

Rencontre avec Thomas Zemb, directeur de l'ICSM



Thomas Zemb dirige l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM), Institut dont l'installation à Marcoule sera inaugurée en novembre 2008. Il s'agit d'une opération originale par beaucoup d'aspects et L'Actualité Chimique a souhaité mieux la connaître en questionnant directement son directeur.

L'Actualité Chimique : L'ICSM a été créé au début de 2007 et doit entrer en novembre prochain dans un bâtiment en cours d'achèvement à côté du Centre d'Études Nucléaires de Marcoule. C'est un élément d'une opération menée dans le cadre d'un large partenariat. Pourriez-vous nous présenter cette opération ?

Thomas Zemb : Les partenariats entre le CEA et le monde académique sont bien connus depuis les origines du CEA. Ils portaient d'abord sur les grands instruments de la physique ou sur les sciences du vivant ; thématiquement, ils ne concernaient pas le domaine de la chimie – à l'exception de l'association sous forme d'URA du CEA et du CNRS en 1982 sur ce qui constitue actuellement le laboratoire Claude Fréjaques. Les partenariats se sont développés principalement autour des Centres d'Études Nucléaires de Saclay et de Grenoble, mais les centres à vocation de recherche appliquée et de développement industriel n'étaient pas partie prenante à cette politique.

Ceci est bien naturel compte tenu de leur mission principale de soutien à l'industrie, qu'on ne peut réduire à la seule recherche cognitive. L'ICSM serait donc une création du Centre de Marcoule ?

Non, c'est le fruit d'un partenariat important, où les acteurs régionaux de la recherche s'impliquent fortement. En sus de la



État du chantier ICSM/INSTN de Marcoule au 12 juillet 2008. Les laboratoires se trouvent à gauche et les salles de cours à droite. Le bâtiment central d'accueil comprend la bibliothèque, ainsi qu'un amphithéâtre et des salles de réunion. L'ensemble est à 25 km au nord d'Avignon, sur la rive droite du Rhône, et situé à 110 km de Montpellier.

Région Languedoc-Roussillon, majoritaire dans l'investissement initial, ce sont principalement l'université de Montpellier II et l'École de Chimie de Montpellier (ENSCM) – qui incluent l'ICSM dans la partie « recherche académique » du Pôle de chimie du Languedoc-Roussillon qu'elles ont créé en leur sein. Dans la partie « formation » de ce pôle, il faut aussi citer que l'antenne de Marcoule de l'INSTN (ndlr : l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires

L'ICSM recrute des chercheurs

L'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM), UMR 5257, créé au 1^{er} janvier 2007, va emménager fin 2008 dans des locaux construits spécialement pour lui au sein du centre de Marcoule, à 25 km au Nord-Ouest d'Avignon. L'ICSM recrute pour 2009 des chercheurs reconnus internationalement, souhaitant effectuer une mutation. Ils pourront y diriger des équipes dans le domaine de la modélisation mésoscopique, de l'étude des ions aux interfaces, du tri ionique par des systèmes moléculaires complexes et la chimie isotopique.

Cet institut est également une affectation idéale pour des candidats souhaitant intégrer en tant que chercheurs le CNRS, le CEA ou les établissements d'enseignement associés à l'ICSM. Les candidatures soutenues par l'Institut* seront celles de jeunes chercheurs ayant accompli une thèse et un stage post-doctoral dans deux domaines thématiques distincts, et pouvant faire état de publications importantes en chimie et en physico-chimie.

Enfin, l'Institut est en mesure de proposer des stages post-doctoraux disponibles fin 2008 ou début 2009 pour des docteurs chimistes, physico-chimistes ou physiciens des systèmes moléculaires complexes, ayant une expérience en nanosciences ou en chimie en milieu actif dans les domaines suivants : tri ionique, chimie et physico-chimie des actinides, ions aux interfaces, tri ionique par des systèmes auto-organisés, sonochimie, nanomatériaux autoréparants, surfaces de solides en évolution et chimie isotopique. Envoyer CV et candidatures après consultation des sujets disponibles sur le site de l'ICSM.

Le projet scientifique détaillé de l'ICSM est disponible sur demande en français ou en anglais⁽¹⁾. Les diverses réunions scientifiques organisées à Marcoule – Galerne 2008 (12-16 octobre), Journées scientifiques de Marcoule (3-5 novembre) – permettent également de découvrir les domaines d'expertises de l'ICSM. Pour tout renseignement complémentaire, contacter par courriel Thomas Zemb⁽²⁾. En cas de candidature à la mutation, contacter Francis Sécheresse pour une mutation CNRS ou Christian Guérin dans le cas d'une mutation entre Universités.

*Les candidatures pour des postes permanents correspondant au projet scientifique se verront proposer une audition devant un comité de présélection commun au CEA, au CNRS, à l'Université de Montpellier 2 et à l'École nationale supérieure de chimie de Montpellier. Pour participer à la prochaine session d'audition qui aura lieu début novembre, envoyer par courriel un CV détaillé comprenant une liste de publications ainsi qu'un projet de recherches en deux pages sous forme d'un seul fichier pdf, **avant le vendredi 24 octobre 2008**.

⁽¹⁾helene.martin@cea.fr, ⁽²⁾thomas.zemb@icsm.fr
icsm@icsm.fr, www.icsm.fr.

L'ICSM, chiffres-clés

Surface utile : 3 800 m² (hors locaux techniques) sur deux niveaux :
- 700 m² de laboratoires et 750 m² de bureaux pour l'ICSM,
- une bibliothèque de 300 m² et un amphithéâtre de 250 places (en commun avec l'INSTN Marcoule qui occupera la 2nde aile du Bâtiment).

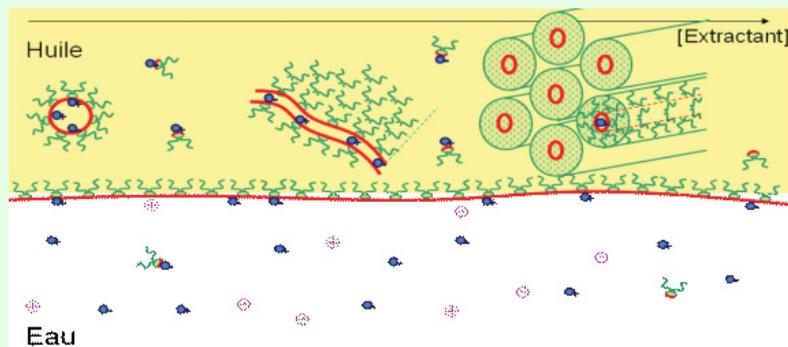
Effectif (chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens et personnel administratif, pour moitié sous statut CEA, CNRS et Université et pour moitié personnels en thèse ou en post-doctorat) :

- fin 2007 : 17 (actuellement accueillis dans des laboratoires du CEA, du CNRS et de l'Université).
- fin 2008 : 27.
- fin 2010 : 80 à 100.



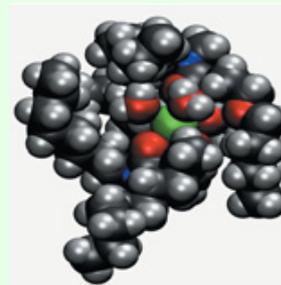
La séparation par « extraction » liquide-liquide

Cette séparation, actuellement la plus utilisée dans le monde pour le retraitement, est fondée sur la mise en contact d'une phase aqueuse concentrée d'ions contenant les cations métalliques à séparer et d'une phase solvant ou huileuse contenant la « surface utile », qui est l'ensemble des têtes complexantes des molécules « extractantes ». Ces molécules sont des tensioactifs hydrophobes présentant une tendance à l'auto-association. L'énergie libre de formation de micelles inverses est plus faible qu'avec des tensioactifs classiques. Alors que des tensioactifs tricaténaires sont à la base de procédés d'extraction sélective des actinides depuis le projet Manhattan, la mesure directe de la nature « micelle inverse » des agrégats efficaces en sélectivité n'a été effectuée qu'en 1988 par diffusion aux petits angles. La plupart des procédés de séparation efficaces connus impliquent une co-extraction d'eau et se trouvent dans un régime dit de « Winsor II » de micro-émulsions plus classique : lorsque des extractants sont assemblés, la densité locale de sites complexants est très grande ; les interactions entre le métal à extraire et son environnement s'étendent au-delà des premiers voisins et la surface utile pour l'extraction est en fait la surface totale développée dans la phase « huile » par l'ensemble des têtes d'extractant. Le développement de théories générales prédictives de l'extraction sélective implique en préalable l'établissement d'un isotherme d'adsorption d'un ion polarisable sur une surface courbée. La particularité qui a empêché jusqu'à présent une approche plus générale des abaques de constantes « effectives » est que la présence des ions extraits dans les micelles joue non seulement sur la courbure de l'interface, mais aussi sur les équilibres entre micelles inverses, donc la stabilité de l'ensemble de la phase, dont la connaissance est cruciale dans les évaluations de criticité.



Regard de scientifique sur une technologie éprouvée : schéma des phases en présence dans l'extraction liquide-liquide.

On peut y voir la surface divisée qui sélectionne les ions à séparer, et l'interface macroscopique eau-huile qui est le siège des phénomènes de surfaces limitant les cinétiques d'extraction.



Un agrégat inverse eau/huile, formé à partir de six molécules d'un extractant de référence qui est une molécule amphiphile tricaténaire : les propriétés d'extraction et de dés-extraction dépendent fortement de l'état d'organisation de cette « micelle inverse. »
(Modélisation : Ph. Guilbaud).

(INSTN) est un établissement public entre le CEA et l'Éducation nationale) est fortement couplée à cet ensemble pour les activités d'enseignement et d'animation scientifique : le bâtiment est commun à l'ICSM et à l'INSTN.

Le CNRS n'est probablement pas absent de cette opération ?

Certainement pas, il en a même été le moteur dès les origines, dans la définition et le montage du projet, et le département Sciences chimiques du CNRS s'est engagé dès l'émergence du projet ICSM. L'Institut a maintenant le statut d'unité mixte de recherche (UMR CNRS), avec une égalité des moyens de fonctionnement prévus par la convention signée des quatre partenaires : ceci à hauteur de 40 % du tour de table pour les deux partenaires principaux de l'opération

Les matériaux autoréparants

Les matériaux autoréparants sont la classe de matériaux qui se transforment non par cinétique incontournable de vieillissement (corrosion, recristallisation, métamictisation), mais qui se transforment au moment opportun. Pas exemple, sous l'effet de la corrosion, un réactif est émis : ce réactif intervient dans la production d'un matériau secondaire. Cette approche, très utilisée lors de la modélisation géochimique, a été élargie aux nanomatériaux : caoutchoucs autoréparants mis au point à l'ESPCI, microcapsules autoréparantes mises au point au Max Planck de Potsdam, en cours de test réels sur des ailes d'avion. Dans le cas des matériaux d'intérêt pour le nucléaire du futur, on peut imaginer que les produits complexes de la radiolyse, comme des polymères inorganiques, interviennent dans des échanges d'ions avec des solides ioniques, et que les performances du matériau, par exemple vis-à-vis de la lixiviation ou de la résistance à la fissuration, augmentent au cours du temps, sous l'effet de la dégradation radiolytique d'un matériau primaire produisant les réactifs d'une transformation secondaire ayant de meilleures propriétés d'usage que le matériau primaire.

que sont le CNRS et le CEA. Le logo associé d'ailleurs le bleu CNRS et le jaune CEA, sans séparation, mais avec transformation des teintes.

Quelle est la mission scientifique que ces partenaires aussi divers se sont entendus à confier à l'ICSM ?

Il fallait sélectionner un champ scientifique dont les possibles retombées puissent concerner les programmes de R & D appliqués du CEA (en l'occurrence dans le domaine du cycle du combustible nucléaire), mais aussi que les recherches scientifiques cognitives menées se placent dans des problématiques de niveau international. Depuis les propositions initiales de Jean Rouxel et Maurice Leroy en 1992, en passant par une commission Guillaume-Blanzat en 2003, il a été constaté que le domaine des procédés de la chimie séparative répond tout à fait à ce cahier des charges. Ces procédés sont au cœur des transformations du cycle du combustible des réacteurs nucléaires : dans les nombreuses étapes qui conduisent du minerai au combustible, ainsi bien sûr que dans le retraitement des combustibles irradiés. Les opérations de séparation mettent par nature en interaction des phases nanostructurées, présentant de multiples et complexes interfaces où précisément les phénomènes de transfert interviennent. Or on sait qu'un grand mouvement de la physico-chimie, depuis plusieurs décennies, s'est fait sur la connaissance des systèmes complexes : mélanges, émulsions, matériaux hybrides, interfaces, organisation supramoléculaire, structures à l'échelle mésoscopique, etc. Ce mouvement, illustré en France par les écoles de Pierre-Gilles De Gennes ou Jean-Marie Lehn, permet maintenant aux scientifiques de s'intéresser à des systèmes autrefois réservés aux approches globales du génie chimique, mais laissés de côté par la physique ou la physico-chimie comme trop mal définis. C'est dans cette direction que sous l'impulsion du Haut-commissaire à l'Énergie atomique, Bernard Bigot, la décision de créer cet Institut, « hors clôture », mais à proximité d'Atalante pour le soutien aux recherches fondamentales liées au nucléaire du futur et à la chimie du développement durable, a été prise en juin 2004.

Comment cette mission se traduit-elle sur la définition des équipes de l'ICSM ?

Les ouvertures scientifiques que nous venons de rappeler doivent beaucoup à certains développements techniques : nouvelles instrumentations de diffusion des rayons X aux petits angles en X « durs », modélisation de systèmes moléculaires organisés à l'échelle nanométrique, microscopie électronique environnementale et microscopie à rayons X mous accessibles sur grands instruments. Ces compétences sont présentes au sein de l'Institut et en forment un socle en quelque sorte « horizontal ». Des équipes (aujourd'hui au nombre de six, spécialisées sur des « systèmes », poursuivent leur démarche en fonction d'abord de l'intérêt scientifique. Sans vouloir faire une description exhaustive, citons deux équipes, une à Potsdam depuis janvier 2008 et une bientôt dans les locaux de Marcoule qui travaillent sur la « sonochimie* », et une autre sur les « matériaux autoréparants » (voir *Encadré*). Ces deux concepts, qui ne parlent pas forcément très bien à vos lecteurs, correspondent à deux évolutions étonnantes de la chimie dont les mécanismes sont encore mal compris, mais les perspectives appliquées très prometteuses.

Comment le caractère « nucléaire » des perspectives de retombées de ces équipes est-il assuré ?

Parmi les équipes présentes à l'ICSM, l'une s'intéresse à la chimie et à la physico-chimie des actinides. Elle bénéficie de la proximité du remarquable équipement que représente le Laboratoire « Atalante » installé au centre de Marcoule, équipement unique au monde pour permettre l'étude et la caractérisation des procédés de séparation et des matériaux radioactifs. Par ailleurs, on peut mettre en face des sujets de recherche de nos équipes, les différents phénomènes intervenant lors des opérations de séparation : permettre la séparation en sélectionnant les composants des systèmes pour optimiser leurs interfaces en fonction de critères définis, effectuer la séparation par exemple en utilisant des transformations de phases spécifiques (formation de cristaux liquides lyotropes et de micro-émulsions), puis maintenir la séparation en agissant sur les mécanismes du vieillissement (par exemple en jouant à l'avance, par introduction préalable des réactifs, sur les réactions de l'environnement potentiellement destructrices des conditionnements finaux).

Dans le contexte scientifique d'aujourd'hui, les autres tutelles de l'ICSM, à côté du CEA, ne sont probablement pas indifférentes aux retombées appliquées. Quel est leur point de vue ?

Les améliorations que nous pouvons aider à apporter aux techniques séparatives sont de nature à optimiser les performances (rendements en matière et en énergie) des différentes étapes. Ceci répond fondamentalement aux objectifs du développement durable sur la gestion des matières premières, de l'énergie et des déchets, et rencontre un programme prioritaire affiché par le CNRS, ainsi que par le Pôle de chimie du Languedoc-Roussillon qui comprend un fort volet « valorisation » dans lequel les équipes de R & D de Marcoule sont très actives, notamment via les procédés s'appuyant sur les fluides supercritiques.

Pourriez-vous nous dire un mot de la gouvernance de l'ICSM ? Compte tenu de la multiplicité des approches et des thématiques scientifiques, il ne doit pas être simple de satisfaire le besoin de transparence des organismes-tutelles.

L'ICSM est régi par une convention entre le CNRS (40 %), le CEA (40 %) et l'ensemble Université Montpellier II/ENSCM pour 20 %. Cette convention institue un Comité de pilotage – chargé entre autres de la nomination d'un directeur et d'un directeur adjoint (provenant d'organismes différents) – et un Conseil scientifique chargé, à côté de l'examen annuel de l'activité scientifique, de se prononcer sur le « recrutement » et l'affectation des chercheurs à l'ICSM. L'Institut présente annuellement un rapport d'activité, participe aux « Journées scientifiques de Marcoule » et organise, avec l'INSTN, une École pratique d'été annuelle de chimie séparative – école labellisée École

européenne par le Ministère car unique en Europe dans ce domaine – qui en est à sa troisième édition.

Quelles remarques finales souhaiteriez-vous faire ?

Le partenariat à la base de l'ICSM a été difficile à mettre au point et a exigé les efforts de tous : à terme en 2011, une centaine de chercheurs en chimie seront actifs dans un laboratoire magnifiquement équipé, sorti de terre en moins de quatre ans ; le bâtiment sera mis en service cet automne et inauguré en novembre prochain. C'est une satisfaction de voir qu'à proximité va s'aménager le « Parc scientifique et technologique de la Cèze », qui a vocation à développer hôtel d'entreprises et plates-formes. Ce parc d'activités comprend aussi le musée « Visiatome » et l'INSTN, où se nouent des liens avec le pôle de compétitivité TRIMATEC, ainsi que les locaux de CISBIO et de la Direction des Sciences du vivant (qui ont accueilli naguère le premier chercheur de l'ICSM). Tout ceci sans compter des liaisons internationales fortes, déjà importantes avec l'Australie dans le domaine des nanomatériaux autoréparants, avec l'Université de Regensburg sur les liquides ioniques et les hydrotopes, et avec la Max Planck Gesellschaft de Potsdam sur la sonochimie.

L'ICSM ressemble à un « pari » par le caractère peu conventionnel de ses partenaires et de ses méthodes. Ce pari semble justifié essentiellement par l'originalité et le caractère innovant du programme scientifique. Diriez-vous que sa réussite se mesurera d'abord à son rayonnement scientifique évalué par les critères de la recherche fondamentale, les fruits appliqués ne pouvant arriver à maturité que dans un avenir lointain ?

C'est effectivement le « pari » associé à la convergence des nanosciences. De grands champs de connaissances sont aussi ouverts dans le domaine de la radiochimie. Des ruptures technologiques en chimie séparative, notamment impliquant des actinides s'offrent au physico-chimiste à échelle d'une vingtaine d'années. Je pense non seulement à de nouveaux procédés liquide-solide sous excitation mécanique modélisables de façon prédictive à partir de l'échelle nanométrique, mais aussi à utiliser ce que « l'ingénieur » appelle de l'énergie dégradée des tours de refroidissement et que d'autres appellent plutôt la chaleur à chauffer les nuages. Cette énergie pourrait servir pour la valorisation de la lignine transformée et hydrogénée en carburant via de nouveaux types de co-génération, si la catalyse basse température en fluide complexe était mieux maîtrisée. C'est sur cette ambition qu'une douzaine de chercheurs ont déjà rejoint l'Institut et nous en accueillerons encore deux fois autant d'ici trois ans.

Professeur Thomas Zemb, nous vous remercions de cette conversation.

Note

- * La *sonochimie* est un ensemble de réactions chimiques provoquées par cavitation, elle-même induite par nucléation et implosion de bulles sous excitation acoustique dans le domaine des ultrasons. Les réactions sonochimiques produisent peu de déchets secondaires : en effet, tout comme le photon, le phonon ne produit pas de déchets secondaires. Par conséquent, les procédés à base de sonochimie sont des procédés de « chimie verte ».



Thomas Zemb est professeur de Chimie à l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires et directeur de l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule UMR 5257 (CEA/CNRS/UM2/ENSCM) créé en 2007.*

* CEA-Marcoule BP 17171,
F30207 Bagnols-sur-Cèze
Courriel : thomas.zemb@icsm.fr