MATÉRIAUX & TECHNIQUES

LA REVUE DES MATÉRIAUX INDUSTRIELS ET DE LEURS TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE

ACTUALITÉS TECHNIQUES ET INDUSTRIELLES

150 Actualités
161 Annonces
162 Publications
163 Formations
164 Agenda : Congrès, salons, conférences, colloques

ÉTUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Métaux organiques

Sur l'utilisation de la loi d'Arrhenius dans le domaine du vieillissement des polymères

L. Audouin, X. Colin, B. Fayolle et J. Verdu 167–177

Mise en œuvre des métaux

Densification et caractérisation d'un outil abrasif en corindon aggloméré et détermination de sa durée de vie

S. Mansouri, R. Benbouta, K. Loucif et M. Benyahia 179–183

Traitements de surface et revêtements

Tenue en fatigue des couches cémentées basse pression : approches expérimentale et prédictive

D. Jeddi, H. Sidhom, H.-P. Lieurade et D. Ghiglione 185–195

Essais, mesure, contrôle

Analyse de l'impact des paramètres de coupe et des vibrations sur la rugosité des pièces usinées en tournage à partir de la méthode de régression linéaire multiple

N. Kribes, N. Ouelaa, M.A. Yallese et S. Belhadi 197–203

Modélisation et simulation

Contraintes interfaciales des structures renforcées par composites : effets thermiques et shear lag

B. Kerboua, E. Adda Bedia et A. Tounsi 205–214

Illustration de couverture : *Carte EBSD et fraction cristallisée, alliage M5 oxydé à 1100 °C pendant 1h (article de H. Al-Badairy D.J. Prior, G.J. Tatlock, J. Le Coze et A.R. Jones, Matériaux & Techniques, Vol. 94, No. 4 (2006), p. 255).*

MATÉRIAUX & TECHNIQUES

Abonnements (Tarif 2007)

Abonnement	type A	type B
France	239,94 € TTC	296,09 € TTC
Étranger	354,92 € TTC	397,07 € TTC

L'abonnement annuel (type A) comporte environ 450 pages de textes rédactionnels réparties en 6 numéros. L'abonnement type B comprend, en sus de l'abonnement A, un ou deux numéros spéciaux hors série, chacun sur un thème scientifique et technique. Possibilité d'abonnement électronique.
Pour tous renseignements sur les abonnements :

subscribers@edpsciences.org

Prix de ce numéro : 50 € TTC

Consultez la revue en ligne :

www.mattech-journal.org

ISSN : 0032-6895
e-ISSN : 1778-3771

Revue éditée par EDP Sciences S.A.
17 av. du Hoggar, BP 112,
91944 Les Ulis Cedex A, France

Directeur de la publication : Jean-Marc Quilbé
Rédacteur en chef : René Gras
Secrétaire générale de rédaction : Agnès Henri
Secrétaires de rédaction : Isabelle Houlbert
Mise en page : Zala Ngita
Journaliste pour les actualités : Ariana Fuga
fuga@edpsciences.org
avec la collaboration de Florence Anglézio
Bureau éditorial : Muriel Bouquant

Publicités, publi-reportages, annonces

Aurélie Lefebvre
E-mail : lefebvre@edpsciences.org
Tél. : 01 69 18 92 40, Fax : 01 69 07 45 17

Imprimée en France par Barnéoud, BP 44, 53960 Bonchamp-Lès-Laval, France

Dépôt légal : mars 2008

Article de synthèse

Les latex synthétiques : des outils pour les nanotechnologies

Jean-Claude Daniel et Christian Pichot

Introduction

Les dispersions colloïdales de polymère, connues sous le nom de latex, sont des produits utilisés communément depuis plus de 50 ans par l'industrie ou même le grand public. La longue expérience accumulée depuis les premières synthèses, alliée aux progrès de la chimie, de la physico-chimie et du génie des procédés, permettent aujourd'hui de maîtriser presque parfaitement les caractéristiques des latex et plus particulièrement la composition, la taille et la morphologie des particules. On a ainsi accès à une très large palette de particules de taille micronique ou submicronique, de nature très diversifiée mais dont la géométrie est parfaitement définie, de même que la structure et la réactivité de surface. De telles particules permettent d'envisager des applications dans des domaines nouveaux, par exemple dans les biotechnologies où elles sont déjà largement utilisées comme nanosupports dans les réactifs de diagnostic. Elles suscitent aussi beaucoup d'intérêt pour élaborer des nanovéhicules adaptés au transport de molécules actives, ou encore comme briques élémentaires pour la construction d'édifices nanostructurés.

Nous nous proposons dans cet article de présenter rapidement les latex, leurs caractéristiques et leurs propriétés spécifiques, ainsi que les principales techniques qui permettent de les préparer. Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur à plusieurs ouvrages et articles récemment publiés [1-5]. Nous ne nous attarderons pas sur les latex commercialisés pour des applications industrielles de gros volumes mais insisterons sur les latex « spéciaux » qui intéressent plus particulièrement les nouvelles applications émergentes, notre souhait étant de sensibiliser le lecteur sur l'intérêt potentiel de ces produits dans le domaine des nanomatériaux et nanotechnologies.

Les latex : latex naturel, latex synthétiques – définitions

Le mot latin latex a été adopté par les botanistes du début du 18ème siècle (**http://www.cnrtl.fr/etymologie/latex**) comme terme générique pour désigner « le suc propre à l'euphorbe et à quelques autres plantes ». C'est sous ce nom que l'on désignera plus particulièrement le suc de l'*hévéa brasiliensis* exploité pour produire le caoutchouc naturel, toujours largement utilisé pour de nombreuses applications et notamment pour la fabrication de pneumatiques [6, 7].

On sait aujourd'hui que ce latex issu de l'hévéa est une dispersion aqueuse de particules d'un polymère particulier : le polyisoprène 1,4-*cis*. Ces particules qui ont une granulométrie extrêmement large – de 10 nm à quelques micromètres de diamètre – représentent environ 36 % en poids du latex. Elles sont maintenues en dispersion dans un sérum qui est une phase aqueuse contenant par ailleurs des protéines, des lipides, des sucres et des sels minéraux en petites quantités (de l'ordre du pourcent).

Le développement de l'automobile au 20ème siècle ayant créé d'énormes besoins en caoutchouc, l'industrie s'est préoccupée de la mise au point de caoutchoucs synthétiques de performances équivalentes à partir de matières premières d'origine fossile (houille ou pétrole), plus facilement accessibles, en particulier en cas de conflit. Ainsi commença en Allemagne dans les années 1930 et surtout aux USA pendant la seconde guerre mondiale, la production de très gros volumes de « latex synthétiques ». Pour des raisons de disponibilité, ce n'est pas à partir de l'isoprène, mais à partir d'un autre diène, le butadiène, associé à d'autres monomères comme le styrène ou l'acrylonitrile, que furent mis au point les premiers latex synthétiques d'importance industrielle. Comme dans le cas du latex tiré de l'hévéa, ils étaient constitués d'une dispersion de particules de polymère (homopolymère ou copolymères du butadiène) dont la granulométrie était toutefois plus resserrée (de 50 à 500 nm). Ces polymères à base de butadiène, de même que le polyisoprène, une fois isolés de la phase aqueuse, peuvent être réticulés (vulcanisés) pour donner un *élastomère* utilisable par l'industrie.

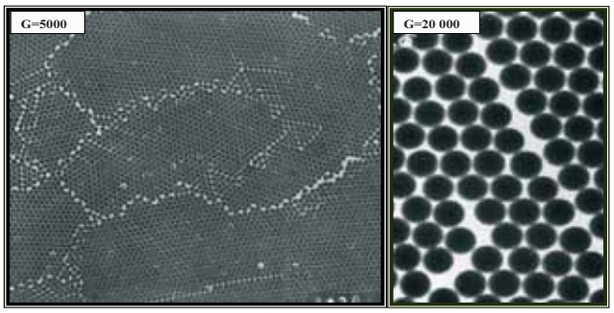
Après la seconde guerre mondiale, les techniques de polymérisation développées pour la synthèse des caoutchoucs synthétiques furent transposées à d'autres familles de monomères pour obtenir des latex destinés à d'autres industries que celle du caoutchouc. Beaucoup de ces latex ne sont pas commercialisés à l'état de dispersion ;

ils sont traités à la sortie du réacteur de synthèse de façon à isoler le polymère à l'état sec, sous forme de poudre ou de granulé et c'est ce polymère sec qui sortira de l'usine de production (cas de certaines qualités de PVC). D'autres, par contre, seront commercialisés « en l'état », c'est-à-dire sous la forme d'une dispersion colloïdale. Ceci est le cas des latex de copolymères acryliques qui entrent dans la composition des peintures, mais il existe de nombreuses autres familles de latex destinés à d'autres applications qui consomment de gros volumes de polymère sous cette forme dispersée (autour de 7,5 Mt dans le monde en 2000). L'apparition de ces diverses familles de latex synthétiques, à côté des latex d'origine naturelle, a imposé de revoir la définition initiale des botanistes pour en élargir la portée. C'est aujourd'hui avec la vision des physico-chimistes que l'on définit l'ensemble de ces produits, quelle que soit leur origine et leur composition. **On considère comme un latex toute dispersion colloïdale de particules constituées principalement de macromolécules (polymère).** En se référant à la définition la plus large du terme de colloïde donnée par l'IUPAC, cela correspond à des tailles de particules se situant dans la plage allant de 1 nanomètre (nm) à quelques micromètres (μm).

On remarquera que cette définition ne fait pas d'hypothèse sur la nature de la phase continue dans laquelle est dispersé le polymère. Elle inclut donc les dispersions de polymère dans un milieu aqueux (cas le plus général) mais aussi les dispersions colloïdales de polymère dans un milieu organique, connues sous le nom de NAD's (Non Aqueous Dispersions) et les dispersions de polymères hydrosolubles dans une phase organique (dispersions colloïdales inverses). Nous ne traiterons pas de ces deux types de latex dans la suite de cet article.

Principales caractéristiques des latex

Si l'on exclut les NAD's et les dispersions inverses, un latex se compose donc d'une phase granulaire polymère dispersée et d'une phase aqueuse continue. **Le taux de solide** des produits commerciaux destinés aux applications de gros volume est généralement de l'ordre de 50 % en poids, ce qui correspond grossièrement au taux de polymère dispersé. On peut trouver à l'état de solution dans le sérum des tensioactifs, des polymères hydrosolubles et des sels minéraux. Le taux de ces substances hydrosolubles ne dépasse généralement pas 2 à 3 % du poids total de la dispersion ; il est même souvent inférieur à 1 %.



© DR

Fig. 1. Particules de latex uniformes (clichés de microscopie électronique à transmission).

Lorsqu'il s'agit de « latex spéciaux », commercialisés en très faibles volumes et à des prix très élevés, par exemple pour des usages dans le domaine biomédical, les produits sont proposés avec des taux de solides des plus faibles (10 % ou même 1 % en poids).

Il est toujours possible, moyennant quelques précautions pour éviter une agrégation irréversible des particules, de diluer le système jusqu'à des taux de solides extrêmement faibles. Avec les mêmes précautions, il est aussi possible, en utilisant des membranes poreuses, de concentrer un latex ou de remplacer son sérum par un autre milieu aqueux de composition définie.

La stabilité colloïdale est une caractéristique essentielle des latex dont il faut tenir compte depuis leur synthèse jusqu'à l'application finale, en passant par les nombreuses étapes de manipulation. En effet, comme pour tout système divisé, l'évolution naturelle va vers un abaissement de l'énergie libre par diminution de l'aire interfaciale ; cela conduit à *l'agrégation* des particules : on parlera de *floculation* si le processus est réversible ou de *coagulation* s'il est irréversible.

La stabilité colloïdale est obtenue en établissant une barrière énergétique autour des particules de façon à éviter ou ralentir au maximum leur agrégation [8]. Cela peut être une *barrière électrostatique* résultant de la présence de charges et d'une double couche électrique autour des particules ; cela peut être aussi une *barrière stérique* apportée par la présence de chaînes polymères hydrophiles fortement ancrées aux interfaces, ou bien encore une *barrière électrostérique*, réalisée avec des polyélectrolytes, qui combine les deux effets. Quel que soit le système de stabilisation, il est plus ou moins sensible à des perturbations portant sur la température, le pH, la force ionique ou le pouvoir solvant de la phase continue, qui peuvent de ce fait conduire à une agrégation des particules.

La granulométrie d'un latex est une caractéristique importante qui intervient dans les propriétés applicatives puisque vont en dépendre la surface spécifique de la phase dispersée et, pour partie, l'évolution de la rhéologie du système en fonction de la concentration en particules. Elle est définie par une taille moyenne des particules et par une distribution granulométrique. Les valeurs de ces deux paramètres dépendent beaucoup de la technique choisie pour élaborer le latex et on peut, dans une certaine mesure, les contrôler en jouant sur les conditions opératoires. Il est ainsi possible d'obtenir des latex dont la granulométrie est très étalée (par exemple de 50 nm à 1 μm) ou au contraire des latex dont le diamètre des particules est extrêmement resserré autour d'une valeur moyenne.

La caractérisation granulométrique des particules de latex peut être faite par microscopie électronique, par des techniques de diffusion de rayonnement, par sédimentation ou diverses techniques de chromatographie [9].

On a représenté sur la figure 1 un exemple de « latex uniforme » (ou « latex calibré »), constitué de particules de polystyrène dont le diamètre est de 0,50 μm. On voit sur le cliché de gauche que ces particules peuvent s'auto-organiser pour former de véritables cristaux colloïdaux. De tels latex uniformes de polystyrène ou d'autres polymères comme le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), sont commercialisés par →

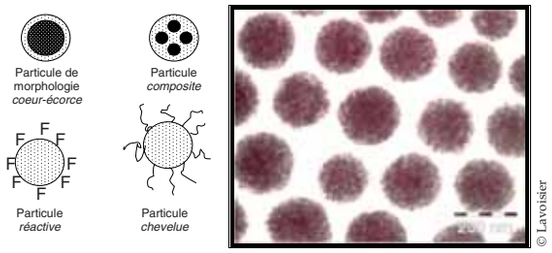


Fig. 2. Illustration de divers types de particules de latex. Le cliché de droite représente des particules composites de latex « magnétique » constituées d'une matrice polymère de polystyrène et d'une phase dispersée d'oxydes de fer sous forme de nanoparticules d'environ 10 nm de diamètre [16].

diverses sociétés spécialisées dans la fourniture de latex pour des applications de faibles volumes et requérant des caractéristiques géométriques bien définies [10].

La surface des particules n'est pas chimiquement inerte : on y trouve des groupements fonctionnels, le plus souvent à caractère hydrophile ($-COO^-$, $-SO_3^-$, $-SO_4^-$, -OH, $-NH_2$, $-NH_3^+$…), qui ont été introduits lors de la polymérisation ou après la polymérisation. Ils peuvent être fixés par covalence directement sur les chaînes polymères qui constituent les particules ; ils peuvent aussi être apportés par des tensioactifs de masses molaires variables qui sont adsorbés plus ou moins fortement sur la surface des particules. Ces groupements jouent un rôle important sur la stabilité colloïdale du latex et sur les interactions entre les particules ou avec d'autres partenaires (molécules, surfaces, autres colloïdes organiques ou minéraux…). Ils ouvrent aussi la possibilité de fixer chimiquement par des *réactions de couplage*, des molécules de diverses natures sur la surface de particules dites *réactives*.

Diverses techniques permettent de caractériser la surface des particules. On peut déterminer la charge de surface (potentiel zéta) d'après des mesures de mobilité électrophorétique [9]. Après avoir éliminé toute trace de polyélectrolyte dans le sérum, on peut titrer par potentiométrie ou conductimétrie les fonctions acides ou basiques accessibles [11] ; on peut encore utiliser des techniques d'analyse chimiques, radiochimiques ou spectroscopiques (RMN, ESCA, ToF-SIMS…) pour quantifier les groupes fonctionnels superficiels [12,13].

Contrairement à ce que pourrait laisser croire l'examen rapide des clichés de microscopie, la surface des particules est généralement complexe. Elle dépend de la composition du polymère et souvent des conditions environnantes. Si les chaînes polymères sont très hydrophobes, elles sont fortement compactées pour donner une surface relativement lisse. Si ces chaînes comportent des maillons ou des greffons hydrophiles, ceux-ci se disposent préférentiellement à la surface d'où ils peuvent « émerger » pour former des « boucles », des « poils » ou des « cheveux », contribuant ainsi à la stabilité stérique du système. La situation est comparable si la surface est recouverte de molécules de tensioactifs dont la partie hydrophobe s'adsorbe à l'interface alors que la partie hydrophile s'oriente vers la phase aqueuse. L'extension vers la phase aqueuse de ces molécules, éléments de chaîne ou greffons, dépend de leur nature (hydrophilie) ; elle est aussi sensible à la température et surtout au pH et à la force ionique s'ils portent des groupements ionisables.

L'intérieur des particules n'est pas toujours homogène en composition. La synthèse peut être orientée de façon à développer des particules « structurées » dans lesquelles on distingue plusieurs phases polymères de compositions différentes conférant aux particules diverses « morphologies » (Fig. 2). Il est également possible de préparer des particules creuses ou des particules composites associant en leur sein des phases polymères et inorganiques (SiO_2, TiO_2, argiles, métaux et oxydes métalliques…) [14-16]. La présence de vides ou de charges minérales au sein des particules intervient aussi sur leur densité et sur leurs propriétés optiques (indice de réfraction, couleur…).

Fig. 3. Latex fluorescents sous UV.

Des pigments, généralement organiques, colorés ou fluorescents, peuvent également être introduits au sein des particules. Ils sont fortement associés au polymère de façon à ne pas diffuser dans la phase aqueuse durant le stockage ou lors d'opérations de dilutions. Le plupart des sociétés listées dans la référence [10], qui commercialisent des polymères pour des applications de très faibles volumes, ont de tels latex colorés ou fluorescents à leur gamme (Fig. 3).

Propriétés spécifiques des latex en relation avec leurs applications

La présentation du polymère sous une forme ultra divisée lui confère des propriétés particulières qui vont être mises à profit dans les diverses applications des latex.

Dans les grandes applications industrielles, ce sont les propriétés mécaniques et adhésives du polymère qui sont utilisées pour établir une liaison solide entre plusieurs éléments d'un édifice plus ou moins complexe.

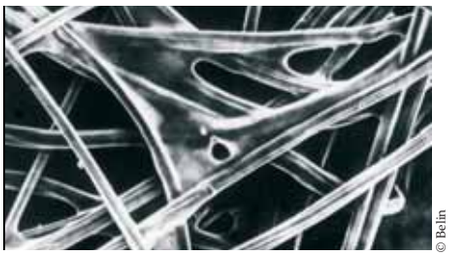


Fig. 4. Renforcement d'un tissu de fibre de verre à l'aide d'un latex filmogène (J.C. Daniel, Pour la Science 125 (1988), 54).

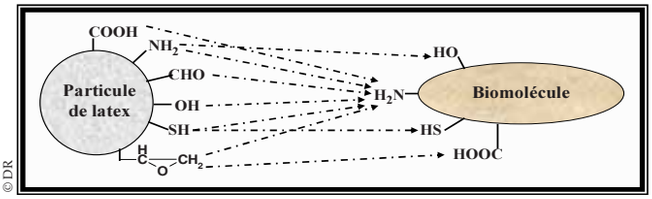
Le latex n'est qu'un état transitoire qui permet de véhiculer le polymère au moment de l'application. On procède ensuite à un séchage au cours duquel les particules sont amenées à coalescer pour former un film polymère qui constitue la liaison recherchée.

Ainsi, on renforcera la cohésion des fibres dans un tissu non-tissé en les liant partiellement avec des polymères issus de particules de latex pulvérisé sur le tissu puis séché (Fig. 4).

De manière analogue, dans le cas d'une peinture, on dépose sur le support un mélange de latex et de particules d'oxyde minéral (oxyde de titane). Au cours du séchage, les particules de latex coalescent pour réaliser une liaison entre les particules de pigment et le support.

Pour toutes ces applications, deux propriétés sont essentielles :

– **la viscosité et le comportement rhéologique du latex** qui dépendent de la



© DR

Fig. 5. Quelques groupes fonctionnels d'intérêt pour la fixation de biomolécules à la surface des particules de latex.

fraction volumique, des caractéristiques granulométriques, morphologiques et superficielles des particules et de la composition de la phase aqueuse [17],

– **l'aptitude des particules à coalescer pour former des films de polymère**, qui dépend de la capacité des particules à se déformer et de celles des chaînes polymères à s'interpénétrer lorsque les particules arrivent au contact et sont soumises à des forces d'origines capillaire et osmotique [18]. Cela impose de choisir des latex constitués d'un polymère « mou » à la température d'utilisation, c'est-à-dire des polymères dont la température de transition vitreuse (T_g) est inférieure à la température ambiante.

En revanche, dans toutes les applications où les latex ne sont pas recherchés pour leur pouvoir liant, on souhaite conserver l'identité des particules et on utilise plutôt des latex de polymère « dur », dont la T_g est élevée (par exemple 100 °C pour le polystyrène). Deux autres propriétés des latex auront alors une importance primordiale :

– **la grande surface spécifique des particules** : si le latex est uniforme, cette surface est facile à apprécier, à partir de la valeur du diamètre mesuré par microscopie électronique. La surface spécifique **A** est reliée au diamètre d par la relation **A** = 6/ρd, ρ étant la masse volumique du constituant de la particule. Ainsi, un latex uniforme de polystyrène (masse volumique 1,04 $g.mL^{-1}$), dont les particules ont un diamètre de 200 nm développera une surface spécifique de 30 $m^2.g^{-1}$. Si on considère un *nanolatex* de 15 nm de taille de particules, on aura une surface spécifique de 400 $m^2.g^{-1}$. Cette grande surface disponible permet d'y adsorber des espèces chimiques comme par exemple des protéines ou des acides nucléiques, soit par des interactions « hydrophobe-hydrophobe », soit par interactions électrostatiques. La nature de la surface (reflétée par son équilibre lipophile – hydrophile (HLB)), la densité de charge, ainsi que les conditions opératoires (pH, force ionique…) influencent la capacité d'adsorption des particules [19] ;

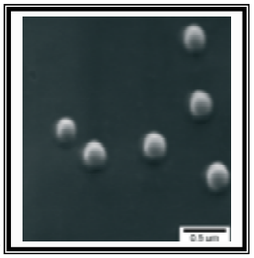
– et la **réactivité de surface des particules** : Nous avons vu que la grande surface offerte par les particules n'est pas nue mais généralement recouverte de groupements fonctionnels directement ou potentiellement réactifs. Il est ainsi possible de fixer solidement par des liaisons covalentes irréversibles, des molécules ou des espèces chimiques plus complexes en utilisant les groupements fonctionnels qui s'y trouvent disponibles (Fig. 5).

Certains de ces groupes fonctionnels comme les aldéhydes, les thiols, les mercaptans, les amines ou les époxydes, sont très sensibles à l'oxydation ou à l'hydrolyse et doivent donc être protégés avant réaction. Il est ainsi souvent plus intéressant d'utiliser des groupements plus stables, tels que les fonctions carboxyliques ou hydroxyles, en les « activant » au moment de leur utilisation avec des réactifs comme les carbodiimides ou le chlorure de tosyle. Ces technologies de fixation covalente peuvent être régio et chemiosélectives ; elles peuvent aussi faire intervenir des *bras espaceurs* hydrophiles qui éloignent les espèces fixées de la surface. Tout ceci pour ne pas altérer leur activité du fait de leur fixation sur les particules.

Aperçu des technologies d'élaboration des latex

Deux grandes familles de procédés permettent de préparer des latex. Il s'agit de :

– **des procédés d'émulsification** [20] qui consistent à disperser finement dans une phase aqueuse un polymère déjà existant qui peut être soit un polymère naturel, soit un polymère synthétique résultant d'un quelconque procédé de polymérisation. Ces procédés peuvent être mis en œuvre à partir d'une solution du polymère dans un solvant organique. Cette solution est ensuite introduite sous fort cisaillement dans une phase aqueuse contenant un tensioactif ; le solvant est ensuite éliminé par distillation.



© DR

Fig. 6. Latex d'acide polylactique (PLA) obtenu par émulsification avec utilisation d'un tiers solvant [21].

Une variante consiste à faire précipiter le polymère de manière contrôlée à partir d'une solution organique ou même aqueuse en agissant sur des paramètres physico-chimiques qui contrôlent la solubilité : température, pH, tiers solvant (Fig. 6).

Ces procédés ont l'avantage de s'appliquer à une très grande variété de polymères, dont des polymères biodégradables naturels ou d'origine naturelle (acide polylactique [21], amidons réticulés [22], …).

Ils sont par contre peu productifs et onéreux ; ils ne sont donc envisageables que pour la préparation de latex destinés à des marchés de faibles volumes comme ceux relevant de la pharmacie, pour lesquels le prix n'est pas un élément limitant.

Ils se prêtent mieux à une production de gros volumes si on part de polymères synthétiques autodispersables. Il s'agit là de polymères conçus spécialement pour une mise en dispersion ultérieure. Leur squelette porte des groupes hydrophiles ioniques ou nonioniques qui permettent une redispersion quasi spontanée lorsqu'une poudre d'un tel polymère est introduite dans l'eau. Cette démarche a été développée pour élaborer des latex de polyuréthane ou de résines alkydes (polyesters) [5, Chap. 16, 39].

– **des procédés de polymérisation en milieu hétérogène** [23, 24] qui, à partir de monomères, conduisent directement à un latex. Parmi ces procédés, la polymérisation radicalaire en émulsion est de très loin le procédé industriel le plus utilisé. Elle est applicable à de nombreux monomères qui ont une double liaison sensible aux radicaux générés par décomposition thermique d'un amorceur (peroxydes, hydroperoxydes, persels, peresters, composés azoïques…) ou photochimiquement (par UV, Rγ…).

On trouvera dans le tableau 1 une liste des monomères les plus courants mais il en →

- Styrène: C_6H_5-CH=CH_2
- Butadiène: CH_2=CH-CH=CH_2
- Chloroprène : CH_2=CCl-CH=CH_2
- Chlorure de vinyle: CH_2=CH-Cl
- Acrylonitrile: CH_2=CH-CN
- Acétate de vinyle: CH_2-CH-$COOCH_3$
- Acide acrylique: CH_2=CH-COOH et esters
- Acide méthacrylique: CH_2=C(CH_3)-COOH et esters
- Acide vinyl sulfonique : CH_2=CH-SO_3H
- Acrylamide : CH_2=CH-$CONH_2$ et dérivés N-substitués
- Méthacrylamide : CH_2=C(CH_3)-$CONH_2$ et dérivés N-substitués

Tableau 1. Quelques monomères parmi les plus utilisés dans les polymérisations radicalaires.

existe beaucoup d'autres. Ils sont utilisés seuls ou associés pour élaborer des particules colloïdales d'homo ou copolymères variés, avec de multiples groupes fonctionnels superficiels.

La polymérisation radicalaire est un procédé très utilisé par les industriels car il est facile à mettre en œuvre et donne accès à des produits de caractéristiques très variées en jouant sur la composition des réactifs et sur les conditions d'alimentation des réacteurs.

D'autres procédés de polymérisation en milieu hétérogène comme les polymérisations radicalaires en dispersion, en mini ou en microémulsion, bien que moins développés dans l'industrie, permettent d'élargir encore les possibilités pour atteindre des tailles de particules soit très élevées (quelques mm) ou au contraire très faibles (10 à 20 nm).

Les nouvelles méthodes de polymérisation radicalaire contrôlée (PRC) sont aussi réalisées en milieu hétérogène en phase aqueuse depuis une dizaine d'années [25]. Un des avantages de la PRC est de pouvoir synthétiser des copolymères à architecture contrôlée (à blocs, greffés, en étoile) ; toutefois le développement industriel de cette technique reste encore limité.

Enfin, il est encore envisageable d'élaborer des latex en faisant appel à des polymérisations non radicalaires. Des polymérisations anioniques, cationiques, par métathèse, par polycondensation et même par des procédés catalytiques applicables aux oléfines… peuvent aussi être effectuées en milieu hétérogène [5, chap. 31, 34-36].

Bien que beaucoup de ces techniques n'aient pas encore dépassé le stade du laboratoire, elles peuvent tout à fait être envisagées pour produire des petites quantités de latex, si on n'est pas trop exigeant sur le prix.

Intérêt des particules de latex comme nanomatériaux

Bien que les volumes consommés restent encore extrêmement faibles en comparaison de ceux qui concernent des applications comme les peintures ou le textile, il existe aujourd'hui de nombreuses applications pour lesquelles c'est la particule elle-même en tant qu'objet unitaire de taille micro ou nanométrique qui a retenu l'attention et qui est exploitée.

Des particules colloïdales de latex ont ainsi été proposées :

– comme pigments plastiques, dans certaines formulations de peinture, en remplacement de pigments minéraux ou en association avec eux [26] ;

– comme particules modèles adaptées à l'étalonnage et au contrôle de certains équipements analytiques ;

– comme support, pour la réalisation de réactifs à usage analytique ou pour le diagnostic clinique, ou encore pour la séparation et la concentration de molécules d'intérêt biologique ou de microorganismes ;

– comme vecteurs pour le transport de principes actifs à visée thérapeutique ;

– et comme briques élémentaires pour la construction par une démarche « ascendante » (bottom-up) d'édifices nanostructurés.

Nous illustrerons ci-dessous quelques unes de ces applications :

Nanomatériaux étalons pour la calibration des instruments de mesure

Des particules de latex très uniformes en taille, entre 20 nm et quelques µm sont disponibles aujourd'hui, accompagnées de certificats d'étalonnage précisant leurs caractéristiques et en particulier leur répartition granulométrique [10, 27]. Elles sont proposées comme étalons pour des instruments divers comme des microscopes électroniques, centrifugeuses, équipements d'électrophorèse, filtres et toutes sortes de granulomètres ou compteurs de particules. Des particules étalons certifiées, contenant des agents fluorescents adaptés aux systèmes de détection des cytomètres en flux activés par fluorescence, sont également commercialisées pour le réglage de ces appareils et la quantification des résultats de comptage des cellules ou de divers microorganismes biologiques [10 c].

Le développement des démarches qualité dans les entreprises a entraîné un accroissement de la demande pour de telles particules étalons.

Nanosupports et marqueurs dans les biotechnologies

Applications dans les réacifs de diagnostic

On estime aujourd'hui qu'environ 500 kg de latex (exprimés en matière sèche) sont consommés pour l'élaboration de réactifs de diagnostic à usage humain ou vétérinaire. Dans ces applications, les particules de latex constituent des supports permettant de présenter convenablement les espèces actives et de développer des équipements automatisés. Elles interviennent également dans les techniques de détection pour en accroître la sensibilité. D'une manière générale, on fera appel à des latex uniformes, de façon à avoir une meilleure connaissance de la surface offerte par les particules et pour garantir une meilleure reproductibilité de lots à lots dans les fabrications.

De nombreux réactifs fonctionnent par détection d'une réaction immunologique entre un antigène (AG) et un anticorps (AB) dirigé spécifiquement contre un site particulier de l'antigène. Si l'un des deux partenaires (antigène ou anticorps) est fixé à la surface de particules de latex, la présence de l'autre partenaire dans un échantillon de fluide biologique (urine, sérum sanguin…), induira une réaction immunologique entraînant la formation d'un complexe AG/AB associant plusieurs particules et provoquant la déstabilisation du système colloïdal.

Cette déstabilisation se matérialise par une « agglutination », c'est-à-dire la formation de grains. La lecture peut ainsi se faire en réalisant le test sur des plaquettes sombres (slides), par mélange de quelques gouttes de réactif (latex « sensibilisé ») et quelques gouttes du sérum dans lequel on recherche l'antigène ou l'anticorps associé à un état pathologique. La réponse sera

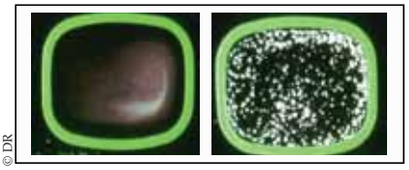


Fig. 7. Réactifs immunologiques (slide-tests) : visualisation des résultats.

négative si le mélange reste homogène (Fig. 7, cliché de gauche) ; elle sera positive si l'on voit apparaître une formation de grains (Fig. 7, cliché de droite). La déstabilisation des particules a ainsi permis de visualiser une réaction, les particules jouant un rôle non seulement de support mais aussi d'amplificateur.

La détection de l'agglutination peut se faire à l'œil nu comme ci-dessus, mais aussi à l'aide d'équipements tels que des néphélomètres ou des compteurs de particules qui permettent d'accroître la sensibilité et la fiabilité des résultats.

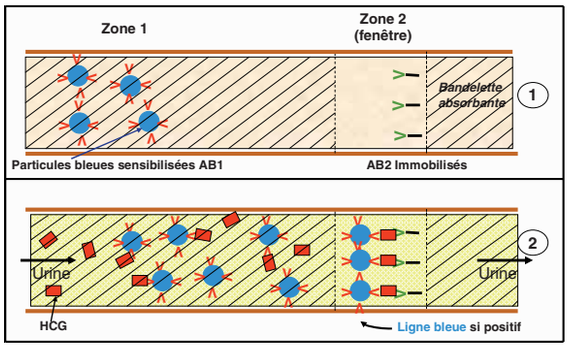


Fig. 8. Immunotest de grossesse sur bandelette : principe.

Nous avons représenté sur la figure 8 une autre conception de kit développé pour les tests de grossesse qui fait appel à des particules de latex colorées (en bleu). Il s'agit de détecter la présence de l'hormone de grossesse (hCG) dans l'urine. L'échantillon d'urine est mis au contact de l'extrémité d'une sorte de stylo contenant une bandelette de gel absorbant dans lequel sont emprisonnées les particules colorées de latex sensibilisées avec un premier anticorps monoclonal anti-hCG (AB1 symbolisé en rouge à la surface des particules). Les particules sensibilisées sont entraînées par le flux d'urine vers l'autre extrémité, de même que les molécules d'hCG, si elles sont présentes dans l'urine. L'ensemble arrive alors dans la zone 2 de la bandelette correspondant à la fenêtre d'observation du résultat. Dans cette zone est immobilisé un autre anticorps monoclonal anti-hCG, capable de reconnaître un autre site antigénique de l'hCG (AB2 symbolisé en vert sur la figure).

Si le flot d'urine contient bien des molécules d'hCG, elles seront en partie fixées à la surface des particules par le premier anticorps AB1 ; elles rencontreront et réagiront ensuite avec le deuxième anticorps AB2 dans la zone 2 en maintenant bloquées dans cette zone les particules colorées sur lesquelles elles s'étaient fixées.

L'accumulation de particules colorées fera apparaître une ligne bleue dans la fenêtre d'observation.

Ce signal, lié à la présence d'hCG, correspondra donc à un résultat positif. Au contraire, l'absence de ligne bleue dans la fenêtre signifiera que les particules ont pu traverser la zone 2 sans être arrêtées, en raison de l'absence de molécules d'hCG fixées sur leur surface (résultat négatif).

Dans cet exemple, on fait jouer aux particules de latex le rôle d'un marqueur.

Un autre exemple d'application des particules de latex concerne l'utilisation de latex magnétique dans les tests de type ELISA (Enzyme-Linked-Immuno Sorbent Assay) très développés pour doser quantitativement une protéine particulière (protéine cible) dans un fluide biologique.

Les particules de latex magnétique sont des particules composites constituées d'un mélange de magnétite et de maghémite finement dispersé (grains de l'ordre de 10 nm) au sein d'une matrice polymère. Les latex ont ainsi un comportement superparamagnétique et, de ce fait, les particules peuvent être facilement séparées du sérum sous un faible champ magnétique. Elles sont ensuite redispersables dans un phase aqueuse après avoir supprimé le champ.

Le principe du dosage est illustré dans la figure 9.

On introduit dans le mélange de protéines les particules de latex magnétique après les avoir revêtues d'un anticorps (AB1) dirigé contre un site antigénique de la protéine cible. Si cette protéine est présente dans l'échantillon biologique analysé, elle est captée spécifiquement par AB1 et fixée à la surface des particules. Par séparation magnétique, lavage et redispersion, on élimine les autres protéines et on fait ensuite agir un deuxième anticorps dit « de détection (AB2), lié à une enzyme et capable de reconnaître un autre site antigénique de la protéine cible. Après avoir éliminé l'excès d'anticorps AB2 par séparation magnétique, lavage, redispersion, on met les particules en présence du substrat de l'enzyme liée à AB2 et détermine par colorimétrie la quantité de protéine cible présente dans l'échantillon initial.

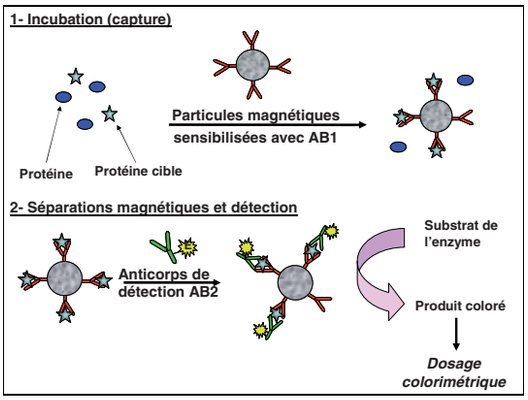


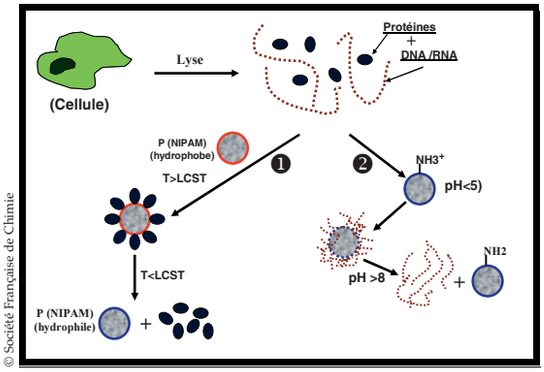
Fig. 9. Principe des tests Elisa sur particules de latex magnétique.

Dans ce type de tests, les particules magnétiques sont appréciées comme support de grande surface spécifique, mais aussi parce qu'elles facilitent et permettent d'automatiser l'opération de séparation entre espèces libres et espèces liées, de lavage et de redispersion.

Il existe d'autres types de réactifs de diagnostic qui fonctionnent sur le principe des sondes nucléiques, c'est-à-dire par reconnaissance moléculaire de brins complémentaires d'ADN ou d'ARN. Les particules de latex et en particulier de latex magnétique peuvent aussi être avantageusement utilisée comme support dans ces réactifs [19].

Capture, séparation et concentration de molécules ou de cellules

Les particules de latex fonctionnalisées et surtout les particules magnétiques, sont des outils appréciés pour effectuer des tris sélectifs sur des mélanges de protéines, →



© Société Française de Chimie

Fig. 10. Principe de la séparation et de la concentration de protéines et d'acides nucléiques avec des particules de latex magnétique, thermosensibles et cationiques. (Adapté de [28]).

d'acides nucléiques, de virus ou de bactéries.

La figure 10 illustre le principe de la séparation / concentration de protéines et d'acides nucléiques issus d'un lysat cellulaire [28].

On introduit tout d'abord dans le mélange des particules d'un latex magnétique « thermosensible », dont la surface est recouverte de poly(N-isopropylacrylamide) (NIPAM). La présence de ce polymère rend la surface hydrophobe au dessus d'une température critique (LCST) proche de 32 °C et la rend hydrophile au dessous de cette température critique.

Une incubation à 37 °C permet d'adsorber les protéines sur la surface hydrophobe des particules. L'ensemble est concentré et séparé du milieu par action d'un champ magnétique.

Les protéines sont ensuite relarguées de la surface rendue hydrophile en abaissant la température.

Les acides nucléiques sont captés par des particules de latex magnétique dont la surface est rendue pH-sensibles par la présence de fonctions amines. À faible pH, les groupements amines sont protonés et la surface des particules chargée positivement interagit fortement avec les acides nucléiques porteurs de charges négatives. De la même façon que pour les protéines, à l'aide d'un champ magnétique, on peut concentrer et séparer du milieu les acides nucléiques fixés sur la surface, puis les relarguer en montant le pH.

De nombreuses techniques impliquant l'utilisation de particules magnétiques ont aussi été décrites et utilisées pour la capture et la concentration rapide de virus ou de bactéries dont le matériel génétique peut ensuite être extrait, amplifié et identifié [19]. Des particules prêtes à l'emploi pour ce type d'applications sont maintenant commercialement disponibles [10 a].

Les particules de latex magnétique peuvent être également employées pour faire de l'épuration cellulaire à visée thérapeutique. Il s'agit de faire un traitement extracorporel pour éliminer un maximum de cellules infectées par des virus (HIV) ou de cellules cancéreuses, de façon à pouvoir alléger les chimio ou radiothérapies et leurs effets secondaires. Le principe de cette technique, est décrit dans la figure 11.

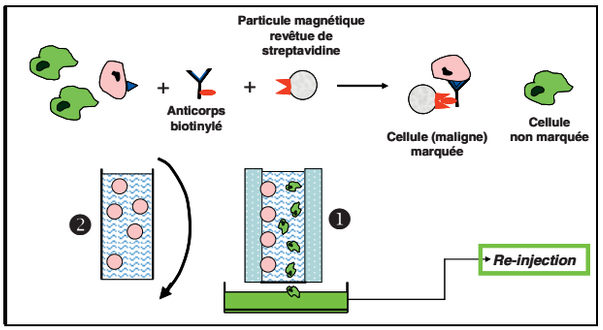


Fig. 11. Epuration cellulaire à l'aide de particules magnétiques. Schéma de principe.

On fait intervenir des anticorps « biotinylés », pouvant reconnaître de manière spécifique des sites particuliers portés par les cellules anormales et sur lesquels ils vont se fixer. L'addition de particules magnétiques revêtues de molécules de streptavidine permet de « récolter » les cellules anormales grâce à la très forte affinité entre les molécules de streptavidine et les molécules de biotine liées aux anticorps. Le fluide biologique qui contient les diverses populations cellulaires, passe ensuite dans un champ magnétique pour retenir les cellules anormales liées aux particules ; il est ensuite réinjecté dans le corps du patient.

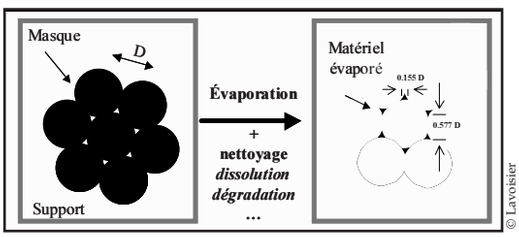
Applications dans les nanotechnologies et micro/nanosystèmes

Les particules colloïdales de taille très homogène sont des objets bien adaptés à la construction d'architectures nanostructurées si on adopte la démarche « bottom-up » qui consiste à assembler des briques élémentaires de taille micronique ou submicronique. Les particules de latex, avec toute la gamme de tailles, de morphologies, de surfaces et de structures internes qui leur est associée, ont ainsi retenu toute l'attention des chercheurs.

Des particules de latex de polystyrène peuvent être « manipulées » et positionnées sur divers substrats, à l'aide de lasers ou de pointes de microscopes AFM [29, 30]. Il est aussi possible par un traitement thermique léger (au dessus 100 °C, la T_g du polystyrène) de souder entre elles des particules de 100 ou 500 nm amenées au contact. On peut ainsi réaliser des fils ou des couches 2D ou des empilements de couches nanostructurées, dans lesquels les particules initiales conservent leur individualité.

On trouvera dans la référence [29] une présentation des divers procédés qui permettent de déposer de façon plus « productive » des monocouches de particules de latex uniformes sur des surfaces planes.

Si le latex est bien uniforme, les particules s'auto-assemblent pour donner des structures hexagonales compactes. Il existe aussi des procédés qui conduisent à d'autres structures régulières ; ils mettent par exemple en œuvre des particules fonctionnalisées qui développent des interactions avec certains sites du support. De tels arrangements 2D très ordonnés peuvent être utilisés comme masques pour des procédés de nanolithographie (Fig. 12).



© Lavoisier

Fig. 12. Impression par nanolithographie avec un masque obtenu par arrangement 2D de particules de latex [29].

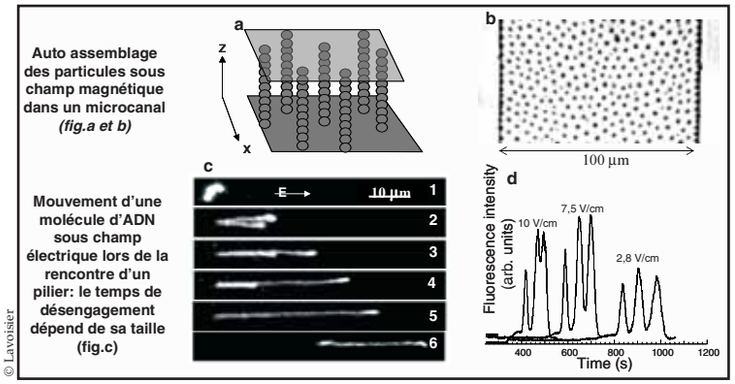


Fig. 13. Séparation rapide de molécules d'ADN de longueurs variables (16, 33,5, et 48 kbp) sur réseaux auto-assemblés de particules de latex magnétique en système microfluidique (adapté de [32]).

Les caractéristiques des formes imprimées (tailles, espacement) peuvent être ajustées par le diamètre des particules et leur mode d'assemblage.

L'empilement de couches bidimensionnelles ordonnées permet d'accéder à des cristaux de symétrie cubique face centrée organiques ou même hybrides intéressantes pour réaliser des cristaux photoniques et des capteurs optiques sensibles à des paramètres comme la température, la lumière, le pH… ou à la présence d'espèces chimiques particulières.

Les particules de latex peuvent s'intégrer assez facilement dans les microsystèmes de type laboratoire sur puces (lab-on-a-chip) car leur diamètre est bien adapté à celui des microcanaux des dispositifs microfluidiques [31]. Elles peuvent servir pour transposer dans les canaux divers dispositifs de séparation chromatographiques; on cherchera ainsi à réaliser avec des empilements ou des encombrements sur le parcours des fluides, de façon à ralentir certaines espèces par rapport à d'autres. De tels édifices sont aussi utilisables pour fixer sélectivement certains analytes (purification), puis à les identifier. Des particules fonctionnalisées ou revêtues de molécules « actives », telles que des anticorps ou des acides nucléiques présentent un intérêt particulier pour ce genre d'opération, surtout si ce sont des particules de latex magnétique. De telles particules sont en effet faciles à véhiculer au sein des microcanaux et à localiser à l'aide de micro-électroaimants en des endroits précis. Si leur taille est bien homogène, elles peuvent s'auto-assembler sous champ magnétique pour réaliser des édifices 3D que l'on peut faire disparaître à volonté en supprimant le champ.

Cette démarche est illustrée sur la figure 13 [32] relative à l'élaboration d'un réseau de piliers de particules de latex magnétiques pour la séparation de brins d'ADN de diverses longueurs. Le réseau de colonnes résulte d'une auto-organisation des particules magnétiques, qui se disposent à des distances de quelques microns quand elles sont soumises à un champ magnétique perpendiculaire au canal. La séparation des ADN est beaucoup plus rapide (quelques minutes) qu'avec les méthodes traditionnelles (plusieurs heures).

Des techniques de tri cellulaire par « magnétophorèse » ont été également décrites pour des dispositifs microfluidiques. Des cellules marquées sélectivement par des particules magnétiques, selon une démarche analogue à celle qui est décrite sur la figure 11, peuvent être séparées en continu des autres populations si elles sont introduites dans un flux microfluidique soumis à l'action d'un champ magnétique perpendiculaire. Leur trajectoire est en effet déviée par le champ et elles peuvent alors être orientées vers des circuits où elles se trouvent isolées.

Conclusions – Perspectives

L'inventaire que nous avons présenté est loin d'être exhaustif. De nombreuses autres applications s'appuient également sur la multifonctionnalité de particules de latex en tant que marqueur, support ou vecteur. On en trouvera dans le tableau 2 un certain nombre d'exemples dans des domaines variés, sachant que la plupart d'entre elles n'ont pas encore connu de réel développement industriel.

Il est intéressant de noter que certaines particules de latex décrites pour ces applications sont en fait des composites associant dans une même particule une phase minérale (silice, oxydes métalliques) et une phase organique polymère. Cela illustre les potentialités offertes non seulement par les multiples techniques de polymérisation en milieu dispersé ou d'émulsification de polymères, mais aussi par leur combinaison avec les procédés de chimie douce de type sol-gel, développés par la chimie minérale.

Domaine d'application	Exemple	Type de particules et référence
Stockage d'information	Enregistrement magnétique	Nanoparticules/ nanocomposites [33]
Imagerie	marqueurs (IRM)	Nanoparticules supermagnétiques recouvertes de polymères naturels ou synthétiques (dextran, polylysine) [34]
Catalyse	hydrolyse ou d'oxydation de petites molécules	Particules de PS-DVB fonctionnalisées cationiques [35]
Epuration	Complexation de métaux	Nanoparticules [PS-styrène chloro méthylé] portant des ligands macrocycliques [36]
Thérapeutique	Embolisation, Hémoperfusion	Microparticules de polyester [37]
	Pathologies oculaires Vecteurs de principes actifs	Nanoparticules de polycaprolactone [38] Nanoparticules de polycyanoacrylates d'allkyle [20, 41]
	Vaccination (adjuvants)	Nanoparticules de polyacide lactique [39]

Tableau 2 : Quelques exemples d'autres applications des latex synthétiques.

La possibilité de concevoir de tels systèmes dispersés multifonctionnels et structurés à différentes échelles devrait ouvrir la voie à des matériaux offrant des propriétés innovantes dont l'évaluation et la modélisation constituent d'intéressantes thématiques de recherche [40].

Bibliographie

[1] D. Urban, K. Takamura, *Polymer dispersions and their industrial application* (Wiley VCH, 2002)
[2] M. Antonietti, K. Tauer, *Macromol. Chem. Phys.* **204** (2003), 207-219
[3] A. Elaïssari, *Surfactant Science Series*, **115** (Marcel Dekker, New-York, 2003)
[4] A.M. van Herk, *Chemistry and Technology of Emulsion Polymerization* (Blackwell Publ., Oxford, 2005)
[5] J.C. Daniel, C. Pichot, *Les latex synthétiques: Elaboration, propriétés, applications (*Lavoisier Tech & Doc, Paris, 2006)
[6] J.C. Brosse, I. Campistron, D. Derouet, D. Reyx, *L'Actualité Chimique*, **11-12** (2002), 45-51
[7] J.C. Daniel, *Latex naturels et latex synthétiques : les mots, les hommes et le contexte historique*, Cf. [5], Ch. 1
[8] B. Cabane, *La stabilité colloïdale des latex*, Cf. [5], Ch. 2
[9] Y. Chevalier, *Granulométrie, morphologie et structure*, Cf. [5], Ch. 3
[10] a - Ademtech ; b - Merck Chimie SAS ; c - Invitrogen ; d - Varian Inc ; e - Polysciences Inc ; f - Spherotech Inc.; g - Sekisui Chemical Co.
[11] M.S. El Aasser, *Methods of latex cleaning*, in*: Science and technology of polymer colloids*, éditeurs: G.W. Pohlein, R.H. Ottewill, G.W. Goodwin (NATO ASI Series, E68, Nijhoff, The Hague, 1983), 422-448
[12] M. Lansalot, A. Elaïssari, O. Mondain-Monval, in [3], 381-417
[13] C. Pichot, T. Delair, A. Elaïssari, *Polymer colloids for biomedical and pharmaceutical applications,* in: *Polymeric dispersions: principles and applications*, éditeur: J.M. Asua (NATO ASI Series, E335, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997), 515-539
[14] E. Bourgeat-Lami, in [3], 189-223
[15] E. Bourgeat-Lami, *Latex à caractère organique/inorganique*, Cf. [5], Ch.38
[16] S. Braconnot, M. Lansalot, A. Elaïssari, *Les latex magnétiques: méthodes d'élaboration et propriétés*, Cf. [5], Ch. 40
[17] B. Chorein, *Rhéologie : notions de base et application aux Èmulsions et dispersions*, Cf. [5], Ch. 4
[18] Y. Holl, *Mécanismes de formation de films minces à partir de latex*, Cf. [5], Ch. 5
[19] S. Braconnot, A. Elaïssari, *Les latex magnétiques : un outil d'avenir pour la biologie*, Cf. [5], Ch. 43
[20] C. Vauthier, *Généralités sur les techniques d'émulsification et d'obtention des dispersions de nanoparticules à usage pharmaceutique – Avantages et inconvénients*, Cf. [5], Ch. 10
[21] T. Delair, Communication privée (2007)
[22] a – J.J.G. van Soest et al., brevet WO 0040617 ; b – F.E. Giezen et al., brevet WO 0069916 ; c – van Leewen, *Paper coating SBR latex replacement technology*, 2006 TAPPI Coating & Art Conference, Atlanta (2006)
[23] C. Pichot, *Introduction à la polymérisation en milieu hétérogène et à la polymérisation radicalaire*, Cf. [5], Ch. 7
[24] C. Pichot, *Polymérisations radicalaires en émulsion aqueuse et inverse*, Cf. [5], Ch. 8
[25] B. Charleux, M. Monteiro, *Controlled radical polymerization in emulsion polymèrisation in Chemistry and Technology of Emulsion Polymerization*, In: *Chemistry and Technology of Emulsion Polymerization*, éditeur: A.M. van Herk (Blackwell Publ, Oxford, 2005), 111-139
[26] J.C. Daniel, *Les applications des polymères en dispersion – Quelques généralités*, Cf. [5], Ch. 18, 27
[28] Equipe Chimie des Supports – Unité Mixte CNRS-BioMèrieux, *L'Actualité Chimique*, Mars (1999), 5-12
[29] J.P. Chapel , *Organisation de particules de latex sur supports plans et applications*, Cf. [5], Ch. 42
[30] E. Harel, S.E. Meltzer, A.A.G. Requicha, M.E. Thompson, B.E. Koel, *Nanoletters* **5** (2005), 2624-2629
[31] K.K. Jain, *Clinica Chimica Acta*, **358** (1-2) (2005), 37-54
[32] J.-L. Viovy, *Applications en microfluidique « les latex dans les laboratoires sur puces »,* Cf. [5], Ch. 44
[33] A. Moser, K. Takano, D.T. Margulies, Y. Albrecht, Y. Sonobe. Y. Ikeda, S. Sun, E.E. Fullerton, *J. Phys D : Phys. Appl.* **35** (2002), 157
[34] D. Pouliquen, C. Chouly, *Magnetic microcarriers for medical applications*, In*: Microspheres Microcapsules and Liposomes*, Vol 2 *: Medical and biotechnology applications*, éditeur: R. Arshady (Citus Book, London, 1999), 343
[35] W.T. Ford, *Reactive and Functional Polymers* **48** (2001), 3-13
[36] C. Larpent, S. Amigoni-Gerbier, A.-P. De Souza Delgado, *C.R. Chim*. **6** (2003), 717
[37] L. Marchal-Heussler, D. Sirbat, M. Hoffman, P. Maincent, *Pharmaceut Res.* **10** (1993), 386-390
[38] F. Puisieux, G. Barratt, G. Couarraze, P. Couvreur, J.P. Devissaguet, C. Dubernet, E. Fattal, H. Fessi, C. Vauthier, *Polymeric micro-and nanoparticles as drug carriers*, In *: Polymeric Biomaterials*, éditeur : S. Dumitriu (Marcel Dekker, New York, 1993), 749-788
[39] J. Kassaz, J. Neidleman, M. Singh, G. Ott, D.T. O'Hagan, *J. Control. Rel.* **67** (2000), 347
[40] E. Bourgeat-Lami, *Organic/inorganic nanocomposite colloids*, In : *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology,* **8**, éditeur : H.S. Nalwa (American Scientific Publishers, New York, 2003), 305-332
[41] Kim Jun-Hyun, Lee T. Randall, *Nanobiotechnology,* **67** (1) (2006), 61-69

Jean-Claude Daniel

Ingénieur de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier (ENSCM) et docteur ès sciences physiques de l'Université Claude Bernard (Lyon). Il a travaillé plus de 33 ans dans la recherche industrielle : ingénieur puis responsable d'équipes de synthèse et d'application dans le domaine des polymères et de la chimie de spécialité au Centre de Recherches d'Aubervilliers de la Société Rhône-Poulenc, puis Conseiller Scientifique du Groupe pour les polymères et la physico-chimie. En retraite depuis 1998, il exerce actuellement des activités de consutant auprès de diverses entreprises et prête son concours à de nombreuses sociétés savantes. Il est membre du Conseil national de la Chimie, Conseiller Scientifique au GFP, expert à l'OTECI, et membre du Bureau du Groupe Formulation de la Société Française de Chimie. J-C Daniel est auteur de plus d'une vingtaine de brevets dont certains ont donné lieu à une exploitation industrielle. Il est aussi auteur de plusieurs articles parus dans des revues et ouvrages scientifiques ; il a été, avec Christian Pichot, le coordinateur du livre : « Les latex synthétiques : élaboration, propriétés et applications » (Lavoisier, janvier 2006).

Contact: jeanclaude.daniel3@free.fr

Christian Pichot

Docteur ès sciences physiques (Université Claude Bernard Lyon) ; activités de recherche dans le domaine des polymères comme chercheur CNRS de 1972 à 2002. Ancien Directeur de Recherche, responsable d'équipe (élaboration de latex synthétiques) d'abord au Laboratoire des Matériaux Organiques à Solaize (Rhône), puis du groupe de Chimie des Supports (à base de polymères) dans l'Unité Mixte CNRS-bioMérieux de 1988 à 2001 (École Normale Supérieure de Lyon). Auteur de plus de 250 articles scientifiques, revues diverses et chapitres d'ouvrage, de 15 brevets et d'un grand nombre de conférences invitées et de communications orales dans diverses conférences nationales et internationales. Membre du Groupe Français des Polymères et de l'International Polymer Colloid Group.

Contact: christian.pichot@wanadoo.fr

Offres : Technologies industrielles

Optimisation du traitement des polymères

Afin de répondre aux problèmes pratiques liés aux environnements industriels, le projet 3PI a utilisé des outils expérimentaux et informatiques pour modéliser la thermomécanique des matériaux polymères lors de leur formation, leur traitement et leur conception finale.

De nos jours, les polymères constituent un groupe très important de matériaux. Il est difficile d'imaginer une société moderne sans eux, ce qui n'est pas surprenant compte tenu du fait que leur introduction remonte à quelques décennies à peine. Cependant, étant donné le rythme de traitement élevé des polymères, des irrégularités et des défauts apparaissent. Cela limite donc le développement total de leurs applications commerciales.

Le principal objectif du projet de recherche 3PI était de fournir les connaissances essentielles et les modèles de prédiction et de compréhension des propriétés finales des produits polymères. Ces propriétés sont liées aux paramètres intrinsèques (moléculaires) et, dans une grande mesure, aux conditions de traitement.

Pour combler le fossé entre des modèles rhéologiques sophistiqués et une modélisation prédictive fiable du traitement des

© Shutterstock

polymères, des outils numériques ont été mis au point à l'École des Mines de Paris. Les mécanismes de différentes instabilités constitutives des fluides polymères, constatés lors de l'extrusion des mélanges de polymères, ont été progressivement traduits sous forme de modèles numériques avancés.

Une modélisation dynamique a beaucoup contribué à décrire la phase initiale des instabilités de flux lors du processus d'agitation du mélange, ainsi que des «à-coups» dans les flux sous pression. Pour progresser d'un cran dans l'étude des instabilités dans les flux de polymères, des outils numériques généraux de simulation des flux compressibles ont été mis au point.

Plus précisément, le code des éléments finis allie des contributions de capacités de compression à une réponse constitutive non Newtonienne ou viscoélastique. Grâce à la bibliothèque de méthodes des éléments finis MEF++, ce dernier a été configuré pour correspondre aux données expérimentales temporelles d'un rhéomètre Multipass.

L'évolution de la pression et la biréfringence a été observée pour un flux (considéré comme un flux en 2D) de sortie/entrée au sein d'une fente. Au vu des résultats, on a pu établir l'importance relative de la capacité de compression et des contributions viscoélastiques pour les éléments de flux liés à la croissance ou à la décroissance des efforts.

Ces mécanismes de pannes seront progressivement traduits sous forme de modèles numériques avancés afin de permettre l'optimisation des matériaux et des formes de moules, ainsi que des conditions de traitement.

Source* d'information: Résultat du programme GROWTH financé par l'UE
Type de collaboration recherchée: Échange d'informations / formation
Contact : Yves Demay
(http://www-cemef.cma.fr)

**« Marché de la technologie » sur CORDIS : l'éditeur web de la recherche et innovation en UE http://cordis.europa.eu/marketplace/fr*

Nouvelles

Un projet de l'UE sur les matériaux intelligents pour la régénération de tissus osseux

Plus d'un demi-million d'Européens souffrent de troubles ou de défaillances graves de certaines parties de leur structure osseuse. Les greffes ou les implants nécessaires à la réparation des dégâts dépendent donc énormément des matériaux utilisés.

Le projet Nanobiocom, financé au titre du sixième programme-cadre (6e PC) de l'UE, s'est penché sur la régénération et la réparation des tissus osseux. Son objectif consiste à trouver un substitut aux tissus osseux pouvant réparer l'os et le régénérer de façon à lui redonner les fonctions dont il disposait à l'origine.

Dans le cas d'une détérioration importante de l'os, l'implant devra offrir les propriétés fonctionnelle et physiologique de la partie endommagée. Dans ces circonstances, les implants osseux doivent se conformer à certaines exigences pouvant contribuer à la reconstruction de →

tissus osseux détériorés de la façon la plus efficace et la moins nuisible possible et en évitant les répercussions fâcheuses. Les implants devront également rendre à l'os détérioré ses fonctions mécaniques, tout en offrant la régénération souhaitée.

En outre, ces solutions doivent également remédier aux dégâts particulièrement graves dus, par exemple, aux défaillances congénitales, aux maladies dégénératives, aux troubles liés au cancer et autres problèmes résultant d'accidents. Les implants recherchés pour ce type de solutions doivent être plus complexes et sophistiqués que les petits implants dont nous disposons actuellement.

C'est pourquoi le projet Nanobiocom tentera de mettre au point un support fabriqué à partir de matériaux composés «intelligents», proactifs et pouvant réparer et régénérer les tissus osseux. À cette fin, ces matériaux doivent être bioactifs, agir sur le système de génération des tissus et ses gènes correspondants et également réagir convenablement aux changements physiologiques et biologiques, internes et externes, de ce système.

Sa taille et sa forme, de même que ses fonctions mécaniques, doivent correspondre à celles des os sains.

Le projet d'une durée de trois ans doit désormais garantir la capacité souhaitée des matériaux intelligents grâce aux nanoparticules et être de nature biodégradable. Le développement d'une culture cellulaire en trois dimensions est également en cours de réalisation; de plus, les chercheurs doivent assurer la biocompabilité des matériaux.

Les scientifiques participant à ce projet de recherche exploratoire espèrent à terme promouvoir le développement de la nanobiotechnologie.

Pour de plus amples informations, consulter: http://nanobiocom.org/

Source* des informations: Basque Research

Référence du Document: D'après un communiqué de presse de Basque Research

De nouvelles expériences offrent des informations sur les systèmes à l'échelle nano

À l'aide des nouvelles technologies optiques, une équipe internationale de chercheurs a pu observer les interactions dans les systèmes à l'échelle nano. Les résultats de cette nouvelle expérience spectroscopique au laser haute résolution, réalisée au centre de nanosciences à l'université Ludwig-Maximilians (LMU) de Munich (Allemagne) ont été publiés dans l'édition actuelle de la revue Nature.

En mesurant les photons diffusés par un point quantique unique, une nanostructure semi-conductrice, tout en augmentant l'intensité laser afin de saturer l'absorption optique du point, les scientifiques ont pu, pour la première fois, détecter de très faibles interactions entre le matériel et ses environnements grâce à l'effet «Fano».

Cet effet change la manière dont un atome ou une molécule absorbent la lumière ou la radiation, explique Sasha Govorov, physicien théoricien de l'université d'Ohio et co-auteur de l'étude. Ce phénomène se produit lorsqu'un état quantique discret (un atome ou une molécule) interagit avec un état continu du vide ou le matériel hôte environnant.

Souvent, le principe d'incertitude de Heisenberg gène l'observation de l'effet

© Photodisc

Fano dans les systèmes à l'échelle nano. Ainsi, l'interaction entre le système et ses environnements ne peut pas être observée. Ce principe est un concept de la physique quantique selon lequel plus la position de la particule est précise, moins sa quantité de mouvement sera précise et vice versa. Étant donné l'échelle infime du système, il est impossible de déterminer avec précision les deux facteurs simultanément.

«D'après notre théorie, l'effet Fano non linéaire et la méthode y étant associée peuvent être appliqués potentiellement à une multitude de systèmes physiques afin de révéler de faibles interactions», déclare M. Govorov. «Nous pouvons explorer de nouvelles frontières dans l'optique quantique», ajoute Khaled Karrai, professeur du LMU.

L'étude a été financée par divers organismes nationaux allemands, britanniques et américains, ainsi que par l'UE dans le cadre du réseau d'excellence SANDiE (Self-Assembled semiconductor Nanostructures for new Devices in photonics and Electronics), qui bénéficie d'un total de 9,2 millions d'euros au titre du sixième programme-cadre (6e PC). SANDie, un réseau réunissant 32 partenaires originaires de 14 pays européens et tiers, tente de former une approche cohésive afin d'effectuer des recherches dans le domaine des nanostructures semi-conductrices auto-assemblées (SAN, pour semiconductor nanostructure).

Les SAN telles que les points quantiques (QD, pour quantum dot) auto-assemblés, qui se forment spontanément dans des circonstances spécifiques lorsque le matériel semi-conducteur est déposé en couches sur un substrat, pourraient constituer un moyen de réduire la taille des dispositifs électroniques tout en maintenant les coûts de fabrication à des niveaux bas.

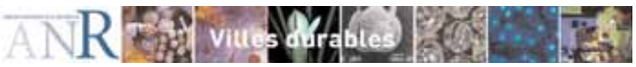
Pour de plus amples informations, consulter:

Réseau d'excellence SANDiE: http://www.sandie.org/
Université d'Ohio:, http://www.ohio.edu/

Source* des informations: Université d'Ohio; Réseau d'excellence SANDiE

**« Nouvelles » sur CORDIS : l'éditeur web de la recherche et innovation en UE http://cordis.europa.eu/marketplace/fr*

Appels à projets 2008 : Villes durables



En ce début du XXIe siècle, la population urbaine vient de franchir le cap des 50 % de la population totale de la planète. Si la croissance urbaine va souvent de pair avec le développement économique, faute d'être maîtrisée, elle peut aussi être à l'origine de dysfonctionnements et de crises majeures aussi bien sur le plan social qu'environnemental. La « ville durable » reste encore largement à inventer.

Ce programme vise à mobiliser la communauté scientifique, dans la diversité de ses disciplines et de ses démarches, pour éclairer les décisions publiques et produire des outils et des techniques qui permettront aux villes de mieux intégrer les exigences du développement durable.

Cet appel à projets se focalise sur les villes européennes en se plaçant dans la perspective du Grenelle de l'environnement. À ce titre, l'enjeu principal sera de mieux connaître et de réduire ou maîtriser les nuisances environnementales de nos villes, notamment en termes d'utilisation des ressources naturelles (énergie, air, eau, sol/sous-sol, espace, matériaux de construction...) et d'émissions de GES et de polluants. Les rapports de la ville à l'économie et au lien social ne devront pas être perdus de vue pour autant. La problématique du changement climatique et la nécessaire réduction des émissions de gaz à effet de serre seront ici appréhendées à la fois comme un risque majeur et comme une opportunité pour promouvoir de nouveaux types de développement.

Seront privilégiées les approches systémiques, intégrées dans des projets pluridisciplinaires qui permettent de regarder ensemble, sous différents angles (économique, social, environnemental, technologique...), plusieurs dimensions ou fonctions des villes (mobilité, risques, architecture et formes urbaines, métabolisme urbain...).

Cet appel à projets s'articule autour de quatre axes complémentaires :
– Volet 1 : « Nouveaux services, agencement des espaces et gouvernance » ;
– Volet 2 : « Dynamiques spatiales et mobilité » ;
– Volet 3 : « Environnement et risques » ;
– Volet 4 : « Infrastructures, réseaux et constructions ».

Date limite de soumission des dossiers : 9 avril 2008 à 12h00

Le projet doit être soumis par le partenaire coordinateur au plus tard le 09/04/2008 impérativement avant 12h00 (heure de Paris) sur le site : http://vd.usar.cnrs.fr

Le document d'engagement signé par tous les partenaires doit être envoyé sous forme papier avant le 18/04/2008, le cachet de la poste faisant foi, à l'adresse suivante :

CNRS USAR – Programme « Villes Durables »
3 rue Michel Ange
75794 Paris Cedex 16 – France

www.agence-nationale-recherche.fr

VALORISATION D'UN HÉRITAGE SCIENTIFIQUE

EDP Sciences met en ligne 135 années d'archives de publication du Journal de Physique représentant environ 48.000 articles disponibles à la consultation sur :

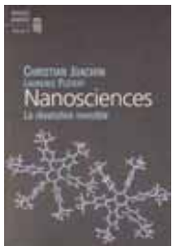
L'archive intègre le Radium de 1904 à 1962, le Journal de Physique Théorique et Appliquée de 1872 à nos jours, etc. de même que des articles de nombreux prix Nobel, comme Pierre et Marie Curie à George-Fitzgerald Smoot, en passant par Pierre-Gilles de Gennes et Claude Cohen-Tannoudji, ou encore Albert Fert, prix Nobel de physique en 2007.

Des pans entiers de la littérature scientifique réapparaissent grâce à cette opération de rétro-numérisation. Ce fonds scientifique et historique s'enrichit au passage de tous les atouts de la technologie actuelle : DOI, production de métadonnées, indexation dans les bases de données, liens directs vers les articles cités en référence, recherche par mots-clefs, recherche « intelligente »... La diffusion des travaux des auteurs trouve ainsi un second souffle, cette valorisation de leurs articles bénéficiant à toute la communauté scientifique.

www.journaldephysique.org

Nanosciences, la révolution invisible

PAR CHRISTIAN JOACHIM, LAURENCE PLÉVERT



Les nanotechnologies ont le vent en poupe. On nous promet des nanorobots étonnants et des matériaux révolutionnaires, tandis que de farouches opposants invoquent le fantôme de Big Brother et agitent l'épouvantail des OAM (organismes atomiquement modifiés). Entre marketing médiatico-scientifique et angoisses immaîtrisées, la voie de la sagesse, prônée ici, rappelle que le champ des nanotechnologies est plus étroit qu'on ne se plaît à le dire, qu'il ne s'est élargi que pour des raisons de politique intérieure étatsunienne, et que les enjeux éthiques restent encore très surévalués. Sous la plume d'un chercheur à l'origine de cette saga, ce petit livre apporte des réponses claires et factuelles.

190 pages, Le Seuil (janvier 2008)

Le métal : Techniques de mise en forme, forgeage et soudage

PAR JOSÉ-ANTONIO ARES (ADAPTÉ PAR MARTINE RICHEBÉ)

Conçu comme un guide pratique destiné à ceux qui souhaitent s'initier à l'art du métal, mais renfermant aussi des informations intéressantes pour les plus expérimentés, ce livre porte sur les techniques de mise en forme, de forgeage et de soudage. Après un aperçu historique, l'ouvrage présente les caractéristiques des métaux et alliages, ainsi que les différents procédés utilisés dans l'industrie pour les transformer en produits finis. Ensuite, les différents outils et machines susceptibles d'être utilisés pour travailler le métal à l'échelle artisanale sont passés en revue. Les principales techniques de coupe, de

mise en forme du métal et des traitements de finition des métaux sont ensuite exposées de façon claire. Enfin, après une présentation des différentes techniques d'élaboration et de finition des métaux, vous trouverez de nombreux exercices illustrés étape par étape pour vous permettre de vous familiariser avec le déroulement des techniques les plus représentatives, du début du processus jusqu'à la réalisation de l'œuvre.

160 pages, Gründ (janvier 2008)

François Arago, un savant généreux – Physique et astronomie au XIXe siècle

PAR JAMES LEQUEUX

François Arago est une figure dominante de la science française de la première moitié du XIXe siècle. Il a mis à profit son influence considérable pour aider Fresnel, Ampère et d'autres à développer et à faire connaître leurs idées ; son apport personnel à la physique, à l'astronomie et à la géodésie est loin d'être négligeable. Il fut aussi un vulgarisateur hors pair et un promoteur de la science et de la technique. Un des derniers humanistes, Arago s'est intéressé à tout : c'est l'occasion pour l'auteur de décrire les progrès extraordinaires accomplis à cette grande époque de la science française, qui a vu naître l'optique physique, l'électromagnétisme et la thermodynamique, c'est aussi l'époque de la révolution industrielle, qui a inventé la photographie, le moteur et le télégraphe électriques.

538 pages, EDP Sciences (janvier 2008)

La recherche et l'innovation en France – FutuRIS 2007

SOUS LA DIRECTION DE JACQUES LESOURNE, DENIS RANDET

COLLECTIF ODILE JACOB

Le paysage français de la recherche et de l'innovation a été profondément remodelé depuis 2005 par une série de réformes majeures.
Cet ouvrage, deuxième opus d'une série annuelle, offre une vision à la fois synthétique et documentée des évolutions en cours. Il est le fruit des travaux menés au sein de FutuRIS, qui rassemble acteurs et experts de la recherche et de l'innovation. Le lecteur y trouvera un bilan d'ensemble, ainsi que des analyses et des propositions sur plusieurs questions majeures : les besoins de la société ; les logiques territoriales, européennes, internationales ; les nouveaux outils ; les conditions d'une meilleure synergie entre la recherche publique et les entreprises ; le rôle des PME en matière d'innovation.
Un état des lieux précis et une vision ouverte sur l'avenir.
Prospectiviste reconnu de longue date, Jacques Lesourne est professeur émérite au Conservatoire national des arts et métiers. Il est membre de l'Académie des technologies. Denis Randet est délégué général de l'Association nationale de la recherche technique (ANRT).

470 pages, Odile Jacob (janvier 2008)

Couches minces : élaboration des couches minces

Objectifs

Comprendre les mécanismes de croissance et les phénomènes physiques et chimiques associés à l'élaboration des films minces.

Programme

Préparation de surface : un exemple particulier : les supports souples.
Évaporation de films minces : principe, configurations géométriques source échantillon, application au milieu industriel.
Pulvérisation cathodique : principe des différentes variantes (diode, triode, magnétron, RF et continu), pulvérisation réactive, configuration géométrique, exemples dans le milieu industriel (cours & TP).
Dépôt chimique en phase vapeur (CVD) : principe de la technique, les différentes variantes, applications dans le milieu industriel (cours &TP).
Un T.P. sur la fabrication des microdispositifs sera proposé aux stagiaires s'inscrivant simultanément à p3a et p3b.

Durée : 5 jours / 35 heures
Dates : 19–23 mai 2008
Lieu : SFV Paris et LPGP Orsay
Prix :Adhérent : 2000 €
Non adhérent : 2100 €
Contact : Isabelle MABILLE*
Maître de conférence – ENSCP
e-mail : isabelle-mabille@enscp.fr

Le dégazage et son traitement – Technologies de l'ultravide

Objectifs

Ce cours définit les phénomènes rencontrés en « vide poussé et en ultravide ». Une meilleure compréhension du dégazage (ou désorption) par la mesure et l'interprétation de l'évolution de la pression dans les enceintes à vide conduira à améliorer les montages existants et à concevoir de nouvelles installations dans la recherche du meilleur rapport qualité-prix.
On montrera comment il est possible de diminuer le dégazage et obtenir des pressions largement inférieures à 10^{-6} Pa (10^{-8} mbar), même sur de très grandes installations. Les techniques mises en œuvre pour l'ultravide peuvent être avantageusement appliquées dans des vides nettement moins poussés dans un souci d'économie pour l'investissement et la maintenance.

Programme

– Phénomènes rencontrés en vide poussé.
– Libre parcours moyen.
– Temps de séjour.
– Désorption.
– Pollution…
– Notion d'interface gaz-métal, absorption et diffusion de l'hydrogène.
– Le matériel utilisé : pompes, joints, brides…
– Les bâtis ultravide.
– Technologie des enceintes : traitement et conditionnement (nettoyage, étuvage, décharge luminescente).
– La mesure.
– Discussions sur quelques cas classiques.

Durée : 2 jours/14 heures
Dates : 14–15 mai 2008
Lieu : SFV Paris
Prix : Adhérent : 650 €
Non adhérent : 750 €
Contact : Nelly ROUVIERE*
Ingénieur, CEA Saclay
e-mail : nelly.rouviere@cea.fr

Source : Société Française du Vide (sfv@vide.org)*

Physique et pratique du vide poussé

Objectifs

Comprendre les exigences de la pratique du vide poussé pour assurer une mise en œuvre correcte dans les procédés de fabrication ou dans la conception des équipements.

Programme

Les principes fondamentaux indispensables sont exposés simplement, puis on explique le fonctionnement et le rôle des matériels en précisant leurs compatibilités et les domaines d'utilisation.

Cours

Les gaz permanents ; – Les vapeurs condensables, la pression, la pression de vapeur ; – Le libre parcours moyen, les fréquences de collisions, la transition « État visqueux – État moléculaire », le nombre de KNUDSEN. Le rôle des parois, le taux d'incidence, le temps de séjour, le taux de recouvrement, le volume fictif.
Les différents moyens de pompage, le pompage sec, les accessoires, le flux gazeux, le débit massique, la vitesse de pompage, la conductance.
Le groupe de pompage, la pression limite, le dégazage des matériaux, les fuites, l'évaporation, la rétrodiffusion, la perméation. Mesures de pressions, manomètres absolus, manomètres relatifs, mesures de pressions partielles.
Conception des enceintes à vide, fabrication, nettoyage, mesure d'étanchéité, stockage, exploitation. Analyse des gaz. Rappel physico-chimique sur les matériaux et leurs interactions avec les gaz.

Travaux pratiques

3 séances de travaux pratiques sur l'obtention et la mesure du vide :
– Influence des conductances.
– Rôle des parois : le dégazage.
– Mesures des pressions partielles

Durée : 4 jours / 28 heures
Dates : 27–30 mai 2008
Lieu : IUT d'Orsay
Prix : Adhérent : 1400 €
Non adhérent : 1500 €
Contact : Lionel BRESSON (Chercheur CNRS)*
e-mail : lionel.bresson@onera.fr

MARS 2008

Premier Congrès Tunisien de Mécanique, 17–19 mars 2008, Hammamet Tunisie.

L'Association Tunisienne de Mécanique (ATM) compte organiser, tous les trois ans, le congrès tunisien de mécanique. Sa première version est donc programmée du 17 au 19 mars 2008. Ce congrès se veut être une grande occasion de rencontre et d'échange entre les chercheurs mécaniciens au sens large de la mécanique. C'est un des outils de l'ATM pour structurer et dynamiser la communauté mécanicienne tunisienne et faire connaître sa production scientifique. Un encouragement particulier est adressé aux doctorants et aux jeunes docteurs pour venir présenter leurs travaux. La participation des industriels est vivement encouragée.

www.tunimec.org/cotume2008/

Journées Scientifiques Annuelles du Groupe Français de la Céramique, GFC, 18–20 mars 2008, Tarbes, France.

Les Journées Annuelles 2008 s'inscrivent dans la série des Journées Annuelles du Groupe Français de la Céramique (GFC) qui réunissent tous les ans la communauté scientifique et industrielle du domaine des céramiques, qu'elles soient traditionnelles, techniques ou de spécialité.
Ces journées se proposent de faire le point sur les dernières connaissances scientifiques et techniques et les derniers développements dans le domaine des céramiques. Un tarif particulièrement attractif est réservé aux étudiants, dans le but de favoriser au cours de ces Journées les échanges informels entre jeunes chercheurs.
Les principaux thèmes retenus par le Conseil du GFC sont :

1. Chimie douce et élaboration de poudres
2. Frittage flash et nouvelles technologies de mise en forme
3. Nanocomposites à matrice céramique
4. Assemblages céramo-métalliques
5. Biocéramiques
6. Céramiques pour l'électronique
7. Céramiques pour la mécanique et la thermique.

Thème d'ouverture : « Matériaux de construction céramiques »

http://www.enit.fr/gfc2008/

GFEC 2008, Journées scientifiques du Groupe Français d'Étude des Carbones, 31 mars au 3 avril 2008, Chambon sur lac, France.

Depuis plus de 40 ans, le Groupe Français des Carbones se réunit chaque année 4 jours afin de faire le point sur les recherches menées en France sur le sujet, aussi bien dans les laboratoires publics que dans les centres de recherche industriels.
La vocation essentielle des journées annuelles du GFEC est de favoriser la communication entre tous les scientifiques intéressés par des problèmes fondamentaux et appliqués touchant aux matériaux carbonés.

Le colloque 2008 sera structuré autour des thèmes suivants :
– Les carbones et l'interface avec le vivant (prothèses, interaction aérosols carbonés/cellules).
– L'impact environnemental des aérosols de carbone, produits de combustion (dans les couches supérieures de l'atmosphère, au niveau du sol).
– Le stockage de l'énergie dans les carbones poreux (batteries, supercapacités, stockage d'hydrogène et de méthane).
– Les matériaux carbonés dans les tokamacs pour la fusion nucléaire (interactions plasma-surface).
– Les nouvelles formes de carbone « high-tech » (films minces de carbone, nanotubes, nanodiamants, répliques de milieux inorganiques poreux, aérogels, etc).
– Graphites et carbones industriels
– Carbones activés et leurs applications.
– Composites.

http://www.univ-bpclermont.fr/CONGRES/gfec2008/

Salon INDUSTRIE 2008, 31 mars au 4 avril 2008, Paris Nord Villepinte, France.

Le salon des professionnels de l'équipement et de la fabrication industriels, INDUSTRIE Paris 2008 est désormais le rendez-vous « institutionnel » français qui rassemble tous les acteurs de la production manufacturière française. Accompagnant le dynamisme retrouvé de la mécanique française, ce salon propose un programme composé de valeurs sûres et d'innovations originales.
INDUSTRIE Paris 2008 regroupe 10 salons complémentaires et très ciblés :
– Machine Outil : Salon international des équipements de production pour les industries mécaniques.
– Form & Tôle : Salon international du formage, du travail de la tôle et du tube.
– Soudage : Salon international dédié aux solutions et techniques de soudage.
– Control France : Salon international de la mesure, du contrôle et de l'assurance qualité.
– Inter-Outil Expo : Salon international des outils de coupe et de mise en forme des métaux, plastiques et composites.
– SITS : Salon international des Traitements de Surfaces et revêtements.
– Thermic : Salon international des équipements thermiques.
– Motek France : Salon international de l'assemblage et de la manipulation automatisés.
– Robotique : Le rendez-vous européen des constructeurs et intégrateurs de robots industriels.
– IND.ao : Salon international de l'informatique et des nouvelles technologies pour l'industrie.

http://www.industrie-expo.com