ingénieurs agricoles, mais aussi 24 conducteurs de tracteurs et de machines agricoles, 13 conducteurs mécaniciens agricoles et 16 brevets de conducteurs électriciens.

Pour accompagner ces succès, un nouveau bâtiment fut construit rue Sainte-Catherine au bénéfice de l'Institut de chimie. Pour compléter le financement, le doyen Sabatier fit don d'une partie de la somme accompagnant son prix Nobel, ce qui permit de terminer les locaux au début de la Grande Guerre. Cependant, en raison de celle-ci, l'Institut fut réquisitionné pour servir d'hôpital et ne put être utilisé par les chimistes qu'à partir de 1920.

Tout ce qui précède montre combien Paul Sabatier était un précurseur dans ces domaines si importants de la pédagogie, de la décentralisation, de la professionnalisation et de l'autonomie des Universités. Ces créations entraînent une concertation prononcée avec les milieux économiques, qui se traduit par exemple dans l'organisation de visites d'usines et la participation d'ingénieurs aux enseignements, concertation qui fut couronnée, après la guerre 1914-1918, par l'installation à Toulouse, au titre des dommages de guerre, d'une usine de fabrication de nitrates et d'acide nitrique, l'ONIA (plus récemment AZF).

## L'œuvre scientifique de Paul Sabatier

Contrairement à une idée bien ancrée dans l'esprit des chimistes, Paul Sabatier n'était pas un chimiste organicien ! Ses travaux, tout au moins au début, s'inscrivent davantage dans le domaine de la chimie inorganique : il n'a d'ailleurs jamais occupé la chaire de chimie organique, mais celle de chimie générale, l'amenant à enseigner, de façon indifférenciée, l'une ou l'autre de ces deux disciplines. De même son successeur, le professeur Cathala, spécialiste de génie chimique (dont il fit un nouvel institut toulousain de grande qualité) appartenait-il à la population des physico-chimistes.

Nous avons vu que le sujet de la thèse proposé par Berthelot le conduisit à préparer et étudier de nombreux composés nouveaux appartenant à la famille des sulfures métalliques, ce qu'il accompagna de nombreuses mesures thermochimiques. C'est cette chimie du soufre qu'il continua d'étudier plusieurs années après avoir obtenu le grade de docteur.

Ainsi, il prépara à l'état de pureté le persulfure d'hydrogène (disulfure d'hydrogène) que Scheele, Berthollet et Thénard avaient déjà entrevu et utilisé, et dont il détermina de nombreuses propriétés [4]. Il obtint ensuite des sulfures et sous-sulfures de silicium ( $\text{SiS}_2$  et  $\text{SiS}$ ) et de bore ( $\text{B}_2\text{S}_3$  et  $\text{B}_4\text{S}$ ) [5], avant de s'attaquer aux composés du sélénium, bien moins connus que ceux du soufre [6].

Il se tourna alors vers d'autres composés binaires : les halogénures métalliques, plus précisément les chlorures et bromures du cuivre divalent et du fer trivalent. À cette occasion, il fit une belle observation à partir du composé bleu obtenu par l'action des sels cuivreux sur l'acide sulfurique nitreux, et montra que la couleur bleue-pourpre de ce composé, l'acide nitrosodisulfonique, n'était pas due au cuivre mais à un radical nitreux [7].

S'intéressant aussi à la force des acides, dont la thermo-chimie ne permet pas de donner des indications sur les valeurs relatives des diverses fonctions d'un polyacide, il a inventé une méthode colorimétrique grâce à laquelle, vers 1886, il prépare le terrain pour l'établissement de véritables échelles colorimétriques pour le suivi des réactions. Il a étendu ces travaux de colorimétrie à l'étude de la cinétique de transformation de l'acide métaphosphorique à l'aide d'indicateurs colorés [8]. En avance sur beaucoup de chimistes de son époque, toutes ces recherches le conduisirent à utiliser la spectroscopie d'absorption de façon intensive, faisant de lui l'un des premiers à appliquer la chimie physique en chimie minérale.

Ces premiers résultats personnels qui, en 1897, forment un ensemble de près de 90 publications dont une quarantaine aux *Comptes Rendus de l'Académie des sciences*, amenèrent cette institution à lui décerner le prix Lacaze et firent l'objet d'une très belle conférence qu'il prononça cette même année à Paris devant la Société Chimique de France, conférence qui eut un très grand retentissement dans la communauté des chimistes.

Il a été déjà signalé que Paul Sabatier avait adopté très tôt la théorie atomique et la classification périodique de Mendeleïev, ce qui lui valut la hargne de Berthelot qui cessa de présenter ses notes à l'Académie des sciences dès 1890 !

### De la chimie minérale à la chimie organique

C'est en chimiste « inorganicien » que notre savant aborda la suite de ses travaux qui devaient le conduire à proposer une

nouvelle méthode d'hydrogénation des composés insaturés et imaginer un mécanisme pour la catalyse.

En 1890, Ludwig Mond, Carl Langer et Friedrich Quincke avaient synthétisé un composé mixte du nickel et du monoxyde de carbone : le nickel carbonyle [9] de formule  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ , bientôt suivi du fer pentacarbonyle  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ , obtenu indépendamment par Mond et Berthelot [10] ; la molécule « incomplète » d'oxyde de carbone s'ajoutait donc à des métaux. Sabatier eut l'idée qu'il devrait être possible de faire la même chose avec d'autres molécules « incomplètes » et proposa à Senderens de vérifier cette hypothèse.

### Mais qui était donc Senderens ?



L'abbé Jean-Baptiste Senderens  
(1856-1937).

Jean-Baptiste Senderens était un prêtre du diocèse de Tarbes, né en 1856 dans le petit village de Barbachen dans les Hautes-Pyrénées [11]. Au cours de ses études primaires et secondaires, il manifesta un intérêt très fort pour les sciences, intérêt que sa hiérarchie devait encourager par la suite à cette époque où l'Église catholique estimait nécessaire de s'investir dans les disciplines scientifiques pour répondre aux accusations d'obscurantisme des

radicaux anticléricaux, « contenir la science dans ses justes limites », et accompagner la mise en place de Facultés catholiques : « *Emparons-nous de la science* » s'écriait Mgr D'Hulst, recteur de l'Institut catholique de Paris le 23 novembre 1883.

Ordonné prêtre en 1880, il suivit simultanément à Toulouse des études de lettres à l'Institut catholique et des études de chimie à la Faculté des sciences. Édouard Filhol, titulaire de la chaire de chimie depuis 1854, l'accueillit dans son laboratoire, où il commença à préparer une thèse. À la mort de Filhol en 1883, Sabatier lui succéda et accompagna l'abbé Senderens jusqu'à la soutenance de sa thèse, en 1892 ; comme on peut en juger, le titre de ce travail – *Action du soufre sur les oxydes et les sels en présence d'eau* – porte la marque de son nouveau maître !

Le grade scientifique ainsi acquis venait s'ajouter à celui de docteur en philosophie que l'abbé avait obtenu à Rome en 1888. À 38 ans, après son grade de docteur ès sciences, il est fait chanoine honoraire et, tout auréolé de ces grades et récompenses, arrive au bon moment pour poursuivre ce que l'on appellerait aujourd'hui un post-doc, sur le nouveau sujet que lui propose Sabatier.

### Les étapes de la découverte

En bon minéraliste, Sabatier choisit d'étudier d'abord les combinaisons des métaux avec les oxydes d'azote. Avec Senderens, ils obtinrent des « métaux-nitrés », véritables combinaisons du peroxyde d'azote avec des métaux réduits de leurs oxydes (cuivre, cobalt, nickel) : ainsi avec le cuivre, un solide noir instable de formule  $\text{Cu}_2\text{NO}_2$  [12]. L'impossibilité d'étendre ces résultats aux autres soxydes d'azote ( $\text{NO}$  et  $\text{N}_2\text{O}$ ) les obligea à changer de famille de composés insaturés, et à se tourner vers les potentialités de la chimie organique : c'est ainsi qu'ils choisirent l'éthylène et l'acétylène comme premiers exemples.

Une recherche bibliographique rapide permettait de s'apercevoir que Henri Moissan et Charles Moureu avait déjà exploré superficiellement l'action de l'acétylène sur le fer, le nickel et le cobalt. Avec le nickel par exemple, ils observaient au passage de l'acétylène une forte incandescence, un dépôt de charbon sur le nickel, la formation d'hydrocarbures liquides (benzène et styrène) et un important dégagement gazeux qu'ils attribuèrent, *mais sans l'analyser*, à de l'hydrogène [13].

Après s'être assurés que Moissan et Moureu ne continuaient pas cette étude, Sabatier et Senderens recommencèrent l'expérience mais avec l'éthylène qui devait être **moins réactif** que l'acétylène. L'éthylène dirigé sur du nickel, du cobalt ou du fer, récemment réduits et maintenus à une température voisine de 300 °C, se comporte comme ce que Moissan et Moureu ont décrit avec l'acétylène : il apparaît une vive incandescence accompagnée d'un dépôt volumineux de charbon et un fort dégagement de gaz [14]... Mais Sabatier était élève de Berthelot dans le laboratoire duquel on apprenait à analyser systématiquement les gaz ! Il demanda à Senderens de les recueillir et les analyser. En réalité, le mélange ne contenait que peu d'hydrogène ; il était surtout composé de méthane et d'éthane, éthane dont on ne pouvait expliquer la formation que par l'hydrogénation de l'éthylène. La décomposition partielle produisant du charbon et de l'hydrogène, cette hydrogénation était sans doute provoquée par le métal. Cette dernière hypothèse fut vérifiée en 1897 en opérant de la même façon, mais cette fois en dirigeant sur le nickel un mélange d'éthylène et d'hydrogène : la transformation en éthane se fait avec un très bon rendement et le même métal peut servir indéfiniment, agissant ainsi comme un catalyseur [15].

En analysant les motifs qui ont amené Sabatier à revenir sur la réaction de ses illustres prédécesseurs, on comprend qu'il avait été guidé en grande partie par son opinion sur l'activité catalytique. Alors qu'ils postulaient un phénomène physique de condensation de l'acétylène dans les pores du métal, condensation qui s'accompagnait d'une forte quantité de chaleur suffisamment énergétique pour détruire ou polymériser l'acétylène, il pensait au contraire qu'il s'agissait de la formation d'une combinaison chimique du métal avec le gaz. Utiliser l'éthylène, moins réactif, devait permettre *éventuellement* de mettre en évidence cette combinaison.

Le procédé étendu à l'acétylène conduisit aux mêmes observations : en 1899, la même activité permit la préparation de l'éthane à partir de l'acétylène [16]. Il est intéressant de rapporter ici une observation qui avait fait beaucoup de bruit à l'époque : en reprenant la réaction de l'acétylène, mais en faisant varier les proportions d'hydrogène du milieu et la température, nos chercheurs obtenaient des huiles qui, suivant ces conditions, ressemblaient au pétrole de Bakou, de Galicie, de Roumanie ou de Pennsylvanie, d'où l'expression d'une théorie générale sur la genèse minérale des pétroles.

Le nickel se révéla vite le meilleur métal pour les réactions d'hydrogénation. Restait alors à relever un défi : l'hydrogénation du benzène en cyclohexane, réaction qui fut réussie en 1901 [17]. À 180 °C, en présence de nickel réduit, finement divisé, le benzène est totalement transformé en cyclohexane. C'était un défi car les précédents essais, réalisés en tube scellé par Berthelot qui utilisait la décomposition thermique de l'acide iodhydrique (agent universel d'hydrogénation) comme source d'hydrogène, conduisaient non pas au cyclohexane, mais au méthylcyclopentane à la suite d'une isomérisation dans le milieu réactionnel. Ce fut une grande joie pour Sabatier qui termina sa présentation orale devant les

membres de la section toulousaine de la Société Chimique de France par cette phrase : « *Plus de tube scellé, plus d'œil crevé !* »

Convaincu alors du caractère général de sa découverte, il énonça en 1901, avec Senderens, le principe de la méthode : « *Sur du nickel récemment réduit, maintenu à température convenable (généralement comprise entre 150° et 200°) on dirige les vapeurs de la substance, en même temps qu'un excès d'hydrogène.* »

De 1901 à 1905, ils appliquèrent ce procédé à un très grand nombre d'exemples :

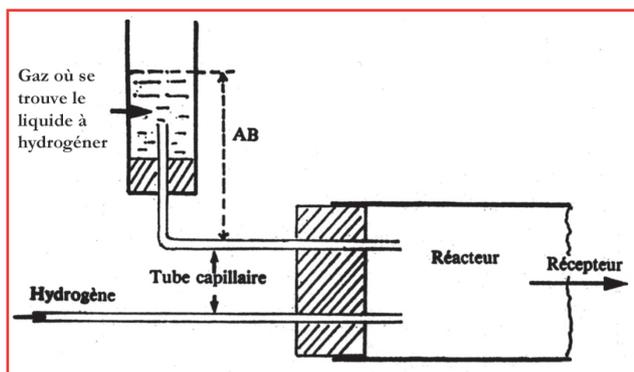
- hydrogénation directe des nitriles en amines, des aldéhydes et cétones en alcools, du gaz carbonique et du monoxyde de carbone en méthane ;
- hydrogénation des carbures aromatiques homologues du benzène en composés cyclohexaniques : phénol en cyclohexanol, aniline en cyclohexylamine. De même, le naphtalène et l'acénaphène sont réduits en présence de nickel ;
- application aux terpènes.

Vers 1904-1905, les rapports entre les deux chimistes toulousains commencèrent à se dégrader, ce que l'on peut attribuer à plusieurs causes :

- l'arrivée dans l'équipe d'un nouvel élève, Alphonse Mailhe, que Senderens ne semblait pas apprécier ;
- l'application de la loi de 1905 sur la séparation des Églises et de l'État, qui ne permettait plus à l'abbé de venir en soutane au laboratoire de la Faculté des sciences ;
- enseignant à l'Institut catholique de Toulouse, dont il était directeur de l'École supérieure des sciences depuis 1883, il y poursuivait ses propres recherches dans un laboratoire très bien équipé, ce qui l'éloignait de son maître, à la différence de Mailhe installé à la Faculté des sciences ;
- la perte pour Senderens du traitement d'ecclésiastique qu'il recevait de l'État avant 1905, ce qui l'amena à rechercher des compensations pécuniaires, en particulier auprès de l'industriel Camille Poulenc avec la société duquel il travailla longtemps ;
- et - peut-être ? - un différent idéologique avec Paul Sabatier qui, bien que catholique pratiquant, était franc maçon, membre de la loge « Les vrais amis réunis ».

On peut alors s'expliquer que la collaboration entre les deux chimistes s'arrêta en 1907, date à partir de laquelle on ne trouve plus de publications communes. Au préalable et malgré cela, en 1905, c'est ensemble qu'ils furent récompensés par l'Académie des sciences qui leur décerna le prix Jecker, tandis que l'abbé recevait aussi la Médaille Berthelot.

Sabatier poursuivit donc ses recherches essentiellement avec Mailhe avec qui il continua d'appliquer l'hydrogénation



Montage expérimental de l'hydrogénation catalytique.

catalytique à de nombreux autres composés : ils réussirent ainsi l'hydrogénation des dérivés halogénés aromatiques, transformés en hydrocarbures, des acides insaturés, des oximes, des amides, des éthers isocyaniques, des carbamides, des dicétones, des crésols, etc. Avec son préparateur Murat, ce sont les acides et les esters benzoïques, résistant jusqu'alors à la méthode, qui ont pu être transformés en dérivés hexahydrobenzoïques.

C'est encore avec Mailhe qu'ils abordèrent l'utilisation des oxydes métalliques comme catalyseurs, s'en servant pour réaliser des réactions de déshydrogénation et de déshydratation. C'est à ces occasions qu'ils observèrent l'inversion des réactions catalytiques : un même catalyseur étant capable, suivant les conditions, de catalyser la réaction directe et la réaction inverse, hydrogénation et déshydrogénation, déshydratation et hydratation.

À partir de l'étude de la formation et de l'hydrolyse des esters [18], ils vérifièrent, en 1911, que dans les réactions équilibrées : « *La valeur de la limite n'est pas affectée par la présence du catalyseur, qui a seulement pour effet d'accroître fortement la vitesse à laquelle cette limite est atteinte.* »

Arrêtons là cette énumération qu'il faudrait compléter par tous les travaux des chimistes français et étrangers qui utilisèrent les méthodes et résultats de ce grand chimiste pour examiner ce qui constitue l'un des points les plus importants de son œuvre : l'établissement d'une théorie de la catalyse.

### La théorie de la catalyse

Nous avons vu plus haut que Sabatier avait sur la catalyse des idées très différentes de celles proposées à son époque. L'explication la plus souvent avancée pour expliquer les phénomènes catalytiques sur les solides était purement physique : sur un métal poreux, on admettait que la condensation des substances produisait une élévation locale de température, apportant ainsi l'énergie nécessaire à la réaction. L'orientation différente des réactions, par exemple d'un alcool sur le cuivre (déshydrogénation) ou l'alumine (déshydratation) à la même température, ne pouvait s'expliquer par cette théorie.

Lors de la remise du prix Nobel à Stockholm, en 1912, il s'exprimait ainsi : « *Je pensais et je pense encore [...] que la cause déterminante de l'activité catalytique du platine poreux n'est pas un simple phénomène de condensation physique produisant une élévation locale de température, mais que c'est une véritable combinaison chimique superficielle du métal avec le gaz ambiant.* »

Cette hypothèse chimique était déjà écrite, en 1897, dans l'article aux *Comptes Rendus* qui rendait compte de ses premiers essais, article intitulé « Action du nickel sur l'éthylène » : « *On doit en rechercher la cause dans la formation entre le nickel et l'éthylène d'une combinaison instable, se dédoublant en carbone, méthane et nickel, capable de réitérer une formation identique.* »

Mais c'est en 1927, dans une note à l'Académie des sciences [19], qu'il énonça le mieux cette hypothèse, en ces termes : « *Les phénomènes de la catalyse peuvent être facilement interprétés par la formation, à partir du catalyseur et de l'un des constituants de système transformable, d'un composé temporaire, produit très vite et réagissant aussitôt avec les autres facteurs du système, en régénérant le catalyseur, qui recommence indéfiniment le même effet.* » Il ajoute un peu plus loin, au sujet de l'inversion des réactions catalytiques : « *On peut prévoir que cette formation intermédiaire fournie par le catalyseur sera généralement identique pour les deux réactions inverses fournies par le système chimique et que,*

par conséquent, les catalyseurs seront fréquemment capables d'agir sur ce système en deux sens opposés, selon les conditions où l'on se place. »

Les explications données par Sabatier devaient, en 1913, inspirer le recteur Paul Lapie qui, au cours d'une cérémonie en l'honneur du scientifique toulousain, les traduisit en termes simples capables de les faire comprendre par les non-scientifiques : « *Qu'est-ce que la catalyse, la méthode favorite de Monsieur Sabatier ? C'est la synthèse par laquelle deux corps, n'ayant pas l'un pour l'autre une très grande affinité, consentent à s'unir lorsqu'un métal préside à leur mariage. [...] Puisque le nickel, par exemple, est indispensable à la combinaison de l'acétylène et de l'hydrogène, il faut supposer que le nickel commence par attirer l'hydrogène, mais que l'hydrogène, capricieux, rompt bientôt avec le métal pour s'unir à l'acétylène. Les yeux n'aperçoivent, sous la présidence d'un métal passif, qu'une combinaison : l'esprit ne peut expliquer les faits que par deux mariages séparés par un divorce...* »

Ajoutons pour terminer que le caractère général de la catalyse ne lui avait pas échappé, et cela de façon si évidente, que notre grand savant n'a pas hésité à appeler les métaux catalyseurs des « *ferments minéraux* » par analogie avec les ferments biologiques. Là encore, ce qui s'applique aux uns s'appliquera aux autres, par exemple, le rôle des poisons : « *Comme les ferments organisés, qui sont tués par des doses infinitésimales de certains toxiques, le ferment minéral qu'est le métal est tué par des traces de chlore, de brome, d'iode, de soufre, d'arsenic, soit qu'elles lui viennent par l'hydrogène, soit qu'elles lui soient apportées par la substance qui doit subir l'hydrogénation. Ainsi le benzène, qui renferme des doses minimes de thiophène, ne peut être hydrogéné par le nickel.* »

En 1913, Paul Sabatier publia son ouvrage *La catalyse en chimie organique*, maintes fois réédité et traduit, dans lequel il rapporte le bilan des travaux accomplis depuis quinze ans tout en montrant leur enchaînement, en soulignant leur ordonnance, et en mettant en valeur les leçons que l'on peut en tirer.

## Prix Nobel de chimie 1912

Très vite, la qualité de ses travaux fut reconnue et des nominations pour le prix Nobel commencèrent à être proposées. Ce fut d'abord en 1907, par Clément Georges Lemoine (de l'Académie des sciences), qui lui associa Senderens, puis en 1911, par Ernst Büchner (prix Nobel de chimie 1907), qui nomina seulement Sabatier, et par Gaston Darboux, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, qui lui avait associé Georges Urbain, et Oskar Widman (de l'Académie royale de Suède), qui l'associait à Grignard. En 1912, c'est chose faite et le prix Nobel de chimie lui fut attribué en même temps qu'à Victor Grignard. La décision du jury est justifiée ainsi : « *pour sa méthode d'hydrogénation des combinaisons organiques en présence de métaux finement réduits, méthode qui a fait faire de grands progrès à la chimie organique.* »

Senderens n'apprécia pas du tout de n'avoir pas été associé à cette récompense ! Pour mieux comprendre sa rancœur, il faut revenir en arrière, le 13 mai 1911, à Berlin, où Sabatier avait été invité à prononcer une conférence devant l'Académie



Diplôme du prix Nobel de Paul Sabatier.

de chimie et où il indiquait en commençant : « *Je vais vous entretenir de la méthode générale d'hydrogénation directe par les métaux divisés, que j'ai instituée depuis une dizaine d'années avec la collaboration de mes élèves, M. Senderens d'abord, puis M. Mailhe.* » Être traité d'élève accompagnant le « j'ai » réducteur fit réagir le chanoine qui écrivit une réclamation à l'Académie royale de Stockholm sous la forme d'un dossier où il expliquait sa longue collaboration avec le lauréat en précisant : « *M. Sabatier a une tendance assez prononcée à se faire le seul auteur de ces méthodes.* »

Malgré la correction que le doyen fit paraître dans le même journal allemand qui avait publié sa conférence : « *Ces méthodes [...] sont élaborées par un travail qui nous est commun* », le mal était fait et le chanoine dut passer sa colère en écrivant trois articles de revue sur la catalyse où il mettait en valeur sa contribution personnelle à la découverte.

La polémique dure encore et les scientifiques s'interrogèrent toujours sur ce qui aurait dû être fait. Sans prendre position, nous nous contenterons de rapporter ce que Victor Grignard écrivit à son collègue et ami Meunier en réponse aux félicitations de celui-ci : « *À vrai dire et entre nous, j'aurais préféré, quitte à attendre encore un peu, voir partager le prix entre Sabatier et Senderens et le partager ensuite moi-même avec Barbier.* »

Senderens entreprit une collaboration avec la société Poulenc frères, devenue ensuite Rhône-Poulenc, à Toulouse dans son laboratoire de l'Institut catholique, puis à Vitry-sur-Seine, de 1911 à 1920, et enfin, à la retraite à 64 ans, chez lui à Barbachen où la société Rhône-Poulenc lui avait construit un laboratoire. Il travailla essentiellement sur les déshydratations et hydrogénations catalytiques ; pendant la guerre, il dirigea dans les établissements Poulenc les laboratoires de catalyse appliquée à la fabrication des poudres et gaz asphyxiants et continua à publier jusqu'à sa mort en 1937. Membre correspondant de l'Académie des sciences en 1922, il écrivit pendant toute sa carrière plus de 170 publications.

Quant à Paul Sabatier, en 1913, une modification du règlement de l'Académie des sciences ayant créé six postes de membre non résident, il fut le premier élu le 21 avril 1913 à rejoindre la section de chimie. Il continua à étudier la catalyse sur solides, en particulier les réactions d'hydrogénation et

déshydrogénation sur nickel et autres métaux, mais encore des réactions de dédoublement, ainsi que la formation d'aldéhydes et cétones à partir des acides.

Au total, sa production scientifique atteignit 324 notes et articles, jusqu'en 1927 date à laquelle, en raison de lourdes tâches administratives, il arrêta ses activités de recherche tout en continuant à enseigner. Il devait poursuivre cet enseignement jusqu'en janvier 1940, où il dut abandonner pour raison de santé. Le Conseil de la Faculté des sciences, lors de la séance du 7 juillet 1937, avait adressé une demande de dérogation auprès des autorités universitaires afin qu'il puisse continuer ses cours malgré sa mise à la retraite (à l'âge de 75 ans !). Parmi les arguments avancés, il était écrit : « *M. Sabatier, insensible aux morsures de l'âge, continue d'assurer son enseignement, qui est en même temps sa joie, avec le même succès et le même entrain qu'autrefois.* »

## Conséquences et applications des travaux de Sabatier

L'hydrogénation catalytique directe de Sabatier-Senderens a été accueillie avec enthousiasme par leurs contemporains chimistes. Elle fit beaucoup pour la reconnaissance acquise par le doyen après cette découverte. Plus de cent ans après celles-ci, les systèmes associant l'hydrogène et des métaux font l'objet de travaux au plus haut niveau de la recherche, aussi bien dans ce qu'ils apportent au progrès des connaissances que dans leurs applications fondamentales et industrielles. Mais les conséquences ne s'arrêtent pas à ces seuls systèmes : elles sont importantes dans tous les champs de la catalyse hétérogène et homogène et servent également pour interpréter des phénomènes de catalyse biologique.

Devant le grand nombre d'exemples que l'on pourrait citer, nous examinerons seulement quelques cas choisis de

façon très subjective ! Ces exemples, et bien d'autres encore, expliquent qu'une industrie des catalyseurs eux-mêmes a pu se développer.

La première grande application industrielle est, sans aucun doute, l'application du procédé mis au point par Fritz Haber en 1909, qui fut développé industriellement dès 1913 par la société BASF sous le nom de procédé Haber-Bosch. Il s'agit de l'hydrogénation catalytique du diazote en présence de solides à base de fer. On peut affirmer que ce procédé a sauvé l'humanité de la famine car il a permis de préparer, en grandes quantités, des engrais azotés de synthèse qui venaient à point pour remplacer les engrais naturels en voie d'épuisement. L'accès facile à l'ammoniac permet aussi de préparer, par oxydation, l'acide nitrique à la base de l'obtention de poudres et explosifs.

Le domaine dans lequel les développements ont été (et sont toujours) les plus importants, est celui de la pétrochimie. Nous avons vu plus haut que les réactions de l'acétylène dans différentes conditions catalytiques donnaient naissance à des huiles semblables à des pétroles d'origines diverses. En étudiant les conditions de ces synthèses, les chercheurs

s'aperçurent que les hydrocarbures lourds étaient facilement dégradés thermiquement en présence de nickel. Ce résultat incita Sabatier à déposer un brevet, en 1909, sur le cracking des fractions lourdes des pétroles en présence de fer et de nickel, fractions qui étaient transformées ainsi avec un rendement voisin de 75 %. Depuis, ces processus ont été perfectionnés, d'autres intéressants cette industrie ont été mis au point, ce qui permet d'avancer qu'environ 80 % des opérations de la pétrochimie sont catalytiques.

L'hydrogénation des corps gras – mélanges d'esters d'acides saturés et insaturés – a permis de modifier leurs propriétés physiques, en élevant par exemple leur point de fusion, ce qui autorise leur utilisation pour la fabrication du savon ou des bougies. En pratiquant une hydrogénation ménagée, on peut obtenir des graisses alimentaires (margarine).

De nombreux autres domaines profitent aussi des qualités des procédés catalytiques sur solides : industrie pharmaceutique, industrie des colorants, des détergents, des insecticides, des solvants, des parfums, industrie des polymères. Cette dernière utilise depuis longtemps l'hydrogénation pour la fabrication des nylons à partir du dinitrile adipique (l'hydrogénation des nitriles en présence d'ammoniac a été mise au point par G. Mignonac), ou encore l'hydrogénation des aromatiques pour accéder aux matières premières du polycaprolactame.

Les conséquences actuelles ou futures sont aussi nombreuses :

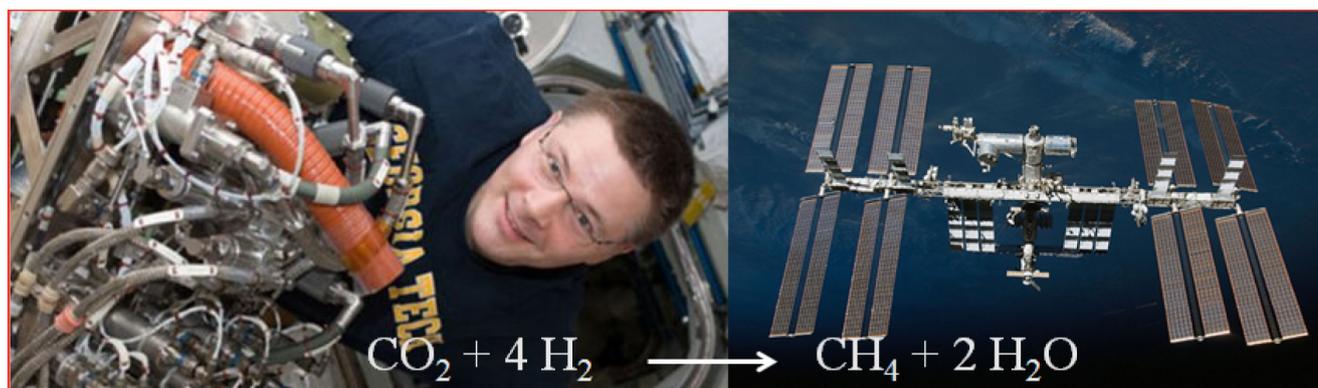
- extension de la méthode de Fischer-Tropsch (1926), à l'origine pour la préparation de carburants synthétiques à partir du gaz à l'eau et d'hydrogène, à haute pression et haute température, sur des catalyseurs à base de fer. Cette méthode conduit aussi, suivant les conditions, à divers produits organiques et est appliquée au gaz naturel. Il semble que cette réaction pourrait devenir l'une des plus importantes de l'industrie organique du futur



Paul Sabatier académicien.



Le laboratoire de Paul Sabatier dans les années 1920.



Le « Système Sabatier » : produire de l'eau dans la station spatiale, sans avoir à la transporter. © NASA.

pour transformer les matières premières issues des ressources renouvelables ;

- dans l'économie de l'hydrogène : cette remarque repose sur les travaux qui ont pour origine la suite des études du mécanisme de la catalyse. Sylvie T. Geyer, professeur au MIT, a abordé ces études en 1994 sur des monocristaux de nickel. À l'aide de processus sous vide très poussés et en suivant ceux-ci par des techniques spectroscopiques performantes, elle a pu montrer que l'hydrogène se distribuait dans le nickel, non seulement en surface, mais aussi en profondeur, ce qui permet son stockage ;

- en nanotechnologie, où la densité d'atomes du métal en surface est très élevée, favorisant ainsi l'interaction avec les substances organiques. Ainsi l'or, que l'on considérait comme inactif en catalyse, présente une telle activité sous forme de grains nanométriques ;

- en « chimie verte », où l'utilisation de réactions catalytiques est préconisée à la place des réactions stœchiométriques ;

- dans la protection de l'environnement, avec l'exemple des pots catalytiques des voitures, dont le principe a été étendu à la purification de l'air intérieur.

### La NASA et le « Système Sabatier »

Pour montrer l'actualité des retombées des procédés Sabatier-Senderens, il faut citer la réaction d'hydrogénation des oxydes de carbone en méthane et eau. À l'origine, cette transformation permettait de valoriser le gaz à l'eau en augmentant son pouvoir calorifique et en éliminant la toxicité due au monoxyde de CO.

Tout récemment aux États-Unis, une autre application de cette réaction a été développée par la NASA, mais cette fois en s'intéressant non pas au méthane produit, mais à l'eau, considérée jusqu'alors comme un produit secondaire ! L'approvisionnement en eau potable est en effet un problème majeur pour les astronautes de la Station spatiale internationale, approvisionnement qui était assuré par la navette spatiale dont l'arrêt de l'utilisation a accéléré la recherche de solutions de remplacement. Les chercheurs de la NASA ont eu l'idée d'utiliser ce qu'ils appellent le « Système Sabatier », à savoir l'hydrogénation du dioxyde de carbone émis par les astronautes pour obtenir de l'eau ; cette idée était confortée par le fait que les appareils nécessaires pour réaliser cette réaction étaient déjà présents à bord ainsi que l'hydrogène. Le méthane produit est envoyé à l'extérieur de l'engin [20].

Le « Système Sabatier » permet ainsi d'obtenir, à partir du dioxyde de carbone émis par les six astronautes, 2,5 tonnes d'eau potable par an. Cela permet de diminuer d'autant le poids des instruments transportés et d'augmenter la capacité de la station.

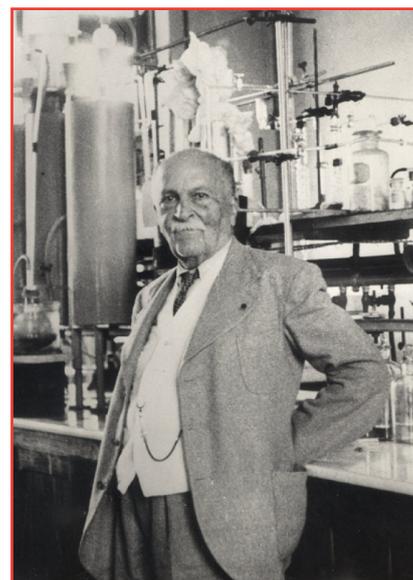
### Paul Sabatier, l'humaniste

Il a déjà été dit combien notre illustre savant était doué pour toutes sortes d'arts : pianiste – capable de composer –, peintre – auteur de belles aquarelles –, il aimait également la littérature et la poésie. L'Académie des jeux floraux de Toulouse – vénérable institution littéraire fondée en 1323, qui avait été la première à récompenser Victor Hugo – l'accueillit en son sein, comme mainteneur.

Dans ses remerciements, prononcés en séance publique le 14 février 1909, et qui sont un petit chef d'œuvre d'expression française,

il s'exprime ainsi : « S'asseoir au milieu des poètes est une aventure quelque peu inattendue pour celui qui n'a coutume de fréquenter que les laboratoires et qui, familier de l'ancre de Vulcain, éprouve une timidité bien naturelle à pénétrer dans le palais d'Apollon. » Un peu plus loin, il poursuivait : « La science et la poésie ne sont point ennemies », et, comme scientifique attaché à l'expérimentation, témoin des luttes que se sont livrés au XIX<sup>e</sup> siècle les partisans de la théorie atomique et ceux des équivalents, instruit lui-même des disputes que son interprétation des phénomènes catalytiques avait suscité, il proclame : « L'exemple du passé nous fait voir combien sont précaires et éphémères les théories scientifiques, étapes successives de la marche de l'homme vers la vérité. Leurs débris jalonnent l'histoire des sciences, et c'est pour l'orgueil humain une dure et salutaire leçon. Seuls les faits demeurent définitivement acquis. » Enfin, sa philosophie et ses croyances se retrouvent dans sa conclusion : « Parcelle infime dans l'œuvre immense du Créateur, l'homme ne pourra jamais avoir la clarté absolue de toute chose. »

Paul Sabatier avait survécu 43 ans à son épouse. Entouré de ses quatre filles, il mourut à Toulouse le 14 août 1941, à l'âge de 87 ans.



Paul Sabatier vers la fin de sa vie.

L'auteur souhaite dédier cet article à la mémoire de son maître Georges Mignonac, ancien élève et collaborateur de Paul Sabatier,

en souvenir de leurs nombreuses conversations sur ce savant, conversations qui ont nourri une partie de ce texte.

### Notes et références

- [1] On lira avec profit les rares biographies de Paul Sabatier : Babonneau L., *Génies occitans de la Science*, 1947, Éditions E. Privat, Toulouse ; Partington J.R., Paul Sabatier, *Nature*, 1954, 174, p. 859 ; Nye M.J., *Dictionary of Scientific Biography*, 1975, XII, p. 46 ; Nye M.J., *Science in the Provinces*, University of California Press, 1986, p. 117 ; Wojtkowiak B., *Paul Sabatier, un Chimiste indépendant*, Éditions Jonas, Elbeuf-sur-Andelle, 1989 ; Lattes A., De l'hydrogénation catalytique à la théorie chimique de la catalyse, *C.R. Acad. Sci. Paris, Série IIc, Chimie*, 2000, 3, p. 705.
- [2] Sabatier P., *Recherches thermiques sur les sulfures*, Thèse n° 445, Paris, 1880.
- [3] *Centenaire Paul Sabatier, prix Nobel, membre de l'Institut : 1854-1954*, Éditions E. Privat, Toulouse, 1956.
- [4] Sabatier P., Sur les propriétés du persulfure d'hydrogène, *C.R. Chimie*, 1885, 100, p. 1585.
- [5] Sabatier P., Sur le sulfure de bore, *C.R. Chimie*, 1891, 112, p. 862.
- [6] Sabatier P., Sur le séléniure de silicium, *C.R. Chimie*, 1891, 113, p. 132.
- [7] Sabatier P., Sur l'acide nitrosodisulfonique, *C.R. Chimie*, 1896, 122, p. 1479.
- [8] Sabatier P., Sur la vitesse de transformation de l'acide métaphosphorique, *C.R. Chimie*, 1888, 106, p. 63.
- [9] Mond L., Langer C., Quincke F., Action of carbon monoxide on nickel, *J. Chem. Soc.*, 1890, 57, p. 749.
- [10] Berthelot M., *C.R. Chimie*, 1891, 112, p. 1343.
- [11] L'auteur remercie le professeur François Couderc, professeur d'université et diacre permanent, pour tous les renseignements que ce spécialiste de J.-B. Senderens a pu lui communiquer. Les deux articles référencés ci-après sont certainement les mieux renseignés sur la vie et les travaux de « l'abbé » : a) Couderc F., Varravaddheay O.-M., Paul Sabatier et l'abbé Jean-Baptiste Senderens, témoins lointains d'une « laïcité positive », *C.R. Chimie*, 2011, 14, p. 516 ; b) Couderc F., L'abbé

Jean-Baptiste Senderens, chimiste, collaborateur de Paul Sabatier, fondateur de l'école supérieure des sciences de l'ICT, *Bull. Litt. Eccl.*, 2009, CX, p. 133.

- [12] Sabatier P., Senderens J.-B., Sur le cuivre nitré, *C.R. Chimie*, 1892, 115, p. 236.
- [13] Moissan H., Moureu C., Action de l'acétylène sur le fer, le nickel et le cobalt réduits par l'hydrogène, *C.R. Chimie*, 1896, 122, p. 1240.
- [14] Sabatier P., Senderens J.-B., Action du nickel sur l'éthylène, *C.R. Chimie*, 1897, 124, p. 616.
- [15] Sabatier P., Senderens J.-B., Action du nickel sur l'éthylène, synthèse de l'éthane, *C.R. Chimie*, 1897, 124, p. 1358.
- [16] Sabatier P., Senderens J.-B., Hydrogénation de l'acétylène en présence de nickel, *C.R. Chimie*, 1899, 128, p. 1173.
- [17] Sabatier P., Senderens J.-B., Hydrogénations directes réalisées en présence de nickel réduit : préparation de l'hexahydrobenzène, *C.R. Chimie*, 1901, 132, p. 210.
- [18] Sabatier P., Mailhe A., Ethérification et saponification directe par catalyse, *C.R. Chimie*, 1911, 152, p. 494.
- [19] Sabatier P., Sur l'inversion du rôle des catalyseurs, *C.R. Chimie*, 1927, 185, p. 17.
- [20] Nimon J., *The Sabatier System: producing water on the space station*, International Space Station Program Science Office, 2011. Voir l'article sur [www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/news/sabatier.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/sabatier.html).



#### Armand Lattes

est professeur émérite à l'Université Paul Sabatier\*.

\* Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 9.  
Courriel : [lattes@chimie.ups-tlse.fr](mailto:lattes@chimie.ups-tlse.fr)