nano 2030

LES NANOMATÉRIAUX MANUFACTURÉS À L'HORIZON 2030

Conséquences en santé et sécurité au travail dans les petites entreprises en France

SÉMINAIRE DU 4 DÉCEMBRE 2014

La démarche prospective

La prospective est un exercice qui n'a pas vocation à décrire le futur. Elle n'est pas une prévision de l'avenir qui serait une prolongation des tendances du passé. C'est un système dynamique qui explore les futurs possibles permettant ainsi d'identifier les évolutions souhaitables et qui aide à la définition d'une politique stratégique et à sa mise en œuvre. C'est un outil pour les décideurs. Cet exercice de prospective s'inscrit dans la volonté du conseil d'administration de l'INRS de disposer de données pour l'éclairer dans le choix de ses orientations à moyen terme.

Le dispositif de travail pour cet exercice prospectif

Il existe plusieurs méthodes de prospective : celle qui a été choisie pour cet exercice est dite « méthodes des scénarios contrastés ». Cette méthode s'appuie sur un système de variables ou un ensemble de facteurs identifiés comme ayant une influence sur le futur du système étudié. La variation de ces facteurs va permettre de décrire des scénarios possibles. Cet exercice a été conduit par des experts de l'INRS et d'organismes partenaires, issus de différentes spécialités : chimie, sociologie, économie, toxicologie, physique, droit, etc.

Quelques éléments concernant les nanomatériaux

Lors d'une conférence organisée en 1959, le physicien Richard Feynman a déclaré que les principes de la physique autorisaient la manipulation et le positionnement contrôlés des atomes et des molécules, individuellement, à la manière de briques de construction type Lego®.
Dans les années 1980, avec la découverte du microscope à effet tunnel, puis celle du microscope à force atomique, le nanomonde s'ouvre réellement aux chercheurs.
L'échelle de référence du nanomonde est celle de l'atome, la brique élémentaire de toute matière. Un nanomètre équivaut à un milliardième de mètre (1 nm = 10-9 m = 0,000000001 m) soit approximativement 1/50 000 de l'épaisseur d'un cheveu humain.
Selon la Commission européenne, un nanomatériau est un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimensions externes se situant entre 1 nm et 100 nm.
Le passage de la matière à des dimensions nanométriques fait apparaître des propriétés inattendues et souvent totalement différentes de celles des mêmes matériaux à l'échelle micro ou macroscopique, en termes par exemple de résistance mécanique, de réactivité chimique, de conductivité électrique ou de fluorescence.
Du fait de leurs propriétés variées et souvent inédites, les nanomatériaux recèlent de potentialités très diverses et leurs utilisations ouvrent de multiples perspectives.

Une priorité pour la prévention

D'un côté, chacun peut déceler dans le développement des nanotechnologies et des nanomatériaux le moteur d'une croissance économique et d'un progrès considérables.
De l'autre, il suscite des craintes, notamment en termes de dangers pour la santé. Des questions éthiques, juridiques et sociétales se posent également.

Dans ce contexte, rechercher puis proposer des moyens de prévention efficaces vis-à-vis des nanomatériaux manufacturés s'avère indispensable mais délicat. Anticiper et maîtriser les risques associés aux nanomatériaux manufacturés figurent parmi les priorités de la plupart des organismes de santé et sécurité au travail dans le monde. L'INRS se mobilise depuis plusieurs années déjà pour apporter des réponses et les mettre à la disposition de tous ceux qui, en entreprise ou en laboratoire, sont en charge de la prévention des risques.

Scénario 1. Un engagement fort et fructueux de l'État et des entreprises : un développement massif

Un des nouveaux moteurs de la révolution technologique

Les années 2020 ont été marquées par une succession d'innovations scientifiques et techniques majeures dans différents domaines, qui ont eu pour effet de doper la recherche et la production et de redynamiser le tissu industriel, notamment français.

L'État et les entreprises françaises ont investi massivement dans la recherche et le développement de nanomatériaux et d'applications associées, levant ainsi rapidement la majorité des verrous technologiques et scientifiques. Les connaissances et le savoir-faire acquis ont permis d'atteindre aisément la mise en œuvre de la 4ème génération de nanomatériaux (molécules à façon, systèmes évolutifs, etc.).

Cette dynamique a conduit à la naissance d'une multitude d'entreprises innovantes et à transformer rapidement les découvertes en réussites industrielles, et donc en emplois et en croissance. De grandes entreprises coexistent avec une myriade de plus petites structures.

Des risques pour la santé et l'environnement maîtrisés

Les risques sanitaires et environnementaux associés aux nanomatériaux manufacturés mobilisent les pouvoirs publics depuis les années 2000. Les nombreux travaux de recherche ont démontré une bonne prédictivité des outils utilisés tant pour l'évaluation des dangers des nanomatériaux pour la santé et l'environnement que pour la caractérisation des expositions.

Cette connaissance *a priori* des risques pour la santé humaine et pour l'environnement permet aux industriels de commercialiser ou pas les nouveaux nanomatériaux en l'absence de risque attendu ou si le bénéfice espéré est supérieur au risque encouru.

Elle permet également aux entreprises de mettre en place, si nécessaire, une prévention des risques adaptée afin de contrôler l'exposition de leurs salariés.

Des nouvelles technologies bien intégrées dans la société

Un débat serein, après quelques débuts difficiles, s'est instauré entre la société, les experts, les scientifiques, le pouvoir politique et le monde industriel.

La société a ainsi réussi à intégrer aisément les mutations technologiques concourant au développement des nanomatériaux ainsi que les nanomatériaux eux-mêmes et les applications associées. Et ce d'autant plus que ces avancées ont été rapidement identifiées comme porteuses d'une amélioration et d'un enrichissement sensibles de la qualité de vie.

Scénario 2. Un rejet éclairé de la part de la société : un développement dans quelques filières stratégiques

Un contexte politique, économique et social difficile

Succession de crises économiques, politiques et sanitaires dans le monde depuis les années 2000, dégradation de la situation financière et économique de la France, soutien politique défaillant faute de volonté et de moyens, forte baisse des efforts en recherche et développement des entreprises, concurrence accrue des pays émergents et augmentation des délocalisations dans tous les secteurs..., la débâcle économique s'est accompagnée d'une remise en cause profonde par la société du modèle de développement économique et politique, marquée par la méfiance vis-à-vis des pouvoirs publics et du monde industriel, ainsi qu'envers toute nouveauté. En outre, la conscience environnementale n'a jamais été aussi forte dans la population. L'État se voit contraint à une application stricte du principe de précaution. Cette méfiance vis-à-vis de l'innovation a bridé le développement des nanomatériaux et des applications associées.

D'autant que les études scientifiques menées depuis le milieu des années 90 tendent à montrer que, même en l'absence d'effets sur la santé humaine objectivés, de nombreux nanomatériaux ont une propension à se diffuser dans l'ensemble de l'organisme et à s'y accumuler. Des effets écotoxicologiques sont également possibles.

Des nanomatériaux confinés à quelques rares secteurs stratégiques

La risquophobie et la technophobie de la société ont contraint l'État mais surtout les industriels à n'investir que dans quelques pans de certains secteurs stratégiques où les débouchés ne sont, de surcroît, pas en contact direct avec la population. De grandes entreprises d'envergure internationale se sont rapidement mais discrètement positionnées sur ces domaines qui leur assurent globalement une bonne rentabilité, avec une sous-traitance à quelques TPE/PME.

Par exemple, les nanomatériaux ont notamment contribué à séquestrer les gaz à effet de serre. Par contre, l'utilisation de nanomatériaux manufacturés pour la production d'eau ultra-pure à partir d'eau de mer ou pour le traitement des sols pollués n'a pas abouti, en raison de la défiance de la population. Dans le secteur de l'énergie, l'abandon progressif du nucléaire a permis d'accélérer le développement de nanomatériaux manufacturés destinés aux énergies alternatives et notamment au stockage de l'hydrogène et aux nouvelles générations de cellules photovoltaïques.

LE SPECTRE DE LA GELÉE GRISE, L'APOCALYPSE N'AURA PAS LIEU*

Les découvertes et innovations technologiques ont de tout temps provoqué des craintes et du rejet avec leur cortège de scénarii catastrophe, voire d'apocalypse.

Avec l'avènement des nanotechnologies, un spectre a fait surface pour incarner les visions les plus sombres des peurs liées à ce développement technologique : le scénario de la gelée grise – « grey goo scenario » en anglais – faisant référence à une masse indéfinissable dans laquelle se transformerait le monde suivant le fait que des nanorobots autorépliquants à fonctionnement autonome auraient échappé à tout contrôle, consommant toutes les ressources de la Terre pour leur continuelle autoréplication.

Ce scénario a été évoqué pour la première fois dans les années 1980 par Éric Drexler, pionnier de la nanotechnologie, pour être considéré par la suite par de nombreux penseurs et chercheurs. Robert Freitas, un des fondateurs de la nanomédecine, a créé en 2000 le terme d'écocide global pour désigner ce scénario, imaginant que ces nanorobots convertiraient l'environnement naturel (« biomasse ») en répliques d'eux-mêmes (« nanomasse »).

Ce scénario s'est répandu dans la fiction où de nombreuses variations dépeignent une fin du monde accidentelle ou causée par malveillance, et continue d'alimenter les craintes du grand public, au point que le Prince Charles a demandé à la Royal Society, académie des sciences de Grande-Bretagne, d'en analyser le risque dans son rapport sur les impacts environnementaux et sociaux des nanotechnologies.

La recherche démontre évidemment que la probabilité de tels scenarii est pour le moins infime, tout d'abord du fait que les prérequis technologiques pour réaliser de tels nanorobots relèvent du domaine de la spéculation. D'autre part, même si des machines qui s'auto-répliqueraient de manière autonome n'existent pas encore, leur théorisation préconise désormais l'inclusion de contrôles empêchant un tel scénario. Eric Drexler, son auteur initial a même essayé de se rétracter publiquement afin de recentrer le débat sur des menaces plus réalistes telles que le nanoterrorisme.

* Article écrit par Jan Irmer, journaliste.

Scénario 3. Une mainmise industrielle : un développement dans des secteurs porteurs

Un soutien industriel sans faille à des secteurs jugés porteurs

Si la volonté politique d'un maintien d'activités de recherche et de production innovantes en France a été clairement affichée, elle n'a pas été suivie de faits. L'initiative publique a très nettement marqué le pas. Elle a été relayée par l'initiative privée, mais seulement dans certains secteurs jugés porteurs : pharmacie, électronique, énergie et transport.

Ces industriels ont poussé les marchés à se structurer pour se développer et ils ont utilisé notamment la normalisation pour y parvenir et assurer leur compétitivité.

Cette course à l'innovation radicale a permis aux industriels d'atteindre rapidement la production de la 4ème génération de nanomatériaux et de développer des applications inédites, malgré quelques verrous scientifiques et technologiques.

Les grandes entreprises ont créé des plateformes privées destinées au transfert de ces technologies et de ces découvertes, des réseaux de compétence transnationaux et elles ont accompagné la création d'une myriade de petites et moyennes structures, type start-up.

Des risques pour la santé et l'environnement non évalués

Dans une société où l'individualisme a largement pris le pas sur l'initiative collective et dans un contexte marqué par un rôle de l'État strictement limité aux tâches régaliennes, le débat public s'est considérablement appauvri, les enjeux sanitaires et environnementaux sont peu évoqués.

Les crédits alloués aux études portant sur les risques des nanomatériaux manufacturés sur la santé humaine et sur l'environnement, essentiellement privés, ne suffisent pas à combler l'écart de connaissances entre progrès technologique et recherche en nanosécurité. Les risques sanitaires et environnementaux demeurent toujours difficilement évaluables.

Les entreprises les plus prospères dans la fabrication et l'utilisation de nanomatériaux, généralement les plus grosses, appliquent des méthodes de protection strictes et poussées en matière de sécurité, dans l'objectif notamment de préserver et de fidéliser une main d'œuvre qualifiée. Dans les autres entreprises, notamment les plus petites, la maîtrise de risques s'avère bien souvent très incomplète.

Quelques rares secteurs porteurs dynamisés

Une majorité des secteurs d'activité a volontairement fait l'impasse sur les nanomatériaux.

La nanomédecine, la nanoélectronique ont une recherche très dynamique. L'industrie française s'avère très concurrentielle et compétitive au niveau international.

De même dans le BTP, le secteur de l'énergie, l'aéronautique et le nautisme, de nouvelles applications innovantes permettent la diminution des rejets, l'augmentation de l'efficience énergétique, etc.

L'industrie chimique française s'est organisée pour répondre au mieux aux besoins de ces secteurs porteurs.

La production à très grande échelle des nanomatériaux manufacturés moins pointus, nécessitant davantage de main d'œuvre mais moins de technicité, se concentre, quant à elle, dans les pays émergents.

Scénario 4. Une volonté régionale soutenue : un développement en fonction des compétences locales

Une Europe des régions dynamique

Les années 2020 ont vu le retour d'une croissance économique significative dans les pays développés dans le cadre d'une Europe politique forte.

Dans ce contexte, les régions les plus riches ont investi massivement dans l'innovation et les technologies nouvelles, notamment dans le domaine des nanomatériaux manufacturés.

Des pôles d'excellence ont ainsi été créés dans toute l'Europe dans les domaines de l'électronique, de l'agroalimentaire, de la pharmacie, de la cosmétique, du textile, de l'énergie, de l'emballage et de la plasturgie. L'utilisation des nanomatériaux manufacturés et des nanotechnologies ont très fortement contribué à l'image de réussite technologique de ces secteurs et donc à la richesse des régions associées.

Seuls quelques secteurs comme la défense demeurent à la main des États. Ce domaine a, par ailleurs, connu un développement important en raison des affrontements internationaux.

Dans ce contexte, l'industrie chimique française et européenne est restée compétitive et a développé de nombreuses innovations à façon destinées à chacun de ces secteurs.

Pourtant, la mise en commun des connaissances, des expertises et du savoir-faire acquis est parfois laborieuse. Ainsi, les avancées scientifiques et techniques ne permettent pas systématiquement aux chercheurs d'atteindre le développement de la 4ème génération de nanomatériaux (molécules à façon, systèmes évolutifs, etc.), l'innovation demeure, selon les disciplines, parfois bloquée entre la 2ème (médicaments vectorisés, capteurs, etc.) et la 3ème génération (supra-molécules).

Des risques sanitaires et environnementaux graves mal anticipés

Les risques sanitaires et environnementaux des nanomatériaux manufacturés interpellent la société civile et les pouvoirs publics depuis le milieu des années 1990. Malgré une méconnaissance des risques, la production de nanomatériaux manufacturés s'intensifie avec la possibilité que certains nanomatériaux dont les dangers potentiels auront été sous-évalués ou ignorés induisent potentiellement la survenue d'effets sanitaires et environnementaux graves.

Les entreprises les plus florissantes dans la fabrication et l'utilisation de nanomatériaux mettent en place les méthodes de protection les plus élevées possibles en matière de sécurité, sans toutefois savoir si elles sont suffisantes. Dans les autres entreprises, notamment les plus petites, la maîtrise de risques s'avère bien souvent très lacunaire.

Une indifférence assumée de la société civile

La prospérité retrouvée et ses fruits partagés, l'amélioration sensible de la qualité de vie grâce aux nouvelles technologies, notamment les nanomatériaux, ont concouru à apaiser la population, notamment dans les régions les plus favorisées, et à limiter les débats. Les entreprises industrielles et les groupes financiers accroissent très nettement leur influence, notamment auprès de l'Europe à travers la normalisation.

Les conséquences en SST

De chacun des quatre scénarios rédigés pour décrire les futurs possibles de la fabrication et de l'utilisation des nanomatériaux manufacturés à l'horizon 2030, des experts de l'INRS ont déduit les conséquences que les situations décrites pourraient avoir en santé et sécurité au travail dans les plus petites entreprises en France. À défaut d'une description extensive de ces situations (qu'on trouvera dans le document de synthèse), on donnera à voir ici les principaux facteurs déterminants.

L'élément le plus structurant en termes de prévention semble être la capacité des toxicologues à développer dans les années qui viennent des modèles de relations structure/activité. La possibilité d'estimer a priori la toxicité d'un composé permet bien sûr de guider les industriels dans le choix des produits, des procédés et des dispositifs de protection collective et individuelle. Ces techniques peuvent également avoir un rôle substantiel dans l'acceptabilité du développement des nanomatériaux par le public : cette question est en effet un élément décisif de plusieurs scénarios. Cette notion d'acceptation par la société a aussi une importance pour les travailleurs : ils sont également citoyens et, à ce titre, ils peuvent être confrontés à des situations de conflit éthique, avec des phénomènes d'euphémisation ou de déni.

Le développement de tels modèles est lourd et coûteux : la santé économique des États est donc un facteur déterminant, même si certaines hypothèses n'excluent pas une contribution significative des plus grosses entreprises au financement de ces études. La situation économique apparaît également comme un déterminant important dans le suivi de la santé des travailleurs, indépendamment de l'acteur dominant dans la détermination de ses modalités. Cependant, y compris dans des situations économiques dégradées, des enjeux industriels très spécifiques peuvent avoir un rôle favorisant.

Concernant la structure des entreprises développant les nanomatériaux, les fabriquant ou les utilisant, l'ensemble des scénarios fait l'hypothèse d'une continuité par rapport à la situation actuelle qui voit une large part faite à un essaimage sous forme de start-up. La latitude décisionnelle, les moyens économiques et la visibilité de l'activité ont généralement été identifiés comme des facteurs influant significativement sur les politiques de prévention des risques professionnels. La capacité des plus petites entreprises à se fédérer et à être accompagnées par des structures de type consulaire a également été rapportée comme un facteur important.

Globalement, la question de la prévention des risques professionnels liés aux nanomatériaux n'a pas été décrite dans les scénarios comme différant sensiblement de celle des produits chimiques en général, avec bien sûr les spécificités du sujet tel qu'il a été défini : la situation dans les plus petites entreprises.