

Royaume du Maroc



*Direction des Etudes et
des Prévisions Financières*

Secteur des nanotechnologies au Maroc: Etat des lieux et voies de développement

Juin 2009

<http://www.finances.gov.ma/depf/depf.htm>
Boulevard Mohamed V. Quartier Administratif, Rabat-Maroc
Téléphone : (00212) (0) 37.67.75.01/.../08
Télécopie : (00212) (0) 37.67.75.33
E-mail : depf@depf.finances.gov.ma

Table des matières

Préambule	2
1. Rôle et enjeux des nanotechnologies	3
1.1. Définition et domaines d'application.....	3
1.2. Rôle et importance des nanotechnologies.....	3
1.3. Enjeux technologiques et sociétaux des nanotechnologies.....	4
2. Les nanotechnologies au niveau mondial	4
2.1. Cas des Etats-Unis	6
2.2. Cas de l'Asie.....	6
2.2.1. Japon.....	6
2.2.2. Autres pays asiatiques	7
2.3. Cas de l'Europe.....	7
2.3.1. Acteurs et programmes européens	7
2.3.2. Cas de l'Allemagne	8
2.3.3. Cas de la France	8
2.4. Cas des pays émergents.....	9
3. Les nanotechnologies au Maroc	10
3.1. Etat des lieux	10
3.2. Principaux axes de la stratégie de développement des nanotechnologies au Maroc	13
3.2.1. Stratégie nationale de la recherche scientifique à l'horizon 2025.....	14
3.2.2. Initiative Nationale pour les Nanosciences et Nanotechnologies (I3N)	14
3.2.3. Plan Envol	16
3.3. Conclusions et suggestions.....	17

Préambule

Les nanosciences et les nanotechnologies constituent de nouvelles approches de la recherche et développement (R&D) visant à maîtriser la structure fondamentale et le comportement de la matière au niveau des atomes et des molécules. Ces disciplines offrent la possibilité de comprendre des phénomènes nouveaux et d'induire des propriétés nouvelles susceptibles d'être exploitées à l'échelle microscopique et macroscopique. Les applications des nanotechnologies font actuellement leur apparition et auront demain des incidences dans la vie de chacun.

Ces deux disciplines apparaissent ainsi indissociables et constituent des enjeux à la fois scientifiques, techniques et économiques, mais aussi sociétaux à travers les orientations qu'elles sont susceptibles de faire apparaître et leurs impacts sur le mode de vie et sur l'environnement au sens large.

Au niveau mondial, les nanotechnologies représentent un secteur particulièrement stratégique en croissance rapide et ayant un énorme potentiel de développement économique. Tous les pays industrialisés, et dans une moindre mesure les pays émergents, les considèrent comme des priorités stratégiques d'un point de vue scientifique, technologique et économique.

Les montants accordés à ces disciplines sont considérables à l'échelle mondiale (cf. partie relative aux nanotechnologies au niveau mondial). Pour l'Europe, la participation de la Commission Européenne dans le 6^{ème} Programme Commun de R&D (PCRD)¹ est de 260 millions d'euros/an. Cette participation a été augmentée à plus de 490 millions euros/an dans le cadre du 7^{ème} PCRD 2007-2013. Pour le Maroc, la volonté politique de saisir les opportunités offertes par ce créneau a été concrétisée à travers la mise en œuvre d'un ensemble d'actions coordonnées en la matière

Cette révolution se traduit par une nécessaire approche pluridisciplinaire et implique une nécessité absolue de convergence des savoirs des sciences biologiques, chimiques et physiques, mais aussi de l'informatique, du génie des procédés et des mathématiques. Par ailleurs, cette révolution doit absolument prendre en compte le continuum « formation–recherche–industrialisation ».

Dans ce cadre, la présente étude se propose, après avoir mis en exergue l'importance et les enjeux des nanosciences et des nanotechnologies sur le plan mondial, d'établir un benchmarking portant sur les expériences étrangères leaders dans le secteur afin de tirer des enseignements pour le cas du Maroc. Une troisième partie sera dédiée à une analyse du secteur sur le plan national, allant du diagnostic de situation jusqu'à la présentation des axes de la stratégie de son développement au Maroc.

Enfin, et à partir des enseignements tirés des expériences étrangères leaders, cette étude proposera une série d'actions et d'axes dynamiques s'inscrivant dans une approche intégrée destinée à stimuler les progrès dans le domaine des nanotechnologies et visant à renforcer la place de la R&D dans ce secteur.

¹ Le 6^{ème} PCRD (2002-2006) valorise les actions de R&D technologique, en cofinçant des projets menés en partenariat et ce, afin de renforcer et structurer l'Espace Européen de la Recherche (EER) et mener des actions spécifiques dans le domaine de l'énergie atomique (EURATOM).

1. Rôle et enjeux des nanotechnologies

1.1. Définition et domaines d'application

La définition des nanotechnologies renvoie aux activités scientifiques et technologiques menées à l'échelle atomique et moléculaire, ainsi qu'aux principes scientifiques et aux propriétés nouvelles qui peuvent être appréhendés et maîtrisés au travers de ces activités. Ces propriétés peuvent être observées et exploitées à l'échelle microscopique ou macroscopique pour mettre au point des matériaux et des dispositifs dotés de fonctions et de performances nouvelles.

Ainsi, les nanotechnologies concernent l'ensemble des techniques visant à produire, manipuler et mettre en œuvre des objets et des matériaux à l'échelle du nanomètre, soit 10^{-9} mètre. Il s'agit donc de travailler directement sur des molécules voire des atomes.

La nanotechnologie est souvent décrite comme potentiellement révolutionnaire en termes d'impact possible sur les méthodes de production industrielle. Elle apporte des solutions possibles à toute une série de problèmes actuels par le biais de matériaux, composants et systèmes plus petits, plus légers, plus rapides et plus efficaces. Ces possibilités ouvrent de nouvelles perspectives pour la création de richesses et d'emplois. La nanotechnologie apporte également une contribution essentielle à la résolution de problèmes mondiaux et environnementaux en réalisant des produits et des processus destinés à un usage plus spécifique, en économisant des ressources et en réduisant le volume des déchets et des émissions.

Des progrès énormes sont aujourd'hui réalisés dans la course mondiale à la nanotechnologie (cf. partie nanotechnologies au niveau mondial). Entre le milieu et la fin des années 1990, l'Europe, par exemple, a rapidement investi dans de nombreux programmes sur les nanosciences. Elle a ensuite développé une solide base de connaissances et doit maintenant veiller à ce que l'industrie et la société européenne puissent cueillir les fruits de ces connaissances en mettant au point des produits et des procédés innovants.

1.2. Rôle et importance des nanotechnologies

Les nanotechnologies couvrent à la fois la recherche fondamentale (nanosciences) et la recherche finalisée (nanotechnologies). Elles suscitent l'intérêt sur différents plans : la recherche, l'innovation et le transfert technologique. Les nanosciences sont souvent qualifiées de disciplines «horizontales», «clés» ou encore «habilitantes» car elles s'immergent dans pratiquement tous les autres secteurs technologiques et tirent parti de démarches interdisciplinaires ou «convergentes». Elles réunissent fréquemment plusieurs disciplines scientifiques dont en particulier:

- les technologies de l'information et de la communication : moyens de stockage de données présentant des densités d'enregistrement très élevées²,
- les technologies de l'énergie : énergie renouvelable (cellules solaires photovoltaïques) ou énergie embarquée sur des « mobiles » (piles à combustible),
- les technologies dans le domaine médical (medtech) et neurotechnologique : chirurgie, ingénierie tissulaire et de matériaux biomimétiques, implants, aide au diagnostic précoce des maladies,
- les technologies liées à la sécurité : capteurs implantables dans l'environnement ou en lieu hostile pour détecter la présence d'agents chimiques/biologiques, sécurité alimentaire par nanomarquage.

² 1 téraoctet par pouce carré.

Subséquentement, les applications concrètes des nanotechnologies sont extrêmement variées et offrent un potentiel d'innovation très important³. Au delà de l'impulsion scientifique que ce nouveau domaine fournit au niveau mondial, ce sont les applications au service de la société humaine toute entière qui stimulent les esprits. L'impact des nanotechnologies sur l'économie est également très prometteur à travers des applications industrielles nombreuses qui concerneront les domaines les plus variés tels que l'électronique, la médecine, l'aéronautique, la défense, l'environnement et les matériaux de construction.

Le monde de la microélectronique retrouve un nouveau souffle avec les possibilités offertes par la nanoélectronique (nouveaux matériaux agencés en trois dimensions, éléments de mémoire avec des densités de stockage inégalées). L'élaboration de moteurs plus "propres" et de diodes déjà bien connues aujourd'hui, le développement de piles à combustibles, l'utilisation efficiente d'énergies renouvelables, une meilleure gestion des ressources rares par des capteurs, l'amélioration de la sécurité sont autant de thèmes pour lesquels ces nouvelles technologies offrent de réelles perspectives.

Un autre sujet portant des enjeux colossaux est certainement celui de la santé où les nanotechnologies pourraient jouer un rôle crucial à travers la mise en place de "nanolaboratoires" offrant des analyses complexes à un prix abordable pour une large population, des médicaments agissant plus précisément au niveau des causes de la maladie (bactéries et cellules cancéreuses par exemple), ainsi que des implants servant soit à restaurer une fonction ou à mesurer et réguler un système peuvent s'envisager avec de moindres rejets. Par ailleurs, des applications aux problèmes sanitaires liés à l'eau potable dans les pays en voie de développement ainsi que la diminution des coûts de certains traitements limitant aujourd'hui leur diffusion sont cruciaux pour sauver des milliers de vies.

1.3. Enjeux technologiques et sociétaux des nanotechnologies

Les nanotechnologies offrent de nombreux bénéfices. Toutefois, ce domaine pourrait engendrer des conséquences néfastes desquelles il faudrait se préoccuper assez tôt. Ainsi, les nombreuses applications dans les différents secteurs industriels devraient satisfaire les exigences élevées de protection de la santé, de la sécurité des consommateurs et de l'environnement. Il est essentiel d'aborder de manière transparente les différents risques et d'intégrer cette démarche à toutes les phases de développement des technologies, de la conception et des activités de R&D jusqu'à l'exploitation commerciale.

Il est également difficile de déterminer les implications environnementales à moyen et long termes de ces technologies émergentes. D'une part, les nanotechnologies peuvent contribuer au développement durable, à de nouvelles façons de réduire les déchets et de résorber les contaminations industrielles, de produire l'eau potable, et d'améliorer l'efficacité des systèmes de production et de consommation d'énergie. D'autre part, l'émergence de matériaux nanostructurés en grande quantité pourrait avoir des conséquences imprévues sur la qualité de l'environnement.

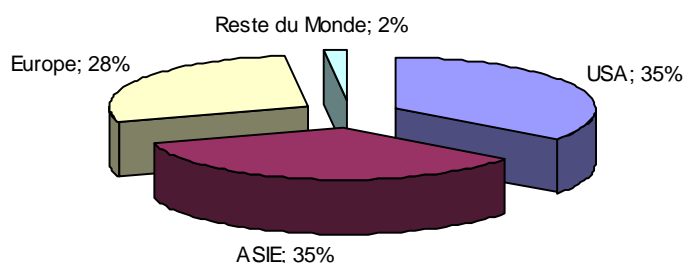
2. Les nanotechnologies au niveau mondial

Eu égard au potentiel que recèlent les nanotechnologies, de nombreux pays se sont dotés de programmes de R&D prévoyant des niveaux d'investissement public élevés et en croissance rapide dans ce domaine. Au cours des dix dernières années, l'intérêt suscité par les nanotechnologies a subitement grandi et la contribution du secteur privé dans le financement de la recherche en nanotechnologies a pris de l'importance.

³ Une variété d'exemples a été présentée par le rapport de la Commission Européenne "Nanotechnology : Innovation for tomorrow's world" offrant des perspectives particulièrement intéressantes.

En 2006, l'effort mondial, académique et industriel, pour les nanotechnologies a été estimé à 10,5 milliards de dollars. Parmi les 4,6 milliards de dollars de dépenses publiques consenties au domaine, les Etats-Unis représentent 35% (1,6 Md\$), l'Asie 35%, l'Europe 28% (1,3 Md\$) et le reste du monde 2%. Dans le secteur privé, les 3,8 Md\$ représentent 46% de l'ensemble pour les Etats- Unis (1,75 Md\$), 36% pour l'Asie (1,4 Md\$), 17% pour l'Europe (500 M\$) et moins de 1% pour l'ensemble des autres pays du monde. Dans ce contexte, il est important de souligner qu'en Europe, la contribution du secteur privé en matière de R&D par rapport à l'investissement total reste faible. L'Union Européenne est donc en retard par rapport aux États-Unis et au Japon où les sources de financement privées représentent plus de la moitié des investissements totaux.

Répartition des dépenses publiques dans le secteur des nanotechnologies

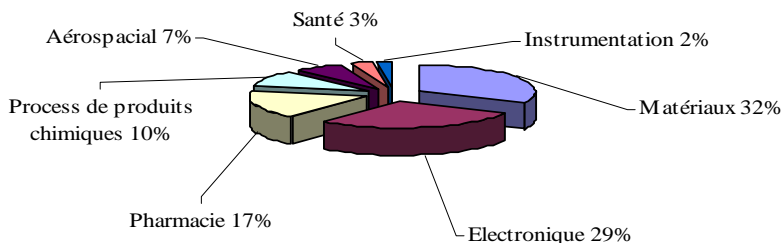


Source : Ambassade de France en Allemagne, 2007

La répartition par pays des brevets déposés n'est pas homogène : les 2/3 des brevets sont détenus par l'Asie (Chine et Japon), loin devant les Etats-Unis et l'Union Européenne. L'Allemagne totalise les 2/3 des brevets européens et devance ainsi la France et le Royaume-Uni. Les déposants sont principalement des industriels avec une part de 70% contre 30% pour les universités, et en majorité des grandes entreprises multinationales. De nombreux brevets sont également déposés par des PME « high tech » et « start-up ».

Des analystes estiment à 45,5 milliards d'euros la taille du marché mondial et tablent sur un marché de 1.000 milliards d'euros en 2015, se répartissant comme suit : 51 % pour l'informatique, 32 % pour les matériaux, 17 % pour les sciences de la vie.

Part de marché des nanotechnologies en 2015



Source : Ambassade de France en Allemagne, 2007

2.1. Cas des Etats-Unis

L'effort des Etats-Unis en matière de R&D dans le domaine des nanotechnologies est caractérisé par l'importance des volumes investis mais aussi par plusieurs éléments : la planification par objectif, la constante progression des crédits, la concentration des budgets sur certains secteurs ainsi que l'émergence du rôle propre de certains Etats.

Le montant du budget consacré en 2007 aux nanotechnologies est de 1,6 Md\$, contre 1,1 Md\$ en 2006. Les efforts de recherche dans ce domaine sont coordonnés sous le nom et dans le cadre de la « National Nanotechnology Initiative (NNI) », action lancée en 2000 et placée sous la responsabilité de l'Office of Science and Technology Policy qui coordonne la politique fédérale de R&D et contribue à la préparation du budget. Pour la NNI, les nanotechnologies comprennent "toutes les opérations permettant de travailler à l'échelle atomique, moléculaire et supramoléculaire, dans une fourchette allant d'environ 1 nm à 100 nm approximativement et ce, dans le but de comprendre ou de créer des matériaux, des dispositifs ou des systèmes aux propriétés nouvelles résultant de la petite taille des structures qui les composent".

Aux USA, le budget le plus élevé qui est consacré à la nanotechnologie est attribué à trois grands opérateurs: National Science Foundation (NSF), Department of Defense (DoD) Nanotechnology et Department of Energy's (DOE). Ces budgets sont affectés de façon à appuyer les grands axes de la politique scientifique retenue, de doter la moitié des institutions de recherche académique d'infrastructures de recherche permettant de développer la R&D dans le domaine des nanotechnologies et de construire cinq plates-formes dédiées aux nanotechnologies par l'opérateur DOE. Ces centres de recherche, construits à New York, Los Alamos, Oak Ridge, Berkeley et Argonne et dans l'Illinois, incluent des salles "blanches", des laboratoires de fabrication et des équipements coûteux à usage partagé.

Dans le dispositif américain, la structure de coordination et de veille « la Nanoscale Science, Engineering and Technology Subcommittee » (NSET) mise en place joue un rôle important dans la coordination des activités de recherche des différentes agences, en particulier dans le champ des priorités affichées. Le NSET est aussi chargé d'effectuer un suivi mondial permanent des efforts nationaux dans le domaine des nanotechnologies afin d'en tirer les meilleurs enseignements.

2.2. Cas de l'Asie

2.2.1. Japon

Le cas du Japon est particulièrement intéressant puisque ce pays, souvent décrit comme touché par une crise économique sans fin, est en tête des investissements publics en matière de nanotechnologies. Ses investissements sont d'autant plus significatifs que le financement de l'Etat n'en représente que 20 à 25 %. Enfin, les crédits consacrés aux nanotechnologies ne prennent pas en compte les dépenses de personnel.

Les domaines d'application des nanotechnologies les plus soutenus au Japon, et qui confirment la volonté du pays d'être en tête des investisseurs mondiaux dans ce domaine, sont :

- les matériaux : le marché japonais des nanomatériaux représentait en 2005 environ 3,3 Md€ et pourrait atteindre 60 milliards d'euros en 2010 ;
- les technologies de l'information et de la communication : le marché des nanotechnologies pour les TIC au Japon est estimé à près de 6,5 milliards d'euros en 2005, et devrait être proche des 100 milliards d'euros en 2010 ;

- la biotechnologie et la santé : les principaux thèmes de recherche gouvernementale sont les nanobioéquipements, les DDS (Drug Delivery System) et l'imagerie moléculaire (biopuces);
- l'environnement et l'énergie ;
- les technologies de nano-fabrication et d'instrumentation telles que mesures, traitements, analyses et simulations et pour nanotechnologies pour lesquels les japonais sont très compétitifs.

Le conseil pour la politique scientifique et technologique (CSTP), que préside le Premier Ministre, a défini cinq axes prioritaires de recherche et vingt cinq thèmes de recherche. Ces projets sont financés par les ministères de l'Education, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT) ainsi que, pour certaines catégories de projets, par le ministère de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie et le ministère du Management Public, de l'Intérieur, des Postes et des Télécommunications. Une "feuille de route" sur vingt ans a été établie. Le METI participe également à la création d'un "Nanotechnology Research Institute".

2.2.2 Autres pays asiatiques

Le gouvernement de la Corée du Sud a augmenté rapidement ses investissements dans les nanotechnologies, lesquels sont passés de 83 milliards de wons (environ 66,4 millions d'euros) en 2001 à 221,6 millions d'euros en 2005. D'autre part, le nombre de programmes universitaires en nanotechnologies a pratiquement doublé en trois ans, passant de 17 en 2002 à 31 en 2004.

En Chine, on estime à 300 millions de dollars pour la période de 2003 à 2005 l'investissement dans les nanotechnologies (soit 100 M\$ par an). Il est difficile de savoir la part du budget consacré aux nanobiotechnologies.

Au Taïwan, le « National Program on nanoscience and technology » a été mis en place en 2002, doté d'un budget d'environ 670 M\$ sur les six prochaines années, soit environ 110 millions de dollars par an.

2.3. Cas de l'Europe

2.3.1 Acteurs et programmes européens

Le niveau du financement public de la R&D dans les Nanotechnologies et les Nanosciences (N&N) en Europe est passé d'environ 200 millions d'euros en 1997 à environ 1 milliard d'euros en 2006. Il s'agit donc d'investissements comparables à ceux des États-Unis et du Japon. Cependant, rapporté au nombre d'habitants, l'investissement public moyen dans l'UE-25 est de 2,4 euros par personne (2,9 euros dans l'UE-15), alors qu'il est de 3,7 euros aux États-Unis et de 6,2 euros au Japon.

Actuellement, les initiatives nationales et régionales fournissent environ les deux tiers de ces investissements publics européens. Cependant, pour que elle puisse rester compétitive au niveau mondial, l'UE a bâti l'Espace Européen de la Recherche (ERA) et œuvre pour mieux cibler et coordonner son action à l'échelle communautaire. Aujourd'hui, deux grands domaines en dehors des nanobiotechnologies se dégagent en Europe : les nanomatériaux et la nanoélectronique.

Depuis 2002, l'UE a pris conscience de l'importance des nanotechnologies et a prévu dès le 6^{ème} Programme Commun de R&D (PCRD) une enveloppe spécifique de 1,3 milliard d'euros pour la période 2002 – 2006 pour ce domaine, sans compter le financement complémentaire pour le projet "Technologies pour la Société de l'Information", doté pour sa part d'un budget global de 3,6 milliards d'euros.

De plus, elle a mis en place deux nouveaux instruments : les projets intégrés (IP) et les réseaux d'excellence (NoE), complétés par une gamme d'autres instruments et actions, parmi lesquels des projets intégrés réservés aux PME. Dans le cadre du projet NaoMiTec, l'Europe soutient et assiste les PME à se joindre à des projets multinationaux de R&D existants ou à réaliser leurs propres projets en nanotechnologies. L'Europe met désormais l'accent sur le développement de systèmes de production de nanosystèmes et de nanomatériaux.

Dans le 7^{ème} PCRD (2007-2013), la Commission Européenne prévoit d'engager 3,467 milliards d'euros afin de renforcer la R&D en nanotechnologies et d'accroître le financement de la recherche sur les impacts potentiels des N&N sur la santé et l'environnement. Elle prévoit également d'augmenter le financement de la recherche industrielle en N&N, notamment dans le cadre du Risk Sharing Finance Facility (RSFF) qui prévoit un complément financier aux grands projets de recherche ainsi qu'aux infrastructures de R&D par le biais d'un prêt de la BEI aux entreprises (particulièrement aux PME).

2.3.2 Cas de l'Allemagne

L'aide publique à la recherche dans le domaine des nanotechnologies a pris son essor à la fin des années 80 avec les programmes de recherche sur les matériaux « Materialforschung » et sur les technologies physiques « Physikalische Technologien ». Elle est devenue réellement significative en 1998 lorsque le Ministère Fédéral de l'Enseignement et de la Recherche (BMBF) a créé des centres de compétences dans le domaine des nanotechnologies. Le succès des nanotechnologies en Allemagne est fondé sur une large gamme d'acteurs dans différents domaines: entreprises, réseaux, universités, centres de recherche publics et gouvernement (BMBF et BMWi).

Actuellement, l'Allemagne est le leader européen et 3^{ème} au niveau mondial dans le domaine des nanotechnologies, tant du point de vue des publications et brevets, que de la R&D et ce, grâce à plusieurs programmes déjà mis en place, notamment le programme « nanoChance » afin d'encourager les PME et les start-up, le programme « nanoFutur » pour soutenir les jeunes scientifiques et le programme « nanoCare » pour étudier les risques des nanotechnologies et en informer le public.

Afin d'améliorer le transfert technologique, le gouvernement fédéral a mis en place la "Nano-Initiative" dans le cadre de sa "stratégie high-tech" en 2006. Un des éléments clés de cette stratégie est le renforcement systématique des liens entre chercheurs et industriels. Le plan d'action 2010 de cette "Nano-Initiative" va permettre d'encourager les innovations nanotechnologiques et les nouveaux concepts associés et de définir de nouvelles stratégies afin d'améliorer la compétitivité de l'Allemagne. Il doit également permettre d'évaluer les chances et les risques des nanotechnologies et d'encourager l'évolution et le développement de ces nanotechnologies surtout au niveau des PME associées et le tout en restant transparent vis-à-vis de la société.

2.3.3 Cas de la France

Le financement public de la recherche dans le domaine des nanotechnologies en France est en croissance continue : environ 10% par an. Le gouvernement français est soucieux de soutenir l'effort de développement des nanotechnologies au niveau national et a consacré 1,05 Md€ de 2001 à 2005 à la R&D publique dans les secteurs des nanomatériaux, de la nanoélectronique, de l'électronique moléculaire et des nanotechnologies. La R&D industrielle est soutenue par le Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (MINEFI). L'Agence pour l'Innovation Industrielle (AII) soutient l'innovation et le transfert de technologie auprès des porteurs de projets, laboratoires, créateurs d'entreprises et PME tant en France qu'à l'international.

Il existe en France des organismes spécifiquement chargés de promouvoir la R&D, l'information et/ou le transfert des nanotechnologies vers l'industrie. Il convient de signaler l'existence du réseau français de recherche de soutien au développement de projets en Micro et Nano, du Réseau National en Nanosciences et Nanotechnologies (R3N), du portail nanosciences du ministère de la Recherche (NANOMICRO) et d'un Observatoire des Micro et Nano Technologies (OMNT) créé par le CEA et le CNRS.

En 2005, dans le cadre de la Fondation nationale pour la science (FNS), un important programme multidisciplinaire "Nanosciences et Nanotechnologies" a permis de lancer de nombreux projets et d'engager la structuration de la recherche française dans ce domaine. Ce programme est aujourd'hui géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et coordonné par le réseau national pour les Nanosciences et Nanotechnologies (R3N). Un investissement de 210 M€ a été prévu sur 3 années, de 2005 à 2007, se concentrant sur 4 thématiques prioritaires : nano-objets, nano-composants, nanobiosciences et nanomatériaux.

En 2005 également, l'ANR a lancé un programme national en nanosciences et nanotechnologies (PNANO) dont la mise en œuvre s'est appuyée aussi sur le Réseau R3N. Ce programme se situe dans le prolongement du réseau RMNT et du Programme National Nanosciences. Au cours de la même année, la France a décidé d'initier les "pôles de compétitivité" afin de faciliter le transfert technologique. « Minalogic » est le pôle dédié au secteur des nanotechnologies.

Quant aux investissements privés, les entreprises françaises touchant à ce domaine sont encore peu nombreuses. Mais de grandes entreprises sont présentes, comme L'Oréal, Michelin, Rhodia, Thalès, St Gobain, Air Liquide, Atmel, Atofina, Philips Semiconductors, Sagem, Sanofi Aventis, Alcatel et Veolia Environnement. Les secteurs d'activités des PME travaillant avec des nanotechnologies sont principalement répartis entre les secteurs de chimie, matériaux, énergie (41%), équipements (24%), électronique & TIC (16%) et biomédical & biotechnologies (16%). La plupart de ces PME sont souvent des PME "high-tech", start-up ou spin off, directement issues de centres de recherche (NanoLedge, Inanov, Nemoptic, Imagenium, Loyalite...).

2.4. Cas des pays émergents

Plusieurs pays émergents ont entrepris des recherches en matière de nanotechnologie, notamment l'Inde, le Brésil, l'Afrique du Sud, la Thaïlande ou les Philippines. Les applications les plus prometteuses pour ces pays sont la production, le stockage et la transformation d'énergie, l'amélioration de la productivité agricole, le traitement de l'eau, le diagnostic médical, les systèmes de distribution de médicaments, la production et stockage de la nourriture, le traitement de la pollution de l'air, la construction, le suivi médical et la désinsectisation. Toutefois, une initiative globale et internationale pour soutenir et développer les nanotechnologies dans les pays émergents serait nécessaire.

L'Inde a trouvé une dynamique grâce à des programmes mis en place par le gouvernement pour la recherche académique et aussi par l'intermédiaire de ses scientifiques expatriés ayant joué un rôle important dans le domaine des nanotechnologies. Ces derniers ont émigré il y a quelques années aux Etats Unis et ont tendance à revenir avec de la plus-value intellectuelle, méthodologique et financière.

Les initiatives du gouvernement indien concernent, d'une part, la création de structures de recherche pour le microsystème à travers le « National Program for Smart Materials » (NPSM) qui est coordonné par 5 agences gouvernementales et s'oriente vers les domaines de l'Aéronautique, de la Défense, de l'Ingénierie Civile et du Biomédical et, d'autre part, le développement de projets pour les nanotechnologies dans le cadre de l'initiative indienne pour les sciences et technologies. Cette initiative a été dotée de 18 millions d'euros sur 5 ans de la part du gouvernement.

Conclusion

L'effort mondial, académique et industriel, pour les nanotechnologies a été estimé en 2006 à 10,5 milliards de dollars. Le marché mondial lié au domaine des nanotechnologies représentait déjà 45,5 milliards de dollars en 2004 et est estimé à 700 milliards de dollars pour 2008. Certes l'Europe investit dans le domaine des nanosciences, cependant il faut souligner que l'industrie européenne ne semble pas toujours exploiter suffisamment les connaissances acquises au niveau de la R&D. En effet la contribution européenne du secteur privé en matière de R&D reste faible par rapport aux financements privés dans des pays comme les États-Unis et le Japon, où ces financements représentant plus de la moitié des investissements privés et publics au niveau mondial. De plus, une analyse des brevets déposés au niveau mondial montre que la part des brevets déposés par les organismes et entreprises européennes n'est que d'environ 20 %, alors que celle de la Chine représente environ 45%, ce qui montre une lacune dans le processus de transfert technologique des résultats de R&D en applications.

3. Les nanotechnologies au Maroc

3.1. Etat des lieux

Etant donné que les nanotechnologies constituent de nouvelles approches de la R&D, la présente partie s'attachera à présenter un état des lieux de cette discipline en se basant sur des données émanant du Ministère du Commerce et de l'Industrie et du Département de la Recherche scientifique qui considèrent la recherche avec toutes ses composantes (financement public-privé, pôles de compétence, nombre de brevets, ressources humaines) une porte d'entrée pour l'analyse du secteur des nanotechnologies au Maroc.

Financement de la recherche

Le financement de la recherche est assuré dans sa quasi-totalité par l'Etat. Actuellement, il est de l'ordre de 0,8 % du PIB, avec la perspective d'atteindre 1% à l'horizon 2010 et 1,5% en 2015 grâce au plan Envol. Ce financement est assuré à travers les budgets de fonctionnement et d'investissement ou à travers un compte d'affectation spéciale.

Avant 1996, aucune ligne budgétaire n'était réservée au financement de la recherche scientifique dans les établissements d'enseignement supérieur et/ou de recherche. La recherche académique était principalement financée par les programmes de coopération internationale.

Durant la période 1996-1998, une subvention de 40 millions de dirhams a été accordée pour la première fois par le gouvernement à la recherche. A partir de 1999, une subvention annuelle atteignant 45 millions de dirhams a été prévue dans le budget de l'Etat. En plus de cette subvention, le plan quinquennal 2000-2004 a prévu un crédit de 567,8 millions de dirhams.

Durant la période 1996-2004, les fonds alloués à la recherche dans le cadre du budget de l'Etat, ont servi au financement de plusieurs programmes et projets (PARS, PROTARS, Pôles de compétences, équipement des laboratoires universitaires, projets d'établissements, etc.).

En 2002, les dépenses sont passées à 2.554,85 MDHS avec une part du PIB équivalente à 0,7%. En 2003, les dépenses globales consacrées à la recherche ont atteint 3.144 millions de dirhams, soit une part du PIB de 0,79%.

Quant aux bailleurs de fonds de la recherche, ils sont variés et multiples mais leur contribution demeure aléatoire et inégale. A titre d'exemple, la dotation de l'année 2003 (3.144 millions de dirhams) a été financée à plus de 82% par l'Etat, alors que le reste provient du secteur privé et de la coopération.

Par financeur, les dépenses de la recherche qui se sont élevées en 2005 à 3,2 milliards de dirhams se répartissant comme suit :

Financeurs	Montant en DH
Département de l'Enseignement Supérieur	1 459 113 285
Département de l'Education Nationale	44 886 715
Autres département ministériels	1 216 000 000
Secteur privé	384 000 000
Copopération internationale	96 000 000
Total	3 200 000 000

Département de la Recherche Scientifique, 2008

Ressources humaines et infrastructure

L'infrastructure d'enseignement et de recherche est composée de 22 établissements publics de recherche et de 18 pôles de compétences qui ont leurs points focaux nationaux répartis entre Rabat, Casablanca, Marrakech et Fès. Parmi ces pôles, 4 sont destinés à œuvrer dans le domaine des nanotechnologies.

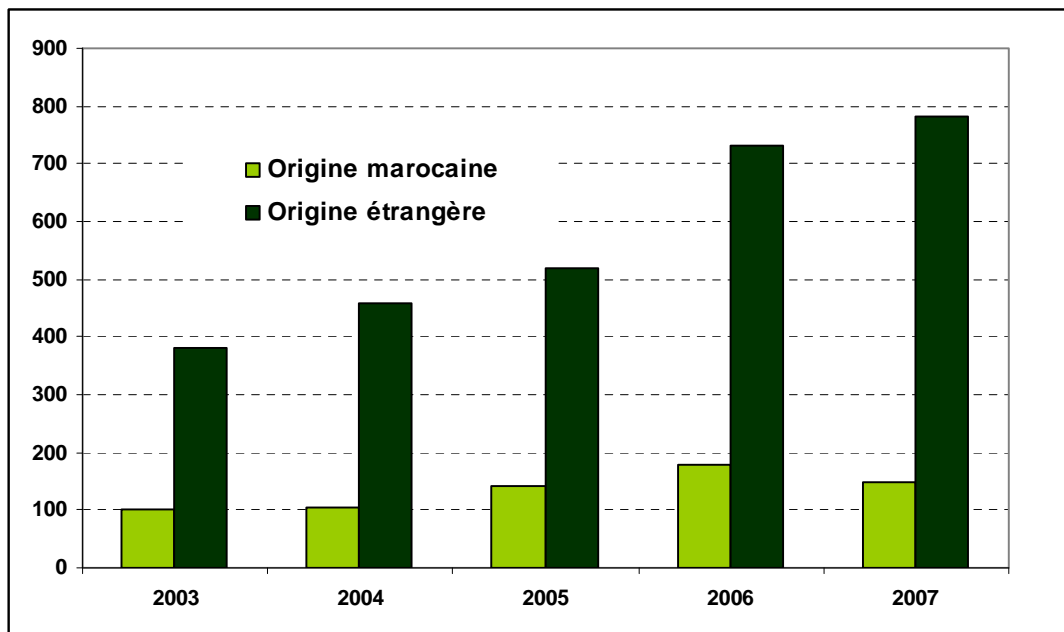
En termes d'effectifs, les statistiques recueillies auprès du ministère de la Recherche Scientifique font état en 2008 d'un vivier de 700 chercheurs marocains à l'intérieur et à l'extérieur du Maroc. Parmi ces chercheurs, 400 résidents au Maroc dont 100 œuvrent dans des domaines ciblés dont les nanotechnologies. Le Maroc table sur la formation de 300 nouveaux chercheurs dans ces domaines et la création d'une dizaine de laboratoires spécialisés à l'horizon 2015.

Brevets et activités inventives au Maroc

En termes de brevets, Plus des 2/3 des dépôts sont des dépôts des étrangers. Les dépôts des nationaux représentent moins de 20% dont plus de 80% sont des brevets de personnes physiques, ce qui est un indicateur de l'attractivité du pays.

Les brevets déposés relatifs au domaine de la nanotechnologie restent faibles par rapport aux dépôts de brevets dans les secteurs de la médecine hygiène et des industries chimiques.

Répartition des brevets et activités inventives au Maroc par origine



Département de la Recherche Scientifique, 2008

Insuffisances

Il ressort du diagnostic de la situation du secteur des nanotechnologies au Maroc un ensemble d'insuffisances que l'on pourrait résumer comme suit :

- Dresser un état des lieux de la nanotechnologie au Maroc pose d'emblée un problème qui est principalement à l'absence de données chiffrées sur le secteur. Cela démontre le peu d'intérêt manifesté jusque là pour cette branche, pourtant devenue essentielle dans l'économie du savoir et de la connaissance.
- Le financement privé des activités de R&D, particulièrement les nanotechnologies, restent faibles alors que les expériences étrangères réussies, notamment aux Etats-Unis et le Japon, montrent la prédominance des financements privés par rapport à ceux publics. D'après l'association R&D Maroc qui a mené une enquête en 2005 auprès de 2.000 entreprises (dont 1.000 ont répondu), il ressort que :
 - Les dépenses estimées par les entreprises en matière de R&D sont d'environ 0,1% du PIB.
 - 80% des entreprises ont recours à l'autofinancement pour leur R&D, ce qui peut constituer un frein dans la mesure où il n'existe pas de fonds public de soutien.
- En ce qui concerne les ressources humaines, actuellement les 2/3 des chercheurs dont dispose le Maroc ont plus de 45 ans et une relève par des jeunes chercheurs n'est pas observée. A ce rythme, dans 15 ans, le Maroc présentera un sérieux déficit en ressources humaines.
- Le budget consacré aux enseignants chercheurs est de l'ordre de 10.000 dirhams par enseignant par an, ce qui est jugé faible et ne valorise pas les activités de recherche au Maroc.
- Le Comité interministériel en charge de la recherche, organe indispensable pour la promotion de la recherche au Maroc, n'inclus pas le secteur privé dans ces décisions.

- Les bailleurs de fond de la recherche sont variés et leur contribution est aléatoire et inégale, ce qui rend difficile la programmation des actions de recherche en fonction de leurs apports.

3.2. Principaux axes de la stratégie de développement des nanotechnologies au Maroc

Force est de constater que ces dernières années, les entreprises, notamment celles qui exportent ou qui opèrent sur des marchés très concurrentiels, commencent à percevoir l'importance de l'innovation et de la R&D. Le gouvernement et l'autorité gouvernementale en charge de la recherche scientifique ont également multiplié les initiatives ces dernières années : création en 2002 d'un Comité interministériel de la recherche scientifique et du développement technologique, premières évaluations visant à accréditer les unités de formation et de recherche (UFR) induisant des regroupements d'équipes, premiers financements nationaux, mise en place de la Stratégie nationale de la recherche scientifique à l'horizon 2025 et lancement du programme Emergence, qui exprime pour la première fois une vision claire sur des secteurs stratégiques où le Maroc peut se positionner.

Ces stratégies et programmes structurants visent, entre autres, la création de technopoles régionaux qui peuvent constituer de nombreuses opportunités pour le développement de la R&D, en multipliant notamment les interfaces entre la recherche et l'entreprise, et en offrant un cadre approprié à des entreprises étrangères à forte valeur ajoutée (comme dans le design ou l'ingénierie).

Reste que nombreux problèmes subsistent, dont l'absence de masse critique de chercheurs pour développer un marché de l'innovation, la pénurie de projets innovants, la gouvernance universitaire, la formation professionnelle, les passerelles entreprise-université et le partenariat public-privé...

Pour les nanotechnologies dont l'importance stratégique n'a échappé à aucun pays soucieux de son développement économique, le Maroc s'est mobilisé ces dernières années pour mettre en place un programme ambitieux pour le développement de ce secteur. Ceci s'est traduit d'abord par le lancement, en avril 2006, d'un programme national préliminaire prenant la forme d'une Initiative Nationale pour les Nanosciences et Nanotechnologies (I3N). Cette initiative visait la mise en réseau national des compétences issues de laboratoires de recherche et d'entreprises afin de faire émerger au Maroc des activités au standard international dans le domaine des nanosciences.

L'I3N a été ensuite renforcée par le lancement du plan Envol. Il s'agit de cibler, à l'horizon 2012, des secteurs technologiques très avancés et à très forte valeur ajoutée tels que la nanotechnologie, la microélectronique, la biotechnologie, l'énergie, l'environnement.

Le principe du plan Envol est de réunir les conditions matérielles et humaines nécessaires afin de constituer une chaîne performante et dynamique reliant la formation, la recherche, le développement, l'innovation, le transfert de savoir et l'entreprise. Outre la valorisation de l'élément humain, les initiateurs du plan Envol visent la création d'un environnement propice qui intègre à la fois des choix stratégiques clairs, un site et une infrastructure attrayants, des équipements et des infrastructures logiciels à la pointe et disponibles, des leaders dans leurs domaines capables de construire et de diriger des équipes de jeunes chercheurs, doctorants et masters talentueux, ainsi que des plateformes de valorisation et de transfert qui permettent la création de propriétés intellectuelles, de nouvelles entreprises et l'attraction des investisseurs. Par ailleurs, un système de capital-risque et des financements appropriés ont été également prévus.

3.2.1. Stratégie nationale de la recherche scientifique à l'horizon 2025

Suite aux recommandations emmenant des résultats de l'évaluation du système national dans les domaines des sciences exactes, des sciences de la vie et des sciences de l'ingénieur visant à dresser sur le long terme une vision stratégique portant sur les 20 prochaines années, le Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique a mis en place en 2005 une commission composée d'experts nationaux ayant pour principal objectif la proposition d'un projet de vision et de stratégie de développement de la recherche scientifique et technique à l'horizon 2025. Les principales orientations de cette stratégie se présentent comme suit :

- assurer une bonne qualité de l'enseignement supérieur par la réalisation d'une activité de recherche susceptible de permettre à tous les enseignants-chercheurs et chercheurs d'être en mesure de suivre l'évolution du savoir et des technologies dans les disciplines dont ils ont la charge.
- assurer au monde socio-économique un accompagnement scientifique et technologique pouvant lui permettre la maîtrise des savoirs et technologies dont il peut avoir besoin pour toutes les activités économiques, sociales et culturelles.
- renforcer les atouts du Maroc à travers le développement de capacités scientifiques et technologiques à la hauteur des enjeux correspondants.
- contribuer au développement de nouveaux savoirs et de niches d'excellence en ciblant des thématiques pouvant permettre au Maroc d'occuper un rôle de premier plan au niveau international.

Plan d'urgence (projet 14 : promotion de la recherche scientifique)

Le volet recherche scientifique fait également partie des projets proposés dans le cadre du plan d'urgence et qui consiste en la promotion de la recherche scientifique et du développement technologique au Maroc sur la période 2009-2012.

Ce projet vise à :

- encourager les talents et les innovations pour le rayonnement du pays dans la sphère de la recherche scientifique et technique ;
- valoriser les résultats de la recherche scientifique, en l'orientant davantage vers les besoins de son environnement socio-économique.

Les résultats attendus de ce projet se déclinent comme suit :

- Valorisation de la profession de chercheur ;
- Diversification des sources de financement pour une augmentation des ressources allouées à la recherche ;
- Création de réseaux et de pôles de compétitivité autour des universités.

3.2.2. Initiative Nationale pour les Nanosciences et Nanotechnologies (I3N)

Deux principaux objectifs ont été fixés par l'I3N. Il s'agit de :

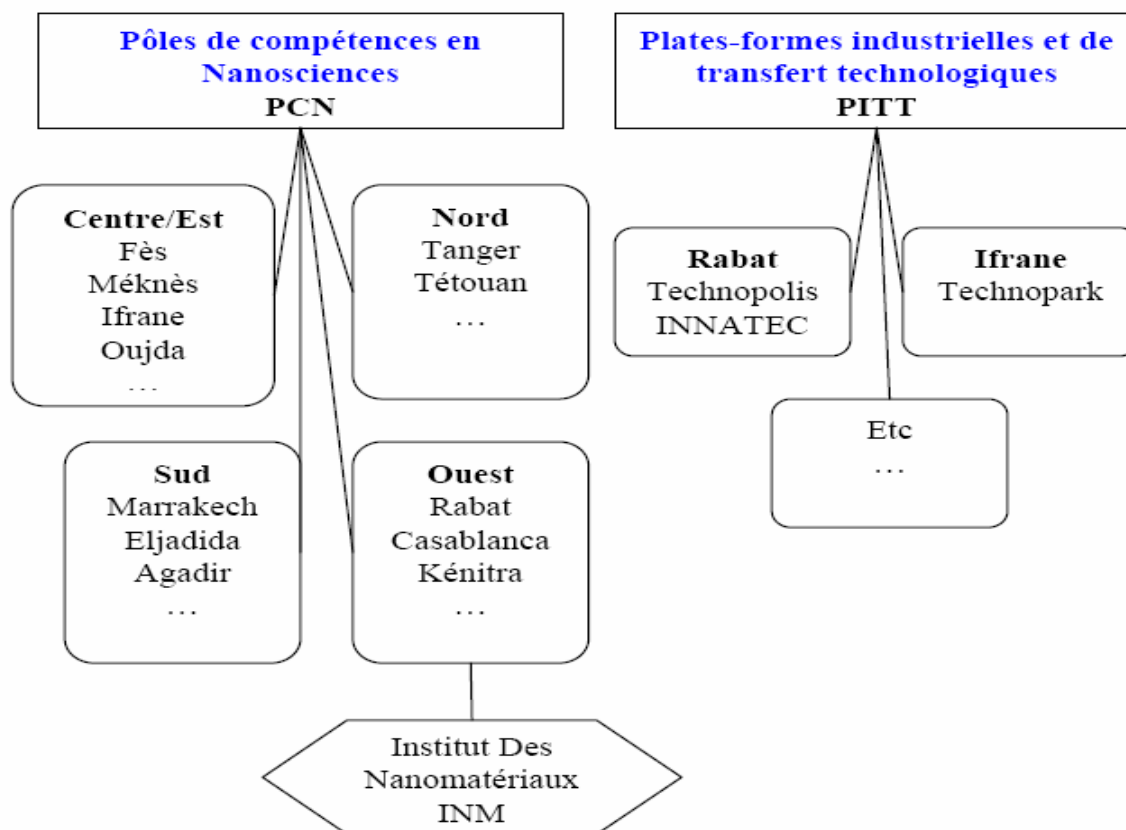
- créer et amplifier les actions de recherche dans les différentes unités de recherche du Royaume dans le domaine des nanosciences et nanotechnologies.
- renforcer ce potentiel en attirant dans ces unités des compétences internationales reconnues en créant les conditions pour que cette action se concrétise rapidement par des candidatures.

En outre, trois grands domaines ont été considérés comme prioritaires pour la concrétisation de cette initiative :

- Les nanomatériaux : matériaux nanostructurés exhibant des propriétés physiques non usuelles (semi et supra- conduction, magnétisme, optique non linéaire...), céramiques, verres, métaux, catalyseurs, polymères, composites, béton, nanoparticules insérés dans de la matière molle, nanotubes de carbone fonctionnalisés, modélisation et caractérisation à l'échelle nanométrique, capteurs chimiques, etc.
- La nanobiotechnologie : biocapteurs et diagnostic, biomarqueurs et puces à ADN, imagerie, nanobiothérapie, ingénierie tissulaire, matériaux d'inspiration biologique, etc.
- La nanoélectronique : composants ayant des propriétés de conduction électrique, de magnétisme, d'optique, de transition de spin, importantes applications en informatique, communication, etc.

Des actions d'aménagement du territoire, de prise en compte des besoins sociétaux, (en particulier en termes de nouveaux emplois productifs) et des retombées économiques ont été programmées afin de guider les actions et seront entreprises selon l'architecture proposées suivante :

Cartographie de l'I3N



Dans ce cadre, des initiatives ont vu le jour sous l'impulsion de jeunes compétences marocaines à l'étranger. Il s'agit du projet « MASCIR » (Moroccan Association for Scientific Innovation and reaserch), du triangle de recherche et d'innovation de la vallée du Moyen Atlas « MAVRIT » et du projet initié par l'université Al akhawayne d'Ifrane en partenariat avec les Universités My Smail de Meknès et Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès.

Un autre projet a porté sur la création de l'Institut des Nanomatériaux et des Nanotechnologies (INANOTECH), basé sur l'expertise mondialement reconnue d'un certain nombre de chercheurs marocains exerçant à l'étranger en collaboration avec des chercheurs qui travaillent dans les universités marocaines. A cela s'ajoute le projet associant les nanomatériaux et la micromécanique, proposé par l'Association Savoir et Développement, regroupant des chercheurs et chefs d'entreprises marocains à l'étranger, principalement en France.

3.2.3. Plan Envol

Les premières expériences précédemment évoquée ont permis de révéler un potentiel important et ont encouragé les pouvoirs publics à s'investir dans les nouvelles technologies. C'est ainsi qu'un plan national baptisé Envol, jouant le rôle fédérateur et accélérateur de toutes ces petites initiatives a été établi. Ceci a été notamment concrétisé par la création d'une cité intelligente « Rabat technopolis » composée d'un parc dédié aux secteurs de la microélectronique et aux nanotechnologies et d'un centre de développement technologique pour les activités de recherche et développement dans ce domaine. La Technopolis de Rabat était toute désignée pour renforcer cette orientation adopté par MedZ, filiale de CDG Développement.

Il est à souligner que le plan Envol assure la continuité des projets auparavant mentionnés dans le cadre de l'initiative I3N.

Projet MASCIR

Le projet Mascir, qui a pour objet de mettre en place l'infrastructure physique et technologique, est le fruit d'un partenariat novateur entre plusieurs opérateurs :

- La Caisse de Dépôt et de Gestion.
- MEDZ, filiale de CDG Développement.
- L'Académie Hassan II des Sciences et Techniques.
- Le Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Investissements.
- L'Université Al Akhawayn d'Ifrane.
- L'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès.
- L'Université Moulay Ismail de Meknès.

Ce projet, qui a pour objectif de promouvoir la recherche scientifique dans la région, consiste à mettre en réseau les ressources matérielles et humaines des différents partenaires du projet, en vue de créer un triangle de recherche et de développement dans les cinq domaines suivants :

- Les Nouvelles Technologies de l'Information et des Communications (NTIC).
- Les Biotechnologies.
- Les Nanotechnologies.
- L'environnement.
- Les matériaux et les polymères.

Le montant d'investissement qui a été consacré à la réalisation du projet Mascir est de 564 millions de dirhams.

Zone *TECHNOPOLIS*

La zone Technopolis, financée à 100% par MedZ, s'étend sur une assiette globale de 300 hectares, dont une première tranche a été finalisée (107 ha) avec un coût de 3.214 millions de dirhams. Cette zone repose sur le concept de parc technologique qui développe quatre composantes à savoir l'offshoring, le Multimédia et l'audiovisuel, le développement de logiciels et la haute technologie (Nanotechnologie).

Actuellement, une seule entreprise œuvrant dans le pôle micro-électronique est installée dans le site de Rabat-Technopolis. Il s'agit de **NEMOTEK**, créé en septembre 2007 par CDG Développement. Cette société résolument tournée vers les solutions technologiques du futur et qui a pour objet le design et la fabrication de caméras miniatures, est le fruit d'un partenariat entre MEDZ, filiale de CDG Développement, et la compagnie américaine Tessera, un des premiers fournisseurs de technologies de miniaturisation pour le secteur de l'électronique. L'investissement porte sur un montant d'environ 1 milliard de dirhams.

3.3. Conclusions et suggestions

Le Maroc nourrit une véritable ambition pour le développement des nanotechnologies à travers la mise en place d'un ensemble d'actions coordonnées dans le domaine. De ce fait, et à partir des enseignements tirés des expériences étrangères leaders, cette partie proposera une série d'actions et d'axes dynamiques s'inscrivant dans une approche intégrée visant à stimuler les progrès dans le domaine des nanotechnologies et à maintenir et renforcer la place de la R&D dans ce secteur. Il s'agit en particulier des actions suivantes :

- Des technopoles sont certes mises en place, mais s'inscrivent dans la continuité des pôles de compétitivité, qui suivent la logique régionale. Dans ce cadre, il est important de renforcer cette logique des régions et arriver à leur spécialisation. A l'instar du projet de Fès-Meknès-Ifrane (MAVRIT), qui réunit la Région, les opérateurs économiques et les universités, une mise en place des centres de recherche au sein des technopoles est importante afin de créer des entreprises intégrant, dès leur création, une logique R&D.
- Outre les problèmes liés au financement de la R&D et au manque des chercheurs, la gouvernance de la recherche constitue un véritable enjeu pour la promotion du secteur au Maroc. A cet égard, il paraît primordial d'approfondir la réflexion, en concertation avec les professionnelles, sur la mise en place d'un système de gouvernance efficace.
- A l'instar du cas de l'Inde⁴ où les expatriés ont joué un rôle crucial dans la promotion du secteur de la nanotechnologie de leur pays (plus-value intellectuelle, méthodologique et financière), la création de conditions de motivation des chercheurs marocains résidents à l'étranger (2/3 des chercheurs marocains) est nécessaire. Dans ce sens, les mesures suivantes paraissent utiles : créer la notion de chercheur contractuel, mettre en place des incitations fiscales pour faciliter la création de cellules R&D, s'attaquer à la problématique du copyright pour une meilleure diffusion de la connaissance et encourager l'emploi d'ingénieurs à l'université. Ceci permettrait de relever le défi du nombre, car le Maroc ne dispose pas aujourd'hui de la masse critique de chercheurs.

⁴ Cf. partie expériences étrangères.

- Mettre en place des incitations fiscales, afin que la recherche et le développement soient considérés comme des investissements à part entière. Dans ce cadre, il serait opportun de réinstaurer la provision pour R&D, à charge pour l'entreprise de prouver qu'elle pratique réellement cette activité. Il serait également convenable d'étendre le crédit impôt recherche, qui est aujourd'hui mené à titre expérimental dans le cadre du contrat-progrès APEBI (seulement pour les NTIC) à la R&D, notamment dans les domaines des nanosciences et nanotechnologies.
- Prévoir et opérationnaliser, au niveau de la CGEM, des commissions s'intéressant en particulier aux questions de R&D. Cela peut lui permettre de contribuer à devenir une force de propositions pour mettre le savoir et la R&D au cœur de l'industrie.
- Accroître les efforts de coordination des programmes de recherche et des investissements nationaux de manière à doter le Maroc d'équipes et infrastructures «pôles d'excellence» compétitifs au niveau international. En parallèle, il est essentiel de garantir une coopération entre les instituts de recherche des secteurs public et privé en la matière afin de parvenir à une masse critique suffisante.
- S'intéresser aux autres facteurs liés à la compétitivité, tels que la métrologie, les réglementations et les droits de propriété intellectuelle appropriés, de manière à ouvrir la voie à l'innovation industrielle et à créer des avantages concurrentiels, pour les grandes entreprises autant que pour les PME.
- Les aspects sociaux (tels que l'information du public et la communication, la santé, les problèmes environnementaux et l'évaluation des risques) constituent d'autres facteurs clés du développement responsable de la nanotechnologie et de la concrétisation des attentes des citoyens. La confiance du public et des investisseurs dans la nanotechnologie sera cruciale pour son développement à long terme et son application fructueuse.
- L'Agence de Développement des Investissement devrait favoriser le renforcement des investissements en faveur de la R&D et renforcer la coordination de ces activités afin d'intensifier l'exploitation industrielle des nanotechnologies, tout en maintenant le niveau de l'excellence scientifique et de la concurrence.
- Aborder de manière systémique les risques potentiels pour la santé publique, la sécurité, l'environnement ou les consommateurs en générant les données nécessaires à l'évaluation de ces risques, en intégrant l'évaluation des risques à toutes les étapes du cycle de vie des produits issus des nanotechnologies et en adaptant les méthodologies existantes ou, si nécessaire, en élaborant des méthodologies nouvelles.