
Matériaux intelligents

Plan d'exécution Programme national de recherche PNR 62

Berne, le 3 novembre 2008

Table des matières

1.	Résumé	4
2.	Introduction	5
2.1	Toile de fond	5
2.2	La recherche au niveau national et international	6
3.	Buts du programme de recherche	9
4.	Principaux thèmes de recherche	11
4.1	Module 1 : Energie, mobilité et environnement	12
4.2	Module 2 : Matériaux techniques et fonctionnels	12
4.3	Module 3 : Santé	13
4.4	Module 4 : Matériaux intelligents nouveaux	13
5.	Utilité pratique et public-cible	14
6.	Exécution du programme	15
7.	Procédure de dépôt des requêtes	16
7.1	Esquisses de projet	16
7.2	Requêtes de recherche	17
7.3	Critères de sélection	18
7.4	Calendrier et budget	19
8.	Acteurs	20

Qu'est-ce qu'un programme national de recherche (PNR) ?

Les projets de recherche menés dans le cadre d'un PNR doivent apporter une contribution à la résolution de grands problèmes actuels. Sur la base de l'article 6, alinéa 2 de la Loi sur la recherche du 7 octobre 1983 (état au 25 février 2008), le Conseil fédéral définit les problématiques et les priorités qui doivent faire l'objet de recherches dans le cadre des PNR. L'exécution des programmes relève quant à elle de la responsabilité du Fonds national de la recherche, mandaté pour cela par le Conseil fédéral.

L'instrument des PNR est décrit comme suit à l'article 4 de l'Ordonnance relative à la loi sur la recherche du 10 juin 1985 (état au 1^{er} avril 2008) :

¹ Les programmes nationaux de recherche doivent inciter à l'élaboration et à l'exécution de projets de recherche coordonnés et orientés vers un objectif commun. Ils doivent permettre de créer, si nécessaire, un potentiel de recherche supplémentaire.

² Les problèmes susceptibles de faire l'objet de programmes nationaux de recherche sont en particulier :

- a. Ceux dont l'étude scientifique est importante sur le plan national ;*
- b. Ceux à la solution desquels la recherche suisse est en mesure de contribuer de façon particulière ;*
- c. Ceux à la solution desquels les contributions de diverses disciplines à la recherche sont nécessaires ;*
- d. Ceux qui ne ressortissent pas exclusivement à la recherche fondamentale pure, à la recherche de l'administration (recherche du secteur public) ou à la recherche proche de l'industrie ;*
- e. Ceux dont l'étude approfondie est censée aboutir en l'espace de cinq ans environ à des résultats susceptibles d'être mis en valeur dans la pratique.*

³ Il s'agit aussi de considérer, lors du choix, si les programmes

- a. Peuvent servir de base scientifique à des décisions du gouvernement et de l'administration ;*
- b. Pourraient être traités dans un projet international présentant en même temps un grand intérêt pour la Suisse.*

1. Résumé

Des matériaux aux propriétés nouvelles et composés d'intelligentes combinaisons de matériaux sont une clé pour l'innovation dans différents secteurs à succès de l'industrie suisse ainsi que pour son exportation. Les matériaux possèdent des propriétés caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et techniques. La plupart de ces propriétés se modifient sous l'influence de paramètres extérieurs tels que la température, l'environnement chimique ou biologique, les forces physiques ainsi que les champs électriques et magnétiques environnants. Le passé démontre que lors du développement d'applications traditionnelles de matériaux, le challenge était de surmonter ou au moins limiter ou compenser cette dépendance des propriétés de matériau. Néanmoins, les détecteurs et les techniques de mesures utilisent l'influence des paramètres extérieurs afin de créer un signal réponse. Pour des matériaux adaptatifs, cet effet des paramètres extérieurs est utilisé pour adapter un matériau ou combinaison de matériaux afin d'atteindre l'auto-contrôle d'un processus grâce à un actionneur. Le Programme national de recherche PNR 62 intitulé "Matériaux intelligents" a pour but d'aller bien au-delà de ces approches traditionnelles ; il désire promouvoir le développement de nouveaux matériaux intelligents capables de modifier leurs propriétés très sélectivement et de manière réversible sous l'influence de stimuli extérieurs. De tels matériaux "intelligents" peuvent prendre aussi bien le rôle d'un senseur que d'un actionneur, qui sont régulés par une fonction réponse continue et simultanée.

Le PNR 62 promeut la conception de nouveaux matériaux adaptatifs, leur synthèse ainsi que l'investigation de leurs propriétés électromagnétiques, thermo-mécaniques, optiques ou biocompatibles en fonction de stimuli extérieurs spécifiques. Ce programme stimulera non seulement le développement de combinaisons de matériaux pour de nouvelles fonctionnalités, mais aussi la modélisation et la simulation de leurs propriétés. Une attention toute particulière sera donnée au développement d'applications en s'axant principalement sur les prochains besoins durables de la société : énergie, mobilité et environnement, matériaux d'ingénierie et fonctionnels, santé, tout en incluant les aspects de la sécurité et de la fiabilité. Un tel développement de nouveaux matériaux adaptatifs et de systèmes intelligents basés sur de nouvelles propriétés microscopiques et macroscopiques et encourageant un travail aussi bien à plusieurs niveaux qu'interdisciplinaire entre la physique, la chimie, la biologie et les sciences de l'ingénieur renforcera l'exploitation du potentiel d'innovation par l'industrie et la société suisse.

Le PNR 62 dispose d'une enveloppe financière de CHF 11 millions et sera exécuté en tant que programme coopératif entre le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) et l'Agence pour la promotion de l'innovation CTI. Le financement du FNS se déroulera en deux phases. Durant la première phase, qui durera trois ans, des projets seront sélectionnés principalement selon leur qualité scientifique. Dans la seconde phase, seuls les projets de la première période comportant un haut potentiel d'applications et de transfert à succès recevront un support financier par le FNS pour une période supplémentaire de deux ans. Pour la suite, le programme prévoit aussi une troisième phase sous les auspices de la CTI, où les projets couronnés de succès lors des deux premières phases pourront être poursuivis en tant que projets de la CTI avec coopération industrielle.

2. Introduction

2.1 Toile de fond

L'utilisation de matériaux et de combinaisons de matériaux sous différentes formes (volume, surface, film/membrane, poudre et autres petites structures) est principalement fondée sur les propriétés spécifiques qu'ils possèdent dans ces conditions-là. Un important développement récent a été la découverte de propriétés particulières et nouvelles que des matériaux peuvent atteindre grâce à une nanostructuration et des phénomènes quantiques. Cependant, ces propriétés caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et techniques des matériaux et systèmes sont souvent sensibles aux changements de l'environnement physique, chimique et biologique, c'est-à-dire qu'ils répondent à des stimuli extérieurs. Cette dépendance peut apparaître comme un effet perturbateur (par ex. dilatation et courbure des rails de chemin de fer durant un été très chaud) mais aussi comme un avantage technique utile (dilatation et courbure d'un commutateur thermique bimétal). Pour beaucoup d'applications traditionnelles de matériaux, le challenge résidait dans le fait de surmonter ou au moins limiter ou compenser cette dépendance des propriétés de matériaux aux paramètres extérieurs. Par contre, les détecteurs et les techniques de mesure utilisent l'effet des paramètres extérieurs sur les caractéristiques des matériaux pour créer un signal réponse. D'autres domaines, où l'effet des paramètres extérieurs sur les propriétés des matériaux est déjà activement utilisé, comprennent l'application de matériaux adaptatifs ou combinaison de matériaux comme actionneurs afin d'atteindre un auto-contrôle d'un processus. Pourquoi ne pas aller plus loin et inventer des matériaux capables de créer une réponse importante, même radicale, à quelques propriétés de matériaux spécifiques afin de stimuler des paramètres extérieurs qui pourraient ensuite être utilisés pour la création de structures intelligentes capables d'adaptation automatique aux conditions environnementales changeantes et possédant ainsi aussi bien des capacités de senseurs que d'actionneurs ?

C'est ici que le Programme national de recherche 62 "Matériaux intelligents" (PNR 62) entend initier un développement majeur. Le potentiel d'innovation de matériaux adaptatifs est très grand, en particulier lorsque des matériaux adaptatifs sont combinés avec d'autres matériaux en des structures et systèmes intelligents à hautes fonctionnalités spécifiques. La maîtrise de matériaux aux propriétés nouvelles ainsi que de combinaisons intelligentes de tels matériaux peut donner un avantage compétitif clé à l'industrie suisse, en particulier dans les secteurs industriels tels qu'horloger, équipement de machines et électrique, technique médicale et pharmaceutique, secteur énergétique ainsi que l'industrie des technologies de construction, ce qui renforcerait ainsi leur compétitivité globale.

En vue de telles opportunités, le Conseil fédéral suisse décida le 28 novembre 2007 de lancer le PNR 62, et le Fonds national suisse pour la recherche scientifique (FNS) était mandaté de son implémentation. Pour la durée planifiée de cinq ans, une enveloppe financière de CHF 11 millions existe. Le Conseil national de la recherche élit un Comité de direction et le mandata de l'élaboration du plan d'implémentation présent basé sur l'esquisse du programme (FNS, août 2007) et l'étude de faisabilité (FNS, avril 2007). Le Comité de direction commença son travail le 3 juillet 2008. Le plan d'implémentation a été approuvé par le chef du Département fédéral de l'intérieur le 17 octobre 2008.

Dans le cadre du PNR 62, une recherche visionnaire combinée à des applications innovantes en utilisant des approches interdisciplinaires devrait conduire à une recherche couronnée de succès et au développement de nouveaux matériaux intelligents, c'est-à-dire à des matériaux à haute performance, qui possèdent des fonctions spéciales et qui réagissent adaptivement et de manière réversible à des stimuli environnementaux variables. Afin de prendre en compte les exigences scientifiques et l'orientation pratique distincte, le PNR 62 sera implémenté et mis en oeuvre comme un programme coopératif entre le FNS et l'Agence pour la promotion de l'innovation CTI.

Le PNR 62 s'adresse simultanément aussi bien aux chercheurs des sciences naturelles et de l'ingénieur qu'à ceux des sciences de la vie, ce qui englobe la physique, la chimie, la science des matériaux, la biologie, la pharmacie, la médecine, la science et l'ingénierie de l'environnement, l'ingénierie mécanique et électrotechnique.

2.2 La recherche au niveau national et international

La Suisse est bien préparée pour le lancement d'un programme axé sur des matériaux intelligents. Un travail préparatoire dans différents programmes achevés (par ex. PNR 47 "Matériaux fonctionnels supramoléculaires", TOP NANO 21) a non seulement conduit à une augmentation de compétence scientifique, mais aussi à la création de "briques" fondamentales de matériaux intelligents.

Un nombre significatif de groupes de recherche suisses de grande réputation internationale dans les instituts du domaine des EPF, dans les facultés des sciences des universités et dans les hautes écoles axent une part de leurs efforts de recherche sur des matériaux intelligents. Le potentiel suisse de recherche et d'applications de matériaux intelligents est hautement prometteur. Ce fait est documenté par les institutions suivantes, ainsi que les initiatives actuelles ou ayant déjà débuté :

- Pôle de recherche national (PRN) "Nanosciences" ;
- Pôle de recherche national (PRN) "Matériaux avec propriétés électroniques exceptionnelles" (MaNEP) ;
- Programme national de recherche PNR 64 "Chances et risques des nanomatériaux" (débutera en 2009) ;
- Competence Centre for Materials Science and Technology (CCMX) du domaine des EPF ;
- nano-tera.ch - the Swiss initiative in engineering and information technology for health and security of the human being and the environment ;
- Swiss nanoscience Institute (SNI) à Bâle ;
- Micro- and Nano Science Platform ETH (MNSP) ; Materials Research Centre ETH (MRC) ;
- Institut Adolphe Merkle (AMI), Fribourg Centre for Nanomaterials (Frimat) à Fribourg.

À l'échelle internationale, la recherche dans ce domaine évolue rapidement. Plusieurs pays industrialisés ont reconnu l'importance future des matériaux intelligents en

science et en technologie, et promeuvent activement la recherche par des programmes spéciaux :

Europe : la recherche en matériaux était un important thème dans le sixième programme cadre (FP6), et cela continue d'être le cas dans le FP7. Bien que les sujets "Matériaux fonctionnels", "Matériaux multifonctionnels" et "Matériaux intelligents" apparaissent explicitement dans les appels et les descriptions de projets, l'orientation de cette recherche va plutôt en direction de matériaux comportant des propriétés à application spécifique qui sont prédéfinies et qui ne changent pas en réaction à un changement de paramètres. Étonnement, ceci est aussi vrai quant à la feuille de route préparée par la Plateforme Technologique Européenne ETP-EuMaT, qui se concentre plutôt sur "Des matériaux multifonctionnels nouveaux pour applications multisectorielles dans des conditions opérationnelles très difficiles". En conséquence, les matériaux de base privilégiés sont intermétalliques, des composites métal-céramique et des matériaux progressifs fonctionnels/multicouches fonctionnelles.

Cela signifie qu'au niveau européen, les programmes de recherche en matériaux ne se concentrent pas particulièrement sur des "matériaux intelligents", comme c'est le cas dans ce PNR-ci, où "l'intelligence" consiste en la capacité des matériaux à une réaction adaptée, et souvent réversible, à des modifications de paramètres et conditions environnementaux.

Allemagne : plusieurs organisations de financement allemandes pour la recherche fondamentale et appliquée ont exprimé le besoin croissant de développement de matériaux intelligents pour des applications très différentes telles que les microfluides, les actionneurs, les biosenseurs, les matériaux d'ingénierie ainsi que la technologie énergétique et médicale. Un appel d'offre détaillé similaire au PNR 62 combinant le spectre entier des sciences de la vie et des matériaux n'existe pas encore. La Fondation de Recherche Allemande (DFG) a initié plusieurs programmes de recherche prioritaires, où des matériaux intelligents spécifiques, adaptés pour des applications spécifiques jouent un rôle important, dont par ex. des hydrogels intelligents, des microfluides électro- et magnétorhéologiques et des thermoélectriques nanostructurés. Le DFG ainsi que le Ministère fédéral de l'éducation et la recherche (BMBF) financent la recherche en adaptronique pour des applications d'ingénierie. L'adaptronique et les matériaux intelligents continuent d'être des sujets de recherche importants dans plusieurs instituts Fraunhofer. En 2004, la Fondation allemande pour la recherche industrielle a initié le financement de "Matériaux intelligents pour des applications innovatrices", incluant la recherche des polymères adaptifs, des cell chips et des composants optiques. Le programme prioritaire WING "Innovations de matériaux pour l'industrie et la société" financé par le BMBF, qui a débuté en 2004, avait pour but de combiner la science des matériaux avec l'ingénierie chimique et la nanotechnologie afin de créer des matériaux multifonctionnels. Le thème WING "Matériaux intelligents - contrôle sans contrôle électronique" est listé parmi les dix meilleurs sujets de recherche WING. En 2008, le BMBF a annoncé le financement de matériaux intelligents tels que polymères électroactifs et thermoélectriques dans le cadre de WING.

France : l'Agence nationale de la recherche (ANR) française a lancé en 2006, 2007 et 2008 des programmes orientés en science et technologie des matériaux. L'appel d'offre de 2008 est intitulé "Programme matériaux fonctionnels et procédés innovants" et

inclut dans le module "Fonctionnalités et matériaux associés" des matériaux intelligents.

Japon : La "New Energy Development Organisation" (NEDO) initia un programme de recherche et de développement d'une durée de cinq ans sur des matériaux intelligents, qui se termina en 2005. Plusieurs nouveaux matériaux ont ainsi été créés pour des composants sensoriels comme par ex. les nanotubes de carbone. L'expérience a montré que la génération d'une forte réponse, assez forte non seulement pour détecter, mais aussi pour actionner, reste la difficulté majeure. Le "National Institute for Materials Science" (NIMS) continue ses efforts de développement.

USA : Au contraire des programmes cadres européens, les deux organisations majeures de financement pour la recherche fondamentale et appliquée aux Etats-unis, le "National Science Foundation" (US-NSF) et le "Defense Advance Research Projects Agency" (DARPA) insistent sur l'importance des matériaux intelligents adaptatifs. Des projets de recherche correspondants sont explicitement encouragés dans plusieurs programmes de recherche actuels, liés aux sciences de l'ingénieur, la chimie, la construction, la physique, la biologie et la science des matériaux, de même que dans l'ingénierie civile et mécanique. Néanmoins, le US-NSF n'a pas encore essayé de se concentrer sur une recherche interdisciplinaire dans le domaine des matériaux intelligents ; le financement de la recherche a plutôt lieu indépendamment dans les différents conseils du US-NSF.

La situation est cependant différente pour le DARPA : de par les grandes applications militaires potentielles des matériaux intelligents, deux programmes importants traitent ce sujet comme thème de recherche indépendant, qui sont le "Smart Materials and Structures Demonstration Programme" et le "Compact Hybrid Actuators Programme". Un grand champ d'applications est investigué, couvrant des thèmes aussi divers que l'étouffement sonore de torpilles, des ailes intelligentes adaptatives ("morphing"), des matériaux ressemblant aux muscles, des valves fluides intelligentes et des actionneurs en polymères mous électro-actifs. Il est reconnu que "bien que les efforts en matériaux et structures intelligentes ont été importants, ils n'ont jusqu'à présent touché que la surface". C'est pour cette raison que le DARPA continue son investissement en recherche dans des domaines qui auront un impact direct ou indirect sur les matériaux intelligents.

Le PNR 62 devrait clairement bénéficier des connections internationales et l'intégration dans un réseau international est d'une très grande importance, aussi bien au niveau de projet que de programme.

3. Buts du programme de recherche

Ce PNR 62 est un programme de coopération notable et unique entre le FNS et la CTI ; il s'efforce non seulement de promouvoir l'excellence scientifique, mais aussi le succès dans l'exploitation industrielle de matériaux intelligents et leurs applications. Grâce à une implication précoce de partenaires industriels, une relation interactive prendra place entre une idée scientifique et une application pratique verra le jour, remplaçant ainsi le transfert plus traditionnel à savoir linéaire séquentiel de projets.

L'axe principal du PNR 62 est l'encouragement d'idées scientifiques originales et de leurs applications, où les projets n'envisageant qu'une amélioration supplémentaire de l'état actuel de la technique ne sont pas soutenus. Les deux types de projets du PNR 62 sont a) des projets à potentiel d'application prédictible, où déjà au début du projet un scénario pour l'exploitation industrielle peut être établi, et b) des projets exploratoires "hauts risques - grandes retombées" (voir chap. 4.4 et 7.1).

Les buts à atteindre à la fin du PNR 62 sont les suivants :

- Le volume de projets en continuation, aussi co-financés par l'industrie, se monte au moins au montant du budget du financement annuel du PNR 62.
- Plusieurs compagnies start-up ont été/sont en train d'être fondées à partir des résultats de recherche du PNR 62.
- Le PNR 62 est un modèle de référence à succès pour des collaborations futures entre le FNS et la CTI.
- La recherche en matériaux intelligents en Suisse aura surpassé une grandeur critique et sera internationalement reconnue et hautement renommée.

Afin d'atteindre ces buts, les mesures suivantes devront être prises :

- Durant la sélection des projets, une insistance sans compromis de la meilleure qualité scientifique et de haut potentiel d'applications innovatrices.
- Déjà au début du projet de recherche, demande d'un scénario d'exploitation industrielle en cas d'achèvement du projet avec succès.
- Intégration très précoce de partenaires industriels, agissant en tant que coaches dans une première phase, pour l'évaluation du potentiel du marché et des spécifications et pouvant ordonner de possibles "arrêts de jeu" ; dans une phase ultérieure, les coaches deviennent des partenaires du projet pour l'exploitation industrielle.
- Support actif des chercheurs par les membres du Comité de direction du PNR 62 pour la recherche de partenaires adéquats.
- Création d'une catégorie particulière de projets spéculatifs et hautement originaux.
- Structuration claire du programme avec sélection rigoureuse : après trois ans, seuls les projets dont les potentiels d'application et d'exploitation auront été confirmés, continueront d'être financés (voir chap. 6).
- Inclusion d'experts CTI pour l'évaluation des projets, pour la recherche de partenaires et pour le soutien des chercheurs.

- Opération interdisciplinaire, aussi bien latéralement entre les diverses disciplines scientifiques que verticalement, entre la recherche et l'exploitation.

Les résultats des études de problèmes fondamentaux ou orientés vers l'application permettront le développement de matériaux et de structures prototypiques, qui démontreront non seulement l'applicabilité de ces technologies dans différents secteurs industriels et identifieront les avantages potentiels, mais aussi détermineront les problèmes ou risques de ces technologies. Le PNR 62 entend lier les compétences et ressources disponibles dans plusieurs institutions de recherche en Suisse. La recherche fournira des technologies requises pour a) le développement de matériaux intelligents, et b) l'application de structures et systèmes intelligents, tous les deux dans des secteurs d'importance stratégique pour l'industrie suisse. Des implémentations de processus, une fiabilité des systèmes, une optimisation fonctionnelle et financière sont quelques aspects qui doivent être examinés à cette fin. En outre, les projets du PNR 62 devraient prendre en considération les aspects fondamentaux de la protection de la santé et de l'environnement.

4. Principaux thèmes de recherche

Le travail de recherche du PNR 62 est fondé sur la définition suivante :

« Les matériaux intelligents réagissent à des stimuli extérieurs par des modifications réversibles de propriétés sélectives. »

Le PNR 62 se concentre sur des matériaux intelligents avancés et sur une intégration de système à bas niveau et inclut des modélisations et simulations numériques de même que des technologies de traitement. « Embedded microsystems », une intégration de système à haut niveau, un traitement de signal et des améliorations de matériau incrémentales ne font pas partie du PNR 62.

Les matériaux et combinaisons de matériaux atteignent leurs propriétés spécifiques dans les formes de matériau telles que volume, surface/interface, film/membrane, poudre, colloïdes et différentes autres petites structures. Plusieurs nouveaux matériaux atteignent des propriétés particulières grâce à une nanostructuration et des phénomènes quantiques.

- Exemples de nouvelles propriétés de volume et applications :
Piézoélectricité sans plomb, effet à mémoire de forme thermique ou magnétique, transitions de phase (par ex. ordre magnétique), absorption de lumière saturable semi-conductrice, matériaux intelligents pour amortissement acoustique et vibrationnel, gels adaptifs, conductivité électronique et ionique.
- Exemples de nouvelles propriétés de matériaux intelligents en surface/interface et applications :
Ségrégation et composition chimique de surface contrôlable, friction et corrosion, magnétisme de surface, couleur, réflectivité, adsorption commutative, mouillabilité et adhésion (liaison et séparation sur commande), hydrophobicité/hydrophilicité.
- Exemples de nouvelles propriétés de matériaux de films fins et membranes intelligents, et applications :
Matériaux et membranes barrière avec porosité et perméation contrôlable, recouvrements avec adaptation automatique de transmission et réflexion ou friction, photopolymères.
- Exemples de nouvelles propriétés de matériaux de poudres intelligentes et propriétés :
Nouveaux fluides magnéto- et électro-rhéologiques, encapsulation soluble, surface fonctionnalisée, lubrifiants intelligents pour friction et tribologie contrôlable.
- Exemples de systèmes intelligents et applications :
Combinaison de matériaux intelligents et composants passifs qui produisent assez d'énergie non seulement pour des senseurs, mais aussi pour des actionneurs et des structures adaptives ; composites de fibres actives ; polymères électroactifs ; surfaces aéro- et hydrodynamiques adaptives ; systèmes de sécurité et d'identification interactive ; systèmes de matériaux adaptifs amortissant les vibrations et absorbant les chocs ; systèmes auto-guérissants/réparateurs ; peau tactile et autre matériau du corps intelligent ; muscles artificiels par ex. pour mimétisme de marche et de vol d'insectes.

- Exemples de stimuli extérieurs :
Champs et forces telles qu'électriques statiques et dynamiques et champs magnétiques, tout en incluant la lumière, forces mécaniques (déformation, tension-contrainte, pression) de même qu'environnementales, paramètres chimiques ou biologiques tels que température, adsorbants et produits chimiques, potentiels électrochimiques, communications cellulaires et signaux biologiques de même que la reconnaissance moléculaire.

4.1 Module 1 : Energie, mobilité et environnement

Recherche et développement de matériaux et systèmes intelligents pour une génération, une transformation, un stockage et une utilisation d'énergie plus efficace et durable

Atteindre un équilibre durable entre la consommation d'énergie pour les besoins de notre société en ce qui concerne les transports/mobilité, le confort d'habitation et les technologies de traitement, et la protection de notre environnement, représente le challenge le plus important et le plus difficile pour les années à venir. Il est évident que des solutions aux questions les plus urgentes ne seront pas seulement d'importance environnementale, politique et sociale, mais apporteront aussi un avantage significatif de compétitivité à l'industrie suisse. Dans cette optique, la recherche et le développement de matériaux intelligents pour des technologies énergétiques efficaces dans des grands et petits composants (par ex. portables) sont par exemple envisagés dans ce module. D'autres domaines pourraient concerner le besoin de matériaux nouveaux pour des matériaux et membranes de barrière intelligents avec des propriétés de porosité et perméation contrôlable, ou le développement de miroirs commutatifs et de vitres intelligentes avec adaptation automatique de transmission et de réflexion dans un large domaine spectral, développements qui pourraient même être combinés avec l'utilisation photovoltaïque de la lumière, ou la possibilité d'atteindre une friction contrôlable grâce à une lubrification intelligente, pour n'en nommer que quelques-uns.

4.2 Module 2 : Matériaux techniques et fonctionnels

Développement de structures et composants possédant des fonctions spécifiques fondées sur des matériaux et combinaisons de matériaux intelligents à composants passifs

Un challenge particulier consiste en l'assemblage de matériaux intelligents et de composants passifs afin d'obtenir des structures actives capables, sans apport énergétique extérieur supplémentaire, de posséder des fonctions non seulement de senseurs, mais aussi d'actionneurs. De tels composants permettront un contrôle de systèmes automatiques sûrs et fiables ainsi qu'une adaptation aux conditions environnementales changeantes. D'importants progrès ont déjà été effectués concernant les propriétés fonctionnelles spécifiques, la modélisation, la simulation, le contrôle, l'optimisation structurelle et les technologies de traitement des matériaux. Le PNR 62 soutient la recherche technique interdisciplinaire nécessaire afin d'établir un lien entre l'environnement académique et les applications industrielles en vue d'une optimisation multidisciplinaire et multi-objective, d'algorithmes d'optimisation, d'une conception de structures multi-composites, d'une interaction fluide-structure, d'une

analyse statique et dynamique non linéaire, d'une conception et d'une optimisation de systèmes accommodants de même que pour une élaboration de critères quant à la fiabilité, l'intégrité mécanique et l'évaluation du temps de vie.

4.3 Module 3 : Santé

Matériaux et systèmes intelligents pour la santé, la performance et le confort de composants biomédicaux et orthopédiques, les implants, les textiles et composants clé pour une médecine personnalisée en diagnostique et thérapie, ainsi que pour le contrôle de chaleur et d'humidité

Les coûts de notre système de santé explosent en raison de l'énorme changement démographique actuel dans notre société ainsi que du mode de vie fondamentalement différent dû à l'industrialisation et les attentes du publique quant à une augmentation continue de qualité de vie. Il est envisagé que seul des efforts concertés de toutes les personnes impliquées peuvent accompagner ce développement grâce à la médecine 4P du futur (personnalisée, prédictive, préventive, participative). Les buts majeurs de la médecine 4P incluent le diagnostique, le traitement et la prévention des maladies et blessures traumatiques, la création, le rétablissement et le renforcement des structures du corps humain et de son mécanisme de défense, de même que le soulagement de douleurs chroniques et aiguës. De tels buts peuvent être atteints si une grande sélection de matériaux spécifiques interagissent de façon adaptée avec le corps à long terme. La disponibilité de matériaux intelligents aura un impact majeur sur la médecine 4P, ainsi que sur le futur de la santé de notre société. Ce module supportera non seulement des projets à contenu directement pharmaceutique et médical, mais stimulera aussi le développement de matériaux et systèmes intelligents en incluant des textiles utiles à la santé dans un large contexte tels que par exemple des habits à régulation de chaleur et d'humidité, des matériaux d'encapsulation réceptive et adaptative et des matériaux d'emballage pour médicaments ou nourriture.

4.4 Module 4 : Matériaux intelligents nouveaux

Recherche exploratoire de matériaux sans champ d'applicabilité fixe, aspirant à la découverte de matériaux intelligents nouveaux à propriétés extraordinaires

Alors que les modules un, deux et trois se concentrent sur des projets à potentiel d'application prédictible dans des domaines bien définis d'importance stratégique pour l'industrie et la société suisse, et où un scénario pour une exploitation industrielle peut déjà être établi en début de programme, le quatrième module est destiné à des projets d'exploration et des projets de recherche exploratoire "grand risque-grandes retombées" sans un champ fixe d'applicabilité (voir chap. 3 et 7.1). Ce module aspire à la découverte de matériaux intelligents nouveaux possédant des propriétés extraordinaires basées sur des approches et des concepts nouveaux. Les matériaux d'intérêt particulier sont capables de générer des rapports réponse-énergie qui permettent non seulement des applications dans le domaines des senseurs, mais aussi des actionneurs.

5. Utilité pratique et public-cible

Les matériaux intelligents appartiennent clairement aux technologies clé du 21^{ème} siècle. Ceci est dû à l'interaction entre les propriétés, la conception et la forme d'un matériau, de même que sa réponse aux influences extérieures changeantes. Dès que ces dépendances sont connues et comprises, il devient possible de réaliser des matériaux offrant des comportements de mémoire, d'adaptation autonome et délibérée de même que spécifiques à une application. De tels matériaux intelligents sont largement applicables dans l'ingénierie environnementale, le transport, la sécurité et la fiabilité, dans la technologie énergétique, dans l'ingénierie et la construction civile, dans la technologie de communication de même que dans les sciences de la vie et la santé ; pour toutes ces raisons, les matériaux intelligents sont d'une très grande importance économique et sociale à long terme.

Le savoir nécessaire existe dans la communauté de recherche suisse et est distribué dans un nombre de départements et d'instituts de chimie, physique, science des matériaux, biologie, ingénierie mécanique et de médecine des différentes institutions du domaine des EPF (ETHZ, EPFL, PSI, EMPA), les universités de Bâle, Berne, Fribourg, Genève, Neuchâtel et Zürich, dans plusieurs hautes écoles de même que le CSEM. Ceci illustre déjà la nature hautement interdisciplinaire du PNR 62 et le lien étroit nécessaire entre la recherche fondamentale, appliquée R&D et l'exploitation technologique. Ainsi, nous pouvons aussi attendre du programme qu'il promeuve non seulement la recherche dans un des domaines technologiques clé, mais aussi favorise l'enseignement de la recherche interdisciplinaire et à l'interface de la recherche fondamentale et l'application industrielle.

La portée pratique des matériaux intelligents est clairement démontrée par plusieurs produits commerciaux disponibles tels que verres phototropiques, fenêtres intelligentes, administration médicamenteuse ciblée grâce à des nano-transporteurs spécifiques, de même que par un nombre de compagnies et d'associations industrielles.

Le potentiel du marché éventuel de produits à haute performance basés sur des matériaux intelligents est énorme, ce qui induit une grande visibilité de la Suisse qui est de la plus grande importance nationale. En plus de l'avancement scientifique qui débouchera de ce programme, le PNR 62 renforcera la position de la Suisse comme centre pour l'innovation en haute technologie, améliorant ainsi la recherche interdisciplinaire et établissant de nouvelles compétences.

Il n'est pas attendu que des produits directement commercialisables résultent du PNR 62. Cependant, l'intense recherche et la phase de développement effectuées dans le cadre du PNR 62 formeront la base pour la continuation de quelques projets qui deviendront des projets CTI, dans lesquels des produits hautement prometteurs seront développés en étroite collaboration avec des partenaires industriels.

6. Exécution du programme

Le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) exécutera le PNR 62 en coopération avec l'Agence pour la promotion de l'innovation CTI. Le PNR 62 sera divisé en trois étapes.

Dans les phases une et deux, les projets de recherche seront financés par le FNS. Dans la première phase, qui durera trois ans, le PNR sera ouvert à l'inconnu et des projets à hauts risques pourraient aussi être acceptés. Dans la deuxième phase, qui ne durera pas plus de deux ans, le FNS ne soutiendra plus que les projets à haut potentiel d'application pratique et qui pourront devenir des projets à coopération industrielle financés par la CTI. Dans la troisième phase, les projets restants orientés vers une application devront se convertir en des projets CTI, projets qui seront financés par la CTI et des compagnies industrielles suivant les règles de la CTI.

Le transfert d'un projet PNR 62 en un projet à collaboration industrielle financé par la CTI peut avoir lieu à tout moment, si les progrès du projet le permettent.

7. Procédure de dépôt des requêtes

Le plan d'exécution ainsi que les formulaires, règlements et directives pour le dépôt d'une requête via le portail *mySNF* sont disponibles sur le site web www.fns.ch.

Afin de permettre une meilleure harmonisation des projets et une fixation des priorités, une procédure de dépôt en deux étapes est appliquée : d'abord les esquisses de projet et ensuite les requêtes de recherche. Les esquisses et requêtes doivent être rédigées en anglais. Un groupe d'expertes internationales et d'experts internationaux sera consulté lors de l'évaluation des esquisses et des requêtes.

Les esquisses de projet et les requêtes doivent être soumises en ligne via le portail Web *mySNF*. Afin de pouvoir utiliser *mySNF*, un enregistrement préalable en tant qu'utilisateur ou utilisatrice sur la page d'accueil de *mySNF* (<https://www.mysnf.ch>) est nécessaire. Les comptes utilisateurs déjà activés sont valables et donnent un accès illimité dans le temps à tous les instruments d'encouragement du FNS. Les nouveaux comptes utilisateurs doivent être sollicités au plus tard 14 jours avant le délai de dépôt afin de pouvoir soumettre électroniquement les documents en temps voulu. L'envoi des documents par courrier postal n'est possible que dans des cas exceptionnels après accord du FNS.

Les esquisses de projets et par la suite les requêtes de recherche doivent être soumises selon les directives du Fonds national et se limiter à une durée de 36 mois au maximum.

Une collaboration avec des groupes de recherche internationaux est souhaitée lorsqu'une valeur ajoutée peut être obtenue par le biais d'une coopération étrangère ou lorsque la recherche suisse peut être enrichie au niveau de la méthode et du contenu par un apport étranger. Il existe un accord DACH spécialement prévu à cet effet avec la « Deutsche Forschungsgemeinschaft » (DFG) et le « Wissenschaftsfonds » en Autriche (FWF). Cet accord prévoit deux options de financement des projets avec des partenaires allemands et autrichiens, à savoir l'option « Money follows cooperation line » et l'option « Lead agency ». La procédure de financement de la partie étrangère est discutée au moment du dépôt de la requête avec les personnes concernées.

Les bénéficiaires des subsides versées par le FNS ne paient pas de TVA (art. 33, alinéa 6, lettre c LTVA), étant donné que ce dernier n'attribue pas de mandats de recherche dans le cadre du programme, mais uniquement des contributions pour promouvoir la recherche scientifique en Suisse.

7.1 Esquisses de projet

Les esquisses de projet doivent être déposées au plus tard le 30 janvier 2009. Elles doivent présenter un résumé du projet de recherche prévu et contenir les informations suivantes :

A soumettre directement via le portail *mySNF* :

- Données de base et résumé
- Collaboration sur le plan national et international
- Estimation des coûts en personnel et matériel (budget)

A joindre en tant que description du projet (document PDF) :

- Thème de recherche et but du projet
- Etat de la recherche
- Méthodologie
- Calendrier et étapes-clés
- Utilité escomptée et potentiel d'application des résultats, risques à prendre en compte
- Liste des cinq principales publications dans le domaine de l'esquisse
- Liste des cinq publications et/ou brevets les plus importants du requérant ou de la requérante

L'esquisse de projet doit déjà présenter des scénarios possibles pour une valorisation industrielle réussie. Elle doit en outre comprendre une estimation des chances de succès du projet dans le cadre fixé. Le Comité de direction donnera bien entendu moins de poids à ces aspects lors de l'évaluation de projets innovateurs présentant un risque accru (voir le chapitre 3 et 4.4).

Il faut expliciter dans l'esquisse de projet quel genre de coopération avec des partenaires industriels est prévue dans les différentes phases du projet (par ex. partenaire pour l'évaluation des chances sur le marché, partenaire de validation, partenaire d'application pour la confection du produit).

Pour la description du projet, il faut utiliser le document Word mis à disposition sur *mySNF*. Il doit être rempli en anglais et le document prêt, à remettre en fichier PDF, ne doit pas dépasser six pages. Un curriculum vitae succinct doit également être joint (2 pages au max.).

Les esquisses de projet reçues sont ensuite examinées par le Comité de direction qui prend la décision finale avec l'avis d'expertes internationales et d'experts internationaux sur la base des critères énumérés ci-dessous.

7.2 Requêtes de recherche

Lors d'une deuxième étape, le Comité de direction invite les auteurs, dont l'esquisse a été retenue pour être développée, à soumettre une requête de recherche. Les requêtes doivent être soumises en anglais directement via le portail *mySNF* conformément aux directives du Fonds national suisse.

Les requêtes de recherche seront également évaluées internationalement. Les requérant-e-s seront ensuite invité-e-s à présenter leur projet au Comité de direction. A cette occasion, des détails spécifiques des requêtes devraient être discutés de ma-

nière approfondie et des problèmes clarifiés. Le Comité de direction décide ensuite quelles requêtes de recherche seront soumises pour approbation ou rejet au Conseil de la recherche (Division IV ; Présidence).

7.3 Critères de sélection

Une recherche couronnée de succès et le développement de matériaux intelligents, c'est-à-dire de matériaux fonctionnels à haut rendement, dans lesquels des fonctions multidimensionnelles de réponse sont liées, exigent une approche interdisciplinaire avec une recherche fondamentale visionnaire combinée à une recherche innovante orientée vers l'application. La motivation peut être ancrée aussi bien dans une problématique technique actuelle que dans la recherche créative de possibilités d'application de nouveaux matériaux et phénomènes.

L'évaluation des esquisses de projet et des requêtes de recherche se fait sur la base des critères ci-après :

- **Qualité scientifique et originalité** : Sur les plans théorique et méthodologique, les projets doivent correspondre au niveau actuel des connaissances et aux standards scientifiques internationaux de la recherche. Ils doivent également présenter une composante innovante et se démarquer clairement des projets en cours.
- **Faisabilité et conformité aux buts du programme du PNR 62** : Les projets doivent être conformes aux objectifs scientifiques et aux priorités décrits dans le plan d'exécution et s'inscrire dans le cadre général du PNR 62.
- **Interdisciplinarité et transdisciplinarité** : Les projets interdisciplinaires et transdisciplinaires sont expressément souhaités et seront évalués en conséquence. Des projets disciplinaires ne sont pas exclus s'ils correspondent aux objectifs du PNR 62.
- **Application et valorisation** : Les Programmes nationaux de recherche ont un mandat spécifique en matière de valorisation. Les projets clairement orientés vers la pratique sont donc considérés comme prioritaires.
- **Personnel et infrastructure** : Les travaux doivent pouvoir être réalisés dans un cadre adéquat sur le plan de l'infrastructure et du personnel.

Avant de procéder à l'expertise du contenu, le secrétariat de la Division IV effectue un examen formel (cf. Règlement des subsides du FNS). Les esquisses de projets et les requêtes de recherche ne remplissant pas les critères formels ne sont pas soumises à une expertise.

7.4 Calendrier et budget

Le calendrier du PNR 62 est le suivant :

Mise au concours publique	3 novembre 2008
Dépôt des esquisses de projet	30 janvier 2009
Invitation à soumettre des requêtes de recherche	mi-mai 2009
Date limite de soumission des requêtes de recherche	mi-août 2009
Décision finale relative aux requêtes de recherche	décembre 2009
Début des recherches	janvier 2010

Le PNR 62 dispose d'une enveloppe financière de CHF 11 millions. Les moyens disponibles seront probablement répartis entre les différentes activités comme suit :

Module 1	CHF 2,3 millions
Module 2	CHF 2,3 millions
Module 3	CHF 2,3 millions
Module 4	CHF 2,3 millions
Valorisation et administration	CHF 1,8 million

8. Acteurs

Comité de direction

Prof. Dr Louis Schlapbach, Directeur, Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche Empa, Dübendorf (Président)

Prof. Dr Martina Hirayama, Institutsleiterin, Institut für Material- und Verfahrenstechnik, School of Engineering, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Winterthur, et experte CTI

Dr Annick Loiseau, Laboratoire d'études des microstructures (LEM), Office national d'études et recherches aérospatiales (ONERA), Châtillon, France

Prof. Dr Rolf Mülhaupt, Institut für Makromolekulare Chemie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Deutschland

Prof. Dr Peter Seitz, Institut de microtechnique (IMT), Université de Neuchâtel, et Centre suisse d'électronique et de microtechnique SA (CSEM), Zürich

Dr Hansruedi Zeller, Consenec AG, Dättwil

Délégué du Conseil de la recherche

Prof. Dr Peter Schurtenberger, Adolphe Merkle Institut, Université de Fribourg

Coordinateur du programme

Dr Stefan Husi, Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), Berne

Chargé-e de la valorisation

N.N.

Observateur de l'administration fédérale

Dr Vincent Moser, Responsable du secteur „Promotion de projets recherche et développement“ de l'Agence pour la promotion de l'innovation (CTI), Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie (OFFT), Berne

Pour le Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche (SER), Berne

Dr Claudine Dolt, SER, Berne

Fonds national suisse
de la recherche scientifique
Wildhainweg 3
Case postale 8232
CH-3001 Berne
tél. +41 (0)31 308 22 22
fax +41 (0)31 305 29 70
E-mail nfp62@snf.ch
www.snf.ch
www.pnr62.ch

© 3 novembre 2008