

SATW Technology Outlook

Version française



SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

Sommaire

4	Executive Summary
6	Introduction
8	Considérations initiales
10	Synthèse des principales tendances internationales
13	Pertinence pour l'industrie suisse
14	Pertinence pour la société
16	Défis pour une sélection de branches industrielles suisses
18	Industrie pharmaceutique et chimique
21	Construction de machines et électronique, traitement des métaux et pièces de machines, instruments de précision
26	Horlogerie et bijouterie
29	Technique médicale
32	Secteurs où des percées technologiques sont attendues
34	Energie et transport
40	Technique de production et processus de fabrication
46	Santé
52	Technologie de l'information et de la communication (TIC)
58	Recommandations

Avant-propos

L'activité industrielle comprend des phases préliminaires: la nouvelle technique doit être comprise et évaluée; des plans doivent être élaborés, testés, débattus et adoptés; des appareils, des machines et des bâtiments doivent être construits ou achetés. Il s'écoule généralement plusieurs années entre la conception et la commercialisation d'un nouveau produit ou d'un nouveau processus de fabrication.

Il est donc primordial de fournir au plus tôt des «avertissements» qui soient les plus fiables possibles. A cet effet, la plupart des pays industrialisés et émergents élaborent des Technology Outlooks, autrement dit des recueils des technologies se profilant à l'horizon lesquels permettent, grâce une évaluation judicieuse, de formuler des recommandations d'action à l'attention de la recherche et du développement industriels ainsi que des hautes écoles apparentées. Les méthodes et approches utilisées sont très similaires.

Si «tout le monde» le fait, pourquoi ne pouvons-nous pas simplement copier les résultats des autres pays (concurrents) et nous épargner ainsi beaucoup d'efforts et de travail? Parce que les résultats varient d'un pays à l'autre – parce que les situations de départ sont différentes, mais également parce que les conditions et les opportunités locales sont différentes. Un cas simple pour un ingénieur: la prévision constitue un problème de valeur initiale dans lequel, selon le pays, différentes valeurs de départ ainsi que différents coefficients interviennent dans l'équation du problème. Les résultats peuvent donc diverger.

Chaque pays utilise donc son propre Technology Outlook. Mi-2013, la SATW s'est lancée dans l'élaboration d'un Technology Outlook pour l'économie de production suisse et vous présente ici les résultats obtenus. Nous espérons contribuer ainsi au développement de l'industrie suisse.

La science et la technique évoluent sans cesse. Par conséquent, un Technology Outlook n'est pas une tâche unique dont la solution restera valable à long terme, il doit être contrôlé et adapté à intervalles réguliers. La SATW se chargera volontiers de cette tâche.



Ulrich W. Suter, président de la SATW

Executive Summary

La Suisse dispose aujourd'hui d'un secteur industriel important qui représente environ 20 pour cent du produit intérieur brut. Sur une échéance de cinq à dix ans, on observe déjà de nouvelles technologies et de nouveaux processus ainsi que des changements dans les conditions de marché, qui sont considérés comme des défis fondamentaux pour les principales branches industrielles en Suisse. Les défis suivants ont été identifiés:

- Les entreprises de l'industrie chimique et pharmaceutique doivent s'affirmer dans un environnement commercial en pleine transformation. La capacité d'innovation demeure essentielle à la réussite économique. Les thèmes principaux sont la biologie synthétique et la biotechnologie, l'utilisation ciblée des principes actifs, les substances chimiques économes en énergie, les matériaux d'emballage actifs et les matériaux progressistes.
- Dans le secteur de l'industrie des machines, les processus de fabrication additive et le développement de matériaux adaptés doivent être maîtrisés. De plus, l'initiative «Industrie 4.0» annonce une numérisation complète de la chaîne de production et l'interconnexion de tous les appareils. La différenciation par l'automatisation, la flexibilité et la qualité sont considérés comme des éléments centraux du maintien de la compétitivité industrielle dans les pays à hauts salaires.
- Dans l'industrie de précision, le développement de matériaux ultra-durs, intelligents ou légers aux propriétés mécaniques et physiques exceptionnelles constitue une tendance importante. Les procédés de traitement et de mesure d'optique fine, la caractérisation biochimique sans contact de quantités d'échantillons et la mesure de surfaces constituent des axes de développement majeurs qu'il convient de maîtriser.
- Pour l'industrie de la technique médicale, il est important que le secteur de la santé connaisse des changements fondamentaux dans le monde entier, de l'approche curative principalement adoptée aujourd'hui à l'approche prédictive et préventive de la médecine 4P (personnalisée, prédictive, préventive, participative). Le recours multiplié à des technologies d'information modernes devient le principal moteur des technologies de rupture dans le secteur de la santé.

De manière générale, on remarque dans toutes les branches que les technologies de l'information et de la communication ouvrent la voie à de nouvelles opportunités commerciales ainsi qu'à de nouveaux produits et services novateurs. Une intégration et une interaction sans faille entre les personnes, les objets, les services et les systèmes sont en cours dans la vie quotidienne et dans les processus industriels. Cela vaut également pour les secteurs de l'énergie et du transport qui sont étroitement liés. Les mégatendances mondiales, comme l'urbanisation, la gestion intelligente de l'énergie et la promotion des ressources énergétiques durables engendrent une demande accrue de logiciels et de matériels dans le domaine de la surveillance des infrastructures critiques. Outre une grande utilité, de nouvelles menaces et vulnérabilités (par exemple aux cyberattaques) s'infiltrent dans le système et doivent être écartées.

Sur base de cette analyse, la SATW a dégagé les recommandations suivantes:

- La recherche et l'innovation dans le domaine des technologies économes en énergie et des systèmes intelligents autonomes doivent faire partie des priorités nationales. Dans le secteur de l'énergie et du transport, il est essentiel qu'un plus grand nombre d'unités de coordination agissent et que des mesures et des normes réglementaires adaptées soient créées pour pouvoir gérer les risques accrus en matière de cybersécurité de façon appropriée.
- L'évolution dans le domaine des technologies de l'information et de la communication implique d'avoir de nouveaux règlements et de renforcer la promotion de la recherche afin de garantir les droits de propriété relatifs aux données, la protection des données, la sécurité des données ainsi que la protection contre la manipulation, et d'ouvrir de nouveaux débouchés.
- Ensemble, les instituts de recherche et l'industrie suisses doivent renforcer le développement des matériaux et des processus pour les nouveaux processus de fabrication. Cela requiert une initiative de fabrication nationale.
- La collaboration entre la recherche universitaire et l'industrie au cours de la phase préparatoire axée sur la recherche, mais aussi pratique, du développement des technologies et des produits doit être renforcée par des mesures d'incitation financières. Il est nécessaire pour cela de discuter d'un soulagement financier pour les petites et moyennes entreprises.

Glossaire

AM	Additive Manufacturing (processus de fabrication additive)
BIM	Building Information Modelling
CTI	Commission pour la technologie et l'innovation
DSM	Demand-Side Management
ECG	Electrocardiogramme
EEG	Electroencéphalographie
FNS	Fonds national suisse
IoT	Internet of Things
IP	Instruments de précision
KET	Key Enabling Technology
MedTech	Technique médicale
OFS	Office fédéral de la statistique
PIB	Produit intérieur brut
PME	Petites et moyennes entreprises
R&D	Activités de recherche et de développement
SCP	Systèmes cyber-physiques
TI	Technologies de l'information
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TRL	Technology Readiness Level (niveau de maturité technologique)

Introduction

Depuis au moins les années 1980, un processus d'adaptation pénible et continu est en cours dans le secteur industriel. En 2014, selon l'Office fédéral de la statistique (OFS), ce secteur employait 230'000 personnes de moins qu'en 1975 (soit une baisse de 20 pour cent). En particulier dans l'industrie des machines, des équipements électriques et des métaux, de nombreux emplois ont disparu ou été délocalisés à l'étranger, même si ces derniers temps, plus d'emplois ont été créés que supprimés en Suisse et que la productivité de l'industrie a considérablement augmenté. Certes, la Suisse occupe une position de tête dans le Global Innovation Index, mais elle recule dans le domaine «Efficacité de l'innovation» et se classe modestement dans la catégorie «Environnement professionnel». En outre, le franc suisse fort pèse sur les bénéfices potentiels des entreprises et laisse peu ou pas de possibilités d'investissement dans la recherche et le développement, surtout pour les petites et moyennes entreprises (PME).

Des puissances économiques comme les Etats-Unis, l'Allemagne ou la Grande-Bretagne investissent désormais d'importantes ressources dans la (ré)industrialisation de leurs nations. Aux Etats-Unis, le président Obama a mis sur pied le programme «Advanced Manufacturing Partnership» en 2011. La Grande-Bretagne a lancé le programme CATALYT «High Value Manufacturing» et l'Allemagne s'engage activement dans l'initiative «Industrie 4.0».

Mais que fait la Suisse, pays habitué au succès, dans ce secteur-clé de l'industrie? Jusqu'à présent, la Suisse s'est fiée à sa législation libérale, à la clairvoyance de ses hautes écoles ainsi qu'à l'assiduité et à la flexibilité de ses travailleurs.

Quelles sont les évolutions qui se dessinent?

D'ici cinq à dix ans, on devrait percevoir des signes avant-coureurs de nouveaux processus et de nouvelles technologies dans le secteur industriel qui pourraient considérablement modifier le monde actuel. Généralement, les sociétés n'investissent dans les nouveaux processus qu'une fois leur importance commerciale avérée. Mais il leur est parfois impossible de rattraper une avancée technique qu'elles ont manquée. Alors que les grands groupes internationaux sont inévitablement confrontés à de telles évolutions, mais disposent généralement de moyens suffisants pour y faire face, la question de l'accès en temps utile au savoir-faire requis se pose avant tout pour les PME.

L'objectif du présent rapport est d'attirer l'attention des décideurs politiques et économiques suisses sur les évolutions qui se dessinent et leur énorme potentiel de changement. Le rapport se concentre délibérément sur les branches les plus importantes de l'industrie de l'exportation, qui sont exposées à un environnement international très compétitif.

Le présent rapport vise avant tout à identifier les défis technologiques pour la Suisse, autrement dit à se concentrer sur les thèmes ayant une importance particulière pour le développement continu de l'industrie, de la recherche et de la société en Suisse. Le rapport identifie les nouvelles technologies importantes qui s'imposent dans les branches-clés de l'industrie suisse et démontre quelles sont les conditions nécessaires pour les mettre en œuvre et les exploiter avec succès. D'autres facteurs tels que la culture de direction ou l'accès au capital-risque, qui affectent aussi largement la capacité d'innovation de l'industrie, ne sont pas abordés ici. L'importance fondamentale de la formation constitue le fil rouge du rapport: il est évident que les innovations, les développements et les défis multidisciplinaires anticipés dans les pages suivantes présupposent un besoin énorme en personnel et en ingénieurs hautement qualifiés tandis qu'en parallèle, le nombre d'emplois pour les personnes moins qualifiées ou peu au fait de la technique devrait encore diminuer. La Suisse affiche déjà un manque sévère de personnel qualifié dans les domaines de l'informatique, de la technique et de la construction. La promotion efficace des capacités et talents requis est donc d'une importance cruciale. Au cours des années à venir, il sera notamment nécessaire de fournir beaucoup plus d'efforts que par le passé afin de sensibiliser davantage les jeunes femmes aux professions techniques.

Quels sont les principaux défis sociaux?

Le chapitre «considérations initiales» propose, comme point de départ, une synthèse des résultats de rapports similaires du monde entier. Ceux-ci sont comparés aux principaux défis sociaux à venir qui ont été définis par l'UE (Horizon 2020) et confrontés aux branches les plus importantes de l'industrie de l'exportation suisse.

Le chapitre «défis pour une sélection de branches industrielles suisses» explique les besoins spécifiques de ces branches, ainsi que leurs points forts et leurs points faibles, et démontre quelles sont les révolutions technologiques escomptées dans ces secteurs et, par conséquent, où il convient d'intensifier les efforts. Il apparaît par ailleurs que certaines technologies-clés sont communes à toutes les branches.

Le succès futur de la recherche et de l'industrie suisses dépend essentiellement de la maîtrise de ces technologies-clés. Dans le chapitre «secteurs où des percées technologiques sont attendues», elles sont abordées séparément dans des environnements où elles peuvent participer à l'avènement d'innovations majeures; les mesures que l'on peut en déduire sont décrites en détail. Partant de là, le dernier chapitre formule des recommandations claires à l'attention des décideurs.



Considérations initiales





Synthèse des principales tendances internationales

A l'échelle mondiale, différentes organisations de renom tentent de se faire une idée de la pertinence de l'évolution technologique. Dans une première étape, des informations issues de différents rapports, publications et base de données internationaux ont été exploitées pour servir de base à ce rapport. Les principales sources utilisées sont les suivantes:

Forbes¹, IEEE², McKinsey³, le 8^e programme-cadre de recherche de l'UE (Horizon 2020) axé sur les défis sociaux et les **«Key Enabling Technologies»** (KET)⁴, les roadmaps du Fraunhofer Institut et d'autres institutions et réseaux similaires⁵, ainsi que le rapport de la Maison Blanche paru récemment sur les Big Data et l'**Internet of Things** (IoT).

Key Enabling Technology

Les technologies-clés sont des inventions ou des innovations qui créent de nouveaux domaines technologiques et entraînent un changement radical des compétences et des performances auprès des utilisateurs, voire même de civilisations entières. L'invention du moteur électrique, l'anesthésie, les avions, l'ordinateur et Internet en sont des exemples modernes.

Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Enabling_technology

Internet of Things (Internet des objets)

Décrit l'interconnexion d'objets physiques clairement identifiables qui communiquent et interagissent les uns avec les autres. Les objets comprennent une technologie intégrée pour la communication, la détection et l'actionnement. Le nombre croissant d'objets connectés via Internet augmente les possibilités d'envoyer, de recevoir, de collecter, d'analyser des informations et de réagir à des événements.

Systèmes cyber-physiques

Systèmes caractérisés par une connexion d'objets et de processus réels (physiques) avec des objets et processus (virtuels) de traitement d'informations via des réseaux d'informations ouverts, mondiaux et interconnectés à tout moment.

Source: programme de recherche intégré Cyber-Physical Systems. Munich: Acatech; 2012.

<http://www.acatech.de/?id=1405>

Big Data / Analyse Big Data

Du fait de la numérisation croissante, de gros volumes complexes de données structurées et non structurées sont générés et enregistrés. La technologie utilisée pour la collecte et l'exploitation de ces volumes de données est celle des «Big Data». Des méthodes d'analyse et des algorithmes sont nécessaires pour tirer des conclusions à partir de ces volumes de données collectées, lesquelles serviront ensuite de support aux prises de décisions.

Sur base de ce matériel, il est possible au niveau international d'identifier les six thèmes principaux suivants:

- 1. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) comme technologie transversale:** en particulier l'IoT, les **systèmes cyber-physiques** (SCP) et les technologies connexes (par exemple, les technologies sans fil et de détection) jouent ici un rôle déterminant. Dans ce contexte, les **Big Data** et les analyses de données sont essentielles à l'économie de demain. Les fonctions transversales sont liées en particulier aux applications et services TIC dans les domaines de la santé, du bien-être et de la qualité de vie, ainsi qu'à la gestion plus efficace des ressources énergétiques et des processus industriels. Par rapport aux technologies Internet et sans fil, la cyber-sécurité gagne également en importance non seulement en ce qui concerne les aspects de la politique de sécurité mais également la protection des droits civils et de la vie privée.
- 2. Les Smart Grids, les nouvelles sources d'énergie durables et le stockage d'énergie** sont des domaines prioritaires dans l'agenda politique et pour l'orientation future des activités de recherche et de développement.
- 3. Un système de santé durable pour une société vieillissante exposée aux changements démographiques:** l'e-health, la médecine personnalisée et la génomique peuvent servir de base à une réorganisation révolutionnaire de la politique de santé. Dans ce contexte, les sciences du vivant, un domaine dans lequel la Suisse s'est déjà engagée avec succès, semblent particulièrement importantes. En médecine, les systèmes autonomes peuvent promouvoir un changement de paradigme dans l'optique de soins de santé basés sur la prévention.

Smart Grids

Réseaux électriques qui intègrent intelligemment les actions de tous les acteurs du marché de l'électricité – producteurs, consommateurs, consommateurs-producteurs et accumulateurs – et permettent ainsi d'optimiser et de surveiller les blocs d'alimentation interconnectés. L'objectif est de créer une offre d'électricité durable, économiquement acceptable et sûre.

Source: http://www.smartgrids.eu/documents/SmartGrids_SDD_FINAL_APRIL2010.pdf

Impression 3D

Procédé de fabrication additive qui, à l'instar d'une imprimante à jet d'encre, imprime de la colle dans un lit de poudre et constitue ainsi des composants tridimensionnels couche par couche. Les applications incluent la fabrication d'objets de démonstration multicolores et de moules en sable complexes. L'expression «impression 3D» est souvent utilisée comme synonyme de «fabrication additive» dans les médias.

- 4. Un secteur des transports tourné vers l'avenir pour des villes intelligentes:** un secteur des transports intelligent est indispensable à la mobilité future; une politique énergétique et climatique durable est une question brûlante, en particulier en Europe où de nombreux leaders industriels s'y attèlent. Le développement de véhicules entièrement électriques suscite en particulier l'intérêt.
- 5. Des technologies axées sur l'homme avec de fortes composantes sociales (y compris l'éducation et la diffusion des connaissances):** des services axés sur l'homme et personnalisés en temps réel, avec des répercussions en temps réel sur l'économie et la qualité de vie, peuvent entraîner des changements spectaculaires dans le domaine des réseaux sociaux, du comportement en ligne et du monde professionnel, mais représentent aussi un défi majeur en ce qui concerne la sécurité des utilisateurs et l'acceptation de la population.
- 6. De nouveaux matériaux et de nouvelles technologies de fabrication:** la découverte de nouveaux (nano)matériaux a le potentiel de modifier l'industrie manufacturière en profondeur, notamment grâce à un niveau plus élevé d'adaptation aux besoins spécifiques du client. L'**impression 3D** est proposée au consommateur final à un prix de plus en plus abordable et lui permet de concevoir des prototypes fonctionnels pour des pièces et des produits à partir de n'importe quel ordinateur. La révolution de l'impression 3D engendrera toutefois un nouveau problème de déchets qu'il faudra résoudre.

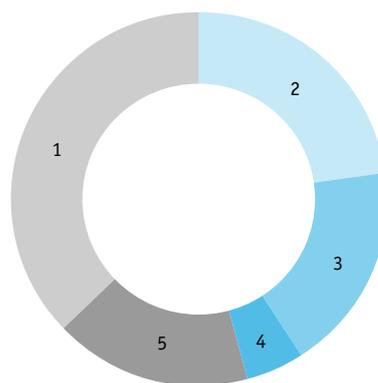


Pertinence pour l'industrie suisse

Les produits suisses conviennent parfaitement dans toutes les situations impliquant de maîtriser une grande complexité. Cela présuppose une étroite collaboration interdisciplinaire de nombreux spécialistes issus de divers domaines. En 2012, la Suisse a exporté des marchandises pour une valeur totale de 211 milliards de francs. Les statistiques des exportations suisses (voir illustration 1) démontrent qu'il existe quatre branches industrielles dont le volume annuel d'exportations dépasse 10 milliards de francs^{6/7}, à savoir: Pharmacie et chimie, Machines/Électronique/Instruments de précision/Métaux, Horlogerie/Bijouterie/Pierres précieuses/Métaux précieux, ainsi que Technique médicale (MedTech).

Les principales branches de l'exportation sont des exemples types de branches industrielles fortement interdisciplinaires, spécialisées et très innovantes, qui peuvent s'affirmer face à la concurrence mondiale en raison précisément de ces caractéristiques. Cette force de l'industrie suisse, qui repose sur des relations d'interdépendance, s'accompagne toutefois d'un risque majeur: les faiblesses de l'une des branches-clés se répercutent directement et rapidement sur les autres branches industrielles. Il est donc capital pour l'économie suisse qu'aucune de ces branches-clés ne manque une tendance technologique émergente ou ne puisse la suivre ou la valoriser en raison de conditions-cadres

défavorables. Partant d'une valeur objective (les données douanières), le présent rapport est axé sur ces quatre branches des statistiques des exportations suisses. Il est possible également d'en tirer des conclusions pour le marché intérieur vu que les deux secteurs ne diffèrent pas fondamentalement l'un de l'autre.



- 1 Pharmacie et chimie **37%**
- 2 Machines/Électronique/Instruments de précision/Métaux **23%**
- 3 Horlogerie/Bijouterie/Pierres précieuses/Métaux précieux **18%**
- 4 Technique médicale (MedTech) **5%**
- 5 Autres (>10 mrd CHF) **17%**

Illustration 1: Statistiques des exportations de la Suisse pour l'année 2012; source: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/06/05/blank/data.html>.



Pertinence pour la société

Une analyse approfondie des différentes sources démontre qu'il existe un vaste consensus international quant aux technologies d'avenir les plus prometteuses. Bien que les grands pays industrialisés en Europe, en Asie et aux Etats-Unis soient en concurrence pour conquérir le leadership et obtenir des parts de marché, leurs intérêts pour certaines technologies mondiales se rejoignent dans une large mesure. Les répercussions sociales des technologies et leur capacité à fournir des solutions durables dans des domaines essentiels, par exemple dans les secteurs de la santé ou de l'énergie, jouent ici un rôle crucial. Aussi bien l'Europe que la Suisse sont des sociétés industrielles avancées dans lesquelles la qualité de vie de la population vieillissante et l'indépendance énergétique revêtent une importance stratégique.

Parallèlement, dans ces sociétés habituées au succès, on constate un scepticisme croissant vis-à-vis de la technologie, qui pourrait retarder les progrès ou en exclure certaines couches de la population. Ce rapport a pour ambition de tirer le plus grand profit économique et social des technologies d'avenir prometteuses à l'aide de conditions-cadres appropriées. Il est tout aussi important de protéger les individus et la société dans son ensemble contre les répercussions négatives des nouvelles technologies. A cet égard, l'évaluation des choix

technologiques, qui porte sur les aspects sociaux, juridiques et éthiques de l'application des nouvelles technologies, a notamment un rôle important à jouer. En Suisse, c'est TA-SWISS⁸, le centre de compétences des Académies suisses des sciences, qui assume cette tâche au moyen de vastes études interdisciplinaires sur les opportunités et les risques des nouvelles technologies, souvent en collaboration avec des experts de la SATW.

Un second critère d'évaluation des tendances technologiques présentées dans ce rapport est de ce fait leur pertinence pour la société. Dans le cadre du programme «Horizon 2020», la Commission européenne a identifié sept défis sociaux spécifiques, qui constituent un indicateur précieux des futurs besoins des clients ainsi que des nouveaux marchés: le changement démographique, la santé publique et la qualité de vie; la mobilité intelligente, intégrée et durable; l'approvisionnement énergétique sûr, propre et efficace; la sécurité alimentaire, l'agriculture supportable et la bioéconomie; le climat et l'utilisation efficace des ressources et des matières premières; la société protégée; la société intégrative, innovante et réflexive. Pour relever ces défis, des KET ont été définies (microélectronique et nanoélectronique, nanotechnologies, photonique, matériaux de pointe, biotechnologie, techniques de production et de processus).

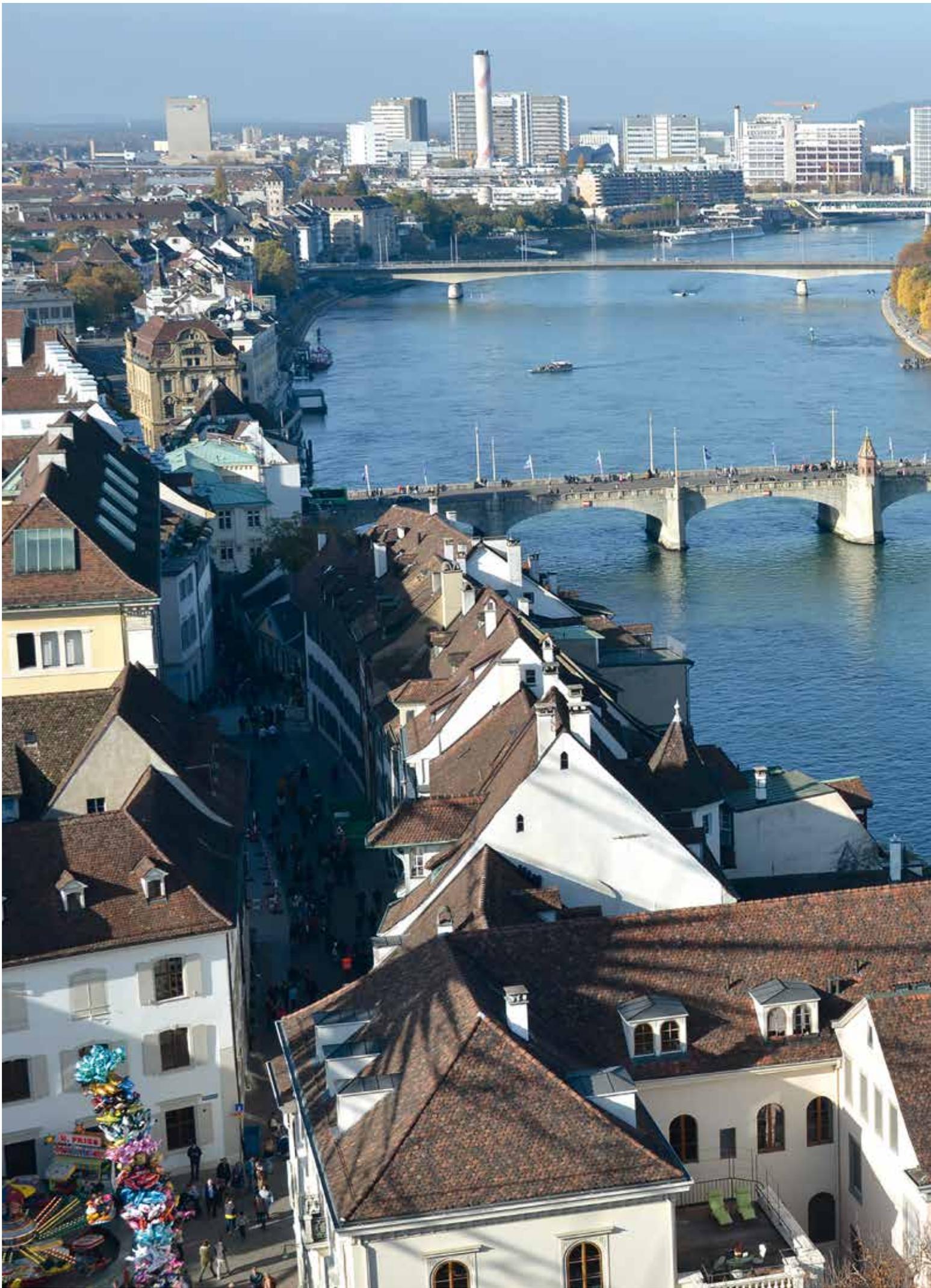
Il est dès lors intéressant de savoir comment se positionne l'industrie suisse par rapport à ces futurs problèmes de société. Le tableau 1 ci-dessous le montre sous une forme simplifiée. A l'évidence, les segments d'exportation mentionnés au point «pertinence pour

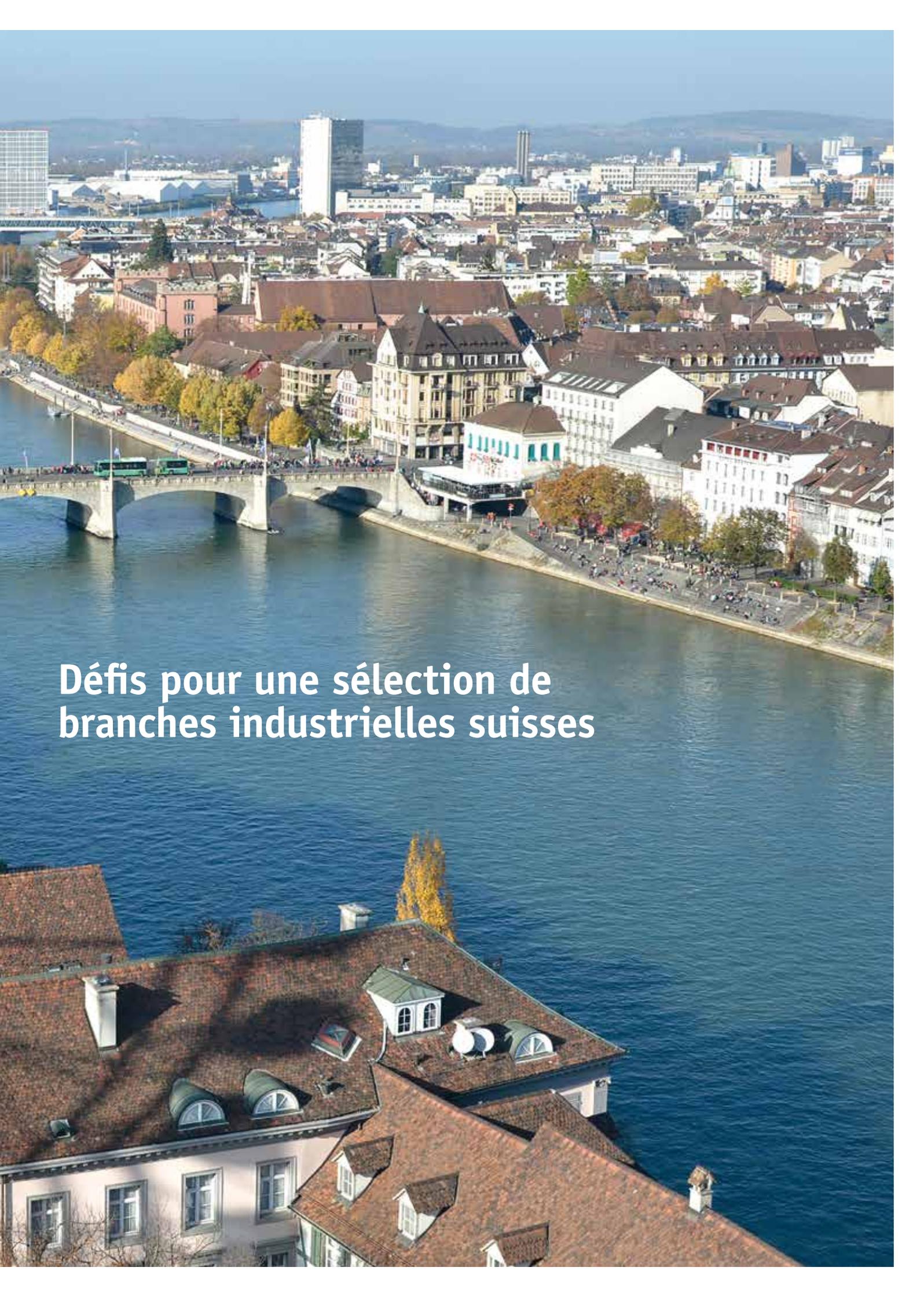
l'industrie suisse» peuvent contribuer dans de nombreux cas à relever les sept grands défis sociaux. On peut donc considérer que ces branches sont à priori bien positionnées pour pouvoir répondre aux futurs besoins.

Chiffres des exportations pour les principales branches économiques suisses		Produits chimiques et pharmaceutiques	Métaux et pièces de machines	Machines et électronique	Instruments de précision	Horlogerie et bijouterie	Technique médicale
Horizon 2020: les défis sociaux		79.0 mrd CHF	11.9 mrd CHF	22.3 mrd CHF	14.1 mrd CHF	29.0 mrd CHF	11.0 mrd CHF
Santé, changement démographique et bien-être	7.2 mrd EUR	X				X	X
Transports intelligents, écologiques et intégrés	6.1 mrd EUR		X	X			
Energie sûre, propre et efficace	5.7 mrd EUR			X			
Sécurité de l'alimentation et des denrées alimentaires, agriculture et sylviculture durables, recherche marine, maritime et limnologique, ainsi que bioéconomie	3.7 mrd EUR	X		X			
Protection du climat, environnement, efficacité des ressources et matières premières	2.9 mrd EUR		X	X	X		
Sociétés sûres	1.6 mrd EUR		X	X			
Sociétés intégratives, innovantes et réflexives	1.3 mrd EUR				X		X

Tableau 1: Contribution des principales branches économiques suisses en milliards de francs suisses par an (mrd CHF) (selon les chiffres d'exportations de 2012) aux principaux défis sociaux définis en 2012 par la Commission de l'UE dans le cadre du programme Horizon 2020 et au budget prévu par l'UE en milliards d'euros par an (mrd EUR).

Les chapitres suivants abordent plus en détail les situations dans lesquelles l'industrie suisse occupe déjà les premières places au regard des défis à relever et celles où des efforts supplémentaires doivent être fournis. On y explique aussi quelles technologies sont d'une importance décisive dans toutes les branches et quels efforts doivent être entrepris pour maîtriser ces technologies.





Défis pour une sélection de branches industrielles suisses



Industrie pharmaceutique et chimique

L'industrie chimique et pharmaceutique contribue largement à la qualité de vie et au bien-être des sociétés modernes. Leurs produits et leurs activités de recherche et de développement répondent aux exigences posées dans le secteur de la santé (soins de santé, médicaments, diagnostic et sport), ainsi que dans les secteurs de l'alimentation (engrais, protection des récoltes, additifs alimentaires, conditionnement), de l'infrastructure (produits chimiques pour la construction, matériaux d'isolation, matériaux d'étanchéité et d'isolation, adhésifs) et de l'habillement (colorants et fibres). La plupart des produits de la vie quotidienne contiennent une part élevée de substances issues de l'industrie chimique.

Les défis à travers le monde et en Suisse

Les entreprises de l'industrie chimique et pharmaceutique doivent s'affirmer dans un environnement commercial en pleine transition. Dans le monde entier, des sites de production sont exposés à une concurrence de plus en plus forte. Les progrès réalisés en matière de rationalisation et de réduction des coûts ne suffisent plus à la survie; la capacité d'innovation demeure déterminante pour le succès économique, aussi bien en ce qui concerne les produits et les procédés de production que les compé-

tences générales en gestion. Ajoutez à cela que les entreprises doivent s'attendre à de très longs délais entre le début du projet et la commercialisation. Du lancement d'un projet de recherche à l'introduction de la bonne solution sur le marché, il s'écoule généralement 10 à 20 ans pour les produits pharmaceutiques et de chimie fine ou pour les matériaux de pointe. Cela requiert un processus de sélection à la fois strict et prévoyant.

A l'heure actuelle, les entreprises sont confrontées à une augmentation sensible des coûts en raison des réglementations supplémentaires dans le processus d'innovation. Exemple: les procédures d'autorisation telles que le marquage CE ainsi que l'autorisation *REACH* ou FDA. De plus, le client privilégie souvent le rapport qualité-prix à la qualité et l'impact environnemental des produits.

Généralement, les PME ne sont pas armées pour s'y retrouver dans l'environnement de plus en plus complexe de la production pharmaceutique et chimique. Il appartient donc au gouvernement suisse de maintenir d'excellentes relations institutionnelles avec les grandes nations commerciales (par exemple, l'OMC et l'Union européenne).

Malgré toutes les difficultés, le succès de l'industrie chimique et pharmaceutique suisse est remarquable. Les entreprises suisses sont leaders dans de nombreux sec-

Technologies de rupture

Cette notion est dérivée du verbe anglais «disrupt» (interrompre, casser) et désigne les innovations qui, malgré une faible pénétration du marché au début, ont le potentiel d'évincer complètement des technologies, produits ou services existants. Comme exemple, on peut citer les appareils photo numériques qui, après quelques problèmes de démarrage dus à une faible résolution, ont presque totalement évincé les appareils photo analogiques du marché.

Source: fr.wikipedia.org/wiki/Technologie_de_rupture

teurs au niveau mondial, par exemple en agrochimie, dans le domaine des substances odoriférantes et aromatiques, du diagnostic, des produits de chimie fine, des produits pharmaceutiques, des produits chimiques spéciaux, de la chimie de construction, des additifs alimentaires, du conditionnement, des matériaux adhésifs et de la protection contre la corrosion.

De nouvelles technologies révolutionnaires

Les innovations technologiques contribuent progressivement à l'amélioration et à l'adaptation des familles de produits, les **technologies de rupture** ont le potentiel de révolutionner la position d'une entreprise sur le marché. Des développements scientifiques fondamentaux aux répercussions économiques majeures sont attendus dans les domaines suivants:

- **Biologie synthétique et biotechnologie:** certaines catégories de produits chimiques sont difficiles à synthétiser à l'aide des matières premières disponibles aujourd'hui dans les réseaux pétrochimiques. Les procédés biologiques, en particulier dans le cadre du système modulaire de la biologie synthétique, permettent de fabriquer à bas prix de nombreuses substances complexes (produits biologiques par exemple).
- **Utilisation ciblée des principes actifs:** pour un traitement plus efficace et mieux toléré, les principes actifs pharmaceutiques sont déposés au niveau moléculaire de façon précise dans ou autour de la cellule.
- **Des produits chimiques stockant l'énergie:** le besoin urgent d'avoir un stockage d'énergie intermédiaire et la disponibilité limitée de certaines matières premières actuellement bon marché (par exemple le lithium) rendent pertinent le développement de nouvelles technologies de stockage. On peut envisager des *batteries Redox-Flow* avec des produits chimiques courants ou la synthèse de matières telles que le méthanol ou le méthane comme carburants dans le secteur des transports ou pour la récupération d'énergie.

- **Des matériaux d'emballage actifs:** les systèmes d'emballage pour les denrées alimentaires, les médicaments et les autres produits peuvent prolonger la durée de stockage, fournir des informations sur la fraîcheur et la qualité et améliorer le confort et la sécurité.
- **Des matériaux avancés (Advanced Materials):** l'économie mondiale est au début d'une utilisation à grande échelle des matériaux complexes qui possèdent un large éventail de propriétés importantes (par exemple pour des capteurs chimiques) ou ne pouvaient jusqu'alors être fabriqués que manuellement et à grands frais (par exemple des pièces en carbone complexes). Les matériaux autorégénérables ainsi que les matériaux pour l'électronique organique et la photonique sont également essentiels.
- **Une technique de fabrication moderne (Advanced Manufacturing):** les processus continus constituent la norme pour les produits chimiques en grands volumes, mais sont rarement utilisés pour les produits chimiques spéciaux et les produits pharmaceutiques. Grâce à une qualité supérieure et une meilleure utilisation des réactifs et des installations, ils pourront également devenir la norme pour de telles substances.
- **Adaptation des installations de production:** les processus existants doivent être adaptés afin que la fabrication respecte les dispositions en vigueur en Amérique du Nord et en Europe concernant l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction d'utilisation des produits chimiques.
- **Une économie circulaire:** les systèmes économiques industriels dans lesquels les matières premières utilisées retournent presque intégralement dans le processus de production au cours du cycle de vie d'un produit gagnent en importance.

Autorisation REACH

L'un des règlements en vigueur dans les Etats membres de l'UE (n° 1907/2006) pour l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des substances chimiques. L'objectif est de pallier le manque de connaissances concernant la plupart des produits chimiques. Les sociétés suisses qui exportent des substances chimiques dans l'UE n'ont aucune obligation légale vis-à-vis de REACH, mais doivent faire enregistrer les substances régies par REACH par leur importateur UE ou éventuellement par un représentant exclusif au sein de l'UE.

Sources: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/reach.html>, <http://www.bag.admin.ch/anmeldestelle/13604/13766/13855/index.html?lang=fr>

Biologie synthétique

Spécialité à l'intersection de la biologie moléculaire, de la chimie organique, des sciences de l'ingénieur, de la nanobiotechnologie et des technologies de l'information dans laquelle les biologistes, les chimistes et les ingénieurs œuvrent ensemble pour concevoir des systèmes biologiques n'existant pas dans la nature. Le biologiste devient donc un concepteur de molécules, de cellules et d'organismes. L'objectif est de créer des systèmes biologiques avec de nouvelles propriétés. Contrairement au génie génétique, non seulement des gènes sont transférés d'un organisme vers un autre, mais des systèmes biologiques artificiels complets sont aussi créés.

Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/Biologie_synthetique

Batteries Redox-Flow

Les batteries Redox Flow sont des accumulateurs d'électricité électrochimiques: elles accumulent de l'énergie électrique dans un composé chimique liquide (électrolyte). L'énergie accumulée est stockée dans des réservoirs externes et peut être récupérée si nécessaire. Les batteries Redox Flow (également appelées batteries liquides ou cellules humides) ont une efficacité élevée et durent beaucoup plus longtemps que les batteries traditionnelles. En raison du principe de stockage, la puissance peut être adaptée indépendamment de la capacité.



Construction de machines et électronique, traitement de métaux et pièces de machines, instruments de précision

Les défis à travers le monde et en Suisse

L'industrie suisse de sous-traitance de pièces et de composants est étroitement liée à la construction de machines en Suisse et à l'étranger. La plupart des fabricants de machines suisses achètent leurs pièces de machines à proximité, généralement dans un rayon d'environ 200 kilomètres autour de leur site principal. A titre de stratégie de survie et pour atténuer le taux de change élevé du franc suisse, ces entreprises axent leurs stratégies d'achat principalement sur l'Allemagne, l'Italie, la France et l'Autriche. En outre, le marché domestique de l'industrie de sous-traitance suisse est limité par le fait que les dispositions relatives à l'importation dans plusieurs pays du monde, par exemple en Chine et aux Etats-Unis contraignent les fabricants de pièces et de composants à réaliser l'essentiel de leur production au niveau local. De plus, on considère généralement que les fabricants de pièces et de composants suisses fournissent «uniquement» des produits à haute valeur ajoutée, ce qui n'est pas le cas. Ainsi, une étude de Schulze et al.⁹ démontre qu'au moins l'industrie de sous-traitance automobile suisse propose des articles de haute qualité à des prix très concurrentiels. Cependant, ces sous-traitants suisses ne sont pas des fournisseurs di-

rects – le grand défi reste pour eux de s'intégrer dans des unités système pour se démarquer de la concurrence. Souvent, les fabricants de pièces et de composants suisses sont regroupés autour d'un processus de fabrication novateur qu'ils maîtrisent eux-mêmes.

En ce qui concerne les coûts de fabrication, on sait que la Suisse peut parfaitement rivaliser avec les pays à bas salaires. De plus, l'innovation dans les processus de fabrication est souvent plus importante que les nouveaux produits innovants pour obtenir des avantages compétitifs durables. Généralement, les fabricants de pièces et de composants suisses gardent sous clé leurs innovations comme des secrets professionnels; l'inconvénient est qu'il s'agit principalement de PME qui sont en concurrence avec beaucoup de grandes entreprises au niveau international. Il en va de même pour toute l'industrie des machines. Pour compenser de tels inconvénients, le transfert technologique entre les centres de recherche, les universités et l'industrie doit être davantage encouragé.

Gestion intelligente de l'énergie

Une gestion intelligente de l'énergie est nécessaire pour surveiller et contrôler de manière ciblée la consommation d'énergie, respecter les dispositions légales et enfin réduire sensiblement les coûts énergétiques.

Appareils intelligents

Les appareils intelligents sont des appareils électroniques disposant d'une puissance de calcul interne qui sont mobiles, sans fil, connectés et équipés de différents capteurs. Cela inclut les appareils médicaux, les avions, les appareils photo, les smartphones, les tablettes, les lunettes de données, les voitures et autres objets du quotidien compatibles avec les technologies de l'information, qui bénéficient d'une valeur ajoutée grâce à un traitement d'informations et à une communication assistés par capteurs.

Source: http://www.inkl.fraunhofer.de/de/themengebiete/informationslogistik_und_assistenzsysteme/smart_devices.html

Le vaste **secteur des instruments de précision (IP)** englobe les catégories de produits «Appareils de mesure et d'essai électromécaniques ainsi que systèmes de capteurs», «Appareils optiques» et «Instruments de mesure». En Suisse, la majeure partie du secteur se compose de PME qui sont devenues des «acteurs globaux» dans une niche de marché très spécialisée.

Les mégatendances mondiales, comme l'urbanisation, la **gestion intelligente de l'énergie** et la promotion des ressources énergétiques durables, engendrent une demande accrue dans le domaine de la mesure et de la surveillance des infrastructures critiques, des processus de travail et des processus de production. Pour jouer un rôle déterminant dans cette évolution, l'industrie IP suisse doit relever certains défis. En voici trois exemples importants:

- **L'IoT:** la révolution IoT implique une densité d'intégration beaucoup plus importante dans les systèmes descendants complexes¹⁰. Résultat: la pénétration sur le marché de tous les appareils de mesure et/ou systèmes de capteurs, qui sont utilisés pour la fabrication ou installés de manière fixe, présuppose l'interaction avec un système de modèle numérique spécifique.

- **Des capteurs intelligents:** la microtechnique a permis de réaliser des progrès exponentiels dans le domaine des procédés de fabrication, par exemple la fabrication de capteurs peu coûteux pour un grand nombre de paramètres physiques. Toutefois, les capteurs bon marché sont souvent moins précis, ce qui doit être compensé par des logiciels et des processus de calibrage coûteux. Résultat: dans ces systèmes de capteurs de précision intelligents et de plus en plus complexes, l'importance des composants logiciels ne cesse de croître.
- **Une mécatronique hautement intégrée:** des petits capteurs peu coûteux offrent également la possibilité de «transformer» des composants mécaniques traditionnels en composants système hautement intégrés avec une nouvelle valeur ajoutée, par exemple des systèmes de stockage avec capteurs de position et de vitesse intégrés ou des joints avec capteurs de niveau. En combinaison avec l'IoT, cela offre de toutes nouvelles possibilités ainsi que de nouveaux services pour la surveillance d'état des systèmes.

Technologies de fabrication additive / Additive Manufacturing

Désignation générique des processus de fabrication dans lesquels des composants tridimensionnels sont constitués couche par couche à partir d'une matière informe (par exemple de la poudre ou un liquide) ou d'une matière de forme neutre (par exemple un câble ou un film). Selon le processus, les technologies de fabrication additive conviennent à la fabrication d'objets de démonstration, de prototypes fonctionnels ou de composants fortement chargés dans des applications en série.

De nouvelles technologies révolutionnaires

La conception de nouvelles technologies de rupture se profile dans le domaine de la construction de machines, des pièces de machines et des matériaux connexes. En voici quelques exemples importants:

- **Processus de fabrication additive (Additive manufacturing; AM), développement de matériaux dans le domaine AM et application de la fabrication additive pour la production de composants.** Ces technologies (y compris l'impression 3D qui gagne sans cesse en popularité) jouent un rôle de plus en plus important dans les processus de fabrication les plus divers. Elles ont non seulement le potentiel d'évincer les processus traditionnels, mais permettent également de fabriquer des structures, des matériaux et des géométries qui étaient impossibles à réaliser jusqu'alors avec les processus traditionnels. A l'heure actuelle, la gamme des matériaux disponibles est toutefois relativement limitée. Il est nécessaire en premier lieu de répondre aux besoins de la chaîne de processus de production dans son intégralité, par exemple en concevant divers matériaux (y compris des alliages) sous forme de poudre et en développant les processus pour les matériaux déjà utilisés.
- **Des technologies de surface et d'assemblage sophistiquées.** A l'avenir, ce type de technologies jouera un rôle déterminant dans la fabrication des composants. Les revêtements avec une résistance superficielle réduite et une meilleure adhérence aux matériaux de substrat, les machines conçues pour les processus de revêtements, les *CVD*, *PVD*, *PECVD* et *HVOF*, la pulvérisation thermique et la projection de gaz à froid illustrent des développements susceptibles de modifier sensiblement l'état de la technique. De plus, le développement d'autres fonctionnalités de surface a le potentiel de générer de nouvelles technologies. Parmi les exemples issus du domaine des matériaux énergétiques, citons les appareils d'accumulation et de transformation d'énergie tels que les batteries, les *piles à combustible* ou la technologie thermoélectrique.
- **De nouveaux matériaux.** Cela inclut le développement de matériaux ultra-durs, intelligents ou légers avec des propriétés mécaniques et physiques exceptionnelles. Cela présuppose le développement simultané de processus de fabrication et d'instruments adaptés, par exemple conformes à *DIN 8580*, et peut aboutir à l'émergence de nouvelles technologies.

Dans le vaste domaine des instruments de précision, trois technologies sont particulièrement importantes pour l'orientation future de l'activité industrielle :

- **Des sous-systèmes et systèmes interconnectés regroupés sous le concept «IoT» :** à l'heure actuelle, le secteur de la construction envisage la mise en œuvre de la modélisation des données de bâtiments (Building information modeling, BIM). Il s'agit pour l'essentiel d'un processus qui englobe la planification, l'exécution et la gestion d'une représentation numérique des propriétés physiques et fonctionnelles d'un ouvrage (bâtiment, usine, barrage, etc.). Ce procédé présuppose que tous les appareils de mesure et systèmes de capteurs, qui sont utilisés pour la construction ou installés pendant tout le cycle de vie d'un ouvrage, interagissent en permanence avec le modèle et l'actualisent. Autre exemple: l'initiative lancée récemment sous le titre «**Industrie 4.0**». L'ensemble du processus de fabrication des marchandises et des biens industriels s'accompagne d'un modèle numérique qui permet la planification, le contrôle et la documentation des processus de travail tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Industrie 4.0

«Industrie 4.0» désigne la pénétration complète de l'industrie, des produits et des services par des logiciels, ainsi que l'interconnexion des produits et services. Un exemple bien connu est la machine de production qui détecte en temps utile, au moyen de capteurs, qu'un outil doit être remplacé, consulte les stocks dans la gestion de l'entrepôt et commande les pièces de rechange requises auprès du fournisseur si nécessaire.

- **L'intégration de composants sophistiqués conçus pour d'autres marchés clés :** les composants qui ont été conçus pour d'autres segments de marché, comme l'industrie des télécommunications, de l'automobile, du divertissement et du jeu, ont le potentiel de transformer fondamentalement les IP. L'identification précoce et la compréhension des technologies émergentes, suivies d'une optimisation et d'une intégration parfaite, peuvent contribuer au développement de nouvelles solutions et de nouveaux produits compétitifs.
- **Des procédés de traitement et de mesure d'optique fine :** à l'heure actuelle, de gros efforts de recherche et de développement sont en cours à l'échelle mondiale pour faire progresser la miniaturisation rentable des composants et des sous-systèmes dans le domaine spectral ultraviolet et infrarouge¹¹. Les progrès réalisés dans ce domaine permettront de réaliser des installations de micro-usinage laser avec une précision submicronique ainsi qu'une rugosité de surface d'environ 10 nm, ainsi que de développer des capteurs haute vitesse avec une précision subnanométrique pour la technique de mesure 3D. Cela permettra de créer des centres de micro-fabrication pour produire des systèmes optiques complets de haute précision en une seule opération, y compris un revêtement optique. D'autres utilisations prometteuses du domaine spectral infrarouge sont la caractérisation biochimique sans contact de quantités d'échantillons et la mesure de surfaces, par exemple au moyen de techniques ultra-sensibles pour déterminer les «empreintes digitales spectrales des substances chimiques»¹². Cela peut aboutir à des développements révolutionnaires, par exemple l'intégration à moindres coûts d'outils d'analyse de précision plus complexes dans des terminaux mobiles courants tels que les smartphones.

Dépôt chimique en phase vapeur (CVD)

Groupe de procédés de revêtement (en anglais: Chemical Vapour Deposition) qui servent notamment à la fabrication d'éléments de construction microélectroniques. Sur la surface chauffée d'un substrat, un nouveau composant solide se développe à partir de la phase gazeuse à la suite d'une réaction chimique.

Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/Depot_chimique_en_phase_vapeur

Dépôt physique en phase vapeur (PVD)

Le concept anglais «Physical Vapour Deposition» comprend un groupe de procédés de revêtement sous vide et de technologies à couches minces. Contrairement au CVD, le matériau de départ est transformé en phase gazeuse et acheminé jusqu'au substrat qui doit être recouvert. Il y est condensé et forme la couche cible. Le PVD sert principalement au dépôt de couches minces de l'ordre de quelques nanomètres à quelques micromètres. Les applications se trouvent dans nombreux domaines industriels.

Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/Depot_physique_en_phase_vapeur

Dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD)

Le PECVD (en anglais: Plasma-Enhanced Chemical Vapour Deposition, désigne une forme particulière du dépôt chimique en phase gazeuse dans laquelle le dépôt est assisté par plasma. Contrairement au CVP, la température augmente moins fortement de façon à pouvoir recouvrir également les matériaux plus sensibles à la température.

Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9p%C3%B4t_chimique_en_phase_vapeur_assist%C3%A9_par_plasma

Projection par flamme à haute vitesse (HVOF)

Dans la projection par flamme à haute vitesse (en anglais: High Velocity Oxygen Fuel), le matériau de projection en poudre est injecté à grande vitesse (ultra-son) sur le matériau de base à recouvrir. Ce procédé permet d'obtenir des couches de projection très denses et extrêmement minces avec d'excellentes propriétés d'adhésion, une faible porosité et une bonne précision des dimensions.

Source: <http://www.buehrer-ag.ch/hvof.html>

Piles à combustible

Les piles à combustibles transforment directement l'énergie chimique en énergie électrique de façon pratique et silencieuse, sans émission de substances toxiques. Les piles à combustible disposent de nombreuses possibilités d'application: propulsion des véhicules, alimentation en énergie stationnaire, mais aussi utilisation dans les petits appareils électroniques; elles sont donc considérées comme une technologie d'avenir majeure.

DIN 8580

Une norme DIN est une norme volontaire élaborée sous la direction de l'Institut allemand de normalisation, qui uniformise les biens corporels et incorporels. La norme courante pour les procédés de fabrication est la norme DIN 8580.

Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/Proc%C3%A9d%C3%A9_de_fabrication



Horlogerie et bijouterie

Les défis à travers le monde et en Suisse

L'industrie horlogère est l'une des branches économiques les plus compétitives, les plus dynamiques et les plus visibles au monde, dans laquelle la Suisse joue un rôle central en tant que premier pays exportateur de montres¹³. La branche de l'horlogerie et de la bijouterie n'est pas seulement la troisième branche d'exportation la plus importante de l'économie suisse (figure 1, page 13), ses produits symbolisent également à travers le monde les valeurs typiques de l'industrie nationale, à savoir: la précision, la qualité, la fiabilité et la pérennité. Nous vivons à une époque où les appareils portables les plus divers, du smartphone au récepteur GPS, indiquent l'heure. Aujourd'hui, des raisons non seulement fonctionnelles mais également émotionnelles incitent à porter une montre suisse. L'industrie horlogère

suisse se retrouve dès lors confrontée à un défi majeur: fusionner la technologie et l'innovation avec l'histoire, la tradition et l'image. Une montre suisse ne se contente pas de donner l'heure exacte; quiconque la porte exprime en même temps ses valeurs et ses préférences: il apprécie la précision, la fiabilité et la longévité, aime l'élégance, la tradition, l'authenticité, le prestige et parfois le luxe. Pendant longtemps, le label «Swiss Made» a garanti ces qualités. Tout ce qui remet en question cette situation et sa perception représente une menace fondamentale pour cette branche-clé de l'industrie suisse.

L'industrie horlogère suisse bénéficie toujours d'une croissance importante des exportations mondiales. Toutefois, certaines évolutions récentes pourraient compromettre le futur succès de la branche:

- Les **restrictions réglementaires et les interdictions** croissantes peuvent porter atteinte à l'industrie horlogère suisse de deux façons. Les menaces potentielles peuvent provenir des modifications actuellement prévues concernant le label «Swiss Made» ainsi que de l'obligation de livrer des composants et des mécanismes d'horlogerie à des entreprises concurrentes. La demande de sources d'approvisionnement alternatives pour des pièces horlogères et des mécanismes d'horlogerie complets peut entraîner une perte de qualité pour certains produits finaux. Le défi consiste donc à développer et à transférer en production des nouveaux procédés de production innovants qui permettent à la fois d'améliorer la qualité et de réduire les coûts de fabrication. L'objectif est de garantir la qualité des produits qui continuent d'être fabriqués en Suisse ou dont la fabrication peut reprendre en Suisse grâce à de nouveaux procédés.
- **L'iWatch**, qui n'est rien de plus qu'une extension de plateforme pour smartphone et n'est donc pas un produit horloger à proprement parler, peut menacer les produits horlogers classiques, car elle s'accapare la place sur le poignet des clients. La fonctionnalité d'une iWatch est très vaste grâce à l'accès aux innombrables possibilités de la plateforme pour smartphone. A long terme, certains groupes de propriétaires de montres pourraient donc renoncer à porter une montre au profit de produits iWatch. Pour contrer cette tendance, l'industrie horlogère doit réussir à mettre en avant la plus-value émotionnelle durable de ses produits – par exemple, l'aspect du «luxe abordable».

D'autre part, les nouvelles dispositions environnementales restrictives concernant les matériaux traditionnellement utilisés dans l'industrie horlogère pourraient avoir pour conséquence que des processus de fabrication et des matériaux éprouvés ne seraient plus autorisés. Naturellement, l'esthétique des produits est d'une importance cruciale dans l'industrie de l'horlogerie et de la bijouterie, et un surfacage de première qualité requiert des alliages métalliques, des matériaux de finition et des solvants contenant des substances nocives. Il est donc nécessaire de rechercher, de développer et d'évaluer des solutions alternatives.

De nouvelles technologies révolutionnaires

- De nouveaux **procédés d'usinage de matériaux** de haute précision et pourtant bon marché, que l'on trouve déjà couramment dans d'autres secteurs, sont de plus en plus employés dans l'industrie horlogère, notamment la découpe au laser (femtoseconde) et la découpe par jet d'eau. Ces procédés garantissent une précision d'usinage micrométrique ainsi que d'excellentes finitions de surface sans requérir pour autant d'outils onéreux, ni pour les matériaux métalliques ni pour les matériaux céramiques. Dans la mesure où la finition de surface présente une qualité suffisante sans post-traitement, ces nouveaux procédés représentent une alternative intéressante pour la production économique en petites séries.

- On ne sait pas encore à ce jour si les **processus de fabrication additive** («impression 3D») offrent une précision et une qualité de surface suffisantes pour les produits de précision de l'industrie horlogère. Mais il se pourrait, dans la branche de l'horlogerie et de la bijouterie, que ces processus flexibles débouchent sur de nouvelles méthodes de conception et de production pour des composants et des sous-systèmes, en association avec des nouveaux matériaux spécialement conçus pour les pièces décoratives de ces produits.
- La **disponibilité de nouveaux matériaux** – comme les métaux ultra-durs, les céramiques et les matériaux monocristallins – crée des défis mais aussi des opportunités pour la fabrication de montres de haute qualité, ultra-fiables, extrêmement durables et malgré tout bon marché. Un gros potentiel d'innovation réside dans la conception de procédés de traitement qui exploitent les nouveaux matériaux de manière optimale et permettent un façonnage d'une précision micrométrique ainsi qu'un fini de surface impeccable sans post-traitement onéreux.
- Malgré la consommation d'énergie incroyablement faible des montres à quartz, leurs **batteries** doivent être remplacées après quelques années. L'évolution intelligente de l'exploitation des sources d'énergie naturelles au poignet des porteurs de montres (par exemple l'énergie cinétique, les différences de températures¹⁴) pourrait permettre à l'avenir de concevoir et de fabriquer des montres électroniques avec une «réserve de marche perpétuelle».



Technique médicale

Les défis à travers le monde et en Suisse

A l'heure actuelle, le secteur de la santé connaît des changements fondamentaux dans le monde entier, de l'approche curative adoptée principalement après le début de la maladie à l'approche prédictive et préventive de la médecine 4P (personnalisée, prédictive, préventive, participative). Les énormes progrès réalisés ces dernières décennies dans le domaine de la *génomique* et de la *métabolomique* ont permis de comprendre les causes moléculaires de nombreuses maladies et d'identifier ainsi des

maladies imminentes à un stade précoce, de consigner leur dépendance par rapport aux facteurs environnementaux et de suivre leur évolution individuelle chez les patients. Il est possible d'administrer un traitement médicamenteux adapté à l'héritage biologique des patients et ayant peu d'effets secondaires, ainsi que de surveiller le succès de ce traitement. Il va de soi que le diagnostic sensible et très spécifique constitue un élément central de ce développement.

Pour une médecine 4P à moindres frais et selon les besoins et pour déployer tout son potentiel, il est nécessaire de relever une série de défis exigeants. Cela requiert:

- une gestion efficace de la complexité et de la forte interdisciplinarité des produits médico-techniques
- une utilisation constante et efficace des technologies de l'information (IoT, Smart Sensors, **eHealth**; cf. chapitre «Technologie de l'information et de la communication (TIC)»)
- des interfaces intuitives entre les hommes, les programmes et les machines

eHealth

L'eHealth inclut tous les aspects de la collecte, du traitement et de la gestion des données de santé personnelles qui ont été enregistrées de façon numérique ou converties dans un format numérique. Cela inclut les données provenant de sources traditionnelles telles que le dossier patient électronique et le système PACS pour les données numériques de processus d'imagerie (radiologie, médecine nucléaire, etc.), mais également les données issues des séquençages génomiques et de la surveillance physiologique.

- des conditions réglementaires stipulant clairement les preuves à apporter de la plus-value thérapeutique des nouvelles solutions personnalisées 4P dans un environnement économique en mutation rapide
- des stratégies permettant de résister à l'énorme pression tarifaire dans un monde globalisé extrêmement compétitif
- la résolution des problèmes de responsabilité résultant de la complexité croissante des solutions médico-techniques avec des sous-systèmes de plus en plus interconnectés
- une uniformisation des procédures d'autorisation nationales et internationales de plus en plus complexes, qui sont liées en particulier aux cycles d'innovation de plus en plus courts dans le secteur de la santé

De nouvelles technologies révolutionnaires

Le secteur de la santé évolue vers des solutions plus complexes et plus performantes dans lesquelles les frontières entre les disciplines s'estompent, comme le montre l'illustration 2. C'est pourquoi les nouvelles technologies de rupture se caractérisent par une forte interdisciplinarité:

- Combinaison du diagnostic avec des nano-microsystèmes thérapeutiques (**théranostique**) dans lesquels les composants-clés de la technique médicale, de la biochimie, de la pharmacie et de la science des matériaux doivent être combinés, en particulier pour le traitement futur du cancer¹⁵.
- La **médecine régénérative** vise à cultiver des organes naturels à partir de cellules endogènes de patients.

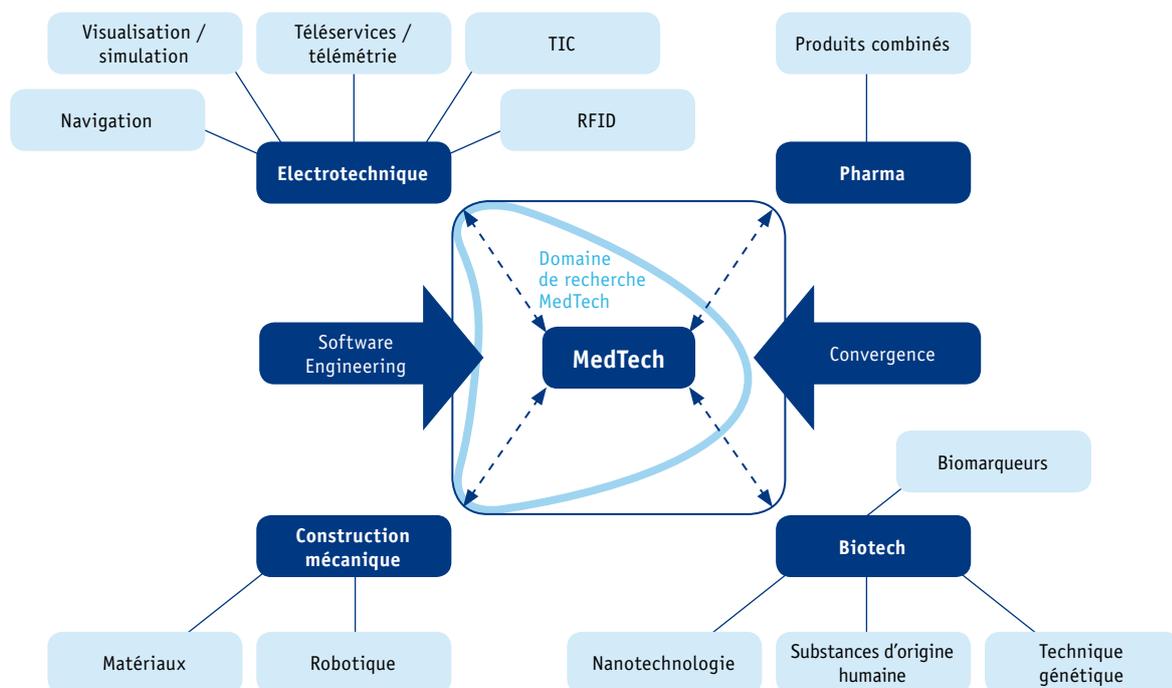


Illustration 2: Complexité croissante et interdisciplinarité de l'industrie MedTech actuelle et future; source: P. Dümmler and B. Hofrichter. Swiss Medical Technology Industry Survey 2010. Berne: Swiss Medical Cluster; 2010.

Il existe déjà des approches prometteuses concernant différents types de tissus (dents, cartilage, os, peau, vaisseaux sanguins)¹⁶. Les processus de fabrication additive spéciaux («imprimante 3D biologique») devraient jouer un rôle important dans ce domaine.

- La vitesse comme la précision des interventions chirurgicales augmentent substantiellement dès que la **chirurgie assistée** par robot fait partie de la médecine quotidienne¹⁷. En combinaison avec les procédés d'imagerie connus et émergents, on peut imaginer que les robots effectueront bientôt des opérations complètes de façon autonome. Toutefois, de nombreux obstacles réglementaires, éthiques, juridiques et de responsabilité doivent encore être surmontés avant que de telles innovations ne fassent partie de la routine clinique.
- Une grande partie du diagnostic clinique repose encore sur les réactions biochimiques dont l'exécution fiable présuppose des laboratoires centralisés. La pression croissante visant à disposer de tests plus rentables et plus rapides au chevet du patient (**Point-of-care Diagnostics**) a déjà débouché sur des solutions de diagnostic microfluides innovantes avec une préparation d'échantillons intégrée. Dans un avenir plus lointain, ces tests POC seront complétés par des procédés de diagnostic physiques universels (**Fingerprinting Diagnostics**), qui permettront d'effectuer simultanément un grand nombre de tests. A cet effet, des processus spectroscopiques miniaturisés font actuellement l'objet de recherches¹⁸.

Génomique

Le génome est la totalité des informations héréditaires d'une cellule qui sont contenues dans un jeu complet de chromosomes. La génomique est une branche de la recherche qui s'occupe de l'analyse systématique du génome et de ses fonctions. Le passage de l'analyse de certains gènes (génétique) à l'analyse de génomes complets (génomique) est indissociable de l'automatisation et de la miniaturisation des méthodes établies de la technologie génétique et de la biochimie ainsi que de l'amélioration des techniques de détection.

Source: <http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9nomique>

http://www. Roche.com/de/research_and_development/what_we_are_working_on/research_technologies/informatics-based_technologies/genetics_and_genomics.htm

Diagnostic «Point of Care» (POCT)

Ce terme décrit un diagnostic de laboratoire proche du patient et désigne les examens diagnostiques de médecine qui ne sont pas effectués dans un laboratoire central, mais directement à l'infirmerie d'un hôpital, dans les cabinets médicaux ou dans des pharmacies publiques. Dans certaines applications, par exemple pour les tests de grossesse ou les mesures de glycémie, on prévoit également une application par les patients eux-mêmes.

Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Point-of-care_testing



Secteurs où des percées technologiques sont attendues





Energie et transport

Situation de départ

L'énergie et le transport sont d'une importance capitale pour l'économie et le bien-être des sociétés modernes. Les dépenses pour l'énergie s'élèvent à environ 5 pour cent du produit intérieur brut (PIB) de la Suisse et atteignent 10 pour cent dans d'autres Etats européens. Ces chiffres peuvent varier fortement en fonction des fluctuations des prix sur le marché mondial de l'énergie.

L'électricité, la chaleur domestique et industrielle ainsi que les transports représentent la majeure partie des besoins en énergie primaire et des émissions de gaz à effet de serre associés. Il existe toutefois des grandes différences géographiques ainsi que des tendances divergentes. Les combustibles fossiles dominent l'approvisionnement en énergie (plus de 80 pour cent à travers le monde, 70 pour cent au sein de l'UE, plus de 55 pour cent en Suisse) et cela ne changera pas, tout au moins à l'échelle mondiale¹⁹. Malgré le potentiel d'économie d'énergie existant, la demande en électricité va encore augmenter, principalement en raison de l'attrait de l'électricité pour un nombre croissant de services énergétiques et de nouveaux domaines d'application (mobilité électrique). Il est très probable – tout au moins en Europe – que les stratégies et mesures politiques dans le domaine de l'énergie continueront de se concentrer

sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre ainsi que sur la sécurité de l'approvisionnement et les prix abordables. L'exploitation des sources d'énergies renouvelables va sensiblement augmenter; certains pays continueront de miser sur l'énergie nucléaire tandis que d'autres pays, comme la Suisse et l'Allemagne, prévoient un abandon progressif. De plus, le fait de renoncer à la consommation de viande en Suisse pourrait compenser l'effet global des transports privés et publics sur le bilan thermique, ce qui pourrait donner lieu à des débats de société passionnés.

Des programmes-cadres ambitieux ont été élaborés avec pour objectif principal de *décarboniser* complètement le secteur de l'énergie, en particulier le secteur de l'électricité. La situation de départ est différente: à l'heure actuelle, 45 pour cent de l'électricité globale au sein de l'UE sont générés par des sources d'énergie à faible émission de carbone, tandis qu'en Suisse ce chiffre atteint 96 pour cent.

De plus, un tiers des centrales en Europe (et même deux tiers des centrales nucléaires) atteindront la fin de leur durée de vie technique d'ici 2020 et devront être remplacées dans les vingt prochaines années, ce qui offrira de grandes opportunités à l'industrie. Cela présuppose les évolutions suivantes:

- L'incitation à l'économie d'énergie et l'amélioration de l'efficacité dans le domaine de la construction durable et de l'avenir de la construction en Suisse (parc immobilier, infrastructures et agglomérations)²⁰: la construction, l'exploitation et l'entretien du parc immobilier représentent quasiment 50 pour cent des besoins d'énergie en Suisse et contribuent largement aux émissions de CO₂. Environ 1,5 million de bâtiments avec une isolation thermique insuffisante et une technique de chauffage surannée en sont les principaux responsables. La transformation de ces bâtiments au moyen d'importantes rénovations ou leur remplacement par de nouveaux bâtiments constituent un défi technologique et financier de taille, qui exige des efforts coordonnés de la part de la recherche et de l'industrie.
- L'exploitation des technologies-clés importantes pour le stockage et la mobilité électrique
- L'extension et la modernisation des infrastructures, autrement dit des réseaux de transmission et de distribution
- La création d'un marché de l'électricité européen à la fois intégré et concurrentiel
- La «smartification» croissante des systèmes interconnectés due à l'omniprésence des TIC modernes et aux développements tels que l'IoT. Cela permettra d'une part d'améliorer la gestion de la demande (*DSM, Demand Side Management*) côté client, d'autre part d'intégrer les (petites) sources d'électricité décentralisées dans les (grandes) centrales centralisées et de récupérer l'énergie côté distributeur.

L'énergie et le transport sont des secteurs étroitement liés, qui partagent des éléments moteurs communs et requièrent donc une approche intégrée. Dans les deux secteurs, on prévoit des changements majeurs dont la mise en œuvre nécessitera toutefois d'importants investissements. De nouvelles menaces et vulnérabilités (par exemple aux *cyberattaques*) s'infiltreront dans le système et doivent être écartées. A leurs points de fric-

tion, on constate de plus en plus d'interfaces et même de fusions entre les deux secteurs, comme le démontre le projet d'avenir des «smart cities» dans lesquelles la gestion responsable des ressources englobe aussi bien la gestion intelligente de la mobilité que la gestion intelligente des infrastructures et de l'énergie.

Les **systèmes d'alimentation électrique**, autrement dit les réseaux haute tension ainsi que les réseaux moyenne et basse tension, subissent des changements structurels exigeants pour pouvoir satisfaire à la demande future et répondre aux nouvelles exigences et aux objectifs ambitieux, comme par exemple l'obtention d'un niveau de carbonisation élevé et un transfert massif vers des sources d'électricité renouvelables telles que les éoliennes et les centrales solaires. La stabilisation de la fréquence et de la tension dans le réseau électrique requiert de nouveaux moyens techniques et structurels ainsi que des normes réglementaires et des conditions-cadres légales adaptées. Cela exige une gestion et une commande plus intelligentes ainsi que de nouvelles formes de DSM. De plus, cela implique l'introduction de nouveaux appareils tels que des Smart Meters et des commutateurs intelligents, ainsi que l'attribution de fonctions de réglage appropriées aux ménages privés. Le négoce d'énergie à court terme et la surveillance continue des critères de sécurité, par exemple selon le *concept (N-1)*, nécessitent une surveillance en ligne continue des réseaux électriques et des systèmes de transfert de données. Tout cela aboutira, via du matériel et des logiciels suffisamment sécurisés, à une pénétration accrue des TIC dans tous les systèmes.

Le défi majeur de l'industrie consiste à fournir des capteurs, des systèmes de surveillance et de mesure à la fois économiques et fiables et à concevoir de nouvelles fonctions de contrôle et de commutation, ce qui engendrera une très forte demande de flux d'informations bidirectionnels. Une sorte de «contrôle à distance» de l'exploitation du réseau devra être accordée aux nouveaux acteurs comme les commerçants et les ménages privés.

La mise en œuvre d'une transition révolutionnaire vers une intégration plus rapide d'un grand nombre de

sources d'énergies renouvelables implique de réussir à concevoir, installer et intégrer des solutions technologiques permettant d'obtenir une alimentation de secours et des capacités de stockage d'énergie suffisantes à des prix abordables. De plus, les fournisseurs d'énergie doivent adapter leur modèle commercial et passer de la pure «fourniture d'énergie (kWh)» à un modèle du type «services d'énergie et d'électricité dans un environnement de marché compétitif».

Le secteur du **transport des passagers et des marchandises** est également touché par d'importantes mutations techniques et structurelles. Outre le développement technique des voitures et des camions (route) et du matériel roulant (rail), la sécurité et la performance environnementale doivent aussi faire l'objet d'une amélioration continue, de façon directe ou indirecte, au moyen de l'infrastructure et de la consommation d'énergie. Il est possible d'exploiter l'infrastructure plus efficacement grâce à une meilleure intégration des réseaux déjà disponibles et des nouveaux schémas de mobilité (route/rail – individuel/public), ainsi qu'à une réduction des pics de charge (DSM) et à de nouveaux systèmes de gestion du trafic qui transmettent des informations embarquées et non embarquées. Un défi spécifique concerne la réduction des émissions de CO₂ dans les transports terrestres, aériens et maritimes où une électrification semble peu réaliste au cours des prochaines décennies.

En termes d'énergie primaire, la grande dépendance vis-à-vis des énergies fossiles peut être réduite grâce aux combustibles synthétiques et renouvelables ainsi qu'à la promotion de l'électrification, y compris la reconversion de l'hydrogène en électricité au moyen de piles à combustible fixes pour la propulsion des véhicules à piles à combustible. Concernant les nouveaux combustibles, il importe de mettre en place une infrastructure suffisante pour leur ravitaillement en parallèle de leur promotion. L'introduction généralisée de la mobilité électrique représente sans conteste l'un des principaux défis pour l'industrie et les autres acteurs: une production d'électricité suffisamment importante à partir d'énergies renouvelables et, par conséquent, une décar-

bonisation massive du secteur de l'électricité représentent une condition sine qua non pour parvenir à diminuer rapidement les émissions et réduire la dépendance envers les importations d'énergie, et ce malgré la demande croissante d'électricité²¹. Les batteries, les piles à combustible et l'hydrogène, combinés à des réseaux intelligents, peuvent multiplier les avantages de la mobilité électrique, qu'il s'agisse de la décarbonisation des transports ou du développement des sources d'énergies renouvelables.

Comme dans le secteur de l'énergie, les énormes changements structurels conduiront aussi à une plus forte pénétration des TIC dans le secteur des transports. Les TIC, à titre de technologie habilitante, y aideront à relever les défis liés à cette évolution.

Défis et opportunités

Les défis susmentionnés impliquent des changements de structure, d'exploitation et de gestion du futur système énergétique et de transport qui ne pourront s'appliquer qu'à la condition d'une évolution technique majeure. Le chemin qui mène à un secteur de l'énergie et du transport durable passe par des nouvelles technologies révolutionnaires ainsi que par leur utilisation et leur commercialisation en temps utile. Dans cette optique, les thèmes prioritaires énoncés ci-dessous contiennent aussi bien des défis que des opportunités.

Défis

- Stockage efficace et économique, en particulier le stockage décentralisé de l'énergie électrique renouvelable fluctuante provenant de sources renouvelables sous forme d'électrolyse, de conversion d'électricité en gaz au moyen d'une co-électrolyse de CO₂ et d'eau, de chaleur à haute énergie et de combustibles solaires
- Reconversion de l'hydrogène en électricité au moyen de piles à combustible fixes pour la propulsion des voitures et des camions à piles à combustible; création d'une infrastructure de ravitaillement en hydrogène

- Conception de réseaux énergétiques complexes et garantie de leur contrôle opérationnel; cela inclut le gaz naturel/biogaz, les réseaux de chauffage basse température, l'alimentation et la distribution électriques ainsi que les concentrateurs d'énergie qui intègrent les différentes sources d'énergie dans un système commun
- Développement de nouveaux matériaux pour le stockage et la transformation d'énergie dans différentes plages de températures
- Technologies de propulsion à faibles émissions de CO₂ pour les transports longue distance sur route (camions), par air et par mer
- Gestion intelligente de l'énergie produite de façon décentralisée, y compris selon le principe «Power on Demand» (électricité sur demande), *cogénération* et *trigénération* à différentes échelles et dans différentes tailles d'application
- Gestion de grandes quantités de données, aussi bien du côté demande que du côté fournisseurs, en tenant compte des aspects spécifiques de la confidentialité, de la protection des données, de la sécurité des données et de la robustesse.
- Augmentation sensible du taux de renouvellement des bâtiments (actuellement 1 pour cent)
- Adaptation du parc immobilier aux besoins actuels et futurs de la société qui vieillit, est de plus en plus interconnectée et devient de plus en plus exigeante en matière de qualité de l'habitat.
- Capteurs, *actionneurs* et instruments de précision sophistiqués pour le diagnostic, la surveillance et le contrôle de systèmes complexes tels que des réseaux d'électricité et de transport
- Acquisition et traitement de «Smart Data», nouvelles formes de commerce et nouveaux systèmes pour les produits énergétiques, nouvelles formes de conception de contrats et de services énergétiques concernant les nouvelles technologies, en particulier:
- Conception de processus et de technologies dans la chaîne globale d'acquisition et de conversion d'énergie à partir d'énergies chimiques renouvelables, y compris des processus catalytiques sur mesure
- Compteurs Smart Grid pour des mesures de haute qualité, avec une résolution temporelle et spatiale élevée pour une tarification dynamique de l'électricité, une gestion efficace de la charge et de la demande ainsi qu'une exploitation optimale du réseau
- Actionneurs Smart Grid, y compris des technologies de stockage d'énergie décentralisées pour fournir par exemple des services supplémentaires très rapides, inverseurs pour éoliennes et installations photovoltaïques qui limitent la production d'énergie excédentaire et appareils *FACTS* pour réguler les flux d'électricité
- Composants, appareils et installations pour le bon fonctionnement des Smart Buildings et Smart Cities pour la production d'énergie au niveau distributeur
- Conception de nouveaux matériaux haute résolution à prix avantageux pour la rénovation énergétique des bâtiments existants
- Conception de centres multi-énergies locaux pour la chaleur, le froid, l'électricité et le gaz permettant d'utiliser les énergies renouvelables produites localement.

Opportunités

L'exploitation du potentiel technologique et du développement des produits permettra de créer de nouveaux marchés dans le domaine de l'énergie et du transport. Etant donné sa tradition industrielle et son potentiel humain, la Suisse devrait être en mesure de faire valoir ses avantages:

- Micro et nanotechnologie pour des nouveaux matériaux et les applications de sciences de surface

Priorités pour l'industrie et la recherche suisses

Afin de fixer les priorités pour la recherche universitaire et industrielle, il sera nécessaire d'évaluer les opportunités et les risques susmentionnés. De nouvelles formes de collaboration ainsi qu'un échange plus intense entre les différents acteurs – les chercheurs et les concepteurs, d'une part, et les utilisateurs, l'industrie et les autorités, d'autre part – représentent des conditions sine qua non pour exploiter pleinement le potentiel d'innovation suisse. Il est évident que la pénétration des TIC (et la tendance en faveur de l'IoT) déterminera dans une large mesure la conception future du système énergétique et de transport. Comme dans d'autres secteurs, l'énorme potentiel d'optimisation de l'exploitation et de l'efficacité, lié à cette évolution, s'accompagne également de grands défis dans le domaine de la sécurité des réseaux et de l'information, à savoir des problèmes tels que la fiabilité suffisante des systèmes de communication utilisés (Internet et réseaux de téléphonie mobile), la garantie de la protection des données, la protection contre les attaques ennemies ainsi que la gestion des données volumineuses et l'acceptation sociale générale.

L'intervalle de temps nécessaire au développement et à la mise en œuvre de ces technologies d'avenir se mesure en décennies plutôt qu'en années. C'est pourquoi l'une des conditions préalables les plus importantes pour garantir le succès est une planification de la recherche à long terme.

Outre les activités de recherche et de développement (R&D), il importe également de créer des mécanismes de transfert pour intégrer plus efficacement les résultats de la recherche dans le développement industriel des produits. Cela implique de fournir les efforts nécessaires en matière de formation pour transmettre à une nouvelle génération d'«agents de connaissances» l'approche systématique et les compétences nécessaires à une gestion efficace de la complexité.

Répercussions escomptées

S'il est mené avec succès, cet effort d'investissement dans la R&D au sein du secteur de l'énergie et du transport a le potentiel de renforcer sensiblement la compétitivité de l'industrie suisse de l'exportation – aussi bien pour ses branches établies que ses branches émergentes – sur un marché en croissance rapide d'importance globale. Le chiffre d'affaires estimé du commerce mondial dans le secteur de l'énergie correspond à un milliard de francs suisses avec une projection de croissance de 50 pour cent d'ici 2030 ainsi qu'un doublement d'ici 2050, date à laquelle on prévoit l'abandon des énergies fossiles par le système énergétique mondial. D'énormes investissements sont également prévus dans le secteur du transport pour l'extension et la rénovation des infrastructures ainsi que pour la modernisation des voitures, des camions et du matériel roulant, qui doivent devenir plus efficaces et plus autonomes. En résumé, on prévoit d'énormes opportunités à court et moyen terme que l'industrie d'exportation et le secteur financier de notre pays ne doivent pas manquer.

Bien que les technologies de rupture jouent un rôle essentiel dans cette évolution, il ne faut pas sous-estimer la grande influence des conditions-cadres politiques, des mesures réglementaires et des normes sur le développement des futures technologies, et en particulier sur la nécessité d'attirer rapidement des investissements.

Mesures et recommandations

Compte tenu de ce qui précède, nous recommandons aux décideurs politiques:

- Un **système d'incitation** sur le plan politique pour réaliser des **«installations pilotes et de démonstration»** aux conditions du marché dans le domaine des nouvelles applications techniques. Il est essentiel pour cela de comprendre la nécessité d'un financement fiable des projets de recherche, et ce à court terme (1 à 3 ans) pour le développement de produits axé sur le chiffre d'affaires, à moyen terme (3 à 8

ans) pour les coopérations de recherche entre les hautes écoles et l'industrie, et à long terme (plus de 10 ans) pour la recherche fondamentale.

- Les **offices fédéraux** (par exemple ElCom, OFEN, OFT) et les **organisations faitières** chargées de missions spécifiques (par exemple ENTSO-E/G, UIC, ISO) doivent être en mesure de **gérer la pénétration croissante des TIC** et les cyber-risques associés.
- Mise à disposition d'un **système de contrôle** amélioré et plus complet pour suivre les progrès réalisés dans la transformation souhaitée du système énergétique, en étroite collaboration avec les services R&D des principales entreprises industrielles suisses.
- Consolidation, élaboration et financement d'un programme de recherche national à long terme («**road-map**») **Energie et Transports**, qui mise sur l'étroite collaboration entre la recherche universitaire et la recherche industrielle.

Décarbonisation

Désigne la conversion du système économique dans le but de réduire la teneur en carbone. Les actions et processus qui libèrent du dioxyde de carbone (CO₂) sont remplacés par des processus dans lesquels cette libération est évitée ou compensée. La décarbonisation est considérée comme un moyen de lutte contre le changement climatique. L'objectif est la neutralité en CO₂ de l'économie.

Gestion de la demande (DSM, Demand Side Management)

Influence du fournisseur d'énergie ou du tiers sur la demande en énergie dans les ménages ou l'industrie visant à contrôler la quantité d'énergie ou le moment de la consommation d'énergie. Le paradigme lié à l'électricité, selon lequel l'offre d'électricité dépend de la demande, est ainsi affaibli.

Source: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/demand-side-management-dsm.html>

Cyber-attaques

Attaque électronique qui se produit via une connexion réseau. L'attaque se déroule exclusivement dans le cyber-espace virtuel et vise des ordinateurs individuels ou des systèmes IT complets. L'objectif du pirate est de franchir les barrières de sécurité pour placer des logiciels malveillants ou espionner des données. Les cyber-attaques sont donc des attaques virtuelles ayant des répercussions réelles.

Concept (N-1)

Reflète l'état de sécurité d'un système et implique la capacité du système d'alimentation électrique à résister à la défaillance d'un composant d'importance systémique (par exemple unité de production, transformateur, collecteur) pendant une période déterminée.

Cogénération

La cogénération est la production simultanée d'énergie mécanique, généralement transformée en courant électrique de façon directe, et de chaleur utile à des fins de chauffage (chaleur à distance et de proximité) ou pour les processus de production (chaleur industrielle) dans une centrale de cogénération. Le dégagement de la chaleur résiduelle inutilisée dans l'environnement est ainsi largement évité.

Source: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Cog%C3%A9n%C3%A9ration>

Trigénération

Extension de la cogénération: la chaleur produite par une centrale de cogénération, une installation solaire thermique ou une installation géothermique est utilisée pour faire fonctionner une machine frigorifique à des fins de refroidissement.

Source: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Trig%C3%A9n%C3%A9ration>

Actionneur

Dans la technique de commande et de régulation, désigne la contrepartie d'un capteur. Les actionneurs transforment les signaux d'une régulation en un travail (généralement) mécanique, autrement dit un mouvement, comme par exemple l'ouverture et la fermeture d'une soupape. De manière générale, un actionneur décrit un élément qui transforme une grandeur d'entrée en grandeur de sortie.

Source: <http://www.gabel-meca.de/de/glossar/category/>

Systèmes de transmission à courant alternatif flexibles (FACTS)

Désignation générique d'une série de technologies (en anglais: Flexible Alternating Current Transmission System) qui augmentent sensiblement la capacité des lignes de transmission à courant alternatif existantes tout en améliorant la stabilité et la fiabilité du réseau.

Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_transmission_flexible_en_courant_alternatif



Technique de production et processus de fabrication

Situation de départ

La différenciation par l'automatisation, la flexibilité et la qualité est considérée comme l'élément principal du maintien de la compétitivité industrielle dans les pays à salaires élevés. La maîtrise des technologies de fabrication est une compétence-clé²². Les PME de production en Suisse profitent de leurs points forts historiques en technique de fabrication. Le choix des bonnes technologies de fabrication ainsi qu'une compréhension approfondie des processus leur permettent d'exploiter les processus de façon optimale et de produire ainsi des produits compétitifs d'une qualité et d'une précision irréprochables.

La technique de production est soumise à des changements constants. Les processus existants sont perfectionnés, ce qui permet d'améliorer l'efficacité de la production et la qualité des produits. Outre cette évolution continue, de plus en plus de nouveaux matériaux et processus de production arrivent à maturité industrielle. Ils offrent aux entreprises de nouvelles opportunités; ils ne peuvent toutefois aboutir au succès économique que si leurs avantages sont reconnus et appliqués avec succès aux produits en série. Cette évolution se

répercute aussi sur les processus de fabrication existants, car l'importance des différents processus évolue. Certains d'entre eux font l'objet d'une demande accrue tandis que d'autres sont peu à peu remplacés. Un exemple en est l'utilisation accrue des matériaux composites fibreux dans l'aéronautique: grâce à ces nouveaux matériaux, le collage s'impose de plus en plus parmi les techniques d'assemblage, tandis que les assemblages rivetés sont évincés.

L'apparition et la disparition des technologies de fabrication impliquent à la fois des risques et des opportunités pour les entreprises. Pour rester durablement compétitif, il est important d'identifier les nouvelles technologies en temps utile, de les évaluer et d'y réagir de façon adaptée. A cet effet, les grandes entreprises disposent d'instances et de services pour le «technology scouting» (dépistage de technologies), qui contrôlent en continu le paysage R&D et vérifient la pertinence des nouvelles technologies pour l'entreprise au moyen de projets pilotes et d'études de faisabilité. En revanche, les PME manquent généralement de ressources.

Défis et opportunités

Fabrication numérique (Industrie 4.0)

L'expression «Industrie 4.0» désigne la pénétration complète de l'industrie, des produits et des services par des logiciels, ainsi que l'interconnexion des produits et des services²³. L'importance de ces tendances pour la conception du matériel et des logiciels est traitée dans le chapitre «Technologies de l'information et de la communication (TIC)», page 52. L'interconnexion a également des répercussions importantes sur le développement des produits et la fabrication des biens de consommation et industriels.

Le développement moderne des produits et la planification de production correspondante s'effectuent déjà en grande partie de façon virtuelle. Au sein d'une branche, les programmes utilisés sont souvent parallèles aux possibilités des technologies utilisées et répondent aux exigences des applications. Cette spécialisation représente un obstacle lors de l'interconnexion des différentes étapes de processus et des différentes branches. Pour surmonter cet obstacle, une collaboration interdisciplinaire fructueuse est indispensable entre les utilisateurs industriels, les fabricants de machines et les entreprises TIC; elle permet aux entreprises participantes d'assumer leur position de leader en matière d'innovation²⁴.

Pour les utilisateurs des entreprises de production, le défi consiste à adapter leur organisation et leur mode de travail aux changements qui accompagnent l'interconnexion. L'association du monde virtuel et du monde réel donne lieu à des systèmes cyber-physiques dont la régulation, la configuration et l'optimisation s'effectuent en grande partie de façon indépendante et autonome. Il en résulte un potentiel d'automatisation et une flexibilité qui autorisent de nouvelles chaînes de création de valeur, mais requièrent également un investissement de départ financier et en personnel élevé²⁵. C'est là qu'est le risque pour les entreprises, car la technologie est soumise à un changement dynamique et les solutions actuelles peuvent rapidement devenir obsolètes. Il faut cependant garder à l'esprit qu'une participation tardive peut entraîner un retard technologique qu'il sera difficile de rattraper²⁶.

Fabrication additive

Désignation générique des technologies de fabrication dans lesquelles des composants sont constitués couche par couche par ajout d'un matériau. Ces processus ne requièrent pas d'outils individuels, seulement un modèle numérique tridimensionnel du composant²⁷. La gamme des processus s'étend de la solidification de photopolymères au soudage de poudres métalliques par faisceau laser, en passant par la fixation de poudres par pulvérisation de colle («impression 3D»). Tous les processus ont en commun le fait que la complexité des composants n'a qu'une faible influence sur les coûts de fabrication. La fabrication sans outil permet de produire des pièces détachées et des petites séries à des prix économiques, mais également de réaliser des structures, des géométries et des matériaux impossibles à obtenir avec d'autres processus.

Contrairement aux processus de fabrication traditionnels tels que le fraisage, les coûts de fabrication dans la fabrication additive sont déterminés essentiellement par le volume et la hauteur des composants, quelle que soit leur complexité. Cette différence fondamentale dans la structure des coûts de fabrication se répercute aussi sur la conception des produits. Comme les restrictions inhérentes au processus de fabrication sont moindres, la construction peut se concentrer davantage sur une forme fonctionnelle optimale. Les possibilités d'application sont aussi variées que l'éventail des processus de fabrication additive est vaste. Les matériaux transformés vont des alliages à base de nickel pour les pièces de turbines²⁸ aux cellules vivantes pour la reconstruction de tissus, en passant par les matières plastiques²⁹ et la céramique^{30/31}.

La polyvalence de la fabrication additive en termes de processus, de matériaux et de possibilités de conception ouvre de nouvelles voies dans la conception de produits qui aboutissent à de toutes nouvelles solutions. Lorsqu'elles identifient ces opportunités en temps utile, les entreprises peuvent développer de nouveaux modèles d'affaires. Cela implique toutefois qu'elles s'occupent de ces processus. Là encore, les PME sont confrontées à des obstacles de taille, car un savoir-faire spécifique en termes de processus et de matériaux leur est nécessaire

pour identifier les potentiels de la fabrication additive dans le cadre de leurs propres produits. Généralement, les PME ne disposent pas de telles connaissances. De plus, l'accès à ces technologies implique de gros investissements.

Une robotique avancée

Depuis des décennies, l'utilisation de robots constitue un élément-clé de l'automatisation des processus de fabrication industriels. Les robots se chargent avant tout des tâches récurrentes et monotones ainsi que des tâches physiquement astreignantes ou dangereuses pour l'homme. Traditionnellement, ces systèmes sont régulés en position et très résistants pour garantir une précision suffisante. Cela requiert un environnement fermé car les robots ne peuvent réagir que de manière insuffisante aux environnements non structurés en raison de leur détection et de leur programmation limitées. Une action autonome d'un robot dans un environnement qu'il ne connaît pas à l'avance ou dans lequel des personnes se déplacent librement n'est pas réalisable avec les systèmes actuels³².

Les évolutions actuelles dans les domaines des actionneurs, des logiciels de commande de robots et de l'intégration des capteurs révèlent trois tendances que l'on retrouve déjà dans les premières applications commerciales:

- Des **robots** qui restent mécaniquement rigides, mais réduisent le risque mécanique pour leur environnement grâce à une régulation flexible. Un autre stade de développement concerne les robots souples, autrement dit des robots qui sont mécaniquement flexibles et peuvent donc fonctionner plus efficacement dans des environnements non structurés.
- Des **micro et nanorobots** qui peuvent effectuer des manipulations sur des objets à l'échelle micro et nanoscopique de façon autonome ou par commande extérieure.
- Des **systèmes robotiques** qui conviennent au secteur de la consommation en raison de leurs coûts d'investissement réduits et de leur facilité de manipulation.

Dans l'industrie, les robots intelligents et flexibles permettent une collaboration directe entre l'homme et la machine, par exemple lors du montage. Des systèmes autonomes sont capables de transporter du matériel et des outils sur des terrains impraticables sans connaître le chemin au préalable³³. Aujourd'hui, la technique médicale profite déjà de robots chirurgicaux qui fonctionnent de façon beaucoup plus précise que l'homme. Dans un avenir proche, des prothèses intelligentes et des exosquelettes remplaceront la fonction des extrémités humaines. Les nanorobots bénéficient d'une large gamme d'applications dans le domaine des mesures thérapeutiques³⁴.

Des robots simples qui assument des tâches individuelles telles que la tonte des pelouses ou l'aspiration des poussières sont déjà disponibles pour les clients privés. Les ménages privés représentent un marché pour des robots de services capables d'exécuter des tâches de plus en plus complexes. A moyen terme, le développement du comportement adaptatif aboutira à des robots permettant d'aider les personnes qui en ont besoin³⁵. L'intégration de capteurs et le développement d'algorithmes décisionnels complexes profitent également au secteur des transports où ils sont à la base des véhicules automoteurs et des drones.

La conception de ces nouveaux types de robots présuppose un lien étroit entre les différentes disciplines de sciences naturelles. La conception des capteurs, des éléments de machine³⁶, des algorithmes ainsi que leur intégration dans un système complet opérationnel requièrent une procédure globale. Les connaissances ainsi acquises peuvent être transférées à de nombreuses autres applications.

De nouveaux matériaux

La conception de nouveaux matériaux constitue un défi à la fois scientifique et industriel, car il est nécessaire de développer non seulement un matériau, mais également un processus de fabrication à maturité industrielle et des processus de transformation adaptés ainsi que des machines pour la production et le contrôle des processus. Outre les aspects liés à la science des matériaux et à la

technique de fabrication, il faut trouver des applications pour les nouveaux matériaux et concevoir les premiers produits. Les tendances de développement actuelles concernant les nouveaux matériaux dans les domaines de la nanotechnologie³⁷, des «smart materials» et de la biotechnologie reflètent cette interdisciplinarité. Comme les nouveaux matériaux pour la fabrication additive, ces matériaux présentent différents degrés de maturité.

Les nanoparticules et les revêtements de surface nanostructurés sont déjà utilisés avec succès dans l'industrie suisse. Du fait de leur petite taille et de leur grande surface de particules par rapport au volume, les nanomatériaux présentent certaines propriétés totalement différentes des corps macroscopiques qui sont fabriqués à partir du même matériau. Outre la conception des nouveaux nanomatériaux et la compréhension des propriétés modifiées, c'est avant tout la sécurité lors de la fabrication, de l'utilisation et de l'élimination qui fait l'objet des activités de recherche et de développement actuelles³⁸.

Les «smart materials», ou matériaux intelligents, sont des matériaux qui réagissent d'une certaine manière à leur environnement ou à une contrainte, et peuvent donc servir de capteurs, d'actionneurs ou d'éléments auto-régulés. Ce concept n'est pas nouveau³⁹ et a déjà atteint une grande maturité industrielle pour certains matériaux, par exemple les *cristaux piézoélectriques*. D'autres approches relatives aux matériaux intelligents, comme la réalisation de circuits⁴⁰ de l'ordre du millimètre ou de matériaux avec capteurs intégrés⁴¹, se situent entre la recherche fondamentale et le développement d'applications. On peut donc présumer que l'utilisation des matériaux intelligents augmentera encore et que leur pertinence pour l'industrie sera renforcée par l'interconnexion progressive des systèmes.

Les biomatériaux sont des matériaux synthétiques qui remplissent une fonction biologique. Ils ne nuisent pas à l'environnement biologique et ne sont pas endommagés par celui-ci. Leur développement est fortement marqué par l'interdisciplinarité et requiert notamment la collaboration des sciences des matériaux, de la biologie, de la chimie, de la médecine et des sciences de

l'ingénieur⁴². Outre les défis scientifiques et techniques, les essais et la certification représentent également un obstacle à l'introduction de nouveaux biomatériaux.

Dans les exemples décrits jusqu'ici, la conception des matériaux et celle des processus s'effectuent largement en parallèle. Mais il se peut également que la conception des matériaux soit déclenchée par un nouveau processus. Certains nouveaux alliages et mélanges de matériaux ne sont réalisables qu'à l'aide du processus de fabrication additive avec son petit bain de fusion et ses vitesses élevées de chauffage et de refroidissement.

Priorités pour l'industrie et la recherche suisses

Pour que la Suisse maintienne sa position de leader dans la fabrication de qualité, l'industrie et la recherche suisses doivent maîtriser les nouvelles technologies de fabrication.

Industrie 4.0

- Interconnexion renforcée de l'IT et de la construction de machines, aussi bien dans le domaine du développement que dans la production
- Les processus modernes de la conception de produits requièrent une offre complémentaire de services et l'intégration dans les systèmes globaux pour réussir le lancement de nouveaux produits
- Création d'usines modèles pour la recherche, le développement et le test des concepts «Industrie 4.0» en vue de réduire les obstacles pour les sociétés

Fabrication additive

- Accès à la technologie additive au niveau des fabricants en mettant l'accent sur les exigences et les compétences-clés de l'industrie suisse, en particulier en ce qui concerne la qualité, la précision et le degré d'automatisation

- Création d'une plateforme pour le transfert technologique préconcurrentiel dans un laboratoire d'application indépendant du fabricant
- Mise en place et développement de la recherche fondamentale pour de nouveaux matériaux et les processus MA correspondants (module d'acceptation)

Robotique avancée

- Promotion de l'interconnexion de l'électronique, de la technique de régulation, des sciences informatiques et de la construction des machines
- Intégration de robots dans des systèmes cyber-physiques pour les domaines d'application industriels/privés (Smart Home)
- Recherche et développement d'éléments de commande avec des composants mécaniques, électriques et électroniques

Nouveaux matériaux

- Conception de nouveaux matériaux, non seulement dans le domaine de la recherche fondamentale, mais également sous forme de processus global jusqu'à l'obtention d'une production industrielle mature et de produits finis pour les clients finaux
- Opportunités pour la conception de matériaux au moyen de nouveaux processus de fabrication
- Grâce au suivi continu et à l'analyse des nouveaux processus, les entreprises peuvent saisir les nouvelles opportunités en termes de conception de matériaux
- Conception de métamatériaux dont les propriétés sont adaptées à l'application spécifique

Répercussions escomptées

Les processus de fabrication sont essentiels au succès des produits et à la durabilité de l'entreprise. Les nouvelles possibilités offertes par Industrie 4.0, la fabrication additive, la robotique avancée et les nouveaux matériaux offrent un vaste champ d'application pour l'innovation, aussi bien dans la production qu'en ce qui concerne les produits, les services et les systèmes. Comme ces technologies déclencheront des changements de rupture, il est essentiel pour les différentes entreprises et pour la place industrielle suisse en général d'identifier leur pertinence en temps utile et de participer activement à ces changements. Les entreprises qui ignorent les nouveaux processus ou se montrent réticentes à intégrer les processus pertinents dans leurs propres processus perdront le contact avec le futur développement industriel et social.

Mesures et recommandations

Pour renforcer l'industrie suisse, en particulier les PME, il est important d'aider les entreprises à suivre et évaluer les nouvelles technologies. L'évaluation dans un environnement réaliste requiert souvent de développer des articles de démonstration dans des projets pilotes. Ces projets mobilisent des ressources et engendrent des coûts sans nécessairement aboutir à un produit concret ou une application concrète. De plus, il est toujours possible qu'une technologie s'avère inadaptée à l'entreprise. Bien qu'un tel résultat ne signifie pas l'échec du projet pilote, c'est un investissement qui n'affecte pas le chiffre d'affaires et les bénéfices de manière positive. Les projets pilotes portant sur de nouvelles technologies s'accompagnent donc toujours d'un risque considérable pour les entreprises.

Ces activités souffrent d'une lacune entre la recherche fondamentale soutenue par le FNS et la conception de produits qui offre de bonnes opportunités avec la promotion des projets CTI. En raison du risque financier des projets d'évaluation technologique et de leur importance pour la durabilité de l'industrie suisse, cette lacune en matière d'encouragement doit être comblée au moyen de programmes de soutien adaptés. Des mesures éventuelles pourraient consister à étendre le chèque pour l'innovation CTI aux sociétés qui collaborent déjà avec des instituts de recherche et à l'augmenter à un montant suffisant pour l'évaluation d'une nouvelle technologie. De plus, la création de centres technologiques indépendants des fabricants pour des études pilotes et de faisabilité spécifiques aux entreprises offrirait aux sociétés intéressées un interlocuteur neutre pour le «technology scouting».

Si l'étude pilote démontre qu'une technologie a le potentiel d'améliorer la production et les produits, l'entreprise devrait franchir le pas. Cela requiert toutefois l'acquisition d'une nouvelle structure, son intégration dans la structure d'entreprise existante ainsi que le développement d'un savoir-faire grâce à la formation continue des collaborateurs ou à l'embauche d'experts. En particulier pour les PME, ces investissements représentent un obstacle de taille à un changement technologique. Comme pour l'évaluation technologique, il n'existe à présent aucune mesure d'encouragement facilitant la prise de décisions risquées par ces entreprises. Une future incitation pourrait être de nature financière ou résider dans le transfert technologique ciblé en provenance de centres technologiques et d'instituts de recherche dûment équipés.

Cristal piézoélectrique

Un cristal piézoélectrique est un composant dont le principe de fonctionnement exploite l'effet piézoélectrique, à savoir l'observation selon laquelle une tension électrique peut être générée sous l'effet d'une force mécanique, ou un mouvement mécanique peut être effectué par application d'une tension électrique.

Source: http://cfn.physik.uni-saarland.de/Dokumente/Manuals/Piezoelektrischer_Effekt.pdf



Santé

Situation de départ

Au cours de la décennie à venir, quatre évolutions sociales influenceront le système de santé de manière déterminante:

- Le **changement démographique** entraîne une forte augmentation de la proportion des personnes âgées. Dans les années à venir, la majorité de la population suisse sera âgée de plus de 50 ans; le groupe des personnes âgées (plus de 80 ans) augmentera de manière disproportionnée.
- A l'heure actuelle, les **coûts de santé élevés** font l'objet de critiques. Malgré une pression publique et une intervention politique, ils continuent d'augmenter de manière disproportionnée. Cette situation ne peut pas durer. L'un des principaux défis pour le secteur de la santé sera donc d'améliorer la qualité des soins médicaux à des coûts constants, voire en baisse.

- On assiste à une **transition vers une société attentive à la santé** dont les membres, même d'un âge avancé, aspirent à un bien-être corporel et sont prêts à s'investir dans cette perspective. Il existe toutefois une part importante de personnes qui souffrent de maladies typiques de la civilisation en raison du mode de vie actuel. Il incombe aux médecins et aux politiciens d'inciter les personnes concernées à davantage de responsabilité et de participation personnelles pour que la charge financière reste supportable pour la société.
- Les soins médicaux sont de plus en plus **participatifs**, car les patients ne veulent plus déléguer l'entière responsabilité au personnel médical; ils souhaitent être informés et impliqués. Le travail des médecins fait l'objet de critiques et d'une comparaison avec les informations provenant d'Internet, ce qui augmente le risque d'autodiagnostic hypochondriaques. Les patients deviennent de plus en plus des «consommateurs» du système de santé.

Ces quatre tendances principales généralisées auront de lourdes conséquences sur le développement et les produits du secteur de la santé:

- Traditionnellement, les soins médicaux sont axés sur le diagnostic et le traitement; à l'avenir, **l'importance de la prévention et de la rééducation** augmentera. Le dépistage précoce des maladies deviendra nécessaire, en particulier en ce qui concerne les maladies neurodégénératives pour lesquelles aucune méthode de guérison ne se profile actuellement. La rééducation extensive gagnera également en importance, de même que les systèmes complémentaires d'assistance à l'autonomie à domicile qui permettent, malgré des limitations ou des handicaps physiques, de mener une vie indépendante et autonome chez soi même un âge avancé. L'importance des soins palliatifs augmentera, avec pour objectif d'offrir la meilleure qualité de vie possible aux personnes souffrant d'une maladie incurable.
- **L'analyse des gros volumes de données (Big Data)** deviendra un moteur principal du secteur de la santé et influencera de manière déterminante la manière dont les données médicales seront collectées et traitées. Outre les applications cliniques comme les radiographies, le diagnostic en laboratoire ou les tests génomiques, la consultation constante et mobile de l'état de santé individuel représentera aussi une source de données volumineuse et importante.
- **L'optimisation souhaitée des coûts** influencera l'évolution scientifique et technique de manière déterminante dans le secteur de la santé. Il convient de se demander quelles prestations doivent obligatoirement être prises en charge par les caisses-maladie. Il est clair à présent que des solutions optimisées en termes de coûts peuvent remplacer des approches cliniques complexes et coûteuses sans pour autant compromettre l'efficacité, la qualité et le résultat. Un exemple en est l'utilisation d'aides au guidage spécifiques au patient dans la médecine orthopédique (par exemple des modèles prédéfinis selon les besoins spécifiques du patient qui permettent de réaliser un guidage précis de l'instrument chirurgical pendant une opération), qui évincent de plus en plus les procédés de navigation assistés par ordinateur.

Défis et opportunités

Technologies de l'information dans le système de santé publique

Le recours multiplié à des technologies d'information modernes devient le principal moteur des technologies de rupture dans le système de santé publique. La transition vers des soins électroniques reposant sur les TI se déroulera avant tout dans trois domaines:

- **L'eHealth** inclut tous les aspects de la collecte, du traitement et de la gestion des données de santé personnelles qui ont été enregistrées de façon numérique ou converties dans un format numérique. Cela inclut les sources de données traditionnelles telles que le dossier patient électronique et le système PACS, mais également des données issues des séquençages génomiques et de la surveillance physiologique. Les services en nuage permettront à l'avenir de collecter et de consulter ces données même en dehors des établissements médicaux. Les acteurs du secteur de la santé pourront donc enregistrer toutes les données des patients pertinentes dans un système central, quelle que soit la source d'enregistrement, et y accéder à tout moment et n'importe où, ce qui permettra d'améliorer la prévention. Revers de la médaille: la difficulté de transférer les données en toute sécurité et de les protéger contre tout abus, un problème général du **Cloud Computing**. La protection des données en termes d'eHealth implique également de ne consulter les données collectées qu'en cas de besoin, de manière orientée utilisateur et avec le consentement du patient. Il existe aussi un risque d'abus lors de l'analyse systématique des données de la population entière qui est réalisée en vue d'acquérir des connaissances scientifiques. Des mesures juridiques ne suffisent pas, il est nécessaire de développer de nouvelles solutions techniques analogues aux technologies cryptographiques dans le transfert de données. De plus, la mesure d'anonymisation visant à protéger les données est insuffisante, car l'identité d'une personne peut être déterminée sur la base des données génomiques.

Cloud Computing

Mise à disposition via Internet de ressources de traitement de données de tous types (des applications aux centres informatiques) en fonction des besoins et sur la base d'une facturation à l'usage.

- Le **mHealth** englobe les technologies qui collectent et transfèrent des données physiologiques personnelles de façon mobile. Idéalement, les capteurs d'enregistrement doivent être de petite taille, discrets et portatifs. Le transfert de données doit s'effectuer avec des appareils mobiles habituels, comme par exemple des smartphones. Il est possible également d'intégrer les capteurs dans l'appareil de transmission. Les données sont ensuite enregistrées et traitées à l'aide des technologies eHealth. Bien qu'il existe déjà de tels appareils, ceux-ci sont principalement utilisés pour déterminer l'état d'activité et de forme physique de l'utilisateur; d'autres applications dans le secteur de la santé font encore défaut et soulèvent des questions quant à la qualité des données utilisées à des fins médicales et aux aspects réglementaires. Il ne fait cependant aucun doute que les technologies mHealth peuvent jouer un rôle essentiel dans la surveillance des personnes seules et dépendantes. Les applications mHealth pourraient également gagner en importance dans le diagnostic de laboratoire (détermination du taux de glucose) et dans la thérapie (administration d'insuline). Cela implique toutefois que les patients puissent apprendre à utiliser ces appareils de façon intuitive.
- Une autre caractéristique de la médecine participative est la création de forums de patients sous la forme de plateformes Web. Les forums existants tels que «PatientsLikeMe»⁴³ proposent des informations et une assistance, mais fonctionnent également comme un «réseau social» dans lequel les personnes concernées peuvent échanger des informations. Les modèles d'affaires sous-jacents sont toutefois problématiques sur le plan éthique, car ils se fondent sur la publicité et le commerce des données pour le «data mining».

Une médecine personnalisée

L'adaptation de la thérapie aux caractéristiques individuelles d'un patient compte parmi les éléments de base du succès d'un traitement. Les analyses génomiques relativement bon marché permettent aux médecins de franchir une étape supplémentaire et d'identifier les groupes de patients répondant à une certaine catégorie de substances actives. Toutefois, la médecine personnalisée ne contient pas seulement des thérapies adaptées au *génotype*, mais commence dès la prévention et le diagnostic précoce: la découverte de biomarqueurs spécifiques et sensibles ainsi que de nouveaux appareils de diagnostic basés sur des principes spectroscopiques pour déterminer les métabolismes y contribuent dans une large mesure. Les applications du domaine mHealth

mHealth

Le concept mHealth englobe toutes les technologies qui collectent et transfèrent des données physiologiques personnelles. Cela inclut la mesure occasionnelle ou à long terme des paramètres vitaux tels que la température corporelle, la fréquence cardiaque et respiratoire ainsi que la pression vasculaire, mais également l'enregistrement de valeurs plus complexes, par exemple celles collectées lors d'électrocardiogrammes (ECG), d'électroencéphalographies (EEG) ou de mesures de la pression intraoculaire.

permettent d'intégrer des modes de vie et des facteurs environnementaux dans le traitement personnalisé. La médecine personnalisée soulève toutefois de nombreuses questions éthiques⁴⁴.

Une médecine régénérative

Les grandes réalisations opérées dans le domaine de l'immunosuppression ont contribué à la percée de la transplantation d'organes. Toutefois, pour des raisons pratiques et éthiques, la disponibilité des organes est fortement limitée, ce qui rend impossible une utilisation à grande échelle de la transplantation d'organes. Le «tissue engineering» (ingénierie des tissus) pourrait offrir une alternative; au cours des dernières années, il s'est toutefois développé beaucoup plus lentement que prévu. Quelques exemples de réussite (la création de scaffolds fonctionnels et individualisés, autrement dit de supports biologiques, avec des imprimantes 3D ou la culture de tissus bidimensionnels comme la peau) ne doivent pas nous faire oublier que le «tissue engineering» ne sera pas un moteur principal de la médecine régénérative dans un avenir proche.

Par le passé, la conception d'implants a dominé la médecine régénérative. En dehors des implants orthopédiques et vasculaires et des dispositifs cardiaques implantables tels que les pacemakers ou les valves, les implants neuronaux et sensoriels (implants cochléaires et stimulateurs cérébraux) sont de plus en plus utilisés. Les progrès techniques réalisés, par exemple en matière d'impression 3D, la conception de nouveaux matériaux et les simulateurs physiologiques permettront d'améliorer ces appareils de façon déterminante. Pour exploiter pleinement le potentiel des implants, il est nécessaire de développer des capteurs et des actionneurs adaptés. De plus, le problème de l'alimentation en énergie dans le corps doit être résolu et il faut réussir à concevoir des matériaux résorbables permettant une libération locale contrôlée des substances actives. Malgré tout, des solutions viables dans certains domaines, comme les cœurs artificiels ou les rétines artificielles, se feront encore attendre en dépit des progrès escomptés.

La rééducation, qui s'appuie sur la capacité de régénération naturelle du corps, jouera également un rôle de plus en plus important dans la médecine régénérative. L'objectif est d'augmenter l'efficacité de la physiothérapie traditionnelle à l'aide de nouveaux appareils et d'environnements de formation adaptés. Cela requiert des systèmes robotisés pour améliorer la mobilisation des patients, des capteurs pour effectuer une mesure quantitative des progrès de la thérapie, ainsi que des applications IT permettant de créer des environnements virtuels et complémentaires afin d'organiser des unités de formation répétées. Il ne faut pas non plus sous-estimer l'importance des jeux informatiques pour la rééducation mentale, d'autant plus que ceux-ci sont relativement faciles à intégrer dans le quotidien grâce aux appareils portables. L'envie de participer au développement des environnements de réadaptation est très grande en Suisse, aussi bien dans les start-ups que dans les moyennes entreprises. A l'avenir, cette branche pourrait donc revêtir une importance majeure pour l'industrie suisse, comme la fabrication d'appareils orthopédiques.

Priorités pour l'industrie et la recherche suisses

L'une des grandes forces du secteur suisse de la santé réside dans l'interaction et l'intégration de l'expertise issue de diverses branches de production. A l'avenir, cette capacité gagnera encore en importance. Il s'agira de transférer avec succès des technologies issues de domaines aussi différents que la bioinformatique, les TIC, la micro et la nanotechnologie ainsi que des processus de fabrication et de conception de nouveaux matériaux fonctionnels dans le système de santé. Un exemple existant d'une telle intégration est le transfert de données dans des stimulateurs cardiaques implantables; d'autres possibilités s'offrent avec les appareils de dialyse portables et les matériaux et appareils qui libèrent des substances actives.

L'utilisation accrue de TIC pour la conception d'appareils médicaux promet d'être particulièrement exigeante car elle réunit deux domaines de développement ayant des traditions et des exigences diamétralement opposées. En particulier la question de l'autorisation et de la responsabilité des produits est d'une importance cruciale.

La procédure d'autorisation réglementaire des nouveaux produits dans le secteur de la santé pose un sérieux problème aux start-ups. On observe déjà aujourd'hui un ralentissement considérable de la commercialisation des nouvelles technologies, généralement dû à un manque d'argent et de connaissances expertes. Il est important d'élaborer des solutions permettant de réduire les charges pour les petites entreprises grâce à une assistance centrale.

Répercussions escomptées

Grâce à sa recherche et à son développement universitaires solides ainsi qu'à la bonne collaboration entre la science, l'ingénierie et l'aspect clinique, la Suisse est bien armée pour relever les futurs défis. Les marchés émergents, par exemple concernant les services associés aux TIC dans le secteur de la santé, sont immenses et peuvent influencer la croissance industrielle dans les branches correspondantes de manière positive. De plus, la Suisse peut compter sur ses points forts traditionnels en termes de collecte et de gestion des données et remplir ainsi une fonction essentielle pour les fournisseurs de services en nuage pour la sauvegarde de données patients. La Suisse est également bien positionnée dans les secteurs de travail plus traditionnels, ce qui lui permet de rester compétitive face aux puissances économiques en plein essor – à la condition de fournir des performances exceptionnelles dans le domaine de l'innovation, d'avoir une protection adéquate des brevets et de réussir à intégrer les nouvelles technologies.

Mesures et recommandations

Pour créer un environnement législatif favorable et exploiter pleinement le potentiel économique, deux problèmes ne doivent pas être négligés:

- Les exigences réglementaires représentent aujourd'hui un facteur coût majeur lors de la conception et de la mise à disposition des solutions dans le secteur de la santé et sont souvent à l'origine de retards dans le développement du marché des produits. Les manquements de certains acteurs et un besoin croissant de sécurité au sein de la population tendent à augmenter les exigences réglementaires. Il est donc indispensable de trouver un compromis garantissant un niveau acceptable de sécurité des produits sans que la transparence et la viabilité économique n'en pâtissent.
- Tous les efforts nécessaires doivent être mis en œuvre pour trouver un consensus social quant à l'accès aux prestations onéreuses dans le secteur de la santé. Il n'est pas acceptable que ces décisions sensibles de grande portée soient prises par des instances qui ne considèrent la problématique que d'un point de vue très limité.

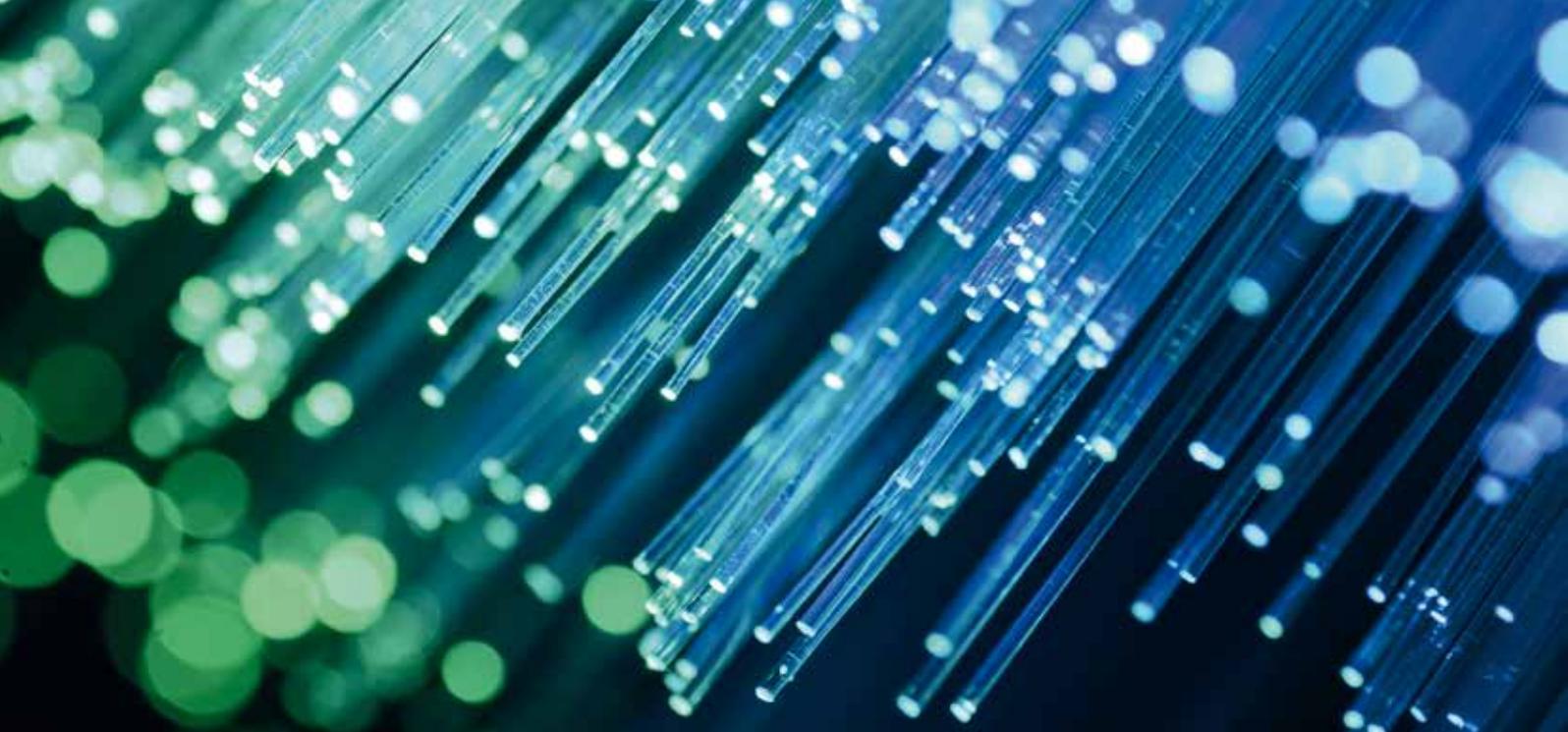
Systeme PACS

Un PACS (en anglais: Picture Archiving and Communication System) est un système numérique de traitement, de gestion et d'archivage d'images et de données médicales dont le développement a débuté dans les années 1970. Les données d'images de tous les appareils médicaux utilisés pour les procédés d'imagerie dans le diagnostic médical (par exemple radiographie, sonographie, CT, MRT ou endoscopie) sont enregistrées. Les données sont envoyées à un serveur PACS central où elles sont enregistrées puis mises à disposition sur des stations de travail spéciales à des fins d'examen ou de post-traitement.

Génotype

L'image du patrimoine d'un organisme. Le génotype représente exactement les caractéristiques génétiques de l'organisme, autrement dit l'ensemble individuel des gènes qu'il porte dans le noyau cellulaire et qui détermine son aspect morphologique et physiologique.

Source: <http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9notype>



Technologies de l'information et de la communication (TIC)

Situation de départ

Les TIC deviennent un pilier de plus en plus important de l'économie suisse et joueront à l'avenir un rôle encore plus déterminant pour la puissance économique et le bien-être de la population suisse. Grâce à leur fonction transversale, elles augmentent la capacité d'innovation et la productivité dans tous les branches – les banques, les assurances, l'énergie, le transport, la santé et l'industrie, y compris l'administration publique. Avec une valeur ajoutée de 28,2 milliards de francs (en 2011), la branche des TIC est le cinquième plus grand secteur économique en Suisse, qui contribue à plus de 5 pour cent à la puissance économique suisse globale⁴⁵. Il n'est pas tenu compte de la contribution indirecte des TIC à la productivité et à la création de valeur dans les autres branches en raison d'un manque de données statistiques; il est toutefois certain que celle-ci a augmenté au cours des dernières années et continuera encore d'augmenter. En moyenne, l'indice de l'emploi dans le domaine professionnel des TIC en Suisse est passé de 100 à 117 depuis 2001 (Dotcom-Blase), tandis que l'indice de la totalité des salariés durant la même période n'a enregistré qu'une augmentation de 100 à 111.

A l'avenir, les TIC affecteront encore davantage tous les domaines de notre vie. Elles ouvrent déjà la voie à de nouvelles opportunités commerciales ainsi qu'à de nouveaux produits et services novateurs qui renforcent l'efficacité et la compétitivité de l'économie suisse. Il est indispensable que la Suisse soit en première ligne du développement et de l'application, car les TIC représentent une force de transformation ayant le potentiel de créer de la valeur, des emplois et de nouveaux secteurs d'activité ainsi que de modifier durablement la société.

A l'heure actuelle, nous entrons dans une ère nouvelle de l'intégration et de l'interaction sans fil entre les personnes, les objets, les services et les systèmes dans la vie quotidienne et dans les processus industriels. Cela est rendu possible par des tendances technologiques, telles que le Cloud Computing et l'IoT, combinées aux Big Data et aux possibilités de traitement et d'analyse globales des gros volumes de données. Les technologies convergentes d'un matériel de plus en plus petit, économe en énergie et rentable pour les appareils mobiles, ainsi que la connectivité omniprésente et les réseaux ouverts, combinés au Cloud Computing et à la surveillance et l'évaluation des systèmes complexes en temps réel, offrent de toutes nouvelles opportunités dans tous les domaines. D'ici 2020, 26 milliards d'objets feront partie de l'IoT⁴⁶. Cela représentera quasi une multiplia-

tion par 30 en l'espace de dix ans et permettra de réaliser un chiffre d'affaires estimé à plus de 300 milliards USD à travers le monde, principalement sous forme de services⁴⁷. Les SCP fusionnent le monde virtuel et physique et permettent ainsi d'exploiter des systèmes distribués complexes ainsi que de nouvelles applications multiples dans tous les domaines de la vie⁴⁸. Le Cloud Computing permet d'enregistrer et d'évaluer les volumes importants de données collectées; des méthodes d'analyse mathématique sont de nouveau nécessaires pour extraire des informations à partir de ces données et tirer des conclusions utiles. A l'échelle mondiale, différentes initiatives telles que le Greentouch⁴⁹, l'IBM/Google Academic Cloud Computing Initiative ACCI⁵⁰, l'EcoCloud⁵¹ et le projet pilote Future ICT de FET Flagship⁵² ont démontré l'importance des très gros volumes de données et de leur exploitation intelligente pour tous les domaines éventuels de la vie économique et sociale. L'un des principaux objectifs est de comprendre et d'utiliser des systèmes complexes, globaux et socialement interactifs axés sur la préservation de la valeur, la sécurité intégrée, la solidité et la résilience. D'autre part, la collecte de données à l'échelle mondiale est tributaire de systèmes économes en énergie ou autonomes en énergie, comme le propose par exemple le projet pilote Guardian Angels de FET Flagship⁵³. Il y a peu, le rapport Big Data a clairement démontré au président des Etats-Unis d'Amérique⁵⁴ que les Big Data pourraient être à la base d'une future croissance économique avec une grande utilité sociale.

En résumé, on peut dire que la fusion de plus en plus rapide du monde virtuel et du monde réel (IoT, CPS), combinée aux Big Data et aux possibilités correspondantes de l'analyse de données et du Cloud Computing, fera encore progresser la pénétration des TIC dans toutes les branches industrielles et créera une multitude de nouvelles opportunités commerciales. Les performances et les points forts de la Suisse en termes d'industrie, d'innovation et de recherche la placent dans une position privilégiée pour exploiter ces opportunités dans de nombreux domaines d'application spécifiques.

Défis et opportunités

Les TIC sont considérées aujourd'hui comme le principal moteur des développements de rupture dans de nombreux domaines qui encouragent l'innovation, l'efficacité, la résilience et la qualité grâce à un meilleur contrôle des systèmes complexes, ainsi qu'à la conception de nouveaux produits et services. Ce constat vaut tout particulièrement pour les secteurs traités en priorité dans ce rapport (énergie, transport, santé et industrie), car les TIC y permettent la gestion efficace des ressources utiles.

Le Cloud Computing offre un accès permanent et à la demande à un pool de ressources informatiques partagées et configurables (par exemple des réseaux, des serveurs, des mémoires, des applications et des services) qui peuvent être fournies et libérées rapidement avec une charge administrative minimale. Les attributs correspondants, autrement dit la mise à disposition d'un service flexible, disponible partout et à tout moment selon les besoins, automatisé et rentable, offrent d'énormes opportunités commerciales. Cela est parfaitement illustré par les médias et réseaux sociaux ainsi que par l'«App Economy», mais également par la croissance dans le domaine des centres de données et des prestataires de services. En particulier dans ce dernier domaine, la Suisse est prédestinée à un rôle de leader grâce à ses avantages locaux prononcés en comparaison internationale, tels que la stabilité politique, la sécurité juridique, la prospérité économique et l'indépendance. Les économies de coûts obtenues, la rapidité élevée, les nouveaux services et les modèles d'affaires (par exemple, «Pay-as-you-go») sont attrayants en particulier pour les start-ups novatrices. Les solutions en nuage permettent en outre d'exploiter des ressources informatiques, indépendamment du lieu et du temps, et donc de créer des formes de travail flexibles qui s'accompagnent d'une économie d'énergie, de coûts de mobilité réduits et d'un bon équilibre entre le travail et la vie privée.

La possibilité de connecter presque tous les objets à l'Internet des objets (des systèmes très simples aux systèmes très complexes), les possibilités de commande à distance, ainsi que la surveillance et la détection offrent une multitude de nouvelles applications et de nouveaux services. La connectivité inhérente peut être exploitée de diverses manières pour concevoir et proposer des produits et services novateurs et obtenir ainsi des avantages concurrentiels. La surveillance technique et physique des bâtiments et des infrastructures, les mesures visant à maîtriser les coûts de santé exorbitants, la mise en œuvre de réseaux intelligents (Smart Grids), l'interconnexion d'appareils intelligents en vue de l'économie d'énergie, de la prévention dans le domaine des soins de santé et de la prestation de soins aux personnes âgées, la meilleure visibilité des données d'inventaire, la traçabilité des marchandises, les systèmes de transport écologiques et sûrs (véhicules interconnectés), la distribution rapide et efficace de denrées alimentaires et de produits agricoles, les systèmes de conduite d'eau plus efficaces et l'augmentation de la productivité ne sont que quelques exemples des domaines d'application offrant un potentiel élevé. L'IoT fera encore augmenter le volume déjà énorme de données enregistrées dans le nuage (Big Data). Ces données peuvent être explorées et évaluées avec précision et représentent, pour de nombreuses entreprises ainsi que pour les institutions privées et publiques, une nouvelle ressource essentielle pour des processus efficaces, de meilleures décisions commerciales et de nouvelles opportunités commerciales.

L'un des plus grands défis auxquels est actuellement confrontée la branche TIC réside dans la protection et le traitement sécurisé des données personnelles et propriétaires. Il existe différentes approches réglementaires en ce qui concerne les technologies en nuage. La sauvegarde des données ne s'effectue pas toujours selon des règles transparentes, il peut arriver que des tiers gèrent voire détiennent des données enregistrées. Il est donc essentiel de développer des nouvelles méthodes de chiffrement de données et des solutions technologiques ainsi que des normes, des lois et des mesures spécifiques pour garantir la confidentialité, la sécurité, la disponibilité et la fiabilité des données et les protéger contre les attaques

malveillantes. A cet égard, la Suisse devrait continuer à développer ses compétences-clés dans le domaine de la sécurité et de la confidentialité en introduisant des règlements et directives appropriés et en investissant dans la recherche et le développement de nouvelles technologies de chiffrement. A ce propos, la cryptographie quantique, dans laquelle la Suisse excelle déjà aujourd'hui, constitue une importante technologie d'avenir.

En outre, le succès de l'IoT implique de concevoir de nouveaux matériels et logiciels, par exemple pour des systèmes informatiques et de communication fondés sur des composants économes en énergie avec des systèmes d'exploitation, des logiciels et des protocoles de transfert économes en énergie, ainsi que pour le stockage et la production d'énergie dans des systèmes autonomes, par exemple dans des réseaux de capteurs sans fil. Cela implique de rechercher des nouveaux matériaux et éléments issus de la micro et nanoélectronique, de la détection et de la photonique pour pousser le rendement énergétique jusqu'aux limites physico-techniques.

Priorités pour l'industrie et la recherche suisses

Les priorités dans le secteur des TIC se recoupent avec d'autres secteurs-clés tels que l'industrie, l'économie, la recherche et la société:

Les TIC dans le secteur de l'énergie: le rendement énergétique et le recours à de nouvelles technologies pour améliorer la gestion des réseaux d'électricité, des flux de trafic, des villes (Smart City) et des agglomérations sont à la fois une priorité et une véritable opportunité pour l'industrie, l'économie et l'administration. Le rendement énergétique doit être appliqué à tous les niveaux, depuis la gestion efficace de la production, du stockage et de la distribution jusqu'aux réseaux d'électricité et aux composants, où il faut impérativement utiliser de nouveaux appareils photoniques, comme décrit au chapitre «énergie et transport». Il est important de promouvoir activement la pénétration croissante des TIC, y compris l'IoT, dans l'économie et la société et de favoriser la transition

vers des systèmes intelligents interconnectés. Ce sont ces réseaux qui permettront d'augmenter le rendement énergétique, de la production à la consommation d'électricité de préserver les ressources limitées et de créer une multitude de nouveaux modèles d'affaires.

Les TIC dans le secteur de la santé: des progrès importants (par exemple, dans le domaine de la génomique, de la *protéomique* et de l'imagerie cérébrale) permettent de produire de plus gros volumes de données en un minimum de temps. Les TIC seront à l'origine de la prochaine révolution dans le secteur de la santé. Les technologies IoT et CPS permettent d'avoir un système de détection omniprésent pour la surveillance et la réaction en temps réel, mais également pour l'enregistrement à long terme des facteurs physiologiques et psychiques ainsi que des conditions environnementales pour les futures applications dans le secteur de la santé, au sein de la société vieillissante et pour la prévention des maladies et accidents. Cela permet d'améliorer le diagnostic, le traitement des maladies et la qualité de vie des personnes concernées. Les répercussions éventuelles sur le développement des nouvelles formes personnalisées de traitement et de prévention sont particulièrement pertinentes. La conception de systèmes de capteurs conviviaux, non intrusifs et autonomes en énergie (par exemple, l'EEG et l'ECG) permettra une surveillance et une adaptation précise des thérapies rééducatives et permettra ainsi aux patients de surveiller eux-mêmes leur santé grâce à l'utilisation permanente d'appareils médicaux autonomes et portables. Par exemple, cela contribuera dans une large mesure à prévenir les attaques cérébrales – l'une des pathologies neurologiques les plus répandues à travers le monde – ou de les traiter plus efficacement.

Les TIC dans l'industrie: les solutions basées sur les TIC, tout au long de la chaîne des processus, permettent de concevoir une industrie manufacturière plus efficace, plus durable et plus résistante. En plus d'offrir un portefeuille de produits diversifié et adapté avec précision aux besoins du client, elles permettent de réagir de façon flexible aux évolutions du marché. La régulation et la surveillance de processus contrôlées par capteur, la technique de mesure de précision automatisée opto-

électronique ainsi que les algorithmes pour les analyses de données (volumineuses) et les contrôles de processus font partie des caractéristiques d'avenir de la technique de fabrication moderne. La numérisation complète des processus de production offrira également de nouvelles opportunités commerciales aux prestataires de services. Des modèles d'affaires adaptés doivent garantir la sécurité des données et la propriété des données pour les clients industriels.

Les nouveaux composants TIC économes en énergie jouent un rôle clé dans toutes les technologies susmentionnées. Les nouveaux matériaux fonctionnels, la micro et nanotechnologie pour les composants très peu consommateurs d'énergie, l'électronique flexible et portable, les composants photoniques, les capteurs, les systèmes autonomes de différentes tailles, y compris la robotique, le stockage d'énergie ainsi que la conversion et la production d'énergie sont les moteurs de cette évolution et disposent d'un potentiel d'innovation que la Suisse peut parfaitement exploiter.

Répercussion escomptée

Les TIC, qui reposent presque entièrement sur une plateforme de systèmes, d'appareils et de services électroniques interconnectés, sont qualifiées de «technologies émergentes». Cela signifie qu'elles ont le potentiel de guider la société vers un avenir vraiment durable ou, au contraire, dans un monde d'inégalités socio-économiques croissantes et de destruction de l'environnement. Les sociétés modernes des nations fortement industrialisées comme la Suisse sont de plus en plus tributaires d'une baisse constante des coûts et de la consommation d'énergie dans le domaine des TIC.

Internet, la communication mobile et la pénétration des appareils, des applications, des supports et des réseaux basés sur les TIC dans tous les secteurs ont profondément modifié notre société. Aujourd'hui, les informations sont disponibles pratiquement partout et à tout moment. Nous pouvons interagir et faire des affaires en temps réel avec d'autres personnes, systèmes

et services depuis n'importe quel endroit – nous sommes toujours en ligne grâce à des appareils mobiles. Les TIC joueront un rôle essentiel dans le renforcement de l'innovation, du bien-être et de la compétitivité de tous les secteurs industriels et de services. L'interaction des TIC avec les secteurs de l'énergie, de la santé et de la fabrication sera particulièrement importante pour l'économie suisse d'un point de vue stratégique (voir aussi chapitre précédent).

Un redoublement d'efforts dans la recherche et le développement des TIC permettra de générer des solutions novatrices pour l'IoT et les SCP et de confirmer ainsi le rôle de leader de la Suisse dans ce domaine. On attend en particulier de nouvelles applications et le développement de nouveaux débouchés dans le domaine de la sécurité, de la promotion de la santé, du bien-être, de la vie assistée dans une société vieillissante et du rendement énergétique.

De grandes opportunités commerciales s'ouvrent pour les start-ups et les prestataires de services dans le domaine de la sécurité des données, de la propriété des données et de la protection des données au niveau des applications clients, en particulier vis-à-vis des défis générés par l'IoT et les SCP pour les clients industriels en Suisse et à travers le monde. Le développement et l'application de ces technologies peuvent renforcer la position de la Suisse en tant qu'acteur mondial dans le domaine des TIC.

Mesures

Pour le secteur des TIC, les recommandations spécifiques suivantes peuvent être recommandées:

Encourager une recherche fondamentale de pointe dans les TIC avec un effet de levier important.

Nous proposons les priorités de recherche suivantes:

- Technologies économes en énergie pour l'IoT, les SCP et le Mobile Computing: des composants très peu consommateurs d'énergie pour la détection, l'optoélectronique, l'informatique et la communication, y compris les différentes technologies de fabrication; des logiciels économes en énergie (avec des systèmes d'exploitation) ainsi que des concepts, des protocoles et des normes pour un transfert de données sans fil écologique sur de moyennes et courtes distances de transmission
- Stockage et production d'énergie décentralisée et efficace pour des systèmes autonomes et faciles d'entretien

Encourager les innovations par la recherche et le développement dans certains domaines d'application pour assurer le leadership technologique de l'industrie suisse et créer de nouveaux débouchés.

- Développement de nouvelles applications dans les domaines de l'énergie, de la santé et de la fabrication grâce à l'utilisation de technologies économes en énergie. Une attention particulière doit être accordée aux systèmes de détection autonomes et intelligents (IoT, CPS) pour des processus efficaces et robustes, aux aspects de l'intégrité structurelle et de la promotion de la santé personnelle en tenant compte des influences pertinentes de l'environnement, ainsi qu'à la sécurité et aux processus de production flexibles et durables (dans l'optique d'Industrie 4.0).
- L'interconnexion croissante des systèmes et des appareils dans les secteurs susmentionnés exigera de nouveaux services et de nouvelles infrastructures de

Technology Readiness Level (TRL)

Le TRL, ou niveau de maturité technologique, indique sur une échelle de 1 à 9 à quel point une technologie s'est développée. Un TRL 1 correspond à un niveau de recherche fondamentale avec une échéance de 8 à 15 ans jusqu'à la maturité industrielle. Des premiers prototypes sont utilisés dans les TRL 6 et 7 (1 à 5 ans jusqu'à la maturité industrielle); un système qualifié avec preuve d'une utilisation réussie correspond au TRL 9.

Source: http://fr.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level

données pour le stockage des données, l'accès à celles-ci et leur distribution. Des défis et des opportunités commerciales se présenteront dans le domaine de la protection des données, de la sécurité des données et des droits de propriété. Dans le cadre de l'IoT et des SCP, des solutions sont nécessaires avant tout au niveau de l'entreprise; de nouveaux concepts et de nouvelles normes permettront toutefois de les transférer au niveau des consommateurs et de répondre ainsi à la demande d'une sécurité et d'une protection des données abordables pour chacun. La force et la compétence du label suisse offrent un avantage concurrentiel qu'il faut entretenir et exploiter.

Des mesures de soutien prises par les institutions et les politiques.

Conception et/ou renforcement des mesures de formation dans le domaine de la technologie et des systèmes complexes, qui thématisent les défis pluridisciplinaires, encouragent les compétences et les talents requis, et couvrent les besoins en professionnels et ingénieurs dans les TIC.

- Définition, coordination et application de conditions-cadres juridiques fiables et de réglementations pour les services et les utilisateurs/clients dans le domaine des Big Data (et de l'analyse), en particulier en ce qui concerne la protection des droits de propriété sur les données, la protection et la sécurité des données

- Soutien des mesures de normalisation spécifiques et des protocoles qui sont nécessaires à une meilleure interopérabilité des systèmes cyber-physiques et des composants IoT
- Soutien à la formation, à la recherche fondamentale, au transfert technologique et à l'innovation dans les domaines susmentionnés à l'aide d'instruments d'encouragement substantiels et efficaces. Il importe en particulier de promouvoir la collaboration interdisciplinaire et la collaboration des partenaires de recherche universitaires avec l'industrie, notamment en ce qui concerne la fabrication, depuis la recherche fondamentale en ingénierie jusqu'au niveau de maturité technologique 6 (TRL6).

Protéomique

Spécialité qui étudie l'ensemble des protéines présentes dans une cellule ou dans un organisme complexe. L'ensemble de ces protéines est appelé «protéome». Contrairement au génome relativement rigide, le protéome est extrêmement dynamique et soumis à des changements constants en termes de concentration, de composition et de fonction.

Source: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Prot%C3%A9omique>

Recommandations





Recommandations

La recherche appliquée (orientée industrie) doit être davantage encouragée.

La recherche appliquée, autrement dit la recherche située entre la recherche fondamentale à long terme et la conception de produits à court terme, est négligée en Suisse. Bien que cette lacune ait été reconnue, les efforts actuels doivent être accentués, ce en modifiant l'orientation de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) ou par le biais de nouveaux modèles supplémentaires de promotion présentant un caractère Public-Private-Partnership.

La réorganisation de la CTI prévue par le Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche (DEFR) offre pour cela une excellente opportunité. L'extension du volet de financement doit améliorer la collaboration entre la recherche universitaire et l'industrie au cours de la phase préparatoire axée sur la pratique du développement des technologies et des produits. Afin de garantir un lien étroit avec la pratique, le jury professionnel chargé de répartir les subventions doit être composé paritairement d'experts issus des hautes écoles et de l'industrie, en particulier des PME. Afin de stimuler cette recherche dans l'environnement préconcurrentiel, il convient en particulier d'améliorer l'accès aux subventions à l'industrie, et ce surtout aux PME.

Deux axes de recherche doivent être consolidés

Ensemble, les instituts de recherche et l'industrie suisses doivent renforcer le développement des matériaux et des processus pour les nouveaux processus de fabrication. Cela requiert une initiative de fabrication nationale.

La maîtrise des technologies de fabrication est l'une des compétences-clés requises pour préserver la compétitivité industrielle dans les pays à hauts salaires. Le processus de fabrication additive, l'automatisation et l'intégration des nouveaux matériaux représentent des défis mais également des opportunités. Cela concerne également les nouvelles technologies pour la conception des produits et le contrôle des processus. Comme le démontrent certains exemples dans nos pays voisins, la maîtrise de ces nouveaux processus requiert une collaboration intensive entre la recherche universitaire et l'industrie. Les projets de coopération, les centres technologiques munis d'installations pilotes pour le développement préconcurrentiel et l'application des technologies de fabrication innovantes, ainsi que la mise à disposition des moyens requis pour une formation adéquate, doivent être réalisés dans le cadre d'un consortium.

La recherche et l'innovation dans le domaine des technologies éco-énergétiques et des systèmes intelligents autonomes doivent faire partie des priorités nationales.

Les technologies éco-énergétiques et les systèmes intelligents autonomes sont à la base des systèmes cyberphysiques et de l'Internet des objets. Dans ces domaines, la recherche et l'innovation doivent englober toutes les fonctionnalités de base telles que la détection, la puissance de calcul, la communication et l'approvisionnement énergétique.

L'extension de la cybersécurité et de la protection des données requiert une approche globale.

Dans le secteur de l'énergie et du transport, il est essentiel qu'un plus grand nombre d'unités de coordination agissent et que des mesures et des normes réglementaires adaptées soient créées pour pouvoir gérer les risques accrus en matière de cybersécurité de façon appropriée.

La pénétration des technologies de l'information et de communication dans notre quotidien ne va cesser de croître et concernera davantage le contrôle des systèmes sensibles et vitaux pour la société. Les autorités ou les organisations responsables chargées de tâches spécifiques doivent donner la priorité à la sécurité dans le réseau afin de gérer les risques associés (par exemple, pour les infrastructures critiques sur le plan national).

L'évolution dans le domaine des technologies de l'information et de la communication implique d'avoir de nouveaux règlements et de renforcer la promotion de la recherche afin de garantir les droits de propriété relatifs aux données, la protection des données et la sécurité des données, ainsi que d'ouvrir de nouveaux débouchés.

De nouveaux domaines critiques, comme l'Internet des objets et les systèmes cyberphysiques, requièrent une réorganisation des conditions-cadres légales. Cela concerne en particulier les possibilités élargies de l'acquisition d'informations et de l'analyse de données qui résultent de cette évolution (Big Data et analyse des Big Data ohne Bindetrich), et leurs vastes conséquences sur la sécurité des données et la vie privée.

En particulier les données médicales doivent être protégées par le développement de solutions techniques et algorithmiques.

Le droit des patients de disposer de leurs données doit être garanti. Cela requiert non seulement des solutions techniques, mais également une normalisation et des dispositions légales qui doivent s'appliquer en accord avec l'environnement international.

Le développement de conditions-cadres appropriées pour l'économie doit être sciemment renforcé.

Une évolution dynamique de l'économie présuppose des conditions-cadres adéquates.

Il est nécessaire de créer des conditions favorables pour les investisseurs, les investisseurs en capital-risque et les jeunes entrepreneurs durant la phase de démarrage des entreprises high tech.

Les allègements fiscaux pour la phase de démarrage ainsi que l'allègement des règles de responsabilité en cas d'échec doivent figurer en premier plan.

Les autorités réglementaires doivent se considérer comme des partenaires et élaborer et mettre en œuvre des processus réglementaires minimaux, raisonnables et efficaces conjointement avec les parties prenantes.

La diversité et les besoins des travailleurs selon le sexe et la phase de vie doivent être davantage pris en considération.

Pour cela, des modèles de travail dynamiques et non discriminatoires sont nécessaires, de même que la conception de cadres de soutien pour la formation et la réorientation professionnelles.

Outre un niveau de qualification et de formation élevé, la relève pour l'industrie a besoin également d'une meilleure aptitude à la coopération.

La force de la place économique suisse réside dans une combinaison réussie des capacités les plus diverses. Pour la conserver ou l'améliorer, il importe non seulement de prévoir une excellente formation dans les disciplines de base, mais également de transmettre les valeurs humaines fondamentales telles que le respect et la volonté de coopérer.

Références

- ¹ **Forbes**: principale source pertinente d'informations politiques, financières et économiques à l'échelle mondiale portant une attention particulière à l'analyse des nouveaux développements technologiques qui, selon le magazine américain, sont susceptibles d'exploser au cours des cinq prochaines années. (www.forbes.com/sites/roberthof/2013/05/23/live-the-top-10-future-tech-trends-from-5-top-venture-capitalists/).
- ² **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**: la plus grande association professionnelle et technique d'ingénieurs au monde analyse et encourage l'innovation technologique et l'excellence au profit de l'humanité et conçoit des normes technologiques appliquées à l'échelle mondiale (www.ieee.org/about/technologies/index.html).
- ³ **McKinsey**: cette société mondiale de conseil en entreprise et en stratégie conseille des entreprises leaders, des institutions et des gouvernements mondiaux. Sa méthodologie englobe l'analyse des tendances industrielles micro-économiques en vue d'une meilleure compréhension des forces macro-économiques qui influencent les stratégies commerciales et la politique. L'étude «Disruptive technologies: advances that will transform life, business, and the global economy» parue en mai 2013 ainsi que le rapport «Ten IT-enabled business trends for the decade ahead» revêtent une grande importance pour le présent rapport, car ils englobent les niveaux individuel et gouvernemental (www.mckinsey.com/).
- ⁴ **Horizon**: la nouvelle stratégie européenne de recherche et de développement (R&D) est axée sur la croissance et l'innovation dans un contexte mondial et comporte: (i) une plus grande focalisation et davantage de coopération, (ii) des KET définie avec précision, (iii) une nouvelle stratégie d'innovation, (iv) un accent particulier sur la promotion de l'innovation dans le domaine des TIC et (v) des stratégies pour une spécialisation intelligente. Un objectif de la Commission européenne est de combiner son budget de recherche avec les tâches étatiques et les investissements des sociétés privées et d'unir un maximum de forces pour la promotion de l'innovation dans le cadre de Horizon 2020 (http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/key_technologies/).
- ⁵ **Roadmaps du Fraunhofer Institut et d'institutions similaires**: ces roadmaps regroupent les principales tendances en Europe et reflètent l'orientation de la recherche européenne en ce qui concerne les technologies novatrices. Ensemble, ces partenaires entretiennent des organisations ou plateformes européennes spécifiques qui élaborent leurs propres roadmaps en coordination avec la Commission européenne. Les institutions suisses entretiennent une collaboration stratégique avec ces partenaires et contribuent à leurs roadmaps européens.
- ⁶ Données – Commerce extérieur, exportation des marchandises essentielles 1990 – 2012. Neuchâtel: Office fédéral de la statistique; 2014. <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/06/05/blank/data.html>.
- ⁷ Swiss MedTech Report 2012. Berne: MedTech Switzerland; 2012.
- ⁸ www.ta-swiss.ch
- ⁹ A. Schulze, P. Schmitt, K. Neumüller. Automotive Industry Switzerland, Industry Analysis 2008. Zurich: ETH Zurich, Swiss CAR; 2008.
- ¹⁰ L. Atzori, A. Iera, G. Morabito. The Internet of Things: A Survey. Computer Networks 2010; 54: 2787-2805.
- ¹¹ European Technology Platform Photonics21. Towards 2020 – Photonics Driving Economic Growth in Europe. <http://www.photonics21.org/>.
- ¹² Spectroscopie moyen infrarouge (MIR) ou spectroscopie Raman.
- ¹³ S.T. Anwar. Selling Time: Swatch Group and the Global Watch Industry. Thunderbird International Business Review 2012; 54: 747-762.
- ¹⁴ K.A. Cook-Chennault. Powering MEMS Portable Devices – a Review of Non-Regenerative and Regenerative Power-Supply Systems with Special Emphasis on Piezoelectric Energy Harvesting Systems. Smart Materials and Structures 2008; 17: 1-34.
- ¹⁵ K.H. Bae, H.J. Chung, T.G. Park. Nanomaterials for Cancer Therapy and Imaging. Molecular Cells 2011; 31: 295-302.
- ¹⁶ G.C. Gurtner, M.J. Callaghan. Progress and Potential for Regenerative Medicine. The Annual Review of Medicine 2007; 58: 29-312.
- ¹⁷ G.I. Barbash, S.A. Glied. New Technology and Health Care Costs – The Case of Robot-Assisted Surgery. New England Journal of Medicine 2010; 363: 701-704.
- ¹⁸ Spectroscopie infrarouge, spectrométrie de masse, micro-RMN, spectroscopie Raman ou SERS et «nez électroniques» (R.A. Shaw. Toward Point-of-Care Diagnostic Metabolic Fingerprinting: Quantification of Plasma Creatinine by Infrared Spectroscopy of Microfluidic-Preprocessed Samples. Analyst 2009; 134: 1224-1231).
- ¹⁹ Voir également IEA World Energy Outlook 2013. <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2013/>.
- ²⁰ http://www.up.ethz.ch/research/group_imboden/constructed_switzerland/index_DE.
- ²¹ P. de Haan, R. Zah. Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. Zurich: TA-SWISS; 2012. <https://www.ta-swiss.ch/elektromobilitaet/>.
- ²² T. Friedlin, G. Schuh. Wettbewerbsfähigkeit der Produktion an Hochlohnstandorten. Berlin: Springer Vieweg; 2012.
- ²³ U. Sandler. Industrie 4.0– Beherrschung der Industriellen Komplexität mit SysLM (Systems Lifecycle Management). In: U. Sandler, Herausgeber. Industrie 4.0. Berlin: Springer-Verlag; 2013.
- ²⁴ A. Dujin, C. Geissler, D. Horstkötter. Industry 4.0: The New Industrial Revolution – How Europe will Succeed. Think Act. Munich: Roland Berger Strategy Consultants; 2014

- ²⁵ D. Spath, O. Ganschar, S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause, S. Schlund. Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IA0; 2013.
- ²⁶ A. Dujin, C. Geissler, D. Horstkötter. Industry: 4.0 The New Industrial Revolution – How Europe will Succeed. Think Act. München: Roland Berger Strategy Consultants; 2014.
- ²⁷ ISO/ASTM 52921:2013. Standard Terminology for Additive Manufacturing – Coordinate Systems and Test Methodologies. <http://www.astm.org/Standards/F2921>.
- ²⁸ N. Hopkinson, R.J. Hague, P.M. Dickens. Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age Unlocking the Design Potential of Rapid Manufacturing. Hoboken: John Wiley & Sons; 2006.
- ²⁹ D.D. Gu, W. Meiners, K. Wissenbach, R. Poprawe. Laser Additive Manufacturing of Metallic Components: Materials, Processes and Mechanisms. International Materials Reviews 2012; 57: 133-164.
- ³⁰ T. Wohlers. T. Wohlers Report 2013 - Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry - Annual Worldwide Progress Report. Fort Collins: Wohlers Associates; 2013.
- ³¹ F.P.W. Melchels, M.A.N. Domingos, T.J. Klein, J. Malda, P.J. Bartolo, D.W. Huttmacher. Additive Manufacturing of Tissues and Organs. Progress in Polymer Science 2012; 37: 1079-1104.
- ³² S. Hesse, V. Malisa. Taschenbuch Robotik - Montage – Handhabung. Berlin: Carl Hanser Verlag; 2010.
- ³³ T. Boaventura, C. Semini, J. Buchli, M. Frigerio, M. Focchi, D.G. Caldwell. Dynamic Torque Control of a Hydraulic Quadruped Robot. St. Paul: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA); 2012.
- ³⁴ S. Fusco, M.S. Sakar, S. Kennedy, C. Peters, R. Bottani, F. Starsich, A. Mao, G.A. Sotiriou, S. Pané, S.E. Pratsinis, D. Mooney, B.J. Nelson. An Integrated Microrobotic Platform for On-Demand, Targeted Therapeutic Interventions. Advanced Materials 2014; 26: 952-957.
- ³⁵ H. Becker, M. Scheermesser, M. Früh, Y. Treusch, H. Auerbach, R.A. Hüppi, F. Meier. Robotik und autonome Geräte in Betreuung und Gesundheitsversorgung. Zurich: TA-SWISS; 2012. <https://www.ta-swiss.ch/robotik/>.
- ³⁶ M. Stücheli, M. Meboldt. Mechatronic Machine Elements: On Their Relevance in Cyber-Physical Systems. Smart Product Engineering LNPE. Berlin: Springer; 2013: 263–272.
- ³⁷ M. Möller, A. Hermann, R. Gross, M-O. Diesner, P. Küppers, W. Luther, N. Malanowski, D. Haus, A. Zweck. Nanomaterialien: Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. Zurich: TA-SWISS; 2013. <https://www.ta-swiss.ch/projekte/nanotechnologie/nano-und-umwelt/>.
- ³⁸ K. Schmid, B. Danuser, M. Riediker. Swiss Nano-Inventory - An Assessment of the Usage of Nanoparticles in Swiss Industry; Final Report, 2008. Lausanne: Institut Universitaire Romand de Santé au Travail (IST); 2008.
- ³⁹ M.V. Gandhi, B.S. Thompson. Smart Materials and Structures. London: Chapman & Hall; 1992.
- ⁴⁰ J. Liu, C. Xie, X. Dai, L. Jin, W. Zhou, C.M. Lieber. Multifunctional Three-Dimensional Macroporous Nanoelectronic Networks for Smart Materials. Proceedings of the National Academy of Sciences 2013; 110: 6694-6699.
- ⁴¹ R. Frank. Understanding Smart Sensors, 3e édition. Boston: Artech House; 2013.
- ⁴² B. Basu, S. Nath. Fundamentals of Biomaterials and Biocompatibility. In: B. Basu, D. Katti, A. Kumar, éditeur. Advanced Biomaterials - Fundamentals, Processing, and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons; 2010.
- ⁴³ www.patientslikeme.com.
- ⁴⁴ A. Eckhardt, A.N. Navarini, A. Recher, K.P. Rippe, B. Rüttsche, H. Telser, M. Marti. Personalisierte Medizin. Zurich: TA-SWISS; 2014. <https://www.ta-swiss.ch/projekte/biotechnologie-und-medizin/personalisierte-medizin/>.
- ⁴⁵ http://ictswitzerland.ch/media/dateien/Themen/ICTswitz_wirtschaft_Bedeutung_ICT_2013_10_21.pdf.
- ⁴⁶ A l'exception des PC, tablettes et smartphones.
- ⁴⁷ www.gartner.com/newsroom/id/2636073.
- ⁴⁸ Cyber-Physical Systems. ERCIM News 2014; 97. www.ercim.eu.
- ⁴⁹ www.greentouch.org.
- ⁵⁰ www.cloudbook.net/directories/research-clouds/ibm-google-academic-cloud-computing-initiative.
- ⁵¹ [Ecocloud.ch](http://www.ecocloud.ch).
- ⁵² www.futurict.eu.
- ⁵³ <http://www.ga-project.eu/>.
- ⁵⁴ www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/big_data_privacy_report_may_1_2014.pdf.
- ⁵⁵ N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, H. Zbinden. Quantum Cryptography. Reviews of Modern Physics 2002; 74: 145-195. <http://swissquantum.idquantique.com/?SwissQuantum-Project-Completes>.

Impressum

Secrétariat SATW
Gerbergasse 5, 8001 Zürich
Tél. +41 44 226 50 11
info@satw.ch
www.satw.ch

Direction du projet

Adrian Ionescu

Support direction du projet

Karin Jaymes, Claudia Schärer

Comité directeur

Dimos Poulidakos, Ulrich W. Suter

Equipe de projet

Konstantinos Boulouchos, Bernhard Braunecker, Markus Fischer, Christoph Harder, Rolf Hügli, Peter Seitz

Groupe thématique Energie / Transport

Wolfgang Kröger (direction), Konstantinos Boulouchos, Daniel Favrat, Matthias Finger, Tony Kaiser, Thomas Schmidt, Andreas Ulbig

Groupe thématique Techniques de production et processus de fabrication

Ulrich Claessen (direction), Bernhard Braunecker, Christian Enz, Mirko Meboldt, Marc Pauchard, Linda Thöny-Meier

Groupe thématique Santé

Gabor Szekely (direction), Andy Fischer, Oreste Ghisalba, Olaf Kübler

Groupe thématique Technologie de l'information et de la communication (TIC)

Heike Riel (direction), Giovanni de Micheli, Mario El-Khoury, Markus Fischer, Christofer Hierold, Adrian Ionescu, Felix Mayer, Martin Näf

Equipe de rédaction

Christine D'Anna-Huber, Christofer Hierold, Beatrice Huber, Rolf Hügli, Adrian Ionescu, Christoph Klahn, Wolfgang Kröger, Mirko Meboldt, Dimos Poulidakos, Heike Riel, Claudia Schärer, Peter Seitz, Ulrich W. Suter

Experts de l'étranger

Hiroshi Iwai, Dan Mote Jr.

Vérificateurs externes

Hans Altherr, Spiridon Arvanitis, Gian-Luca Bona, Roman Boutellier, Fulvio Caccia, Xaver Edelmann, Felix Gutzwiller, Carsten Kurth, Claudio Meisser, Hannes Näf, Robert Rudolph, Arthur Ruf, Konrad Wegener

Vérificateurs internes

Hans Hänni, Urs von Stockar, Andreas Zuberbühler

Traduction

Ars Linguae

Graphisme

Andy Braun

Impression

Lenggenhager Druck

Photos

Fotolia

© 2015

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences



Membre des
Académies suisses des sciences