

Physique de la matière condensée

M. Pierre-Gilles DE GENNES, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

ENSEIGNEMENT

I. - COURS : *Introduction à la science des colloïdes*

Les colloïdes regroupent en principe l'ensemble des systèmes à grands interfaces : suspensions, émulsions, micelles, etc. Ces états denses de la matière jouent un rôle essentiel dans la vie courante et dans l'industrie (détergents, extraction pétrolière, peintures, produits alimentaires, cosmétiques...). Pourtant la science des colloïdes a été longtemps considérée comme artisanale et mineure. Elle s'est développée sur le plan fondamental dans un petit nombre de pays (Pays-Bas, Australie, Royaume-Uni, Bulgarie...). Actuellement il s'avère qu'elle pose des questions particulièrement riches sur le plan fondamental. Le but du présent cours était donc, pour une part, un but de propagande : faire connaître ces questions à la communauté des physiciens, mais sans dissimuler les difficultés expérimentales. En effet, soit on travaille avec des systèmes à géométrie contrôlée (comme les couches monomoléculaires de Langmuir) mais alors on est très sensible aux contaminations ; soit on utilise des systèmes à grande surface, peu contaminables : mais ceux-ci posent souvent des problèmes stochastiques difficiles.

Une première partie du cours a été consacrée à la description des interfaces fluides les plus simples (par exemple liquide/gaz). Les pionniers ont été ici Van der Waals, puis Y. Rocard. Notre analyse a été ici largement basée sur les idées de B. Widom, mais avec certaines extensions. Par exemple, nous avons souligné que les « queues de profil » n'étaient pas exponentielles, comme l'annonce la théorie classique, mais avaient une décroissance plus lente, due à la longue portée des forces de Van der Waals. Nous avons aussi discuté l'étude expérimentale des interfaces (au voisinage du point critique) par la réflectance optique. J. Meunier et D. Langevin venaient au même

moment d'observer que la réflectance est contrôlée, non seulement par l'épaisseur de l'interface diffus, mais aussi par les oscillations capillaires. Celles-ci introduisent un facteur correctif important, analogue au facteur de Debye Waller dans la diffusion des rayons X par les cristaux.

Dans une deuxième partie, nous avons analysé le comportement d'un fluide (liquide/gaz ou mélange binaire) puis d'une *paroi solide*, en suivant l'approche remarquable de J. Cahn, qui permet une discussion à la fois concrète et fine des phénomènes de mouillage.

Nous nous sommes intéressés en particulier au cas où la paroi est en contact avec un mélange binaire quasi-critique : les perturbations induites dans ces conditions sont fortes, ne peuvent pas se décrire par une analyse linéaire, mais font apparaître des lois d'échelles remarquables, discutées il y a quelques années en collaboration avec M. Fisher. On a ici étendu l'analyse au cas de grains sphériques en suspension dans le mélange binaire, et donné quelques prédictions sur leurs interactions.

Enfin, la troisième partie, sans doute la plus neuve de ce cours a été consacrée aux solutions de polymères au voisinage d'une paroi solide ou d'une surface libre. Lorsque la paroi est répulsive pour le polymère, apparaît une *couche de déplétion* imaginée en premier il y a quelques années par Joanny et Leibler. Lorsque la paroi est attractive, il y a *adsorption* du polymère. Nous étudions ces phénomènes d'adsorption sur le plan théorique depuis plus de dix ans. Mais c'est seulement cette année qu'un schéma d'ensemble consistant se dégage :

a) même en adsorption forte, il doit exister une courbe adsorbée diffuse, épaisse et obéissant à des lois remarquables de self similarité. L'épaisseur optique et l'épaisseur hydrodynamique de cette courbe sont deux paramètres totalement disjoints ;

b) on peut prévoir comment la couche évolue selon la qualité du solvant et selon l'histoire du spécimen ;

c) on peut analyser de façon (semble-t-il) quantitative les *interactions entre deux parois* ayant chacune leur couche adsorbée. Ces interactions sont assez subtiles : elles résultent de la superposition d'effets antagonistes, et même leur signe n'est pas évident. Nous rencontrons ici un cas où les théories de champ moyen sont totalement insuffisantes (elles prévoient un effet nul) et où les lois d'échelles sont nécessaires dès le départ : encore a-t-il fallu compléter ces lois par une méthode numérique qui permette d'analyser en détail les profils de concentration. Ce travail est maintenant fait pour les situations de bon et de moyen solvant. Son extension aux mauvais solvants est menée par P. Pincus et J. Klein. L'application aux surfaces libres des solutions de polymères et à leurs tensions superficielles — pour lesquelles nous disposons

de quelques mesures récentes au laboratoire — est développée par P. Pincus et R. Cantor.

Il s'avère donc que cette introduction aux colloïdes a pu servir de germe à quelques réflexions d'ensemble. Il faut encore une fois reconnaître que l'enseignement n'a recouvert qu'une faible partie du domaine envisagé au départ : en particulier toute la physicochimie des détergents devra être enseignée plus tard. La vieille science des colloïdes a encore beaucoup à nous apprendre.

TRAVAUX DU LABORATOIRE

1) *Reptation de chaînes polymériques enchevêtrées*

a) En phase semi-diluée (H. Hervet, L. Léger, F. Rondelez)

En bon solvant le coefficient de self diffusion D_{self} (mesuré par effet Rayleigh stimulé) est confirmé comme variant comme $C^{-1,7}M^{-2}$ (C = concentration, M = masse moléculaire). On a étudié aussi des chaînes marquées courtes dans une matrice longue : les effets sont peu modifiés.

b) En phase concentrée (P.-G. de Gennes)

Etudes théoriques sur :

— l'adhésion entre polymères ;

— les cinétiques chimiques avec réactifs portés par des chaînes enchevêtrées.

2) *Sédimentation en mauvais solvant* (P. Vidakovic, C. Allain, F. Rondelez)

a) Sur le couple polystyrène/cyclohexane on a mesuré la longueur de corrélation ξ en fonction de la concentration : en régime θ semi-dilué $\xi \sim c^{-0,96 \pm 0,04}$.

b) La concentration c^* en dessous de laquelle les chaînes sont séparées varie comme $c^* \sim M^{-0,50}$.

c) En régime très dilué (avec des masses grandes $M \sim 2 \cdot 10^7$) on a vérifié que le rayon hydrodynamique varie comme $M^{1/3}$.

3) *Séparations de phase*

a) Sur le mélange polystyrène-polyvinyl méthyléther (C. Williams)

Observation de phases démixées en microscopie optique ; études cinétiques en cours aux rayons X (laboratoire L.U.R.E.).

- b) Calculs sur la décomposition spinodale (P. Pincus).
- c) Etudes théoriques sur mélanges de chaînes (J.F. Joanny).

4) *Polymères dans des pores* (G. Guilloit, F. Rondelez)

L'étude systématique sur la réalisation de micropores calibrés s'achève et nous donne des pores de diamètre particulièrement bien contrôlé (quelques centaines d'Å). Les études de *perméation* pour des chaînes confinées dans les pores, commencées l'an passé de façon qualitative sur les « nucleopores » commerciaux sont reprises de façon quantitative : en particulier l'augmentation de perméabilité au-dessus d'un certain seuil en concentration.

5) *Polymères près d'une paroi*

- a) Les solutions en présence d'une paroi *répulsive* sont étudiées par :

- la tension superficielle (R. Ober) sur le couple PS/toluène ;
- une méthode d'excitation de fluorescence par une onde évanescente (C. Allain) ;
- des mesures d'angle de contact (C. Allain).

b) Pour les parois *attractives* (adsorption) on dispose aussi de mesures de tension superficielle (C. Taupin) sur polydiméthylsiloxane-toluène. Par ailleurs un effort de réflexion théorique a été entrepris : structure des profils de concentration, rôle d'adsorption irréversible, interactions entre plaques (P.-G. de Gennes, P. Pincus, R. Cantor).

PUBLICATIONS SUR LES POLYMÈRES

P.-G. DE GENNES, A) *Collapse of one polymer coil in poor solvents* ;
B) *Collapse in a mixture AB (Ferroelectrics, 30, 33-47, 1980).*

P.-G. DE GENNES, *Sur une règle de somme pour des chaînes polymériques semi-diluées d'une paroi (C.R.A.S., 290, B-509, 1980).*

P.-G. DE GENNES, *Correlation and dynamics of polyelectrolyte solution (J. de Phys. Lettres, 41, L-451, 1980).*

P.-G. DE GENNES, *Motions of one stiff molecule in an entangled polymer melt (J. Physique, 42, 473-477, 1980).*

P.-G. DE GENNES, *Conformation of polymers attached to an interface (Macromolecules, 13, n° 5, 1069, 1980).*

P.-G. DE GENNES, *Sur la soudure des polymères amorphes* (C.R.A.S., 291, B-291, 1980).

P.-G. DE GENNES, *Coherent scattering by one reptating chain* (J. Physique, 42, 735-740, 1981).

P.-G. DE GENNES, *Polymer solutions near an interface adsorption and depletion layers*.

L. LÉGER, H. HERVET, F. RONDELEZ, *Reptation in entangled polymer solution* (soumis à *Macromolécules*).

M. DAOUD, J.-F. JOANNY, *Conformation of branched polymers* (soumis au *Journal de Physique*).

P. VIDAKOVIC, C. ALLAIN, F. RONDELEZ, *Dynamic correlation lengths in polymer solution at the theta temperature* (*Journal de Physique Lettres*, 1-7-1981).

P. VIDAKOVIC, C. ALLAIN, F. RONDELEZ, *Sedimentation of dilute and semi dilute polymer solution at the theta temperature* (soumis à *Macromolécules*).

C. DESTOR, F. RONDELEZ, *Sedimentation in dilute polystyrene-cyclohexane solution* (*Polymer*, 22, 67, 1981).

J.-F. JOANNY, P. GRANT, L.-A. TURKEVICH, P. PINCUS, *Conformations of polydisperse polymer solution : bimodal distribution* (à paraître dans *J. Phys.*).

J.-F. JOANNY, F. BROCHARD, *Collapse of a polymer chain in a melt of incompatible polymer chains* (à paraître dans *Journal de Physique*).

G. GUILLOT, F. RONDELEZ, *Characteristic of submicron pores obtained by chemical etching of nuclear tracks in polycarbonate films* (*Journ. of Applied Physics*, juillet 1981).

D.-S. CANNEL, F. RONDELEZ, *Diffusion of polystyrenes through microporous membranes* (*Macromolécules*, 13, 1599, 1980).

J.C. SEISER, K.J. ROTSCCHILD, J.D. SVALEN, F. RONDELEZ, *A new method for probing thin film dynamics : a photon correlation spectroscopy integrated optics study of photoreceptor membrane multibilayer films* (soumis à *Phys. Rev.*).

II. - Colloïdes

1) Découverte de *phases anisotropes fluides* au voisinage du domaine d'existence de microémulsions (C. Taupin, M. Dvolaitzky, J. Billard).

2) Etudes des microémulsions comme *milieu réactionnel* (M. Dvolaitzky, C. Taupin, en coll. avec C. Petitpas).

3) Effets associés à l'*inversion de structure* de microémulsions en résonance paramagnétique (M. Dvolaitzky).

- 4) Etudes théoriques sur les phases eau/huile/copolymère amphiphile (R. Cantor).
- 5) *Emulsions protégées* (M. Bredimas, M. Veysié, N. Trabuya) :
 - étude de nouveaux diesters diacyliques ;
 - mise au point d'un montage d'étude des gouttes en cisaillement longitudinal (4 rouleaux) en collaboration avec D. Barthes).
- 6) *Monocouches de polymères* (H. Gruler, F. Rondelez, R. Vilanove) :
 - découverte d'un effet photomécanique avec des chaînes portant des spiropyranes ;
 - mesure de la concentration c^* à deux dimensions ;
 - caractérisation de régimes bidimensionnels bon solvant (PVA) et θ solvant (PMMA).
- 7) *Etudes aux neutrons sur systèmes lipide-eau* (J. Jouffroy, P. Levinson).
- 8) *Réflexions théoriques sur le comportement de polyelectrolytes dans des pores* (L. Auvray).

PUBLICATIONS SUR LES COLLOÏDES

P.-G. DE GENNES, *Physique des interfaces : Ilots en apesanteur dans une couche de Langmuir* (C.R.A.S., 290, B-119, 1980).

P.-G. DE GENNES, *Dynamics of concentrated dispersions : a list of problems.*

P.-G. DE GENNES, *Physique des surfaces et des interfaces : suspensions colloïdales dans un mélange binaire critique* (C.R.A.S. Paris, 292, Série II-701, 1981).

M. DVOLAITZKY, M. LAGUES, J.-P. LE PESANT, R. OBER, C. SAUTEREY, C. TAUPIN, *Structural description of microemulsions : small angle neutron scattering and electrical conductivity* (Journ. of Phys. Chem. 84, 12, 1532, 1980).

M. DVOLAITZKY, R. OBER, J. BILLARD, C. TAUPIN, Y. HENDRICH, *Sur l'existence de microémulsions birefringentes* (C.R.A.S. Sc., 292, 45, Série II, 1981).

R. OBER, C. TAUPIN, *Interaction and aggregation in microemulsions : a small angle neutron scattering study* (Journ. of Phys. Chem., 84-19, 2418, 1980).

M. LAGUES, C. SAUTEREY, *Percolation transition in water in oil Microemulsions : electrical conductivity measurements* (Journ. of Phys. Chem., 84, 3503, 1980).

R. VILLANOVE, F. RONDELEZ, *Scaling description of two-dimensional chain conformation in polymer monolayers* (*Phys. Rev. Letters*, 45, 1502, 1980).

M. DVOLAITZKY, J. BILLARD, *Elargissement de l'intervalle de température de stabilité d'une phase discotique dans des mélanges binaires non idéaux* (*Molecular Crystals*, à paraître).

H. GRULER, R. VILANOVE, F. RONDELEZ, *Reversible photochemical strain in Langmuir monolayers* (*Phys. Rev. Letters*, 44, 590, 1980).

F. RONDELEZ, *Quand les polymères rétrécissent à la lumière* (*La Recherche*, 12, 360, 1981).

F. RONDELEZ, *Des polymères en forme de galette* (*La Recherche*, 12 janvier 1981).

M. BREDIMAS, *Polymérisation bidimensionnelle à l'interface eau-huile ; application aux émulsions* (Thèse Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1980).

A. DUBAULT, *Contribution à l'étude des polymères flexibles en solvant nématique* (Thèse Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1980).

R. CANTOR, *Non ionic diblock copolymers as surfactants between immiscible solvents* (*Macromolécules*, à paraître, août 1981).

III. - Cristaux liquides

1) *Polymorphisme smectique* (J. Billard, en collaboration avec J. Jacques et al.) :

- a) mise en évidence d'une *phase smectique F torse* ;
- b) analyse phénoménologique des « phases rentrantes ».

2) *Discotiques* (J. Billard, en collaboration avec J. Jacques et al.) :

- a) préparation de nouveaux matériaux à molécules de symétrie binaire ;
- b) preuve de la miscibilité en phase discotique entre des molécules symétrie différente ;
- c) études sur l'alignement de discotiques purs par des parois solides.

3) *Macromolécules flexibles en solution dans un nématique* (A. Dubault, C. Casagrande, M. Veyssié) :

- a) interprétation des données thermodynamiques par un modèle de chaîne partiellement effondrée (F. Brochard) ;
- b) études de résonance nucléaire sur la matrice (en coll. avec B. Deloche) ;
- c) extension théorique au cas de chaînes greffées sur une surface solide (F. Brochard).

4) *Macromolécules rigides en solvant isotrope* (F. Rondelez en coll. avec J.F. Maguire et J.P. Mc Tague) sur virus allongés, mesures des temps de rotation par effet Kerr : assez bon accord avec la théorie Doi Edwards.

PUBLICATIONS SUR LES CRISTAUX LIQUIDES

G.R. VAN HECKE (a), T.S. CANTU (a), M. DOMON (b), J. BILLARD, *Use of regular solution theory for calculating binary mesogenic phase diagrams exhibiting azeotropic - like behaviour* (*J. Phys. Chem.*, 84, 2637, 1980).

R. FUGNIDTO (c), M. STRZELECKA (c), A. ZANN (d), J.C. DUBOIS (d), J. BILLARD, *A discotic mesophase with binary of tetragonal symmetry* (*Chem. Comm.*, 271-2, 1980).

J. BILLARD, *Les mésophases et leur orientation par des surfaces de solides* (*Bull. Mineral.*, 103, 444-51, 1980).

A. QUEGUINER (d), A. ZANN (d), J.C. DUBOIS (d), J. BILLARD, *Mesogenic disc-like molecules with twofold symmetry axis* (*Proc. Inter. Liquid Crystal Conf. Bangalore*, Heyden, London, 35-40, 1980).

J. BILLARD, *Phase diagrams of mesogens exhibiting reentrant mesophases* (*Proc. Inter. Liquid Crystal Conf. Bangalore*, Heyden, London, 155-64, 1980).

Nguyen Huu TINH (e), A. ZANN (d), J.C. DUBOIS (d), J. BILLARD, *Phase diagrams of new compounds with nematic reentrant mesophases* (*Molec. Cryst. Let.*, 56, 323-30, 1980).

P. KELLER (f), A. ZANN (d), J.C. DUBOIS (d), J. BILLARD, *A chiral smectic F phase* (*Chemical Phys. Ser.*, vol. 11, Springer, Berlin, 57-61, 1980).

J. BILLARD, *Discotic mesophases : a review* (*Chemical Phys. Ser.*, vol. 11, Springer, Berlin, 383-95, 1980).

J. BILLARD, *Torsion d'une mésophase cholestérique rentrante* (*C.R.*

C. VAUCHIER (d), A. ZAUN (d), P. LE BARNY (d), J.C. DUBOIS (d), J. BILLARD, *Orientation of discotic mesophases* (*Molec. Cryst.*

J. BILLARD, J.C. DUBOIS (d), A.M. LEVELUT (f), C. VAUCHIER (d), *Structure of the two discophases of rufigallol hexaoctanoate* (*Molec. Cryst.*

A.M. GIROUD (g), J. BILLARD, *Un organométallique discogène thermotrope* (*Molec. Cryst.*

P.-G. DE GENNES, *Weak nematic gels* (1980).

-
- (a) Harvey Mudd College, Claremont, Californie.
 - (b) Université des Sciences et Techniques de Lille.
 - (c) Groupe de Recherche n° 12 du C.N.R.S., Thiais.
 - (d) Laboratoire central de Recherche de la Compagnie Thomson-C.S.F.
 - (e) Laboratoire Paul Pascal, C.N.R.S., Talence.
 - (f) Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud.
 - (g) Centre d'Etudes nucléaires de Grenoble, Commissariat à l'Energie atomique.

J.F. MAGUIRE, J.P. McTAGUE, F. RONDELEZ, *Rotational diffusion of sterically interacting rodlike molecules* (*Phys. Rev. Letters*, 45, 1980).

A. DUBAULT, C. CASAGRANDE, M. VEYSSIE, B. DELOCHE, *Pseudo Clearing temperature in binary polymer nematic solution* (*Phys. Rev. Letters*, 45, 1645, 1980).

P.-G. DE GENNES, M. VEYSSIE, *Properties of macromolecules in liquid crystal solvents* (*Symposium on Macromolecules*, Florence, 1980).

PUBLICATIONS DIVERSES

P.-G. DE GENNES, *Chimie Physique : quelques frontières nouvelles* (1980).

P.-G. DE GENNES, *Sur la différence entre la percolation et la statistique des « animaux »* (*C.R.A.S.*, 291, B-17, 1980).

P.-G. DE GENNES, *Percolation : quelques systèmes nouveaux* (*J. de Phys.*, 41, Suppl. 4, C3-17, 1980).

P.-G. DE GENNES, *Pierre Curie et le rôle de la symétrie dans les lois physiques* (*C.R.A.S.*, 291, B-219, 1980).

P.-G. DE GENNES, *Physique statistique : diamagnétisme de grains supraconducteurs près d'un seuil de percolation* (*C.R.A.S. Paris*, 292, Série II-9, 1981).

P.-G. DE GENNES, *Physique des basses températures : champ critique d'une boucle supraconductrice ramifiée* (*C.R.A.S. Paris*, 292, Série II-279, 1981).

F. RONDELEZ, *Forced Rayleigh light scattering in fluids* (*V. de Guigio ed.*, Plenum Press, 1980).

M. VEYSSIE, *Les états de la matière ; les états intermédiaires* (in *La Matière Aujourd'hui*, éd. du Seuil, Paris, 1981).

MISSIONS ET CONFÉRENCES

J.C. DUBOIS (d), J. BILLARD, « Unusual mesogenic compounds, molecular geometry and stability of ordered fluid mixtures » (International symposium on solute-solute-solvent interactions, Microsymposium on ordered fluids, Florence, 4 juin 1980).

J. BILLARD, « Symetries et structures de cristaux liquides » (Réunion d'hommage à la mémoire de M. Laval organisée par l'Association française de Cristallographie, Paris, 26 juin 1980).

— « Présentation, le 10 novembre 1980, des cristaux liquides dans le magazine scientifique « Clés pour demain » de la première chaîne de la télévision française.

M. WARENGHEM, « Quelques problèmes d'interface cristal liquide nématique-substrat » (Centre de Recherches de la Compagnie Thomson-C.S.F., Orsay, le 19 janvier 1981).

J. BILLARD, « Une vue générale sur un pour cent de la physico-chimie : les cristaux liquides » (Université Louis Pasteur, Strasbourg, 13 février 1981).

— « Les cristaux liquides : des états intermédiaires de la matière » (Conférence pour le grand public, organisée à Lyon, le 26 mars 1981 par la Société française de Physique et l'Union des Physiciens).

— « Les mésophases discotiques » (Séminaire du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, 27 mars 1981).

— The eighth international liquid crystal conference (Tokyo, du 30 juin au 4 juillet 1980).

— International symposium on macromolecules (organisé par l'I.U.P.A.C. à Florence du 7 au 12 septembre 1980).

— « Les états peu connus de la matière, applications actuelles » (Université des Sciences et Techniques de Lille, le 4 mars 1981).

P.-G. DE GENNES, « Idées de base en science des polymères » (Conférence du Mont Scopus, juin 1980).

— « Pierre Curie et la symétrie des lois physiques » (Colloque Pierre Curie, Paris, septembre 1980).

— « Reptation et viscoélasticité des polymères fondus » (Conférence Internationale de Biologie, Naples, septembre 1980).

— « Solutions de polymères dans des solvants nématiques » (Conférence I.U.P.A.C., Florence, septembre 1980).

— « Organisation des polymères greffés » (Mulhouse, septembre 1980).

— « Dynamique de molécules rigides dans une matrice enchevêtrée » (Strasbourg, septembre 1980).

— Cinq exposés sur la Physique des polymères - Cornell (Novembre 1980).

— « New problems in polymer science » (Colloque de mécanique statistique, Rutgers, novembre 1980).

— 3 conférences générales sur les polymères (« Weizmann Lectures », Rehovot, décembre 1980).

— « Amas aléatoires superfluides » (Journées de Mécanique statistique, Paris, janvier 1981).

— « Adsorption des polymères flexibles » (Institut Laue Langevin, Grenoble, mars 1981).

— « Cicatrisation d'un interface entre polymères » (Université Paris-Nord, avril 1981).

— « Progrès récents en dynamique des chaînes flexibles » (Université de Belgrade, avril 1981).

— « Propriétés mécaniques des polymères nématiques » (Conférence de Santa Margherita, mai 1981).

— « Unique features of long polymer chains » (Colloque Staudinger Zurich, mai 1981).

— « Faut-il des grandes écoles ? » (E.N.S., juin 1981).

J.F. JOANNY, « Conformation des polymères branchés » (Strasbourg, mars 1981).

M. VEYSSIE, « A flexible polymeric chain in a nematic solvent : solubility and conformation » (Eighth International Liquid Crystal Conference, Tokyo, 1980).

— « Gels bidimensionnels en émulsion, R.C.P. milieux aléatoires macroscopiques » (Curryle Rouet, 1980).

C. WILLIAMS, « Polymers » (Gordon Research Conference, 23-27 juin 1980, New Hampton, N.H., Etats-Unis).

— Réunion « Nucléation » (organisée par le Centre de Physique des Houches du 18 au 28 février 1981). Conf. invitée « Demixing in polymer systems ».

— « La diffusion centrale des neutrons et du rayonnement synchrotron » (colloque Lure sur « ordre à courte et moyenne distance », Orsay, 11-13 mai 1981).

— « Démixtion de mélanges binaires de polymères » séminaire du département de Métallurgie, C.E.N., Saclay, 27 mai 1981).

— « La diffusion de rayonnement appliquée à l'étude des polymères en solution » (séminaire à l'E.S.P.C.I., laboratoire du Prof. C. Quivoron, 3 juin 1981).