

Du magnétisme aux solides carbonés

Pierre Delhaes

Résumé Cet article décrit l'émergence des recherches en chimie physique à l'Université de Bordeaux sous l'impulsion d'Adolphe Pacault juste après la seconde guerre mondiale. Cela commence par la création d'un laboratoire de chimie physique où sont menés des travaux sur le magnétisme des différents solides carbonés. Ensuite, au cours des années 1960 qui ont vu l'extraordinaire explosion de la recherche académique en France, A. Pacault a fondé un laboratoire propre du CNRS appelé par la suite « Centre de Recherche Paul Pascal » et couvrant plusieurs domaines de recherche. Les principaux sujets relatifs aux différents matériaux carbonés et concernant les recherches appliquées menées à bien durant une vingtaine d'années sont présentés. Enfin, l'influence de cette forte personnalité et son héritage intellectuel sont analysés à la lumière des récentes évolutions dans la recherche et l'enseignement supérieur en France.

Mots-clés Magnétisme, molécules aromatiques, graphite, pyrocarbonés, thermodynamique.

Abstract From magnetism to carbon solids

The rise of research in physical chemistry at Bordeaux University during the after world war period under Pacault's leadership is summarized. After describing the settlement of physical chemistry laboratory, the main scientific results, which concerned by magnetic studies and analysis of different carbon solids, are described in the first part of this paper. Associated with the tremendous expansion of the academic research during the sixties, A. Pacault founded a research center belonging to CNRS and called later on "Centre de Recherche Paul Pascal". Among the principal topics those on different carbon materials including their work related to applied research during twenty years are described. Finally in the last part of this presentation the influences of his strong personality and scientific heritage are recognized under the frame of recent changes in research and teaching in French Universities.

Keywords Magnetism, aromatic molecules, graphite, pyrocarbons, thermodynamics.

Quelques mois après sa disparition, écrire sur l'œuvre et l'homme que fut Adolphe Pacault est une tâche difficile car elle a été riche et variée chez ce « bâtisseur-chercheur-enseignant », en reprenant le triptyque énoncé par C. Vidal dans le numéro spécial du *Journal de Chimie Physique* paru en décembre 1987. Après avoir suivi ses cours de thermodynamique durant mon cursus à l'école de chimie à Bordeaux, en entrant dans son laboratoire en octobre 1960 pour faire une thèse, je ne réalisais pas alors que je m'engageais pour aussi longtemps. Près d'un demi-siècle après, retracer l'activité scientifique d'une telle personnalité me semble difficile et j'ai choisi de me cantonner dans les domaines d'expérience personnelle que sont le magnétisme et les solides carbonés. Ce caractère réducteur va oblitérer des pans entiers de cette œuvre qui sont repris dans d'autres articles de ce numéro spécial. Néanmoins, cet axe magnétisme-carbone fut l'axe dominant de son début de carrière et il permet de tracer les grands contours de son action et de montrer comment en quelques années un laboratoire efficace et productif était né à Bordeaux. Le point d'orgue de cette volonté est sans aucun doute la création d'un laboratoire propre du CNRS au milieu des années 1960 : « l'Institut de Magnétochimie », qui devint le Centre de Recherche Paul Pascal ou CRPP après la disparition de Paul Pascal en 1968.

Pour ce faire, j'ai choisi de diviser cette présentation en quatre parties

chronologiques qui permettent de bien situer les temps forts de cette carrière exemplaire. Nommé professeur, titulaire de la chaire de chimie physique et chimie minérale à la rentrée de 1950, A. Pacault y trouve un laboratoire vétuste et délabré qu'il va s'employer à reconstruire, peupler et organiser. Cette première période s'étale sur une dizaine d'années et se caractérise par l'arrivée de plusieurs collaborateurs ayant travaillé avec lui à Paris. Au début des années 1960, dans le contexte du boom économique des trente glorieuses, la grande expansion de l'Université commençait et se traduisait par la création d'un nouveau campus à Talence qui permettait de quitter les locaux exigus du cours Pasteur en centre ville durant l'année 1961. Cette expansion s'accompagnant de la création de nombreux postes à l'Université et au CNRS, une force de frappe se constituait



Figure 1 - Décembre 1985 : photo prise devant le CRPP à l'occasion de la remise des insignes de Commandeur de l'ordre national du Mérite à Adolphe Pacault par Hubert Curien, ministre de la Recherche et de la Technologie, en présence de ses collaborateurs du CRPP.

et c'est tout naturellement qu'en 1963, le CNRS lui proposait la direction d'un laboratoire propre, un des premiers créés en province, qui allait être construit et devenir opérationnel à l'automne 1965. Cette période de foisonnement des recherches au cours de la décennie 1965-1975 constitue la deuxième partie de la présentation. La période de maturité et de reconnaissance internationale du CRPP va continuer jusqu'à son départ à la retraite en 1986, quand P. Bothorel lui succède (figure 1). Au cours de cette période, plusieurs axes de recherche se sont développés montrant comment A. Pacault a su choisir les hommes qui l'ont entouré et leur laisser prendre des initiatives, ce qui a permis d'assurer la pérennité de la structure. Enfin, dans une dernière partie couvrant les années 1990 et actuelles, j'essaierai de montrer son influence sur les travaux plus récents dans le domaine concerné.

L'héritage de Paul Pascal

En chimie physique, dans le domaine de la magnétochimie, les racines remontent au début du XX^e siècle avec l'étude de la réponse d'un corps soumis à l'influence d'un champ magnétique extérieur et les travaux contemporains des frères Curie relatifs au paramagnétisme. L'établissement d'une relation entre la susceptibilité diamagnétique, réponse linéaire toujours présente dans un corps, et le type de liaisons chimiques impliquées dans un système moléculaire en présence d'un champ magnétique est dû à Paul Pascal [1]. À partir de mesures expérimentales réalisées grâce à des balances magnétiques, il a développé un système cohérent de constantes et de règles d'additivité qui portent son nom. Au lendemain de la seconde guerre mondiale, le laboratoire de Paul Pascal à la Sorbonne était en partie consacré aux études de susceptibilité diamagnétique sur divers solides et liquides. Durant sa thèse, A. Pacault s'intéresse aux notions de mésomérie et de résonance dans les molécules organiques conjuguées [2], ce qui va le conduire à examiner de près la délocalisation des électrons π dans les systèmes aromatiques, notamment dans les composés cancérogènes.

Après sa thèse, il va s'intéresser progressivement au perfectionnement des méthodes de mesure de la susceptibilité magnétique des systèmes aromatiques (le prototype est la balance de type Weiss-Foex-Forrer basée sur une mesure de force créée par un gradient magnétique appliqué sur une substance), à la détermination de leur anisotropie car c'est une grandeur tensorielle, et de leur comportement en fonction de la température. Ces travaux vont le conduire à observer des réponses anormales par rapport à la systématique magnétochimique de Pascal dans des composés polyaromatiques.

Au début des années 1950, ces recherches ont été amplifiées notamment par J. Hoarau, A. Marchand et J. Jousot-Dubien durant leur travail de thèse à Paris, et poursuivies ensuite à Bordeaux où ils rejoignent A. Pacault et occupent les premiers postes d'enseignants en chimie physique à la Faculté des sciences. À cette époque, J. Hoarau commence à développer des méthodes de chimie théorique en utilisant les acquis récents de la mécanique quantique pour rendre compte de l'exaltation de l'anisotropie diamagnétique dans les cristaux [3]. Explorant le magnétisme de noirs de carbone de différentes tailles, A. Marchand met en évidence la présence d'un seuil critique pour une dimension caractéristique des tailles moyennes de cristallites graphitiques, qui conduit à une exaltation considérable de la

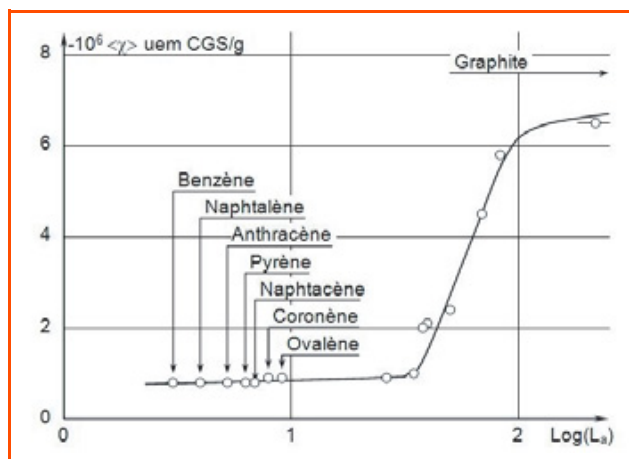


Figure 2 - Évolution de la susceptibilité diamagnétique moyenne (exprimée en unités électromagnétiques CGS et mesurée à température ambiante) en fonction de la taille des molécules et cristallites aromatiques (L_a en Å) portée en coordonnées semi-logarithmiques [4].

réponse diamagnétique du solide [4]. Enfin, J. Jousot-Dubien développe de nouvelles techniques de mesures magnétiques en fonction de la fréquence électromagnétique [5] qui sont à la base des techniques actuelles [6].

La figure 2 montre la variation de la susceptibilité moyenne de diverses molécules aromatiques et de différentes particules de noirs de carbone en fonction de leur taille. On observe une croissance régulière en fonction du nombre de cycles aromatiques accolés mais un seuil existe au-delà duquel un autre phénomène apparaît qui sort de la systématique de Pascal.

Il faut préciser que dans le contexte international de l'époque, suite aux travaux exploratoires de l'Indien Krishnan dans les années 1930, d'autres équipes obtinrent des résultats comparables, en particulier aux États-Unis et au Japon. Le point fondamental de ces études fut la délocalisation progressive des électrons π avec le passage d'un système présentant des niveaux discrets d'énergie vers des ensembles continus constituant une bande d'énergie électronique de porteurs de charge telle qu'elle est décrite en physique du solide. Cette variation abrupte de diamagnétisme a été formalisée par le théoricien russe Landau vers 1930 dans sa théorie de la quantification des états électroniques sous champ magnétique intense. En effet, A. Pacault et A. Marchand montrent que le comportement de la susceptibilité diamagnétique mesurée dans les plans aromatiques en fonction de la température est celui d'un gaz d'électrons bidimensionnel ; la détermination de l'anisotropie magnétique sur un cristal de graphite naturel en fonction de la température grâce à la mesure d'un couple mécanique précise la nature anisotrope du gaz d'électrons π [7]. Cette notion sera reprise plus tard avec celle du plan atomique de graphène qui est un ensemble polyaromatique infini. Les premiers travaux vont ouvrir un vaste champ d'étude sur des systèmes à électrons π plus ou moins délocalisés.

L'explosion des travaux et la cinétique de graphitisation des carbones

Au début des années 1960, le nombre de postes universitaires et CNRS, et par conséquent de thésards (huit entrants en thèse au laboratoire de chimie physique en 1960

et en 1961), est en forte croissance et de nombreuses thèses sont lancées, notamment dans le domaine des carbones. Ces solides issus de la pyrolyse contrôlée puis de la carbonisation d'un composé organique peuvent présenter des caractéristiques structurales et des propriétés physico-chimiques très différentes suivant les conditions de préparation. Ainsi, en 1908, dans son ouvrage intitulé *Le Carbone*, H. Le Châtelier écrivait : « *Le carbone non combiné se présente sous des formes différentes très curieuses : carbone amorphe, graphite et diamant.* » Les travaux entrepris lors de la première moitié du XX^e siècle ont cherché à élucider ce carbone amorphe obtenu en laboratoire comme le charbon de cornue ou les suies, ou bien caractéristique de charbons naturels à divers stades de leur évolution.

Avec l'acquisition des connaissances structurales obtenues par diffraction des rayons X (voir les travaux fondamentaux de R. Franklin en Grande-Bretagne vers 1950), ils apparaissent comme des solides à taux de cristallinité variable qui, à une température de traitement élevée, peuvent se transformer éventuellement en cristaux de graphite. Cette transformation irréversible sous l'influence de la température suscita l'intérêt d'A. Pacault et de son groupe qui lancèrent des travaux de grande envergure sur ce nouveau sujet. Rappelons en effet que cette transformation physico-chimique est dans un premier temps la carbonisation jusque vers 1 500 °C, suivie par une réorganisation structurale à longue distance, appelée graphitisation observée vers 2 000-3 000 °C, mais qui n'est pas toujours possible.

Deux types de travaux vont être lancés, d'une part l'exploration des propriétés électroniques de ces solides, et d'autre part l'étude cinétique de cette transformation. Le développement en cours de carbonisation d'ensembles polyaromatiques entraînant la formation de cristallites, qui sont des domaines cohérents de diffraction, pouvait être suivie par la mesure du diamagnétisme. L'examen plus approfondi de plusieurs propriétés globales permettait de mieux comprendre la nature de ces solides mal cristallisés. C'est ainsi que des travaux ont été réalisés sur les propriétés magnétiques, incluant le développement de spectromètres de résonance paramagnétique électronique (RPE), et sur les propriétés de transport sous champ magnétique (effet Hall et magnéto-résistance) sous l'impulsion entre autres d'A. Marchand et P. Bothorel. Une image réaliste de ces travaux existe dans l'ouvrage encyclopédique publié en 1965 sous l'égide d'A. Pacault par le groupe français d'étude des carbones (GFEC) [8] ; ce groupe informel réunissant universitaires et industriels, toujours actif, avait été créé en 1960 par M. Letort et A. Pacault.

L'étude des cinétiques de graphitisation sur plusieurs types de carbone dans des états d'organisation très variés (noirs de carbone, cokes de brais, pyrocarbones) a été un grand sujet d'étude et de réflexion avec entre autres la possibilité de cinétiques s'effectuant par paliers [9]. C'est ainsi que plusieurs travaux de thèse ont été dévolus à l'influence de la température de traitement thermique (appelée HTT, « heat treatment temperature ») sur l'évolution du solide carboné. Un exemple de graphitisation sur une série de pyrocarbones résultant d'un dépôt chimique en phase vapeur [8] est présenté sur la figure 3 en coordonnées semi-logarithmiques : à travers une donnée structurale (figure 3a) ou

bien magnétique (figure 3b), des courbes uniques de réponses en fonction du couple temps-température sont établies. L'ensemble de ces travaux relatifs à la compréhension des mécanismes complexes de graphitisation l'a conduit à une reconnaissance internationale comme en témoigne la médaille Georges Skakel décernée par la Société Américaine du Carbone qu'il a reçue en 1973.

L'approche phénoménologique montrant la présence de courbes affines, appelées également courbes maîtresses dans d'autres domaines, et caractérisées par un spectre d'énergies apparentes d'activation, a conduit A. Pacault à formuler une axiomatique sur l'évolution des systèmes puis à essayer de généraliser cette approche [10]. Ces résultats, montrant l'importance fondamentale de la variable temporelle, l'ont conduit par la suite à étudier l'évolution de systèmes loin de leurs états d'équilibre. C'est ainsi que dans le cadre de la thermodynamique des processus irréversibles, des réactions chimiques oscillantes en milieu homogène vont être étudiées au CRPP.

La maturité et la diversification des recherches au CRPP

Au milieu des années 1970, le CRPP est devenu un laboratoire de plus de cent personnes, fortement structuré avec des services techniques compétents et des groupes de recherche diversifiés. Les différentes activités concernant notamment les solides carbonés vont s'étendre avec des prolongements dans le domaine de la recherche appliquée. Cette nouvelle période montre également l'intérêt d'A. Pacault pour les recherches en collaboration avec l'industrie, les sciences de transfert complémentaires des sciences d'analyse, pour reprendre la nomenclature de l'époque. Sans remonter à l'activité de Paul Pascal sur les poudres et explosifs durant la première guerre mondiale [1], cette collaboration a toujours continué à Paris puis à Bordeaux comme avec l'étude des composés cellulodiques utilisés dans l'industrie papetière au cours des années 1960. C'est à cette époque qu'il a été un membre fondateur de l'Association pour le développement de l'enseignement et les recherches en Aquitaine (ADERA) afin de promouvoir l'interactivité université-industrie dans la région.

Le talent d'A. Pacault comme bâtisseur et organisateur se traduit par le développement des grands axes issus des solides carbonés sur lesquels nous allons revenir, mais également concernant d'autres thèmes importants comme les membranes biologiques puis les microémulsions et colloïdes. Pour simplifier notre approche, nous avons divisé

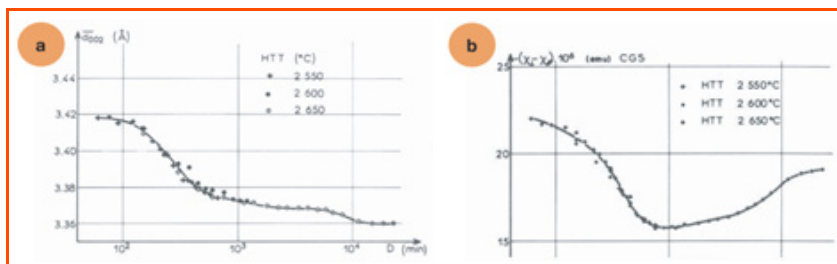


Figure 3 - Cinétique de graphitisation d'un pyrocarbone [9] mesurée après traitements thermiques (HTT en °C) pour différentes durées de traitement (t) exprimée en fonction du paramètre $D = kt$ (k : constante).

a) Variation de la distance moyenne entre plans (d_{002} en Å) en fonction de D ; b) variation de l'anisotropie diamagnétique ($\Delta\chi$) en fonction de D .

ces travaux en trois familles principales en indiquant les noms des animateurs « historiques » :

- la mésophase carbonée et les cristaux liquides (H. Gasparoux et J. Prost) ;
- les composés lamellaires du graphite et les solides aromatiques à transfert de charge (S. Flandrois et P. Delhaes) ;
- les fibres et matériaux composites, également les milieux hétérogènes aléatoires (A. Marchand, P. Delhaes et F. Carmona).

Les travaux sur les carbones ont montré que leur caractère de graphitabilité dépendait de l'état physique des précurseurs. Lorsque les molécules aromatiques, issues de la pyrolyse vers 400 °C d'un précurseur naturel ou synthétique, se trouvent comme intermédiaires dans une phase fluide partiellement organisée, le solide carbone résultant est toujours graphitable. Cette qualité a conduit à étudier les conditions d'optimisation d'une orientation moléculaire préférentielle et à caractériser cette mésophase carbonée. Elle présente de fait des analogies avec les phases thermotropes « cristal liquide », notamment celles de type discotique constituées de cœurs de molécules aromatiques empilées. Le champ d'activité sur ces matériaux moléculaires est apparu très tôt intéressant en particulier pour les problèmes d'affichage et d'écran.

Le passage au graphite se traduit schématiquement par une polymérisation bidimensionnelle du benzène avec une évolution des propriétés physiques et structurales. Il a été notamment montré que l'instauration d'un nouvel ordre structural se caractérisait par la présence d'une transition de type isolant-métal au cours de la phase de carbonisation précédant la graphitisation. Cette extension de la surface de délocalisation des électrons π peut être rapprochée du caractère amphotère du graphite qui peut aussi bien jouer le rôle de donneur que celui d'accepteur d'électrons vis-à-vis d'autres atomes ou molécules : c'est la classe des composés d'intercalation du graphite qui sont des métaux synthétiques de basse dimensionnalité électronique. L'étude des conditions d'insertion réversible dans le réseau carboné s'est révélée fructueuse, en particulier dans le contexte des batteries rechargeables, les accumulateurs au lithium. En effet, différentes variétés de graphites et de carbones sont des matériaux performants comme électrodes positives pour ces sources d'énergie secondaire mobiles largement développées à l'heure actuelle.

Enfin, un des atouts essentiels du carbone est que l'on peut l'obtenir sous différentes formes, compactes ou divisées, avec un rôle plus ou moins crucial de la surface ou interface présente. Dans les années 1960, la réalisation de fibres de carbone à partir d'un précurseur en phase condensée, comme le textile polyacrylonitrile (PAN), a vu le jour. La motivation initiale était d'utiliser les très bonnes performances mécaniques de ces fibres comme renforts dans des matériaux composites thermostrostructuraux. Les conditions de fabrication de ces composites carbone-carbone qui sont associées à la texture de leur matrice ont été largement étudiées au CRPP en liaison avec l'industrie aéronautique. Un exemple significatif de ces travaux est présenté sur la figure 4 avec le diagramme d'existence de différents types de pyrocarbones obtenus par infiltration gazeuse dans une préforme filamenteuse carbonée [11]. L'intérêt de ce résultat est fondamental à deux niveaux. Il montre tout d'abord la séparation entre un régime de nucléation en phase homogène conduisant à des suies ou noirs de carbone de celui en phase hétérogène fournissant un pyrocarbone massif en fonction du temps de séjour des espèces

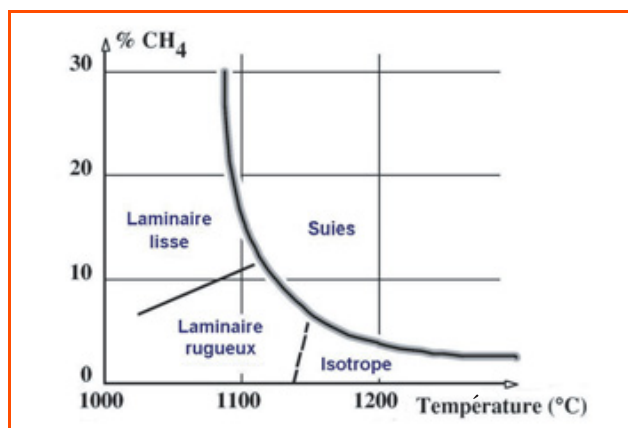


Figure 4 - Diagramme de phase thermodynamique montrant les principales textures de pyrocarbones pour des conditions de nucléation hétérogène, appelées laminaire rugueux, laminaire lisse et isotrope en fonction de leur caractérisation en microscopie optique en lumière polarisée [11].

réactives dans le réacteur. Ensuite, nous avons montré que dans ces systèmes thermodynamiques ouverts, échangeant de l'énergie et de la matière avec l'extérieur, et en présence de compétition entre les réactions chimiques de surface et les processus de diffusion massique, différentes textures sont observées. Elles peuvent être rapprochées des structures spatiales observées dans des systèmes hors équilibre thermodynamique. L'intérêt est également dans le domaine appliqué car les conditions expérimentales dans un réacteur conditionnent la texture du composite C/C final : en effet, leurs caractéristiques thermomécaniques sont très différentes avec un pyrocarbone dit « laminaire rugueux » qui est graphitable et un « laminaire lisse » ou « isotrope » non graphitable. Le contrôle des conditions d'infiltration s'est révélé ensuite crucial pour les principales utilisations comme le corps de rentrée atmosphérique d'une fusée ou bien des disques de frein d'avions : c'est la phase graphitable qui doit être fabriquée.

Un autre aspect plus fonctionnel a été de développer la physique des milieux hétérogènes aléatoires en accord avec les modèles théoriques dits de percolation. C'est ainsi que les dispersions de petites particules carbonées comme des noirs de carbone ou des fibres courtes ont permis de mettre en évidence des diminutions significatives de la fraction volumique au seuil de percolation détecté par conduction électrique, en fonction de la forme et de la distribution au hasard ou pas de ces objets, dans une matrice isolante.

Lorsque A. Pacault prend sa retraite de professeur et quitte la direction du CRPP en 1986, il laisse une unité propre du CNRS extrêmement active, très bien structurée avec plus de 150 personnes, et internationalement reconnue dans plusieurs domaines de la chimie physique. En décembre 1985, le professeur H. Curien, alors Ministre de la Recherche et de la Technologie, lui remet les insignes de Commandeur de l'ordre national du Mérite, en présence de nombreuses personnalités et des membres anciens et présents du CRPP comme en témoigne la photo de groupe prise ce jour-là devant l'entrée principale du laboratoire (figure 1). Pour résumer les évolutions scientifiques qu'il avait voulu imprimer durant toutes ces années, il est instructif de se reporter à ce qu'il a appelé « l'arbre de connaissance », publié dans le dernier rapport d'activité du CRPP rédigé sous sa direction en 1985 (voir figure 5). C'est le témoignage de la vision qu'il avait de son action après une vingtaine d'années à la tête du laboratoire qu'il avait créé.

L'évolution et le devenir, vingt ans après

Tous ceux qui l'ont côtoyé connaissaient sa forte personnalité et la force de persuasion qu'il pouvait déployer pour faire passer ses idées. Plus de vingt ans se sont encore écoulés et une analyse de la transmission des acquis et des connaissances, qui fut l'un des grands sujets de réflexion d'A. Pacault, est un exercice délicat et subjectif.

Concernant la dynamique intérieure du CRPP, les grands thèmes de recherche ont évolué sous l'impulsion des directeurs successifs, en particulier celui des matériaux solides et carbonés. Les sujets classiques ont été renouvelés par les découvertes de nouvelles phases plus moléculaires comme les fullerènes, les plans de graphène isolés et ceux formant des nanotubes monofeuillets, mais également concernant les techniques de mise en forme de divers solides poreux comme des mousses et aérogels. Les nouvelles recherches s'orientent vers des carbonés nanostructurés qui marient les techniques de la chimie colloïdale avec les procédés classiques de production. C'est ainsi que de nombreux travaux concernent les nanofilaments et nanotubes de carbonés, leur élaboration en filaments hiérarchisés et la fabrication de nanocomposites fonctionnels.

Les contraintes extérieures ont également profondément changées et les laboratoires qu'il a créés, d'abord celui de chimie physique à l'université puis le CRPP, unité propre du CNRS depuis sa création, ont été le reflet de sa personnalité dans le contexte de la reconstruction universitaire et de la science triomphante de l'après guerre. Il concevait un laboratoire avec une unité de lieu et d'action rendue possible par la mise en commun des moyens techniques et financiers. Force est de constater que l'évolution de la recherche, reflet de celle de la société de consommation, ne correspond plus à ces principes. Les finalités et les structures actuelles de la recherche ne sont plus adaptées à cet état d'esprit et des mutations nécessaires sont en cours.

Néanmoins pour conclure, il ne faut pas rester avec une approche réductionniste de son activité de recherche au CRPP car son action plus vaste est également associée à sa volonté de « mettre la science en culture ». Il avait été marqué par l'enseignement de G. Bachelard à la Sorbonne sur l'épistémologie et l'histoire des sciences. Durant toute sa carrière, il a été soucieux de ne pas se cantonner dans une forme d'enseignement classique, comme par exemple en créant le service de formation continue à l'université dans les années 1970 et plus tard en initiant un préceptorat sur la fondation des sciences à l'école d'ingénieurs de chimie et de physique de Bordeaux. Ce goût pour l'analyse en didactique s'est aussi traduit par des participations aux études sur l'importance du langage chimique et des définitions employées pour créer une discipline scientifique cohérente [12]. L'éclectisme de son activité se retrouve également dans ses contributions en tant qu'éditeur et surtout auteur ou



Figure 5 - « L'arbre de connaissance » publié dans le rapport d'activité du CRPP en 1986.

coauteur de plusieurs livres sur les sujets qui lui tenaient à cœur, présentés dans sa bibliographie (page 3).

Dans ce texte qui n'est pas exhaustif, nous avons voulu montrer l'impact laissé dans le domaine des matériaux carbonés par les sillons tracés il y a un demi-siècle environ. Tant pour les activités déployées que les honneurs reçus, le message que nous pouvons garder d'A. Pacault est celui d'un scientifique exigeant possédant une connaissance encyclopédique et pour lequel il n'y avait pas de barrière entre les différentes facettes recouvrant la recherche scientifique sous toutes ses formes et celles de la transmission ou médiation des connaissances qu'il appelait de manière lapidaire : « savoir faire et faire savoir ».

Références

- [1] Pacault A., Delhaes P., Paul Pascal (1880-1968), *Itinéraires de chimistes, 1857-2007, 150 ans de chimie en France avec les présidents de la SFC*, L. Lestel (coord.), 2007, p. 407-412.
- [2] Pacault A., *Recherches magnétochimiques*, Thèse, Paris, 1946.
- [3] Hoarau J., *Contribution expérimentale et théorique à l'étude magnétique des molécules conjuguées*, Thèse, Paris, 1954.
- [4] Marchand A., *Recherches sur le magnétisme de la liaison chimique totalement délocalisée*, Thèse, Paris, 1956.
- [5] Jousot-Dubien J., *Contribution à l'étude des susceptibilités diamagnétiques en haute fréquence*, Thèse, Bordeaux, 1957.
- [6] Pacault A., Gasparoux H., Hardouin F., *Magnétométrie, Thermométrie, Techniques de l'Ingénieur*, 1977, P535. Il est intéressant de noter que c'est au début des années 1980 que la technique des balances magnétiques a été abandonnée au profit des magnétomètres. En effet, ces dispositifs mesurant un flux magnétique ont pris l'avantage en employant des matériaux supraconducteurs notamment avec la détection quantique SQUID (« Superconducting of Quantum Interference Device ») et sont couramment utilisés aujourd'hui.
- [7] Poquet E., *Mesure absolue de l'anisotropie magnétique du graphite*, Thèse, Bordeaux, 1963.
- [8] *Les Carbonés*, tomes 1 et 2, A. Pacault (ed.), Masson, Paris, 1965.
- [9] Pacault A., The kinetics of graphitization, in *Chemistry and Physics of Carbon*, vol. 7, P.L. Walker (ed.), Marcel Dekker Inc., 1971, p. 107-154.
- [10] Pacault A., Contribution on the kinetics of complex systems, *Proceedings of the fifth conference Nobel*, Stockholm, 1967.
- [11] Loll P., Delhaes P., Pacault A., Pierre A., *Carbon*, 1977, 15, p. 390.
- [12] Bensaude-Vincent B., Thibault J., Figuière P., Legendre J.-J., Pacault A., Tiberghien A., Le langage chimique à la recherche de l'élément chimique, *L'Act. Chim.*, juillet-août 1994, p. 51-63.



Pierre Delhaes est directeur de recherche émérite au CNRS, au Centre de Recherche Paul Pascal (CRPP)*.

* Centre de Recherche Paul Pascal, 115 avenue Schweitzer, 33600 Pessac. Courriel : delhaes@crpp-bordeaux.cnrs.fr