

L'apport des nanotechnologies à l'innovation ouverte et responsable d'un groupe industriel

Il n'est pas très facile de définir ce qu'est un « nanomatériau ». Il est peut-être encore plus vain de vouloir cerner ce que sont (et seront) les « nanotechnologies ». Alors, comment un groupe comme Solvay (né pour la production de carbonate de soude, mais impliqué également aujourd'hui dans les polymères à haute performance et la pharmacie) peut-il réagir, face à cette réalité naissante ? Comment un tel Groupe doit-il s'organiser pour extraire la quintessence de ces nanotechnologies et en intégrer les apports spécifiques à ses activités ?

par **François MONNET***

LE GROUPE SOLVAY

Les activités

Avant de parler de nanotechnologies et pour mieux resituer le contexte dans lequel s'inscrit cet article, il me paraît nécessaire de rappeler quelles sont les activités principales du Groupe Solvay (1).

La société Solvay a été fondée en 1863 par Ernest et Alfred Solvay pour exploiter le procédé de production du carbonate de soude qu'ils avaient mis au point. La société a progressivement diversifié son portefeuille d'activités par l'intégration de nouvelles fabrications s'appuyant sur ses procédés et matières premières traditionnels (électrolyse de la saumure permettant d'obtenir

de la soude caustique, de l'hydrogène et du chlore, ces deux derniers produits étant à la base du peroxyde d'hydrogène, des solvants chlorés et du PVC). Cette évolution a conduit à la constitution d'un secteur « produits chimiques » et d'un secteur « matières plastiques » (voir la figure 1). Dans les années 1970, le groupe Solvay s'est doté d'un secteur pharmaceutique, à partir d'un premier noyau acquis *via* sa filiale allemande Kali-Chemie. En 2008, le chiffre d'affaires total du Groupe a été de 9,6 milliards d'euros, répartis de manière équilibrée entre les trois secteurs précités (voir la figure 2).

Le début de l'année 2010 va marquer une nouvelle orientation stratégique pour le groupe, avec la vente du secteur pharmaceutique à l'américain Abbott.

* Directeur « Technologies émergentes », Groupe SOLVAY.

(1) Pour plus d'information sur le groupe Solvay, son histoire, ses produits, se référer au site www.solvay.com

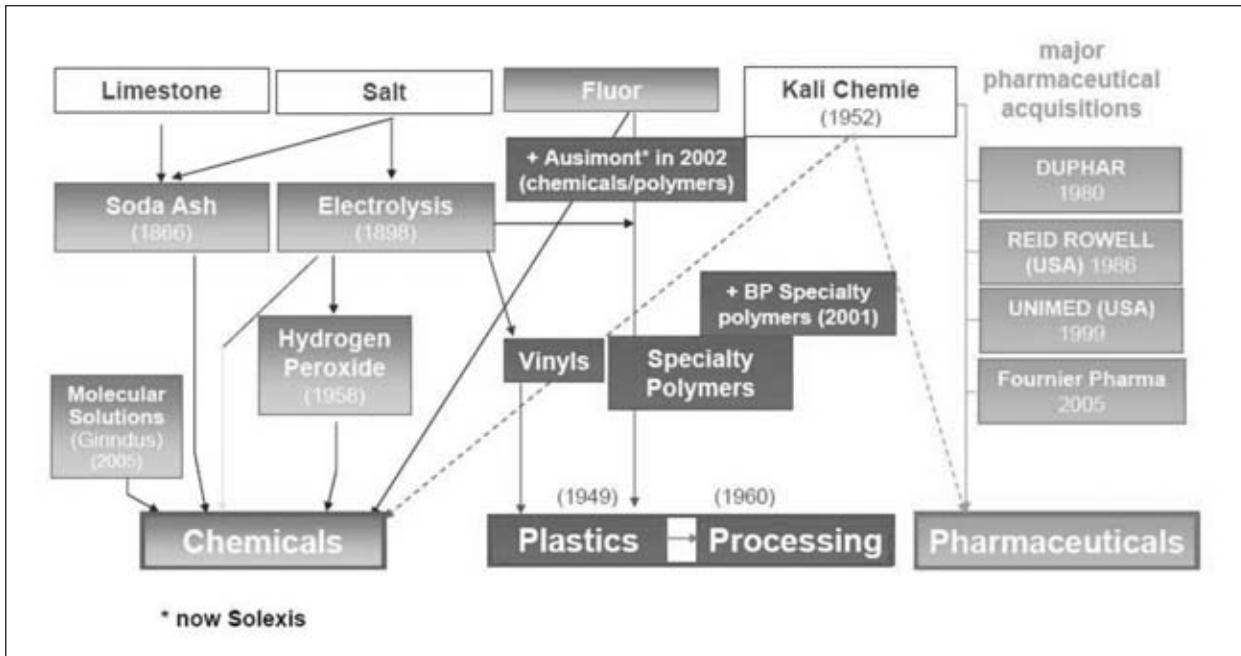


Figure 1 : Histoire résumée du groupe Solvay.

La structure

Comme beaucoup d'autres groupes chimiques de taille comparable, Solvay s'est progressivement structuré en *Strategic Business Units* (SBU). Chaque SBU est une entité ayant en charge la gestion globale d'une ligne de produits au niveau mondial ; elle est donc responsable de toutes les composantes de l'activité (commerce, production, R&D...) et doit, à ce titre, assurer sa rentabilité à court, moyen et long termes.

En complément des structures *business*, certaines entités fonctionnelles sont responsables de la définition et de la mise en œuvre de la stratégie du Groupe dans des

domaines transversaux administratifs (ressources humaines, juridique, communication, finance...) ou techniques (hygiène, sécurité et environnement, énergie, génie des procédés, propriété intellectuelle...).

Enfin, le groupe Solvay s'est engagé, il y a maintenant 10 ans, dans une stratégie de renforcement de l'innovation, en vue de soutenir tant sa compétitivité (dans une industrie de procédé, ce point est fondamental, notamment pour les SBUs dites de « commodité ») que sa croissance (point important pour les SBUs dites de « spécialité », dont le développement est fondé sur l'amélioration permanente de l'offre de produits).

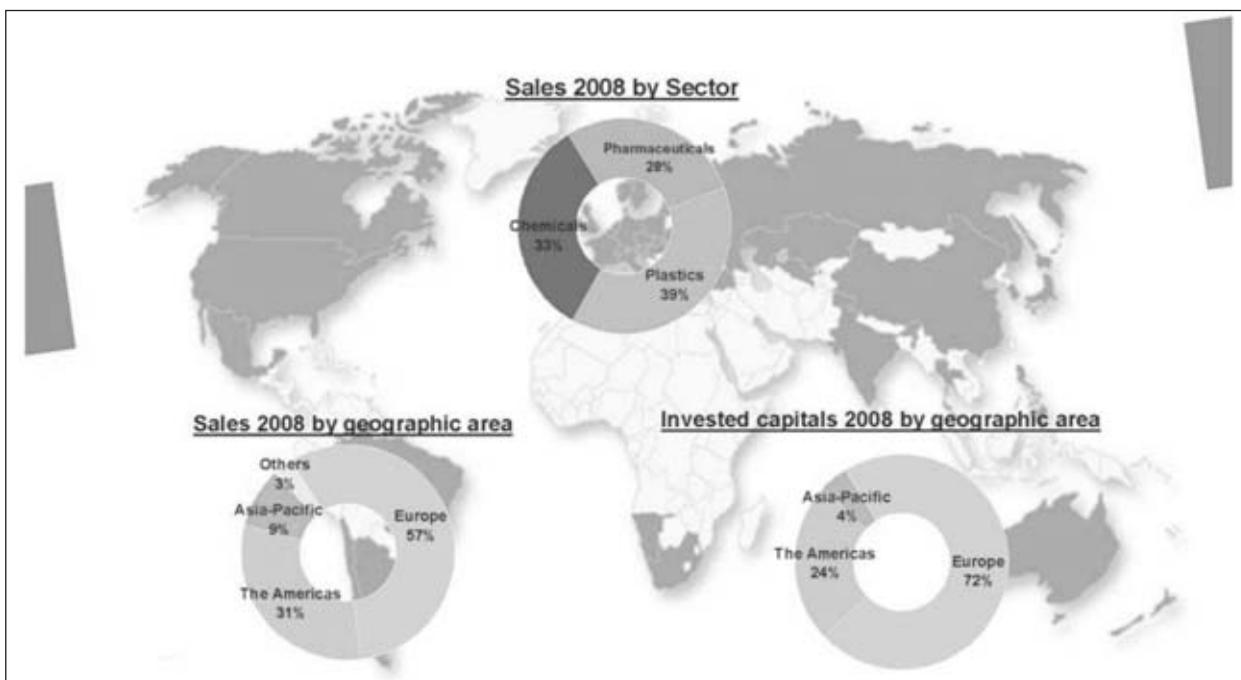


Figure 2 : Chiffres d'affaires et présence du groupe Solvay dans le monde (en 2008).

Cette structuration du Groupe a eu quelques conséquences importantes :

- l'éventail des activités s'est élargi peu à peu. Il s'étend ainsi de la chimie minérale de base jusqu'à la pharmacie, en passant par la production de polymères : les vinyles tout d'abord, puis les polymères spéciaux (c'est-à-dire à hautes performances), acquis auprès de BP (polymères aromatiques de Solvay Advanced Polymers, aux Etats-Unis) et d'Ausimont (chimie des fluides et des polymères fluorés de Solvay Solexis, en Italie). Ces acquisitions ont également modifié le visage de la R&D du Groupe.
- l'attribution des moyens de R&D aux SBUs s'est traduite par une meilleure adaptation des programmes aux besoins des marchés, et donc, un accroissement de la réactivité et de la focalisation des équipes.
- en revanche, un éloignement progressif s'est créé entre les différentes équipes, notamment celles de R&D, et un « effet silo », propre à ce genre de structures organisationnelles, est apparu ; ce mouvement a été renforcé par une pression (en constante augmentation) sur le court terme.
- une perte de masse critique est aussi intervenue dans certains domaines, du fait notamment de l'éclatement des capacités d'expertise du Groupe entre plusieurs sites.
- enfin, on décèle une difficulté croissante dans l'exploration des domaines émergents, notamment en ce qui concerne les technologies ne relevant pas du « cœur de métier » des SBUs.

Le rôle du NBD

C'est dans ce contexte qu'a été instaurée, à partir de 2004, la démarche *New Business Development* (NBD), dont la finalité est d'explorer les opportunités et technologies dans (ou avec) lesquelles le Groupe pourrait se développer, et ce, en dehors du champ d'intervention des SBUs. Après plusieurs années de mise en place progressive, le NBD a été structuré au début de 2008 en deux entités spécifiques et complémentaires, toutes deux rattachées à la Direction Centrale Technologies, Research & Procurement (DCTRP) (2).

La première de ces deux entités, nommée *Future Businesses*, pourrait être définie comme le berceau des activités *business* « en rupture ». Elle explore actuellement les marchés de l'électronique organique et des énergies durables, en dehors du périmètre actuel d'activité des SBUs.

La seconde entité, nommée *Advanced Technologies*, a pour missions de déceler les technologies émergentes susceptibles d'intéresser le Groupe et ses SBUs, de construire l'expertise correspondante et d'en assurer la diffusion au sein du Groupe. Elle est actuellement mobilisée sur deux thématiques principales : la chimie du renouvelable et les nanotechnologies. Ce travail repose sur une collaboration étroite avec les SBUs et les entités fonctionnelles techniques.

L'activité NBD est suivie, par un comité institué au niveau du Groupe, qui réunit des représentants du

business (Directeurs généraux des Secteurs et plusieurs SBUs *managers*), des entités fonctionnelles (Directeur Général DCTRP, *Corporate Development*, responsables PI, Innovation...) et des personnalités extérieures.

Un nouveau champ d'exploration (nommé « plateforme ») n'est ouvert que :

- s'il se rapporte à un marché justifiant d'un fort potentiel de développement ;
- si ce marché est soutenu par un renouvellement technologique profond, voire par une rupture technologique ;
- s'il est possible, pour Solvay, de cibler un positionnement dans la chaîne de valeur et d'y dégager un avantage compétitif durable.

La tâche principale de chaque plateforme est d'apporter des réponses aux questions soulevées dans ce dernier point (définition du positionnement et création d'un avantage compétitif). L'essence même de ce travail exige une réelle ouverture sur l'extérieur, de par :

- le caractère innovant des solutions à mettre en place, qui demande la maîtrise de compétences diverses, non acquises par le Groupe ;
- le côté « émergent » des technologies, avec une pluralité de solutions en compétition, encore en cours de développement ;
- la variété des *business models* possibles, qui nécessite un accès aussi rapide que possible aux marchés afin d'être à même de valider les solutions envisagées.

En vue d'apporter des réponses aux problématiques évoquées ci-dessus, les deux entités NBD précitées utilisent les mêmes outils méthodologiques, à savoir :

- la réalisation en interne de travaux de R&D, afin :
 - * d'acquérir une connaissance initiale dans le domaine visé, pour être mieux à même de repérer les technologies et solutions existant à l'extérieur,
 - * mais aussi de pouvoir transposer dans le Groupe les développements externes, décanter l'expertise correspondante et en assurer la diffusion auprès des entités intéressées ;
- la conduite de travaux de R&D en externe, en collaboration avec des centres de recherche réputés dans l'activité considérée (universités, notamment). Ces travaux ont pour but le développement de « morceaux » de solution ou d'expertise, qui seront ensuite « assemblés » au sein du Groupe ;
- la prise de participations dans certains fonds de capital-risque. Ces structures sont autant de fenêtres ouvertes sur une innovation cherchant à pénétrer les marchés. Cette connaissance des *deal-flows* permet aussi une mesure de la maturité des technologies, et *a contrario* de l'absence de propositions de solutions viables ;
- des prises de participation dans des *start-up*, en vue d'une confrontation précoce avec le marché et de la constitution du portefeuille *business* recherché ;

(2) Pour une présentation de l'activité NBD, se connecter à l'adresse suivante : www.solvay.com/innovation/newbusinessdev/

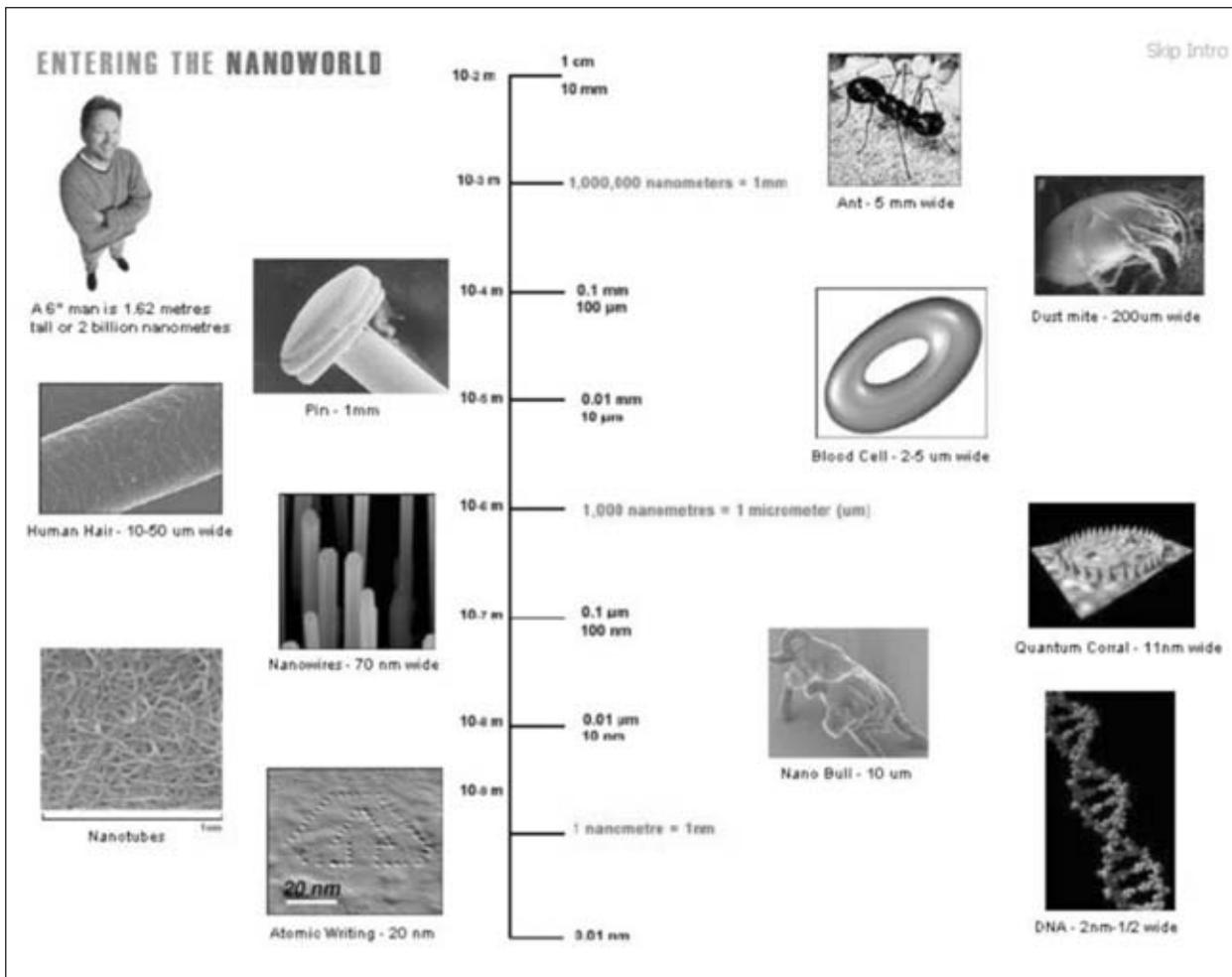


Figure 3 : Du monde visible à l'œil nu au nanomonde : différents repères en matière de dimensions.

- la mise en place de partenariats avec d'autres industriels, aussi bien sous la forme de projets collaboratifs que par la création de *joint-ventures* (si cela s'y prête). Ainsi, Solvay et Umicore ont-ils créé en commun la *joint-venture* Solvicore, pour la production d'assemblages membrane/électrode, éléments actifs des piles à combustible (plateforme « Energies durables »).

Les nanotechnologies et la chaîne de valeur

Un des domaines d'activités de l'entité *Advanced Technologies* est la compréhension de l'apport potentiel des nanotechnologies au Groupe Solvay. Mais lorsque l'on parle de « nanotechnologie », de quoi parle-t-on concrètement ? Quelle définition peut-on en donner ? Nous ne ferons pas l'affront au lecteur de rappeler qu'un nanomètre équivaut à un milliardième de mètre. (Une échelle de longueurs caractéristiques est donnée à la figure 3).

Un des premiers travaux de la plateforme aura été de proposer une définition du terme « nanotechnologie ». La définition retenue a été celle proposée par la société américaine *Lux Research* (3) : « on parlera de nanotechnologies lorsque l'on aura affaire à la structuration

volontaire de la matière à une échelle inférieure à 100 nm, en vue de l'obtention d'une propriété particulière » (voir la figure 4).

Cette définition a plusieurs conséquences :

- on ne parle pas ici d'un marché spécifique, mais bien de développements scientifiques et technologiques visant à maîtriser la conception d'objets à une échelle donnée. On travaille donc bien sur un axe technologique ;
- on s'intéresse à « toutes » les technologies (ainsi qu'à leur fondement scientifique). Il en résulte une diversité d'approches, de concepts, de développements, parmi lesquels il est nécessaire de sélectionner les plus pertinents pour une compagnie ou une activité données ;
- la limite de 100 nm est arbitraire. Il s'agit en fait de l'échelle à partir de laquelle se produit une « rupture » par rapport au monde micrométrique. Cette rupture se traduit par l'apparition de propriétés que l'on qualifiera « d'émergentes », car il est impossible de les prévoir par un raisonnement extrapolant les propriétés existant à une échelle supérieure. La détermination de cette frontière est souvent difficile ;
- cette limite concerne aussi bien des matériaux « strictement » nanométriques (par exemple des particules

(3) Pour des informations sur Lux Research : www.luxresearchinc.com

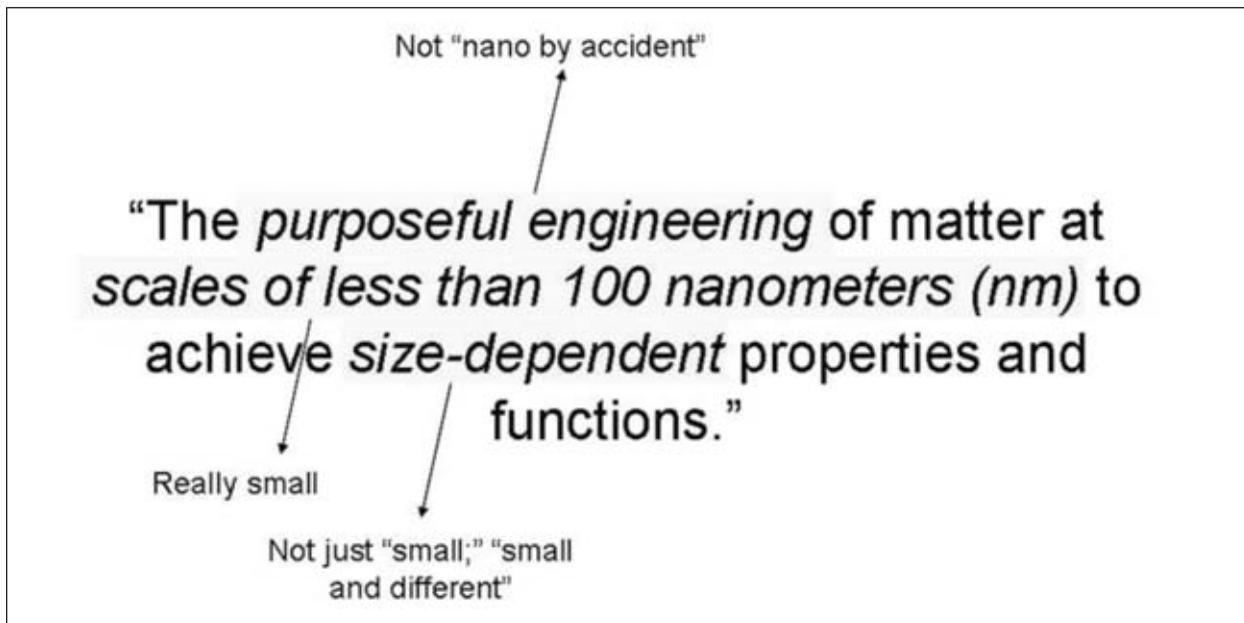


Figure 4 : Définition des nanotechnologies par *Lux Research Intl.*

individuelles) que des matériaux « macroscopiques » présentant une structuration nanométrique (un polymère chargé de ces mêmes particules, ou un enduit dont la surface est nanostructurée).

(Pour une information plus large sur les nanotechnologies, nous invitons le lecteur à se reporter aux articles cités en note (4)).

L'aspect générique du concept de « nanotechnologies » implique ainsi que beaucoup de secteurs industriels peuvent être intéressés par leurs applications et ce, tout au long des différentes chaînes de valeur correspondantes (voir la figure 5).

En revanche, la répartition de l'avantage résultant de l'utilisation des nanotechnologies varie selon l'application visée et le positionnement dans la chaîne de valeur. Notons à cet égard que le manque de clarté dans les définitions de ce qu'est un objet « nanotechnologique » explique la grande dispersion des évaluations de marché publiées par différents consultants : la prise en compte (ou non) du secteur des semi-conducteurs, ou le fait de considérer le produit fini (la voiture, par exemple), plutôt que le composant spécifique, influent grandement sur les chiffres obtenus.

Un des points essentiels à retenir dans le cadre de la démarche suivie est bien la notion de propriété émergente. Ainsi, la maîtrise industrielle des nanotechnologies demandera l'utilisation – et donc le développement – de nombreux savoirs, des plus fondamentaux aux plus appliqués, comme l'indique la carte straté-

gique établie par l'industrie américaine (5) ; il s'agit d'un préalable indispensable avant de toucher le « Graal » du *nano-by-design* (voir la figure 6).

La plateforme « nanotechnologies »

Méthodologie de genèse et gestion de la plateforme

La prise en compte, d'une part, de la diversité des lignes « produits » et des technologies sous-jacentes, et, d'autre part, du caractère « universel » des nanotechnologies a conduit au lancement de la plateforme « nanotechnologies », initiative transversale qui a regroupé des représentants de toutes les entités du Groupe (aussi bien *business* que fonctionnelles).

Menée avec l'aide d'un consultant externe, cette étude a permis :

- d'acquérir une connaissance minimale des domaines considérés et de leur impact potentiel pour le Groupe ;
- de commencer à forger un vocabulaire commun aux différentes entités, permettant ainsi un meilleur partage des connaissances ;
- de procéder à l'inventaire des produits existants dans le Groupe, ainsi que des projets en cours ;
- d'atteindre une meilleure compréhension de la chaîne de valeur, qui, même si elle reste schématique, permet néanmoins de définir un positionnement global au niveau du Groupe ;
- et, après la définition de ce positionnement, de sélectionner un nombre restreint de projets, visant tant au développement de produits nouveaux qu'à la création d'une expertise centralisée, pour certaines technologies jugées stratégiques.

Ces projets ont été répartis entre quatre programmes : chacun des trois premiers programmes cible une étape particulière de la chaîne de valeur (nanomatériaux, nano-intermédiaires et produits finis incorporant des

(4) Ci-dessous, quelques articles de base sur les « nanotechnologies »

- Communication de la Commission européenne Com (2004)-338: « Vers une stratégie européenne en faveur des nanotechnologies » ;
- « Nanosciences et nanotechnologies : un plan d'action pour l'Europe 2005-2009 » ;
- *Nanoscale science, Engineering and Technology : research directions* ; rapport DoE du Oak Ridge National Laboratory

(5) La vision 2020 de l'industrie chimique américaine est consultable sur le site : www.chemicalvision2020.org

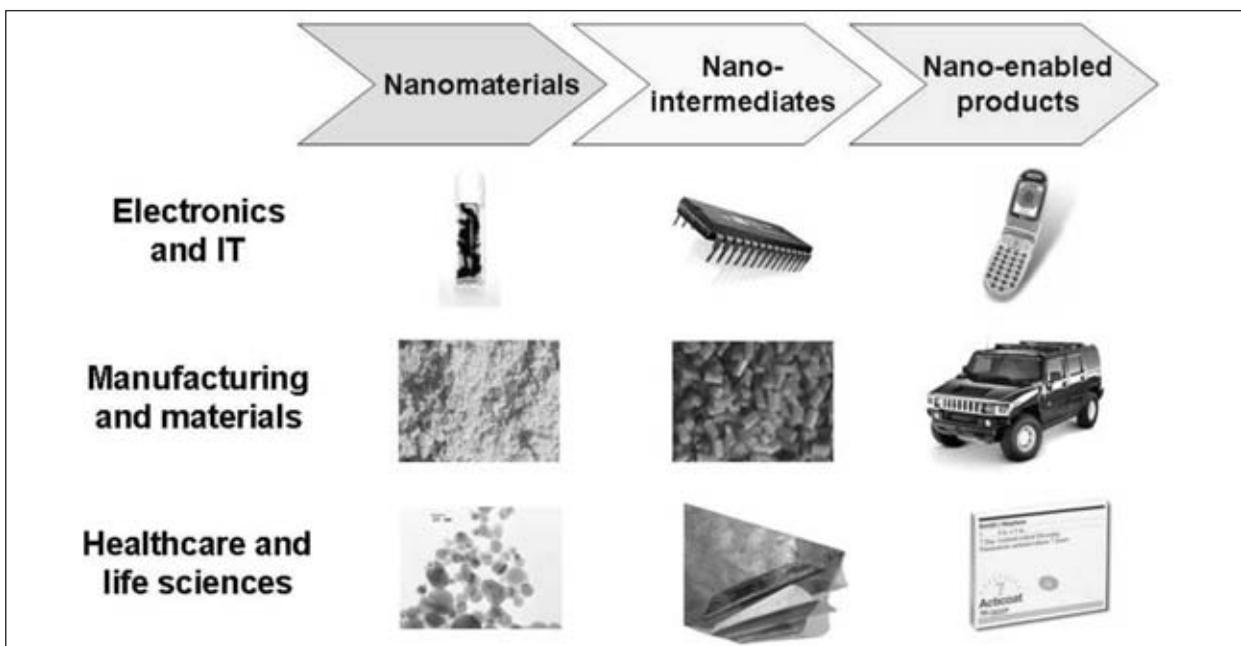


Figure 5 : Impact des nanotechnologies sur les chaînes de valeur, selon *Lux Research*.

nano-intermédiaires) ; le quatrième est centré sur les questions d'hygiène, de sécurité et d'environnement (HSE) (6). L'approche transversale des programmes (voir la figure 7) facilite bien la création d'une expertise pour chaque segment de valeur, en soutien aux différentes entités *business*, qui restent focalisées sur un secteur d'application spécifique.

Face à la diversité des projets, qui vont du soutien à une SBU en charge du développement d'un produit nouveau à la création d'une expertise générique et à la détection de nouvelles opportunités ou de menaces très diverses, la plateforme a développé une méthodologie spécifique de gestion de projets.

Ceux-ci peuvent être de trois natures différentes :

- le développement d'un « nano-produit ». Ce projet, exécuté majoritairement par les équipes et avec les moyens de la SBU responsable, bénéficiera d'un soutien financier partiel et du concours des experts de la

plateforme. Dans les faits, le projet sera dirigé par l'entité *business* qui en a la charge. Celle-ci, en engageant ses moyens, assurera la définition des objectifs et la valorisation des résultats. La contribution de la plateforme « nanotechnologies » sera une aide à l'indispensable prise de risque qui accompagne tout développement innovant.

- l'exploration conjointe d'une technologie ou d'une opportunité. Un tel projet associera normalement plusieurs entités *business*, dont aucune n'aurait pu dégager, à elle seule, les capacités technologiques et/ou financières nécessaires à l'exécution dudit projet. Ce type de

(6) Pour des informations sur la plateforme Nanotechnologies, se reporter au site Internet suivant : <http://www.solvay.com/innovation/newbusiness-dev/nanotechnologies/>

Une présentation des activités de Solvay dans les domaines des nanomatériaux et nanotechnologies est consultable à l'adresse suivante : <http://www.walloniatech.org/PDF/3Solvay.pdf>



Figure 6 : Les savoirs nécessaires à la maîtrise des « nanotechnologies », selon l'industrie chimique américaine.

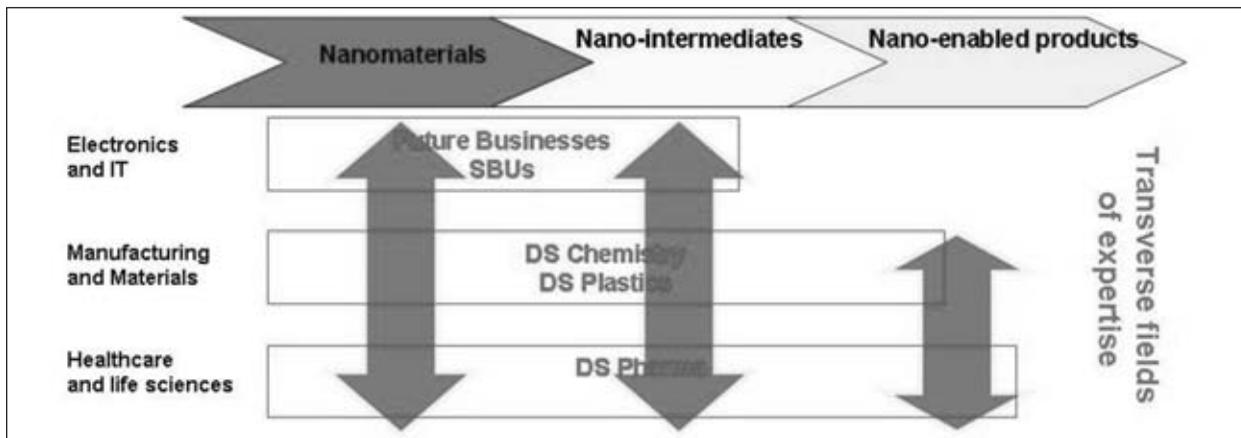


Figure 7 : Les activités « nano » de Solvay et le positionnement de la plateforme.

projet à caractère transversal est dirigé en pratique par la plateforme, qui lui apporte aussi un soutien financier et technique important.

- le développement d'une expertise critique. Ce type de projet est piloté et exécuté dans son intégralité par les équipes des entités NBD. Cette expertise sera notamment mise à profit dans la conduite des projets évoqués ci-dessus.

A cette transversalité, assimilable à une « innovation ouverte » en interne, il faut ajouter la composante « ouverture externe » décrite précédemment, dont bénéficie chaque programme, voire chaque projet. Une fonction essentielle des experts est de connaître les objectifs – explicites ou non – des entités *business*, les difficultés technologiques auxquelles elles sont confrontées ou qu'elles auront à résoudre plus tard, ainsi que les développements les plus récents intervenus au niveau mondial dans leur domaine de compétence. Ces experts jouent un rôle de « passerelles de connaissances » entre les besoins exprimés en interne et les savoirs externes.

Enfin, il est intéressant de souligner l'apport – parfois décisif – de structures « souples », telles que le réseau des scientifiques du Groupe, qui organise de façon régulière des journées scientifiques sous la forme de congrès organisés en interne (*Solvay Science for Innovation*). Le dernier de ces congrès, tenu en 2007, avait pour thème « *Building up complex materials : from nanoscale towards end-use properties* ». Il a réuni plus de 150 scientifiques appartenant à différentes entités du Groupe, auxquels se sont joints des experts scientifiques de réputation internationale, dont deux Prix Nobel.

Le cas particulier de la problématique HSE

La thématique HSE (Hygiène, Sécurité et Environnement) est exemplaire de la méthodologie déployée par la plateforme et de la réponse qu'une telle organisation peut apporter au Groupe pour son positionnement. Elle correspond, en effet, à une expertise extrêmement pointue sur un domaine en pleine évolution.

Au plan général, la problématique HSE est gérée de façon centralisée au sein d'une entité fonctionnelle dont l'une des missions est de proposer au Comité exé-

cutif les orientations stratégiques à adopter en la matière, et d'aider à leur mise en place. Cette structure garantit l'existence d'une autorité compétente et indépendante, au sein même du Groupe.

Or, le domaine de la toxicologie et de l'éco-toxicologie des nanotechnologies est en pleine évolution (pour ne pas dire en pleine ébullition). En effet, hormis le cas de quelques produits présents sur le marché depuis plusieurs années et considérés aujourd'hui comme appartenant à la famille des nanomatériaux, beaucoup de développements n'en sont encore qu'au stade de l'expérimentation en laboratoire ou, au mieux, en pilote industriel. Parmi les particules nanométriques emblématiques, les nanotubes de carbone commencent tout juste à faire l'objet d'une exploitation industrielle. En revanche, différentes publications ont déjà suscité une crainte (pas toujours raisonnée) au sujet de l'impact potentiellement négatif de ces nouveaux matériaux, souvent fondée sur une assimilation à des précédents sanitaires douloureux (amiante) ou supposés tels (OGM).

Or, la réglementation ne peut être encore aujourd'hui qu'à l'état d'ébauche. Il s'avère en effet difficile d'avoir des certitudes en matière sanitaire, et même de dégager une base rationnelle suffisante, car :

- les particules à étudier ne sont pas, pour la plupart d'entre elles, mises sur le marché ;
- il n'existe pas encore de méthode généralement reconnue de détection et de mesure de ces particules ;
- il est donc impossible de déterminer à quelle exposition une personne ou l'environnement pourrait être soumis, et quelle caractéristique précise de la substance pourrait être concernée ;
- il est encore plus difficile de relier une exposition imprécise à un effet non détecté, surtout si celui-ci devait résulter d'une exposition cumulée sur la durée, sachant qu'il faudrait disposer d'une statistique minimale significative pour pouvoir en tirer une conclusion épidémiologique qui soit fondée.

Afin de pallier le vide réglementaire actuel, plusieurs groupes internationaux de travail – de normalisation, en particulier – ont été mis en place et ce, à différents niveaux de gouvernance (voir la figure 8) (7).

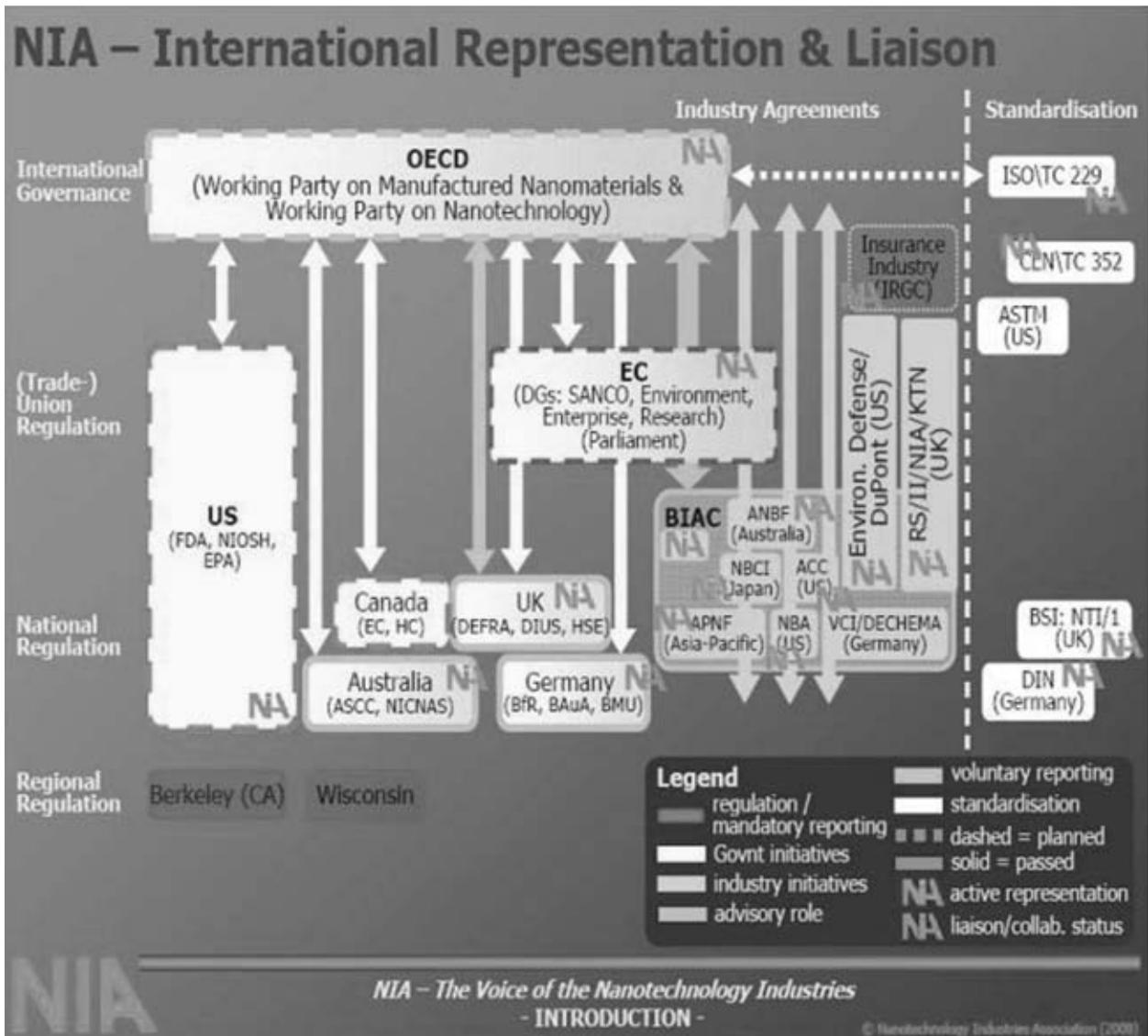


Figure 8 : La multiplication des groupes de travail HS présents au sein de diverses instances (nationales et internationales).

Une des missions du programme HSE de la plateforme « nanotechnologies » est d'assurer un suivi de l'activité d'un certain nombre de ces groupes et de participer activement aux travaux de plusieurs d'entre eux. Les experts toxicologues du Groupe ont ainsi fortement contribué à la rédaction du code de recommandations de l'Union des Industries Chimiques (8) sur les nanotechnologies. De même, Solvay a été partie prenante à la rédaction du cahier d'acteur de l'UIC, établi dans le cadre du débat public sur les nanotechnologies actuellement en cours en France (9).

Ce travail s'est aussi traduit par une proposition en interne de recommandations, adaptées aux différentes productions existantes ou envisagées. Les expériences passées ont, en effet, montré la nécessité, pour l'industrie chimique, d'anticiper les demandes réglementaires, afin de garantir un comportement responsable.

De même, dans le but de contribuer au développement de la connaissance dans ces domaines et d'aider à la mise au point de méthodologies applicables au monde industriel, Solvay s'implique dans certains projets

nationaux ou internationaux de R&D en matière de nano-toxicologie (10).

QUELQUES ENSEIGNEMENTS ET RÉFLEXIONS EN GUISE DE CONCLUSION

Plutôt que de conclure, il me paraît préférable de partager quelques enseignements de notre démarche et d'ouvrir une réflexion, voire un débat.

(7) A titre d'exemple, le point d'entrée sur le *Working Party on Nanomaterials* de l'OCDE (2009) www.oecd.org/sti/nano.

(8) Le Guide « Nanomatériaux et HSE » et la contribution de l'UIC au débat public sont consultables sur le site suivant : www.uic.fr

(9) La Commission particulière du débat public : www.debatpublic-nano.org

(10) Quelques projets en nanotoxicologie :
 • Projet Nanocare : <http://www.nanopartikel.info/>
 • Projet S2 nano : http://www.belspo.be/belspo/home/port_fr.stm

Comme cela a déjà été indiqué, le domaine des nanotechnologies et des nanomatériaux est porté par le développement de multiples sciences et technologies. Il est impossible, pour une compagnie, de maîtriser l'ensemble de ces savoirs. L'ouverture sur l'extérieur est donc incontournable. En revanche, il est indispensable de développer une expertise spécifique dans des domaines stratégiques, afin de conserver la maîtrise technologique nécessaire à l'avantage compétitif recherché. De même, il est indispensable de disposer en interne d'un volume minimal d'activités, non seulement pour mieux comprendre les développements externes, mais également pour pouvoir les mettre en application en interne.

La notion de propriété « émergente » est aussi un point qui appelle une réponse spécifique. Par définition, l'émergence peut amener un domaine scientifique ou technologique jusque-là éloigné des préoccupations quotidiennes à devenir une source de savoir susceptible d'apporter des solutions réellement innovantes. Aussi s'avère-t-il essentiel de structurer une veille scientifique et technologique de haut niveau, afin de pouvoir détecter au plus tôt les découvertes susceptibles d'avoir un impact sur l'activité présente ou future du Groupe. Par ailleurs, la traduction d'une découverte particulière en valeur potentielle n'est pas forcément immédiate. Elle demande non seulement des capacités d'anticipation reposant sur une compréhension claire des enjeux et des ambitions du *business* dans lequel l'individu ou l'équipe évoluent, mais également un réel talent, incluant une grande ouverture d'esprit, une vision claire de l'avenir et une capacité avérée à convaincre et à communiquer.

De façon plus générale, on pourrait presque dire que les nanotechnologies n'existent pas. En effet, ce mot reflète simplement le niveau actuel de maîtrise de l'ingénierie sur la matière et les matériaux, niveau qui ne peut qu'être dépassé dans l'avenir. Ce qui est décrit dans cet article au sujet de cette vague technologique pourrait très vraisemblablement s'appliquer à celles qui, immanquablement, lui succéderont (notamment, comme on l'entend déjà, celles de la biologie synthétique ou des biotechnologies). En revanche, cette vague marque une rupture quant aux impacts potentiels qu'elle pourrait avoir, dans la mesure où désormais le travail porte sur des objets dont la taille caractéristique est, de fait, inférieure à celle, habituelle, des constituants biologiques. La science et la technologie sont aujourd'hui capables d'aborder des domaines et des applications via des objets pour lesquels les barrières naturelles pourraient être inefficaces. L'utilisation à dessein de cette maîtrise technologique dans le monde scientifique, comme en mode industriel, impose donc la compréhension éthique des conséquences de tout acte de création par celui qui l'accomplit. (11) (12)

(11) Se reporter, par exemple, aux travaux de JP. Dupuy et F. Roure
 • « Les nanotechnologies : éthique et prospective industrielle » ; Conseil général des Mines / Conseil général des Technologies de l'Information ; 15 novembre 2004
 • www.esprit.presse.fr/review/article.php?code=13958

(12) « Technologies convergentes : façonner l'avenir des sociétés européennes », travaux du GEHN, Alfred Nordman (rapporteur), rapport EUR 21357.