

# **L'ingénierie du futur**

## **Une enquête auprès d'experts en Suisse**

Urs Kiener

Sur mandat du Conseil des EPF et de  
l'Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie

Winterthur 2005

## Sommaire

<b>1 Introduction</b> .....	4
<b>2 Les entretiens avec les experts</b> .....	5
2.1 Conduite des entretiens.....	5
2.2 Développements de l'ingénierie en Suisse.....	5
2.2.1 L'ingénierie	
2.2.2 Ouvertures et combinaisons	
2.2.3 L'ingénierie dans l'économie suisse	
2.2.4 L'ingénierie au sein de la société suisse	
2.3 Développement de l'ingénierie en Suisse (qualitatif et quantitatif).....	10
2.3.1 Missions, rôles, compétences	
2.3.2 Offre et demande	
2.4 Politique de l'ingénierie .....	12
2.4.1 La dimension temporelle	
2.4.2 La dimension "institution-organisation"	
2.4.3 Tensions entre les chaînes du savoir et de la valeur ajoutée	
2.4.4 Pilotage	
2.4.5 Encouragement de la recherche et de l'innovation	
2.5 Politique de l'ingénieur.....	18
2.5.1 Appréciations générales	
2.5.2 La relation "ingénieurs EPF - ingénieurs HES"	
2.5.3 Le modèle de Bologne	
2.5.4 Coordination, coopération, intégration	
2.6 Politiques de l'ingénierie et de l'ingénieur : EPF et HES .....	21
<b>3 Résumé et conclusion</b> .....	24
Bibliographie .....	29
Liste des experts .....	30

# 1 Introduction

## Mandat et but de l'étude

L'étude ci-après a été effectuée sur mandat commun du Conseil des EPF et du centre de prestations "Hautes écoles spécialisées" de l'Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie (OFFT). Elle s'inscrit dans le contexte de débats au sujet des déficits constatés dans les secteurs de la formation, de la formation continue, de la recherche (y compris le transfert de connaissance et de technologie), de la relève dans les sciences de l'ingénieur et, plus généralement, concernant la politique suisse en matière d'innovation.

L'étude a expressément un caractère *exploratoire*. Elle doit rassembler les opinions d'experts choisis quant aux axes de développement, aux défis et aux problèmes de l'ingénierie en Suisse; elle doit recenser les divergences de vue et les points de consensus. Son but premier est de traiter de la thématique "L'ingénierie du futur" au niveau des visions, des champs de tensions et des questions ouvertes. En conséquence, il ne s'agit pas d'une étude aboutie mais d'un premier pas exploratoire qui devrait être suivi ultérieurement par d'autres (discussions entre les décideurs, études approfondies, etc.). On pourra considérer que l'objectif visé est atteint si ce document permet d'alimenter de manière fructueuse les futurs débats.

Des entretiens avec des experts, soit des personnalités de l'ingénierie en Suisse, constituent le cœur de cette étude. Le choix de ces experts a été effectué conjointement par les deux mandants.

Selon les souhaits du Conseil des EPF et de l'OFFT, l'étude exclut les domaines de la construction (architecture et génie civil), domaines traités dans un autre cadre.

## Questions

A l'unisson des mandants, l'ingénierie est comprise dans cette étude comme un certain mode de résolution des problèmes de la société. Elle est regroupée en disciplines scientifiques, en professions, respectivement en métiers, ainsi qu'en domaines d'activités qui avoisinent d'autres disciplines, d'autres professions, d'autres domaines d'activités. Dès lors, si l'on s'interroge sur le développement de l'ingénierie en Suisse, il convient auparavant de répondre aux questions suivantes : qu'est-ce qui en fait partie ? Quels sont ses domaines d'application, sa problématique et ses objectifs ? Quels sont ses fonctions, ses prestations et ses rôles ? Quelles disciplines, quels domaines appartiennent à l'ingénierie ? Qu'en est-il des "nouveaux" domaines dont on parle aujourd'hui ? En parallèle à de telles délimitations vis-à-vis de l'extérieur, il est intéressant d'examiner les mutations à l'intérieur de l'ingénierie : comment les disciplines, les domaines se modifient-ils, quels sont leurs rapports réciproques, comment le domaine de l'ingénierie se structure-t-il en interne ? Enfin il convient de se poser des questions quant aux conditions-cadre spécifiquement suisses de l'ingénierie : quel est le développement des branches économiques dans lesquelles l'ingénierie joue un rôle ? Quels sont les effets sur l'ingénierie des processus de délocalisation à l'étranger

*L'étude a un caractère exploratoire*

*But : appréhender les visions, les champs de tensions, les questions ouvertes*

*L'ingénierie : un mode de résolution des problèmes de la société*

*Fonctions, prestations, rôles ?*

*Disciplines / domaines ?*

*Branches économiques ?*

des activités industrielles ? Quelles sont les forces et les faiblesses de la place suisse de production et de recherche ? Comment l'ingénierie est-elle perçue par la société suisse ?

*Image de l'ingénierie?*

Ces questions concernent aussi bien entendu les personnes qui travaillent dans l'ingénierie, donc le groupe professionnel des ingénieurs, avec leurs rôles, leurs tâches et leurs compétences. Comment se modifient leurs tâches et quelles fonctions jouent-elles (experts, spécialistes, chefs de projet, etc.) ? Comment les tâches et les rôles sont-ils segmentés et délimités ? Quelles compétences, quelles connaissances les ingénieurs ont-ils à fournir dans leurs différentes fonctions ? Dans quelle mesure l'offre et la demande en ingénieurs correspondent-elles ?

*Rôles des ingénieurs ?*

*Compétences?*

*Offre et demande?*

L'avenir de l'ingénierie est aussi, entre autres, une conséquence de la politique (de l'Etat). Le terme de "politique de l'ingénierie" est utilisé ici en tant que concept global qui regroupe divers domaines importants pour son développement, soit notamment les politiques de la technologie, de l'innovation, de la science et de la recherche, et enfin de la formation. Quelles sont les forces et les faiblesses de la politique de l'ingénierie actuelle, respectivement du système suisse de l'innovation, cela dans les divers domaines, dans la délimitation de ces derniers entre eux, au sujet des ressources (politique d'encouragement), et des conditions-cadre ?

*Politique de l'ingénierie*

Enfin, sous "politique de l'ingénieur" on entend ici tous les domaines politiques qui déterminent le développement quantitatif et qualitatif des ingénieurs en Suisse, donc en premier lieu les politiques des hautes écoles, de la formation et du marché du travail, ainsi que notamment celles de la promotion des femmes et de l'immigration. Quelles en sont aujourd'hui les forces et les faiblesses ? Quels en seront les éléments clés demain ? Les avis quant à l'introduction du modèle de Bologne et à la modularisation des filières sont à ce propos particulièrement intéressants.

*Politique de l'ingénieur*

L'éventail des questions soulevées est sans aucun doute extrêmement large. Ainsi que mentionné plus haut, les aborder dans une modeste étude peut seulement conduire à en dégager de manière exploratoire des visions et des champs de tensions, comme base pour d'autres analyses spécifiques. Les développements globaux, ainsi que les relations et les interdépendances, doivent en être les éléments essentiels.

### Un bref aperçu de la littérature

De l'avis des mandants, il n'existe pas actuellement d'études sur le plan suisse traitant du développement de l'ingénierie dans toute son étendue et ses différentes facettes. En fait, les études récentes sur l'avenir de l'ingénierie peuvent pour la plupart être classées dans les divers domaines suivants :

#### *Prévision scientifique et technologique*

Il s'agit ici de prévoir les développements futurs de la science, resp. de la technologie, que ce soit par des analyses de tendances, des enquêtes Delphi ou d'autres instruments. L'importante étude de l'Institut Fraunhofer sur mandat du BMBF allemand (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Fraunhofer 1998) en est un bon exemple. Les études qui traitent de l'amélioration de la recherche, resp. de la politique de la recherche (par ex. The Royal Academy 2003), leur sont étroitement liées.

*Prévision technologique*

### *Science et technologie dans le cadre de la politique de croissance économique*

La croissance et le développement économiques se trouvent au coeur de cette thématique qui se préoccupe de la signification économique de la science et de la technologie, des conditions de leur promotion et de l'optimisation de la mise en oeuvre de leurs résultats, tant au niveau des macro- que des microstructures. Les études de l'OCDE en sont des illustrations sur le plan international, tels "Science, Technology and Industry Outlook" (2002) ou "Science Technology and Industry Scoreboard" (2003). Bien entendu, il convient d'y ajouter les études et recommandations à propos de structures institutionnelles (par ex., "National Innovations Systems" OCDE 2002) et de la politique qui en découle (par ex., au sujet du "knowledge management" ou, en général, "Science and Innovations Policy" de l'OCDE, 2004).

En Suisse, cette thématique est abordée dans les études de Hotz-Hart et Küchler de l'OFFT (par ex., Hotz-Hart et al. 2003), les travaux du Centre de recherches conjoncturelles (KOF) de l'EPFZ (par ex., Arvanitis et al. 2003 et 2004), les études du Centre d'études de la science et de la technologie (CEST) (par ex., Vock/Hinrichs 2004) ou l'étude comparative de Berwert (2004). Différents aspects spécifiques de ce champ thématique ont été examinés, entre autres ceux du transfert de technologie (par ex., Balthasar 1998) et des "Start-ups" et Spin-offs" (Berwert et al. 2004).

### *Besoin en ingénieurs et relève*

Un autre grand domaine est celui qui traite du développement et des fluctuations sur le marché du travail des ingénieurs, donc celui des divergences entre l'offre et la demande d'un point de vue quantitatif et qualitatif, de l'image de la profession et des questions de la qualité de la formation, etc. En Suisse, le groupe INGCH conduit des études sur le thème de la relève chez les ingénieurs, notamment une étude annuelle quant à l'offre en ingénieurs, basée sur des données de l'Office fédéral de la statistique (Umbach-Daniel/Rütter 2004). Les études allemandes comme celle de l'"Akademie der Technikfolgenabschätzung" (Pfenning et al. 2002) ou les travaux du "Hochschul-Information-System" (HIS, par ex., 1998) méritent tout spécialement d'être mentionnées. Les études de Leu et al. (1996) et Bodmer (2002) examinent notamment l'efficacité et la qualité de la formation des ingénieurs.

Des vues d'ensemble devraient être également citées, par exemple celle sur le développement de la science et de la technologie en Suisse que fournit Pastor (2002) à l'aide d'indicateurs (pour les USA, voir le "National Science Board / National Science Foundation 2004). Enfin, les perspectives de développement des divers secteurs de l'ingénierie sont aussi fréquemment abordées (par ex., le groupe de travail spécialisé "mécanique et industrie", 2002).

Ces quelques mentions ne se veulent nullement exhaustives. Elles doivent simplement offrir un aperçu des résultats d'une brève recherche dans la littérature.

Les résultats de recherches générales historiques, économiques et en sociologie des sciences ne sont pas abordés ici. Ces recherches concernent notamment la constitution de la connaissance, le développement et la diffusion des technologies, la thématique des innovations et des axes de développement suivis, des réglementations institutionnelles et organisationnelles des processus y relatifs dans les entreprises et les sociétés (par exemple au sujet des impacts nationaux sur les relations entre système de formation, système d'emploi et concept de production) et enfin des politiques nationales de la science et de la recherche, etc. Il convient toutefois de signaler des études en politique des sciences au sujet de la politique de la recherche et de la technologie en Suisse (par ex., Freiburghaus et al. 1991, Benninghoff/Leresche 2003,

*Besoin en ingénieurs et relève*

*Recherches plus générales en sociologie des sciences*

Braun 2004). On devrait en tous cas se référer à ce genre de travaux lors d'études plus approfondies.

## 2 Les entretiens avec les experts

### 2.1 Conduite des entretiens

Les entretiens avec les experts du domaine de l'ingénierie constituent l'aspect central de cette étude. Le choix des personnes à interroger a été effectué conjointement par les deux mandants. Le Conseil des EPF et l'OFFT ont recherché un équilibre entre divers critères: secteur de l'ingénierie, domaine d'activités (industrie, conseil, hautes écoles), régions linguistiques, etc. (voir la liste des experts en annexe).

Les experts choisis ont été invités à un entretien par une lettre commune du Conseil des EPF et de l'OFFT envoyée entre juillet et septembre 2004. Toutes les personnes sollicitées ont répondu positivement (à l'exception d'un expert de l'industrie qui proposa quelqu'un de son entreprise, à son avis plus qualifié que lui). Les entretiens, d'environ 90 minutes chacun (moins d'une heure à deux occasions), se déroulèrent au lieu de travail des experts entre mi-août et début novembre 2004. Deux rendez-vous agendés ne purent avoir lieu et furent remplacés par des entretiens téléphoniques. Les experts reçurent une première version de ce chapitre à la mi-décembre avec une invitation à formuler leurs critiques, compléments, commentaires et remarques. Cinq experts ont envoyé avant le délai fixé (mi-janvier 2005) des réponses, prises en compte de manière appropriée dans le présent rapport.

*Choix des 20 experts*

*Conduites des entretiens : août-novembre 2004*

Le chapitre qui suit fournit la synthèse des 20 entretiens, menés avec des experts de l'industrie et des hautes écoles. Il ne s'agit pas d'une synthèse de chaque entretien individuellement, mais plutôt de chacun des thèmes abordés durant ceux-ci. La synthèse des entretiens a été effectuée de manière à ne pas personnaliser les déclarations individuelles des experts, ainsi que l'assurance leur en avait été donnée au moment des interviews. L'objectif est en effet de faire ressortir les priorités, les champs de tensions et les questions ouvertes à partir des prises de position et appréciations des experts, et non de rapporter en les citant les propos de chacun d'entre eux.

### 2.2 Développements de l'ingénierie en Suisse

Les questions touchant à l'avenir de l'ingénierie ont été traitées en quatre volets. La première section synthétise les déclarations des experts à propos de la définition de l'ingénierie et de ses "nouveaux" secteurs. La deuxième présente les concepts les plus importants pour décrire les développements. Enfin, les troisième et quatrième sections traitent des avis quant à l'ingénierie dans l'économie et la société suisse.

#### 2.2.1 L'ingénierie

Les experts qui se sont formellement exprimés à ce sujet comprennent l'ingénierie comme une fonction, un mode de penser, et non comme un champ d'activités bien délimité. Il s'agit de résolution de problèmes, et cela sur une base quantitative. Toutefois, deux avis différents s'opposent à l'intérieur de cette communauté de vue.

*L'ingénierie est une fonction, pas un champ délimité*

Les experts considèrent en majorité que l'ingénierie est l'application des sciences naturelles dans le domaine de la technique. Selon une vision un peu plus spécifique, l'ingénierie s'occuperait des systèmes robustes, ce en quoi elle serait élémentaire et indispensable. La seconde façon de voir va plus loin dans sa conception de l'ingénierie, à savoir qu'elle la considère comme la transformation de la connaissance en produits. Elle dépasse dans ce cas la simple technologie et touche notamment à la gestion, au marketing et à la psychologie.

Les conceptions de l'ingénierie se précisent lorsqu'on traite de ses rapports avec les sciences de la vie. Ces dernières passent majoritairement pour un domaine encore actuellement séparé de l'ingénierie. La combinaison d'une science avec l'ingénierie ne serait en effet possible que là où on peut constater un principe de cause à effet — les sciences de la vie n'auraient pour l'heure aucune relation avec les systèmes robustes opérationnels. Ou, dit autrement, il existerait entre la biologie et l'ingénierie de grandes différences en ce qui concerne leur statut théorique — la biologie ne serait pas encore suffisamment consolidée sur ce plan. Combinées aux technologies de l'information, les sciences de la vie sont en revanche considérées comme les sciences du 21<sup>e</sup> siècle : elles dépendraient largement des simulations numériques. Pour un autre expert, la microtechnique serait la technologie première des sciences de la vie si on entend celles-ci comme des techniques de diagnostic. De même, on parle d'ingénierie des tissus et, surtout, de technique médicale en tant que domaines existants et prometteurs de l'ingénierie. La promotion des sciences de la vie à l'EPFL est assez souvent ressentie avec un certain malaise : on encouragerait de la sorte un domaine scientifique aux dépens de l'ingénierie traditionnelle (voir plus loin à ce sujet). Les mêmes avertissements qu'à l'encontre des sciences de la vie sont souvent formulés à propos des nanotechnologies, dont il serait à la mode de surévaluer le potentiel et de sous-évaluer en particulier les délais nécessaires à leur développement.

*Ingénierie et sciences de la vie*

### 2.2.2 Ouvertures et combinaisons

Les notions, entre autres, de "combinaison", "jonction", "interface", "zone frontière", "ouverture" etc. ont été employées de manière étonnamment fréquente durant les entretiens, lors des discussions au sujet des développements de l'ingénierie. Tous ces concepts abordent manifestement la question des frontières : il s'agit de liaisons, de recouvrements, de déplacements. On peut relever différents aspects de telles évolutions dans les propos des experts. Il est cependant nécessaire de procéder à une clarification avant de les exposer ici. Le thème traité dans cette section est celui des développements de l'ingénierie, donc celui de l'évolution dans les processus de résolution de problèmes, de développement de produits ou, plus généralement, de l'innovation dans les contextes actuels. Les aspects de l'organisation et du pilotage de tels processus *ne* sont expressément *pas* abordés, ni ceux de la formation des personnes qui y prennent part. Ces aspects seront traités plus loin dans d'autres sections. Venons-en donc maintenant aux aspects d'ouvertures et de combinaisons :

*Ouvertures et combinaisons comme développements clés de l'ingénierie*

#### *Convergence des technologies*

On combine de plus en plus les disciplines ou spécialités de l'ingénierie industrielle. Quelles qu'en soient les raisons, les technologies de l'information, la mécanique, l'électricité et l'électronique ont été combinées, ce qui a pris une vingtaine d'années. En plus de ces disciplines, on cite en particulier les sciences des matériaux, soit

*Combinaison de technologies*

l'intégration de nouveaux matériaux dans les produits mécatroniques.

#### *Accélération et approfondissement*

L'internationalisation des marchés, couplée à une augmentation du nombre des acteurs présents sur ces derniers, induit une pression croissante. En parallèle, la connaissance s'approfondit de plus en plus. La combinaison de ces deux facteurs provoque une forte accélération des développements technologiques.

*Internationalisation, pression du marché, accélération*

#### *Cultures - innovation*

La pression de l'innovation contraint à travailler en équipes multidisciplinaires, intégrant souvent différentes cultures nationales. La combinaison voulue de cultures (propres à des spécialisations) est même parfois considérée comme condition à des solutions créatives. L'innovation naît en effet d'interfaces, à savoir de la réunion intelligente de différents mondes. Les mondes de l'ingénierie et de la science, soit ceux de la "résolution des problèmes" et de la "recherche des problèmes" font partie plus que jamais de cette problématique. Dans tous les cas, un tel travail d'équipe exige des ingénieurs une ouverture d'esprit quant à d'autres manières de penser et d'interpréter les problèmes; ce mode de travail nécessite une capacité à s'adapter et à s'intégrer.

*Pression de l'innovation, travail d'équipe*

#### *Chaînes de valeur ajoutée*

Les grandes entreprises (suisses) traditionnelles des domaines de la mécanique et de l'électrotechnique étaient intégrées verticalement, les chaînes de valeur ajoutée étant donc aussi organisées et pilotées de cette façon. La disparition de ces entreprises s'accompagne d'une nouvelle forme d'organisation de la chaîne de valeur ajoutée : les maillons de la chaîne sont répartis auprès de sociétés différentes qui, chacune, se spécialise dans une étape spécifique du processus de développement et de production. De cette façon de faire découlent des compétences spécialisées qui doivent être ajustées au contact des autres entreprises et selon le marché. En d'autres termes, l'organisation et le pilotage des processus de l'ingénierie se transforment.

*Transformation organisationnelle de la chaîne de valeur ajoutée*

#### *Résolution de problèmes dans la perspective des systèmes*

La systémique joue un rôle croissant dans les processus de l'ingénierie. Différentes entreprises participent aux relations systémiques avec des contributions spécifiques; le produit - et non les tâches de l'ingénierie - est au centre des préoccupations et rend donc nécessaire la combinaison avec les autres domaines de la connaissance. On travaille à la résolution de problèmes complexes et les processus de l'ingénierie eux-mêmes sont souvent en temps réel.

*Importance croissante des relations systémiques*

#### *Produits - solutions appliquées*

D'entente avec le client, un déplacement s'effectue de la fabrication de produits vers la recherche de solutions appliquées complexes. Ce nouveau type de modèle économique, dans lequel des relations stables avec les clients sont établies, crée de nouvelles chaînes de valeur ajoutée. Cela signifie que l'entreprise d'ingénierie est confrontée de plus en plus aux façons de penser du client, à ses formulations de problèmes et à sa connaissance des applications.

*Orientation croissante en fonction du client*

#### *Intégration de l'ingénierie dans la société*

Les solutions purement techniques sont de moins en moins imaginables. Il faut donc faire appel à d'autres sciences pour résoudre des problèmes, notamment aux sciences humaines, avec des processus transdisciplinaires.

*Intégration de solutions techniques*



Les mots-clés d'ouverture, de combinaison et d'intégration ne se rapportent manifestement pas seulement aux disciplines de l'ingénierie, pas plus qu'aux seules disciplines scientifiques. Ils ne se réduisent pas aux concepts de multi-, d'inter- ou de transdisciplinarité, mais sont également fréquemment employés à propos des cultures, des marchés, des sollicitations. On remarque que les experts parlent souvent de complexité, d'ouverture d'esprit, d'incertitude pour caractériser les missions, les fonctions et les activités de l'ingénierie. Il s'agit là, selon eux, d'un développement plein de défis auxquels l'industrie suisse et les institutions de recherche et de formation doivent s'adapter. Cependant, signalons également la voix critique qui estime que peut-être seuls un déplacement de la problématique de la complexité se produit actuellement, la complexité totale étant restée constante, et que l'ingénierie a toujours souffert d'un manque de pensée systémique.

*Ouverture et combinaison se rapportent aux disciplines, aux cultures, aux marchés et aux sollicitations*

*Complexité, ouverture d'esprit et incertitude caractérisent l'ingénierie*

### 2.2.3 L'ingénierie dans l'économie suisse

La délocalisation de la production industrielle hors de Suisse représente un sérieux problème. Les coûts de production d'une part, et le déplacement des débouchés d'autre part, en sont les raisons : la production suit les marchés. Un développement sans fabrication est-il possible à moyen et long termes et jusqu'à quel point ? Selon les experts, cela dépend entre autres de la branche de l'économie, respectivement des technologies mises en œuvre. Une telle séparation n'est guère jugée faisable dans le domaine des machines-outils et des machines de production. La plupart des experts imaginent un nouveau positionnement ciblé de l'industrie suisse sur les maillons de la chaîne ayant la plus grande valeur ajoutée. Les mots-clés employés ici sont: concentration sur le développement et la vente, maintien du développement et du montage final, suppression des niveaux inférieurs de la chaîne de valeur ajoutée, concentration sur l'innovation offrant des solutions meilleures et différentes, sur la création de valeur ajoutée par l'utilisation des connaissances, tout spécialement la capacité à l'intégration (de produits resp. de procédés), sur la focalisation sur les compétences clés différenciées et les niveaux systémiques. (À propos de la concentration sur les compétences clés, on objecte le danger d'isolement et de perte de substance).

*La délocalisation de la production à l'étranger, un sérieux problème*

*Un nouveau positionnement ciblé dans la chaîne de valeur ajoutée est imaginé*

Quels sont les atouts de la Suisse au niveau de la concurrence internationale et quant à ce nouveau positionnement ? On peut classer les déclarations des experts en trois groupes :

*Atouts de la place suisse*

#### *Traditions d'activités industrielles*

La tradition d'activités industrielles est perçue comme un premier atout. La Suisse est une nation productrice de machines-outils, ses forces résidant dans la microtechnique et la mécanique de précision (y compris l'électronique et les logiciels); elle est en tête dans la robotique et dans les logiciels industriels. La précision, la ponctualité et la qualité sont des atouts issus de cette tradition et représentent, comme par le passé, des avantages concurrentiels importants.

*La Suisse en tant que nation productrice de machines-outils*

#### *Étendue et qualité de l'ingénierie en Suisse*

L'étendue de l'ingénierie appliquée est considérée comme un deuxième atout. En Suisse, le spectre complet des domaines propres à l'ingénierie est présent, et avec une haute qualité (micromécanique, microélectronique, matériaux, informatique) – "nous faisons tout, ici", au contraire des autres pays ouest-européens. L'étendue et la qualité

*Large spectre de domaines propres à l'ingénierie*

forment aussi la base qui permet de développer relativement vite des compétences d'ingénierie dans des nouveaux domaines et de pouvoir les porter à un haut niveau international (neuroinformatique, systèmes de communication).

#### *Multiculturalisme et internationalité*

Les dimensions réduites et le multilinguisme de la Suisse, ainsi que sa tradition d'internationalité représentent le troisième atout qu'il faut absolument préserver et développer. L'internationalité est aussi une des forces de la formation technique en Suisse. Couplés à une disposition pour la mobilité, le multiculturalisme et l'internationalité permettent aux entreprises et aux ingénieurs suisses de prendre pied sur de nouveaux marchés, et cela beaucoup plus aisément que leurs homologues des USA ou du Japon.

*Internationalité et multiculturalisme traditionnels*

Bien entendu, il est également relevé que les forces de la Suisse résident dans la différenciation et les marchés de niches, la concentration sur ces dernières étant toutefois estimée potentiellement dangereuse.

Les développements de l'ingénierie, les conditions-cadre économiques et les atouts de la Suisse mènent à des conclusions que l'on peut résumer par les mots-clés suivants : passage des entreprises de la manufacture à celles de l'ingénierie, pression à innover par une intégration créative, transdisciplinarité, focalisation sur les systèmes et, en parallèle, sur les compétences clés, différenciation, qualité. (Nous reviendrons plus loin sur les conséquences que cela entraîne pour les compétences des ingénieurs).

*De l'entreprise de manufacture à l'entreprise active dans l'ingénierie*

Quelques experts expriment toutefois un avis critique à propos des chances de développement. Plusieurs évolutions ont déjà été mal négociées en Suisse – il n'est pas certain du tout que les nouveaux défis seront maîtrisés. La Suisse perd continuellement de sa capacité concurrentielle et voit sa position faiblir en matière d'innovations. Le courage et la volonté de développer des visions et de se lancer dans de nouvelles technologies au moyen d'investissements massifs manquent toujours plus en Suisse, cette dernière étant devenue frileuse. Il convient aussi de mentionner que, selon un expert, la Suisse présente une forte tradition dans l'amélioration et le perfectionnement mais moins dans l'élaboration de nouveaux systèmes; mener ensemble ces deux stratégies de développement dans la même entreprise semble difficile.

*Scepticisme à propos des chances de développement*

*Perte de la capacité concurrentielle*

*Manque de visions*

#### 2.2.4 L'ingénierie au sein de la société suisse

Les quelques experts qui ont abordé ce thème parlent en majorité d'un déficit d'estime et d'une mauvaise image de marque de l'ingénierie au sein de la société suisse. D'autres experts ne remarquent aucune différence par rapport aux autres pays. Le déficit d'image est considéré comme un problème socio-culturel dont les facteurs suivants seraient les responsables :

#### *Invisibilité*

L'ingénierie devient toujours plus invisible et disparaît derrière le fonctionnement de processus et d'appareils du quotidien. Comparée à la mécanique lourde, l'ingénierie moderne devient de plus en plus une "boîte noire". L'activité des ingénieurs perd continuellement de sa transparence.

*L'ingénierie perd de sa visibilité*

### *Perception sélective*

L'importante contribution de l'ingénierie à la résolution des problèmes de la société et à son fonctionnement quotidien n'est plus perçue. Les perturbations et les accidents (chutes d'avion, par ex.) sont en revanche facilement mis au passif des ingénieurs et non du management.

*Perception sélective de l'ingénierie*

### *Pessimisme*

Les restructurations dans l'industrie suisse des machines, les délocalisations de la production à l'étranger et les nouvelles concernant des difficultés économiques de cette industrie conduisent à une généralisation, et donc à une image pessimiste, à partir de laquelle les jeunes en particulier tirent la conclusion fautive que l'ingénierie n'a que peu d'avenir en Suisse.

*Image pessimiste de l'avenir de l'ingénierie*

### *Manque d'excellence et de visions*

Pour de rares experts, les raisons d'une image mitigée de l'ingénierie sont à trouver en elle-même. La qualité des sciences de l'ingénieur serait insuffisante en Suisse; elles manqueraient des visions aptes à augmenter le sentiment de fierté des ingénieurs.

*Manque d'excellence de l'ingénierie en Suisse*

## **2.3 Développement des ingénieurs en Suisse (qualitatif et quantitatif)**

Après les jugements sur l'ingénierie, tournons-nous maintenant vers les personnes qui y travaillent, soit le groupe professionnel des ingénieurs.

### 2.3.1 Missions, rôles, compétences

#### *Base solide*

Il s'agit tout d'abord de mentionner un consensus extrêmement clair parmi les experts : une solide base au niveau d'une discipline est indispensable aux ingénieurs. Les experts ne sont en rien favorables aux ingénieurs "généralistes" ou "multidisciplinaires" ("polymécaniciens académiques et multifonctionnels"), pas plus qu'aux "ingénieurs-managers" ou à d'autres hybrides qui ne sont bien formés ni dans l'une ni dans l'autre branche ("des généralistes qui en savent toujours moins sur toujours plus"). Cette appréciation s'exprime à l'aide de trois modèles semblables : le modèle de Euter ou Zahn souligne la spécialisation en profondeur sur laquelle on édifie la dimension transversale, soit la largeur. De la même manière, le modèle T se focalise sur de profondes racines sur lesquelles on peut construire ("l'ingénieur est profondément enraciné dans un domaine et, construisant à partir de ce dernier, capable de lancer des ponts"). Enfin, le troisième modèle postule une surface de compétence constante pour une personne et en déduit qu'il n'est pas possible d'avoir en même temps plus de profondeur et plus d'étendue. Une nette prévalence de la profondeur est aussi réclamée par ce modèle. Ces trois modèles n'excluent pourtant nullement qu'une attention particulière soit également accordée à des compléments ou adjonctions par rapport à la base disciplinaire.

*Consensus clair : les ingénieurs doivent être rattachés à une discipline*

Avant de poursuivre le développement, l'occasion s'offre ici de mettre en relation ces propos et les opinions au sujet de l'évolution de l'ingénierie. On a parlé plus haut d'ouverture, de combinaison, d'intégration, de multi-, d'inter- et de transdisciplinarité,

de complexité, d'ouverture d'esprit, d'incertitude. Les experts ne transposent manifestement pas sans autre ces jugements sur *l'ingénierie dans son ensemble* en exigences envers *chaque ingénieur*. Au contraire, ils intercalent des aspects d'organisation du travail entre, d'une part, les fonctions, les définitions des tâches et les exigences de processus, et d'autre part les compétences des ingénieurs. Leur travail serait un travail d'équipe; l'innovation aurait lieu au sein d'équipes créatives à la composition adéquate; l'innovation serait un sport d'équipe qui nécessite des rôles clairs pour chacun et un coach. Ce sont donc les équipes, et non les ingénieurs, qui doivent être multifonctionnelles pour les développements que les experts décrivent.

### *Compléments*

Les modèles esquissés à propos des compétences des ingénieurs combinent profondeur et étendue. La dimension verticale, ou profondeur, se rapporte toujours à une discipline de l'ingénierie. L'ingénieur doit par conséquent faire état en premier lieu d'une solide formation de base dans un domaine, sur laquelle il construit par la suite des compétences étendues : compléments, adjonctions, élargissements. En matière de connaissances, les compétences en gestion de projet sont les premières citées; elles font le plus défaut aux ingénieurs. En outre, une sensibilité aux coûts du développement et des connaissances de base en économie d'entreprise sont fréquemment mentionnées. En ce qui concerne les aptitudes plus générales, il n'est pas surprenant que ce soient entre autres l'autonomie, la flexibilité, l'ouverture d'esprit, la faculté de travailler en équipe, les capacités conceptuelles, les compétences en communication et en présentation, la mobilité, qui soient citées. Des appréciations très diverses se cachent toutefois derrière cette liste : tandis que quelques experts exigent des ingénieurs des capacités entrepreneuriales et de conduite, d'autres les excluent expressément et mettent l'accent sur la diligence et le sens des responsabilités. Des conceptions divergentes des rôles et missions de l'ingénieur se cachent derrière ces différents points de vue. Elles varient notamment selon le domaine de l'ingénierie auquel appartiennent les experts. Les représentants de l'industrie des machines ou des machines-outils expriment tendanciellement des idées plus traditionnelles que, par exemple, ceux du domaine des technologies de l'information. Nous reviendrons plus loin sur ce point. Les différences d'opinion peuvent en outre dépendre de positions variables des ingénieurs dans l'entreprise. Il n'est peut-être pas correct de généraliser les avis sur "les ingénieurs". C'est pourquoi quelques experts procèdent à des différenciations.

### *Différenciations*

Dans une entreprise internationale, on distingue entre experts dans un domaine spécialisé ("seniors"), chef de projet dans le développement (souvent avec une formation complémentaire en gestion) et chef de produit (souvent avec un MBA). Dans une autre firme, internationale aussi, on différencie entre "chief engineers" ("shapers", concepteurs systémiques), "seniors" (responsables pour la réalisation autonome d'idées) et ingénieurs de mesure et de test. Les compétences exigées des ingénieurs sont évidemment diverses selon les rôles. Il est clair également que ces rôles sont couplés à des positions hiérarchiques différentes<sup>1</sup>.  
Maints experts regrettent le manque de plans de carrières en ingénierie au sein des entreprises suisses. Il serait nécessaire de créer des carrières parallèles et symétriques à celles existant dans le domaine du management, afin de renforcer

*Des compétences en gestion de projet et en "soft skills" sont nécessaires*

*Evaluation diverses des "soft skills"*

*Rôles différents de l'ingénieur*

*Il manque des planifications de carrières en ingénierie dans les entreprises*

---

<sup>1</sup> La formation joue un rôle significatif pour occuper ces positions, comme nous le verrons au chiffre 4.2

la place de l'ingénierie dans les entreprises et de proposer des perspectives attractives aux ingénieurs sur la base de leur formation spécialisée.

Pour quelques experts, la tendance vers une qualification plus élevée du personnel technique va se poursuivre. La proportion d'ingénieurs EPF va croître, tout comme, par le passé, le nombre d'ingénieurs HES a augmenté au détriment de celui, p. ex., des détenteurs d'un certificat de capacité de dessinateur.

### 2.3.2 Offre et demande

Les déclarations des experts divergent fortement sur cette question : un groupe se plaint d'un manque d'ingénieurs et constate de grandes difficultés à repourvoir les postes. Les autres ne relèvent absolument pas ces difficultés. Le déficit existe avant tout dans les domaines traditionnels et concerne particulièrement les ingénieurs mécaniciens. Des plans de carrière inexistantes et un niveau de salaire trop faible sont cités plusieurs fois comme causes de cette situation, en comparaison aux secteurs des services, du développement de logiciels et de l'industrie chimique (voir 2.3.1 ci-dessus, ainsi que la section suivante). Les vides ont été comblés, et le sont encore, avec des ingénieurs étrangers. Certains experts estiment problématique qu'en Suisse une part croissante des ingénieurs provienne de l'étranger ("mercenaire de la technologie"), tandis que d'autres n'y voient aucun problème. Ce point conduit à une question importante de politique de recherche et de formation : cette dernière doit-elle s'aligner sur les besoins actuels de l'économie suisse ou, au contraire, se focaliser sur certains domaines choisis de l'ingénierie ? Dans le premier cas de figure, la notion de reflet symétrique entre économie et recherche / formation est mise en avant : les domaines aujourd'hui significatifs doivent être couverts par la recherche et la formation suisse. Le second cas met l'accent sur le niveau international : certains domaines choisis de l'ingénierie sont encouragés au travers de la recherche et de la formation de l'un ou l'autre pays, avec une mobilité naturelle des résultats de recherche et de la main-d'œuvre hautement qualifiée par-delà les frontières.

*Manque sélectif d'ingénieurs*

*Forte proportion d'étrangers parmi les ingénieurs en Suisse*

Le problème de la relève chez les ingénieurs, respectivement de la prédisposition des jeunes à débiter une telle formation, renvoie d'une part aux déclarations à propos de la réputation et de l'image de l'ingénierie (chiffre 2.2.4). D'autre part, on donne des raisons spécifiques au déficit de relève : le manque de planification de carrières dans l'ingénierie, une évolution des valeurs chez les jeunes pour qui les entrepreneurs représentent moins des modèles, une modification des valeurs au sein de la société jugeant le travail des bâtisseurs moins favorablement que celui des programmeurs informatiques ou des vendeurs. Un point est toutefois commun à ces prises de position : les caractéristiques des activités en ingénierie sont la polyvalence, l'ouverture d'esprit, l'internationalité, la dynamique, le multiculturalisme. Il existe probablement à ce sujet un déficit d'information auprès des jeunes.

*De nombreux facteurs influencent la relève chez les ingénieurs*

## **2.4 Politique de l'ingénierie**

Sous "politique de l'ingénierie", on utilise ici un vocable qui regroupe divers domaines politiques importants pour son développement. Le mieux pour structurer les propos relevant de cette thématique est d'utiliser en arrière-fond le modèle des chaînes

*Les chaînes du savoir en arrière-fond de la politique de l'ingénierie*

du savoir et de valeur ajoutée. Schématiquement, il s'agit des étapes d'un processus qui débute avec la recherche fondamentale et dont les résultats se concrétisent par un produit issu de l'ingénierie, à travers diverses transformations. (Un seul expert a expressément utilisé un autre modèle : un second axe existe entre les pôles "champ scientifique de base" et "champ de l'ingénierie").

#### 2.4.1 La dimension temporelle

La dimension temporelle est à un double égard importante. Premièrement, la concrétisation des résultats de la recherche fondamentale en produits prend des décennies. En second lieu, les horizons temporels de la recherche fondamentale et du développement de produits sont fondamentalement différents. Tel est l'avis unanime des experts. Les hautes écoles actives dans la recherche fondamentale doivent dès lors anticiper, et précéder l'industrie de 10 à 20 ans; elles ont pour mission la recherche à long terme, doivent élaborer les fondements et développer des alternatives et de nouveaux concepts. L'horizon temporel de l'industrie est, lui, beaucoup plus court. Il paraît nécessaire ici de différencier selon les domaines de l'ingénierie. Les experts signalent à titre d'exemple les courtes chaînes du savoir dans les technologies de l'information (IT) en comparaison avec celles bien plus longues dans les domaines des micro- et nanotechnologies.

*Horizons temporels différents entre la recherche fondamentale et le développement*

#### 2.4.2 La dimension "institution-organisation"

Personne ne conteste que la recherche fondamentale a lieu dans les hautes écoles et est financée par l'Etat, que le développement et la fabrication de produits sont du ressort de l'industrie et que les flux financiers correspondants sont de nature privée. Ce sont les phases intermédiaires qui, en matière de politique de l'ingénierie, sont importantes et controversées. En effet, il n'existe aucun dénominateur ni potentiel commun entre la recherche fondamentale et l'industrie. Les horizons temporels divergent par trop, tout comme la forme des résultats (publications, gains financiers). Ces phases intermédiaires jouent pourtant un rôle clé en politique de l'ingénierie : son but premier doit être de surmonter, respectivement de franchir la "vallée de la mort qui existe entre la recherche et la commercialisation", le "désert entre la recherche fondamentale et le développement de produits". Les "ponts", les "chemins", les "feed back loops" doivent être raccourcis.

*La "vallée de la mort" entre la recherche fondamentale et le développement*

Il existe cependant de très grandes divergences de vue quant à la "manière" de franchir le fossé. Elles se situent à l'intérieur d'un champ de tensions compris entre deux pôles, représentés ici de façon schématique et extrême:

- D'une part, on défend la position que chacune des différentes fonctions de la chaîne du savoir doit être organisée de manière différente. La recherche fondamentale fonctionne selon d'autres critères que la recherche appliquée, et cette dernière à nouveau différemment du développement. Il s'agit dès lors de mettre sur pied des organisations appropriées pour chacune de ces fonctions (respectivement de focaliser les institutions existantes sur une fonction) et de les doter d'une masse critique. C'est la seule façon de garantir le professionnalisme et l'efficacité; ce n'est qu'ainsi qu'on peut combattre la complexité croissante.

*Alternatives pour franchir la "vallée de la mort"*

- D'autre part, on prétend que chaque nouvelle organisation entre la recherche fondamentale et l'industrie crée des détours et génère des pertes d'efficacité. Chaque structure organisationnelle développe une dynamique propre et a tendance à se rendre indispensable, avec pour résultats l'éparpillement et la bureaucratisation. Il faut donc rechercher les chemins les plus directs possibles entre la recherche fondamentale et l'industrie, au moyen de structures de projets limitées dans le temps, et non au moyen d'institutions.

A titre d'exemple de ce champ de tensions, examinons le Centre suisse d'électronique et de microtechnique (CSEM), une institution dont le financement de base est public et qui exécute des mandats pour les entreprises. Selon le premier point de vue, le CSEM est considéré comme une instance intermédiaire nécessaire pour amener les résultats de la recherche à maturation. Il serait en effet fort difficile de développer une technologie sur une base privée et de l'amener à maturation. Seuls de grandes entreprises pourraient le faire, mais en Suisse les firmes actives en microtechnique sont les PME. Pour les adeptes de l'autre opinion, le CSEM est un "péché interventionniste" : créé à l'origine pour deux ans afin de sauver l'industrie horlogère, le CSEM a crû et s'est différencié de lui-même en recherche appliquée et en ingénierie. Le financement public ne serait rien d'autre qu'une forme de soutien à l'industrie.

*L'exemple du CSEM*

De nombreux arrangements concrets sont imaginables à l'intérieur de l'espace situé entre recherche et développement. Les experts mentionnent les suivants :

*Arrangements au sein de l'espace situé entre la recherche et le développement*

#### *Réseaux et centres de compétences*

La mise en réseau d'institutions de types divers et aux objectifs différents (hautes écoles universitaire, hautes écoles spécialisées, institutions de recherche des EPF [PSI, EAWAG, EMPA], entreprises privées) permet d'optimiser la chaîne de la connaissance et d'ajuster les contributions de chacune d'elles. En outre, les centres de compétences et les réseaux servent d'aide à l'orientation des entreprises et de points d'entrée pour elles. On propose aussi des consortiums de sociétés qui investissent à long terme dans le développement de technologies avec du capital-risque.

*Mise en réseau*

#### *"Transfert de personnes"*

Il a plusieurs fois été souligné que la forme la plus efficace de transfert de connaissance et de technologie consistait en un "transfert de personnes" : il n'y a pas que le savoir dans toute sa complexité mais aussi la vision, indispensable pour l'innovation, à accompagner les personnes se déplaçant d'une étape du processus à une autre.

*Déplacement de personnes*

#### *"Spin offs" et "start ups"*

La création de "spin offs" et de "start ups" représente une certaine forme de mobilité de personnes. Les experts partagent cette opinion. Selon un point de vue, ce serait une possibilité idéale pour promouvoir une nouvelle technologie. La continuité, les contacts informels créés de la sorte et une "zone grise" entre les hautes écoles et l'industrie seraient déterminants pour leur succès. Un horizon à long terme serait toutefois nécessaire. La Suisse occuperait une excellente position en matière de "spin offs". Selon un autre avis, la focalisation sur les fondations d'entreprises dans la politique de l'innovation serait une erreur. Son succès serait surestimé alors que les coûts externes au développement de la technologie (par ex. pour la diffusion) seraient sous-estimés.

*Fondation de nouvelles entreprises*

On constate avec regrets à plusieurs reprises qu'en Suisse, contrairement aux USA,

les mondes des hautes écoles et de l'industrie sont séparés; il existerait relativement peu de contacts et peu de programmes d'encouragement, ce qui crée des désavantages concurrentiels. Cet aspect fait l'objet du point suivant.

### 2.4.3 Tensions entre les chaînes du savoir et de la valeur ajoutée

Des tensions existent entre les chaînes du savoir et de valeur ajoutée. On estime ainsi que l'impact de la recherche des hautes écoles sur l'économie est relativement faible. A l'inverse, on constate que cette dernière est trop peu encline à financer la recherche des hautes écoles. Ces tensions sont surtout évoquées au sujet des brevets.

#### *Droits de propriété*

Certains experts de l'industrie reprochent aux hautes écoles d'essayer de gagner "beaucoup d'argent" avec des brevets. Les hautes écoles méconnaîtraient le caractère effectif des processus d'innovation : enregistrer un brevet coûterait bien moins que le conserver. 95% des résultats de la recherche ne rapporteraient rien, l'innovation en ingénierie se produirait dans des étapes ultérieures de la chaîne du savoir, soit lors de l'application. Dans cette perspective, les offices de transfert de technologie des hautes écoles apparaissent comme une tentative juridico-bureaucratique de faire des droits de propriété une nouvelle source de financement, et ce aux frais de l'industrie. D'autres experts considèrent judicieuse et justifiée la politique des hautes écoles en matière de brevets. Même des voix critiques mettent au crédit des EPF leur politique à l'égard des industries, devenue beaucoup plus favorable ces dernières années. On aborde ici une problématique qui va au-delà des rapports généraux entre les hautes écoles et l'économie, à savoir celle des intérêts divergents à l'intérieur des hautes écoles. En créant des offices de transfert de technologie, on a mis sur pied des organismes qui interfèrent comme tierce partie dans les relations entre les instituts et les entreprises, et qui représentent des intérêts des hautes écoles allant bien au-delà d'un projet de recherche donné. Cette problématique est traitée plus avant au chapitre 2.6. Les avis des experts au sujet des brevets sont par ailleurs très hétérogènes. Certains estiment qu'il est extrêmement important d'enregistrer des brevets, l'activité dans ce secteur étant devenue un domaine essentiel de la concurrence. La tendance serait même de breveter des "modèles de business" entiers, selon les dires d'un expert d'une entreprise de pointe au niveau international. D'un avis contraire, un expert d'une haute école estime que ce ne seraient pas les brevets qui protègent le savoir propre d'une organisation, mais seulement l'avance qu'elle possède dans la connaissance, c'est-à-dire la vitesse d'évolution du savoir. On ferait donc mieux d'investir dans la recherche et le développement les quelques centaines de milliers de francs que coûte un brevet. Selon ce point de vue, il s'agirait plutôt d'empêcher les brevets par le biais de publications rapides.

*Brevets : conflit d'intérêts entre hautes écoles et entreprises ?*

*Conflits d'intérêts à l'intérieur des hautes écoles ?*

#### *Modèles*

A la lumière des avis divergents quant aux brevets, on distingue clairement l'existence de modèles bien différents pour combler l'espace allant de la recherche fondamentale au développement de produits. On trouve d'une part des mesures de type organisationnel et institutionnel pour l'établissement des chaînes de savoir et pour la protection juridique de leur valeur économique. D'autre part, il existe une concurrence entre chercheurs et développeurs, une lutte quant aux fonds affectés à la recherche et quant aux délais de publication. Les entreprises qui sont bien établies

*Différents modèles et stratégies de l'innovation*



appartiendraient plutôt à la première tendance, alors que la seconde compterait les chercheurs et les petites entreprises. Ces différences indiquent à nouveau que les caractéristiques des domaines de l'ingénierie (par ex. la maturité de leur marché) ont une grande importance en matière de politique de l'ingénierie.

#### 2.4.4 Pilotage

##### *Liberté de la recherche – stratégie technologique*

La plupart des experts plaident en principe pour la liberté en matière de recherche fondamentale. Certains aimeraient toutefois la canaliser. On propose ainsi que les hautes écoles, l'industrie et les institutions étatiques actives en recherche développent ensemble une stratégie technologique. Selon elle, les hautes écoles se concentreraient en priorité sur les technologies économiquement importantes, qui seraient financées conjointement au moyen de montants pris dans les budgets de tous les participants. Les hautes écoles devraient toutefois rester libres dans le cadre de cette stratégie. Cette proposition part du principe que la liberté absolue de recherche pose problème dans les hautes écoles et qu'une solution du type "selon un principe, mais selon l'autre également" (orientation *et* liberté de recherche) est tout à fait possible. On propose, dans le même ordre d'idées, de réunir partiellement les moyens dédiés à la recherche fondamentale et à son application (voir sous 2.4.5).

*Stratégie technologique commune et liberté de recherche des hautes écoles*

##### *Concurrence - coopération*

Les suggestions abordent un autre champ de tensions du pilotage, à savoir la question de la concurrence entre institutions de recherche, respectivement entre institutions de développement. Les centres de compétences et les coopérations doivent-ils tendre à limiter la concurrence en Suisse afin de regrouper les forces face à la concurrence internationale ? Ou la concurrence est-elle également nécessaire dans le pays pour dynamiser l'innovation ? Lors des entretiens, les experts défendent les deux positions. Tandis que la première préconise la création de systèmes nationaux d'innovation, la seconde s'appuie plutôt sur la concurrence sans tenir compte des frontières. Il est crucial dans la première variante de définir les limites entre les phases ou domaines pré-concurrentiels et concurrentiels, et donc de clarifier jusqu'à quel maillon des chaînes de connaissance ou de valeur ajoutée la collaboration passe *avant* la concurrence.

*La relation de concurrence et de coopération – à l'intérieur de la Suisse et entre la Suisse et l'étranger*

##### *Instances*

Le morcellement des compétences en matière de pilotage de la politique de l'ingénierie a été critiqué à plusieurs reprises : morcellement au niveau fédéral entre les départements de l'économie publique et de l'intérieur, ainsi qu'entre la Confédération et les cantons. On constate un fort courant pour limiter le fédéralisme et le parallélisme au profit du professionnalisme et de l'efficacité. Les politiques d'innovation de la France ou de la Chine sont citées, en opposition à la politique suisse actuelle. Un expert s'oppose toutefois aux visions centralisatrices : la politique de la recherche et de l'innovation ne devrait jamais suivre une voie unique, être centralisée, mais présenter plutôt un "système écologique de solutions" complémentaires et parallèles.

*Morcellement trop important des compétences de pilotage politique*

#### 2.4.5 Encouragement de la recherche et de l'innovation

En premier lieu, il s'agit de résumer brièvement les déclarations faites au sujet des quatre grands piliers de l'encouragement de la recherche et de l'innovation.

### *Fonds national suisse FNS*

Le Fonds national suisse n'est remis en question par aucun expert. Deux d'entre eux souhaitent la création d'une section propre aux sciences de l'ingénieur ; pour le premier, à cause de leur mauvaise qualité en Suisse : elles auraient urgemment besoin d'être plus "scientifiques". Pour le second expert (et aussi pour d'autres experts) en raison du constat effectué que la CTI finance beaucoup de doctorats ; ce ne serait pas sa mission, et d'autres sources de financement devraient par conséquent être dégagées dans ce but au FNS.

### *Agence pour la promotion de l'innovation (CTI)*

Les jugements au sujet de la CTI vont de bon à excellent. On la décrit comme apte à s'adapter et à apprendre. Les comparaisons avec les institutions étrangères similaires donnent des résultats hétérogènes. L'évaluation des demandes est critiquée car l'indépendance ferait souvent défaut. Parmi les dangers mentionnés, on trouve une tendance au court terme, le financement caché de grandes entreprises et un préjudice envers les petites entreprises. L'accès des PME aux projets de la CTI a une importance clé. Quelques experts constatent cependant l'existence d'obstacles trop importants.

Pour un expert, le processus d'innovation n'aboutit pas, et ce malgré le financement d'un grand nombre de projets – il faut changer radicalement la politique de la CTI.

### *Programmes de l'UE*

Les jugements quant à l'encouragement de la recherche au travers de programmes de l'UE sont unanimes : ils seraient trop bureaucratiques et le rapport entre les efforts consentis et les contrats obtenus serait extrêmement défavorable.

### *Recherche sectorielle*

Pour l'un des experts, la recherche sectorielle de la Confédération serait problématique. Il aimerait la réduire et répartir les montants économisés entre le FNS et la CTI.

Si le FNS est conçu pour encourager la recherche fondamentale et la CTI pour promouvoir son utilisation et application, il manque alors, de l'avis de quelques experts, des financements pour les domaines intermédiaires faisant le pont entre les deux. Rappelons à ce sujet les considérations sur le CSEM au chiffre 2.4.2. Des propositions prévoient de financer ce pont au moyen d'un nouveau pot commun pour l'encouragement, alimenté par des moyens du FNS et de la CTI. Une proposition radicale prévoit même de réunir le FNS et la CTI. D'autres suggestions se rallient à l'idée d'une stratégie de la technologie commune et proposent d'utiliser une partie des moyens du FNS pour son encouragement. Par ailleurs, aucune proposition allant au-delà de la politique actuelle du FNS n'a été formulée.

À une exception près, l'encouragement de la recherche et de l'innovation est dans l'ensemble jugé positivement, quoique susceptible d'être amélioré. La voix discordante prétend que l'encouragement de la recherche va dans la fausse direction et ne peut atteindre le but qu'il s'est lui-même fixé. Le système d'encouragement serait compliqué et manquerait de transparence. Il faudrait un départ radicalement nouveau, orienté fortement sur certaines politiques couronnées de succès dans des pays étrangers.

*Les quatre piliers de l'encouragement de la recherche*

*Fonds national suisse : incontesté*

*CTI : un jugement positif*

*Programmes de l'UE : bureaucratiques*

*Recherche sectorielle*

*Financement de l'espace intermédiaire entre la recherche et le développement*

## 2.5 Politique de l'ingénieur

Sous le vocable de "politique de l'ingénieur", on entend ici tous les domaines de la politique qui déterminent le développement quantitatif et qualitatif des ingénieurs en Suisse.

### 2.5.1 Appréciations générales

Voyons tout d'abord deux jugements d'ordre général. Un expert aborde expressément le thème de la formation tout au long de la vie. Il ne lui paraît pas logique que les hautes écoles (universitaires) aient un mandat de prestations en matière d'enseignement, mais pas en matière de formation continue. Il est difficile de comprendre pourquoi la formation de base est subventionnée par l'Etat, alors que la formation continue ne l'est pas, cela d'autant plus que les entreprises peuvent toujours moins assumer la responsabilité de la formation continue de leurs collaborateurs. Cela induit de lourdes charges financières pour les employés, tandis que les institutions actives dans la formation continue, de leur côté, gagnent de l'argent.

Une autre opinion exprimée concerne la relation entre les différentes composantes des mandats de prestations des hautes écoles : la formation devrait indiscutablement venir en tête, la recherche et le développement lui étant subordonnés en tant que moyens contribuant à atteindre ses buts. La formation, la recherche et le développement correspondraient à trois cultures différentes, difficilement conciliables. Il est dès lors demandé une priorité claire à la culture de la formation et un transfert important des activités de recherche et de développement vers des institutions spécialisées.

*Formation tout au long de la vie*

*Mandat de prestations des hautes écoles*

### 2.5.2 La relation "ingénieurs EPF - ingénieurs HES"

Les deux formations d'ingénieurs nécessitent une solide base au niveau d'une discipline (voir 2.3.1). Les experts s'entendent également à propos de la relation entre les ingénieurs EPF et HES : tous estiment judicieux de maintenir, voire de renforcer, les deux différents profils. Un nivellement est rejeté. Les deux sortes de formation seraient complémentaires. Il existerait aujourd'hui trop de tensions entre les deux types de hautes écoles; davantage de collaboration est nécessaire.

On constate bien sûr à nouveau des nuances de détail : quelques experts soulignent que les différences de rôles entre les deux types d'écoles ne devraient pas entraîner de différences de statut. Selon d'autres avis tranchés, les deux formations ne sont pas de même niveau.

Rien de nouveau concernant les deux profils : on relève ainsi les paires de citations "fort en théorie" et "orienté vers la pratique" ; "formule les problèmes" et "résout les problèmes" ; "se préoccupe de problèmes nouveaux" et "se préoccupe de problèmes dont la solution est en principe connue" ; "travail conceptuel / analyses complexes" et "mise en application opérationnelle" ; "pré développement" et "ingénierie", etc.

#### *Ingénieurs HES*

Les ingénieurs HES doivent être capables de résoudre des problèmes donnés de manière méthodique, systématique et efficace. L'accent est dès lors mis chez eux sur leur formation et pratique professionnelles ainsi que sur un type de personnalité orienté vers l'application et la pratique.

*Un consensus clair : maintenir les différences entre ingénieurs EPF et HES*

*Ingénieurs HES : résolution méthodique et systématique de problèmes*

### *Ingénieurs EPF*

Les ingénieurs EPF doivent avoir une forte faculté d'abstraction et des capacités conceptuelles; ils doivent pouvoir comprendre et définir des problèmes complexes puis les traduire en tâches<sup>2</sup>. Afin que les ingénieurs EPF atteignent ce but, les experts considèrent presque unanimement une formation scientifique comme indispensable, et même qu'elle soit *renforcée* et *améliorée* : plus les tâches et le contexte sont complexes, plus il est nécessaire de bénéficier d'une formation scientifique en contact étroit avec la recherche. Cela ne contredit pas la nécessité de promouvoir aussi les contacts avec la pratique durant la formation. Il convient de relever deux expériences plusieurs fois évoquées : en matière d'autonomie et de formulation de problèmes hautement complexes, les porteurs d'un doctorat, resp. d'un PhD, sont meilleurs que ceux qui n'en ont pas, de même que, d'ailleurs, les physiciens sont supérieurs aux ingénieurs. Il a donc été plusieurs fois recommandé de prendre la formation des physiciens comme modèle pour celle des ingénieurs EPF.

*Ingénieur EPF : traduction de problèmes complexes en tâches*

### 2.5.3 Le modèle de Bologne

Les filières d'études connaissent aujourd'hui ce qu'on appelle la "réforme de Bologne". Ce modèle prévoit pour l'essentiel des diplômes différenciés, le bachelor et le master, et une modularisation des filières d'études. De la sorte, on devrait donner aux étudiants plus de possibilités de choix et un plus grand accès au système européen des hautes écoles.

Une forte majorité des experts s'accorde à penser que le bachelor sera et doit être, dans la règle, le diplôme de fin d'études, dans les HES, et le master celui de fin d'études dans les hautes écoles universitaires (la proportion attendue varie de 80 à 95%). Tous les experts représentant les HES partagent cet avis. De même, une majorité estime pour le moins problématique que les EPF et les HES offrent un titre de "bachelor" ayant la même appellation.

*Dans la règle, diplôme de fin d'études EPF : le master*

*Dans la règle, diplôme de fin d'études HES : le bachelor*

#### *A propos du bachelor EPF*

Une majorité juge insensé ou impossible de mettre sur pied un bachelor EPF à caractère professionnalisant. Le faire serait contraire à la structure éprouvée des filières d'études EPF qui se fonde sur une formation scientifique de base suivie par une spécialisation. Le bachelor EPF pourrait toutefois avoir un sens pour une faible minorité qui ensuite opérerait pour de nouveaux domaines d'activités encore peu structurés, et cela par des formations internes en entreprise.

*Une majorité rejette un bachelor EPF professionnalisant*

Maints experts portent cependant au crédit de l'introduction du bachelor dans les EPF une fonction positive en *interne* et cela à deux points de vue : le bachelor permet aux étudiants de faire un choix après trois ans et de se décider pour les études de master de leur choix, ce qui augmente la flexibilité. En second lieu, le bachelor, en tant que diplôme intermédiaire uniforme au niveau international, permet aux EPF de recruter et de sélectionner des étudiants provenant de l'Europe entière pour leurs études de master. Ceci est toutefois lié à la possibilité pour ceux qui offrent les filières de déterminer réellement, et de manière autonome, quels étudiants ils veulent accepter. Cette question renvoie à une contradiction fondamentale entre les objectifs de

*Fonction positive du bachelor EPF, en interne*

---

<sup>2</sup> La formation joue ainsi un rôle considérable dans la répartition des divers postes d'une organisation, comme esquissé au chiffre 2.3.1.

perméabilité et d'excellence : ou bien la perméabilité est réduite au profit de l'excellence (au travers d'une sélection des meilleurs étudiants dans les hautes écoles en introduisant à cet effet des critères supplémentaires, en plus des titres formellement exigés), ou alors l'objectif d'excellence est au contraire rétrogradé au profit de celui de perméabilité (dans la mesure où les hautes écoles sont obligées d'admettre des étudiants qu'elles préféreraient en fait ne pas accepter).

Un avis minoritaire propose d'offrir aussi dans les EPF des filières de bachelor permettant d'exercer *professionnellement* et, ultérieurement, des filières de master *en cours d'emploi*.

#### *A propos du master HES*

L'offre de filières d'études de master HES est sujette à forte controverse. *En faveur* de telles filières, on argumente que, sans master, les HES seraient dévalorisées. Les filières de master HES complètent les filières d'études de master EPF dans la mesure où elles sont conçues conformément au profil HES, à savoir orientées vers la pratique. Deux arguments sont avancés *contre* les filières de master HES : en premier lieu, les HES ne seraient pas à même d'atteindre un niveau comparable à celui des EPF et, deuxièmement, un parallélisme inefficace et totalement superflu serait ainsi créé. Le diplômé HES qui souhaite effectuer un master peut passer dans une EPF, raison pour laquelle la perméabilité doit être améliorée. Les études de master doivent-elles être organisées ou non selon le modèle binaire ("équivalent mais différent")? Cette question joue manifestement un rôle dans ce débat.

Par ailleurs, on constate que tous les experts des HES aimeraient développer et offrir leurs masters, si possible en coopération avec les EPF et les universités. Les partisans des masters HES sont naturellement conscients des restrictions financières qui ne permettront pas, dans un horizon prévisible, de développer beaucoup de ces filières.

#### *A propos de la perméabilité entre les HES et les EPF*

Personne ne conteste la nécessité de créer, respectivement de conserver, une perméabilité entre les HES et les EPF; comment y parvenir est en revanche une question qui divise. Le spectre des réponses va de l'encouragement à passer directement d'un bachelor HES à des études de master EPF, jusqu'à la proposition d'une période de raccourcement de 2 semestres.

### 2.5.4 Coordination, coopération, intégration

La réforme de Bologne essaie de créer un espace académique uniforme; l'industrie considère que les formations EPF et HES sont complémentaires. Une plus grande autonomie qu'auparavant est simultanément conférée aux hautes écoles pour leur permettre de se différencier fortement les unes des autres. Il est logique dans ce contexte que les experts abordent l'interdépendance des deux formations d'ingénieur ou considèrent ces dernières comme faisant partie d'un même système.

S'il se confirme bel et bien que les formations EPF et HES ont tendance à préparer à des fonctions professionnelles différentes, on peut alors légitimement s'interroger, par exemple, sur les ordres de grandeur "justes". Le rapport des diplômes décernés correspond-il à celui de la demande, selon les fonctions ? Ou, plus crûment : forme-t-on ceux qui "formulent" les problèmes et ceux qui les "résolvent" dans une "juste" proportion ? Cette question plutôt schématique renvoie à la problématique de l'ajustement entre les deux types de formation ainsi qu'à celle de leur pilotage. On

*Contradiction dans le modèle de Bologne entre perméabilité et excellence*

*Le master HES est fortement contesté*

*On approuve la perméabilité entre les HES et les EPF*

*Une coordination renforcée entre les HES et les EPF est souhaitée*

aborde aussi sous un autre angle la possibilité et le souhait d'une coordination et d'une coopération renforcées : la nécessité d'économiser et la pression tendant à mieux se profiler que connaissent les diverses hautes écoles encouragent la coordination et la coopération. Dans les domaines de la recherche et du développement, les points de départ sont évidents. En effet, par rapport à la notion de chaînes du savoir et d'espace continu allant de la recherche fondamentale au produit de l'ingénierie, les EPF et les HES ont leurs centres de gravité à des endroits différents (voir 2.4.2 et 2.4.4). C'est pourquoi on propose de renforcer la mise en réseau des EPF et des HES ainsi que leur coopération. Un expert estime alors qu'il importerait de concevoir des projets en commun dès leur début, et non d'impliquer les HES seulement dans des phases ultérieures. Certaines formes de collaboration dans l'enseignement pourraient ainsi émaner des projets de recherche et des relations personnelles approfondies qui en résultent.

*Réseaux et coopérations pour la recherche et le développement*

Autre argument avancé durant les entretiens : si à l'avenir la renommée d'une haute école prend de plus en plus le pas sur le statut d'un titre, alors les différences entre les deux types de hautes écoles vont s'estomper ; la qualité des différentes filières d'études sera en effet déterminante.

Sur la base de telles considérations, on pourrait presque en déduire qu'il faut considérer la formation d'ingénieur comme un tout, et qu'il faudrait alors même intégrer de manière souple et adéquate les deux types d'écoles. Suivant l'idée développée par un expert, une telle structure permettrait d'entreprendre les différenciations nécessaires à l'intérieur d'un système, soit sous une responsabilité commune, de manière plus flexible, avec bien moins de problèmes de statut et une mobilité accrue des enseignants. Il serait ainsi possible par exemple d'offrir des études de base différentes (l'une orientée en fonction des maturités professionnelles, et l'autre en fonction des maturités gymnasiales), puis ensuite des filières principales communes.

*Formation d'ingénieur intégrée ?*

## 2.6 Politiques de l'ingénierie et de l'ingénieur : EPF et HES

Dans les chapitres précédents, la recherche et la formation ont été traitées séparément. Nous allons maintenant aborder globalement les caractéristiques ou les profils des EPF et des HES.

### *Champs de tensions principaux*

D'après les experts, les EPF se caractérisent par le champ de tensions principal suivant : tension entre l'orientation vers un "système scientifique" (avec des prétentions à l'excellence au niveau international) et vers sa "mission économique", soit mener une formation et une recherche dans l'optique de l'industrie suisse.

*Champ de tensions dans les EPF : mission scientifique contre mission économique*

Quelques experts – avant tout du domaine de l'industrie – critiquent le fait que les EPF perdraient de plus en plus le lien avec la technique et ses applications. Certains domaines complets ont été perdus parce que des chaires n'ont pas été repourvues dans le même secteur de l'ingénierie.

Les HES se trouvent dans une position intermédiaire : entre l'apprentissage et la haute école universitaire en matière d'enseignement, et entre la recherche fondamentale et son application en matière de recherche. Pour quelques experts, les HES ont un positionnement trop proche de celui des hautes écoles universitaires.

*Champ de tensions dans les HES : position intermédiaire*

Les avis divergent quant à l'équilibre à viser au sein de ces champs de tensions.

### *Recherche*

Le mandat de recherche des EPF est incontesté. Cette recherche doit être fondamentale (resp. doit concerner les fondements de domaines importants tels la thermodynamique, les matériaux, la nanotechnologie, resp. les besoins à long terme en Europe) – elle doit avoir 10 à 20 ans d'avance sur l'industrie (voir 2.4.1).

Comment la recherche des EPF doit-elle être déterminée ? Quelques experts tiennent à la liberté de recherche. D'autres placent l'enseignement comme priorité parmi les missions d'une EPF : l'économie souhaiterait en premier lieu des diplômés bien formés, sachant que pour cela la recherche est nécessaire. Les exigences en main d'œuvre sur le long terme déterminent ici les champs de recherche. Selon ce point de vue, il conviendrait aussi d'encourager résolument des domaines spécifiques importants pour notre pays et de créer les chaires correspondantes (par ex., la construction de machines-outils). Enfin, quelques experts aimeraient inscrire la recherche des EPF dans une politique technologique (voir 2.4.4).

La question de la recherche est un point clé du débat pour les HES, étroitement lié à la question de savoir si elles doivent offrir leurs propres filières de master. Un groupe composé de nombreux experts de tous les domaines de l'industrie et des EPF considère le mandat de recherche des HES comme étant une erreur, non réalisable, voire déraisonnable. Les raisons suivantes sont avancées : le système suisse de la recherche disposerait aujourd'hui déjà de trop d'acteurs – les HES, en tant qu'institutions de recherche, réduiraient encore davantage son efficacité. Les HES n'auraient aucune expérience en la matière, seraient trop peu intégrées dans les réseaux, ne seraient pas en mesure de faire de la recherche, et seraient donc dépassées par la mission. Il est proposé dans cette perspective que les HES concluent pour la recherche des partenariats avec les hautes écoles universitaires (voir le chiffre 3.4.2 plus détaillé). L'opposition à la recherche dans les HES s'appuie sur le fait que celles-ci n'en auraient pas besoin pour leur enseignement, contrairement donc aux EPF.

D'autres experts voient en la recherche appliquée un mandat de prestations important des HES, considèrent que la combinaison enseignement - recherche est aussi importante pour elles et regrettent que trop peu de moyens leur soient alloués pour leur permettre de mettre en oeuvre assez rapidement de la recherche.

### *Relations entre les hautes écoles et l'économies*

Certains experts estiment que les EPF n'ont pas pour tâche première de canaliser les résultats de la recherche en direction de l'industrie. Le savoir des EPF serait avant tout transféré par les diplômés, par les publications et par des transferts de technologie brevetés (voir 2.3.3). D'autres pensent que les instituts des EPF devraient couvrir l'entier du spectre allant de la recherche fondamentale à son application.

Selon un argument largement répandu, la mission principale des HES serait de transférer le savoir des EPF pour les PME. C'est pourquoi les HES devraient se concentrer sur la fourniture de services et la recherche sur mandat, ce qui signifie effectuer des développements appliqués, mettre en oeuvre des techniques connues, etc. Les experts pour lesquels une tâche importante des EPF n'est pas leurs liens avec l'économie, proposent logiquement à leur place les HES : elles, et non les EPF, seraient les partenaires de niveau haute école appropriés pour les PME, ou même pour l'industrie dans son ensemble.

*La recherche fondamentale dans les EPF est incontestée*

*Recherche contre formation*

*Recherche dans les HES : une majorité y est opposée*

*Peu clair : le rôle des EPF et des HES par rapport à l'économie*

### *Equilibre dans les EPF*

La formation scientifique et la recherche orientée sur le long terme sont manifestement les missions des EPF qui font l'unanimité parmi les experts. Le problème de l'équilibrage entre orientations scientifique et économique se pose dans le pilotage de la recherche et dans l'établissement des rapports avec l'économie. Selon un point de vue, la mission des EPF serait de créer un équilibre entre système scientifique et tâches économiques. A cet effet, il faudrait définir un portefeuille d'activités et un profil, et mettre en place les instruments de management correspondants, afin de pouvoir concrétiser réellement cette politique de différenciation. Il faudrait notamment restreindre l'autonomie des professeurs. Certaines exigences quant à l'occupation des chaires vont dans le même sens : les critères "carrière scientifique" et "proximité d'avec l'industrie" devraient être équilibrés en fonction des domaines de spécialisation.

*Propositions  
quant au pilotage  
et au manage-  
ment des EPF*

Les experts mentionnent en outre les points suivants à propos des EPF : pour l'un d'entre eux, l'étude de questions spécifiques touchant à l'avenir du pays (énergie, infrastructures, entre autres) devrait être une mission des EPF en tant que hautes écoles techniques. Un autre est d'avis qu'il faut complètement abandonner l'organisation par disciplines des EPF; elle serait périmée. Seule une organisation interdisciplinaire en centres de compétences, et seules des formations en relation avec des projets (au niveau du master), peuvent satisfaire les besoins futurs. Enfin, un expert mentionne la situation privilégiée de la formation en Suisse : les EPF sont en Europe les hautes écoles techniques les plus internationales, sont financièrement bien dotées, comme par le passé, et évoluent dans un environnement multiculturel ; ce sont des atouts qui devraient permettre d'attirer systématiquement les meilleurs étudiants du continent.

### *Equilibre dans les HES*

Les experts sont unanimes au sujet de la mission de formation des HES, et même largement d'accord en ce qui concerne leur positionnement (voir chiffre 2.5.2). L'importance des HES dans le domaine du transfert des connaissances aux industries est également incontestée, qu'il s'agisse de développement appliqué, de recherches sur mandat ou de prestations de service. Selon les appréciations des experts, la mission de recherche serait toutefois problématique, resp. difficile à définir; le rôle de la recherche pour l'enseignement dans les HES est plus controversé.

*Besoin de clarifi-  
cation en matière  
de recherche  
dans les HES*



### 3 Résumé et conclusions

Ce chapitre final tente de synthétiser plus fortement les déclarations des experts et de les compléter avec quelques interprétations et conclusions.

#### *Développements de l'ingénierie*

Les experts conçoivent l'ingénierie comme une fonction, un mode de penser, et non comme un champ d'activités bien délimité. Les ouvertures et les combinaisons représentent les développements clés de l'ingénierie. On constate :

- une convergence des technologies, respectivement des disciplines de l'ingénieur;
- de nouveaux rapports entre les sciences de l'ingénieur et les autres sciences (sciences naturelles, économie d'entreprise, entre autres);
- des fusions de l'ingénierie avec d'autres approches de résolution de problèmes;
- une internationalisation de l'ingénierie et des déplacements de marchés;
- de nouvelles formes d'organisation des chaînes de valeur ajoutée;
- une plus forte orientation "produit" et "système";
- des changements dans l'organisation et le pilotage des processus d'ingénierie;
- l'élargissement de l'ingénierie à de "nouveaux" domaines de la société.

Aux mots-clés plusieurs fois évoqués d'ouverture, de combinaison et d'intégration correspondent les mots-clés de complexité, de transparence, d'incertitude, qu'on cite étonnamment souvent en caractérisant les tâches, les fonctions et les activités de l'ingénierie. Ce sont aussi bien les développements techniques et des sciences naturelles que les mutations sociaux-économiques qui sont considérés comme responsables de ces changements.

Les déclarations des experts quant au futur de l'ingénierie peuvent être résumées par la *thèse de base* suivante : l'ingénierie se modifie entre autres fortement parce que ses relations avec son environnement sont jugées comme étant en profonde mutation. L'ingénierie quitte son "terrain" traditionnel et évolue.

*Thèse de base : les ouvertures et les combinaisons indiquent que l'ingénierie quitte son "terrain" traditionnel*

#### *L'ingénierie et les ingénieurs en Suisse*

La mutation évoquée est unanimement évaluée comme un grand défi posé à l'ingénierie suisse. Selon l'impression transmise par les experts, son évolution se situerait à un point critique. La plupart d'entre eux proposent un nouveau positionnement ciblé sur les maillons des chaînes ayant la plus grande valeur ajoutée. Une majorité estime bonnes les chances de surmonter les défis, alors qu'une minorité est plus sceptique à ce sujet.

*La mutation de l'ingénierie représente un grand défi*

De l'avis des experts, la Suisse a plusieurs atouts à jouer en matière de concurrence internationale :

- les traditions d'activités industrielles avec leurs forces spécifiques en microtechnique ou mécanique de précision (y c. l'électronique et les logiciels), la robotique et les logiciels industriels;
- l'étendue et la qualité de l'ingénierie suisse, qui permettent également de développer relativement vite des compétences dans des nouveaux domaines;
- le multiculturalisme et l'internationalité de l'économie, de l'ingénierie et de la formation technique en Suisse.

*Atouts de la place suisse*

Pour divers experts, la délocalisation croissante de la production industrielle en dehors du pays est considérée comme un sérieux problème. Les raisons en sont d'une part les coûts de production et d'autre part le déplacement des débouchés. Ce déplacement renforce-t-il ou affaiblit-il la Suisse, et ce dans quelle mesure ? Le développement sans fabrication est-il possible, et jusqu'à quel point ? Les réponses à ces deux questions sont controversées. Selon les experts, cela dépend entre autres du secteur d'activités industrielles, respectivement des technologies mises en œuvre. La qualité de la formation des ingénieurs représente d'après les experts un atout supplémentaire de l'ingénierie suisse. Toutefois, on constate - ou on regrette, selon les circonstances - un manque d'ingénieurs, particulièrement dans les domaines traditionnels et donc, par conséquent, une forte proportion d'ingénieurs étrangers.

*Désavantages de la place suisse*

Il existe un net consensus pour estimer qu'une formation fortement spécialisée est indispensable aux ingénieurs. Les experts ne sont en rien favorables aux ingénieurs "généralistes" ou "multidisciplinaires". Cependant, les ingénieurs doivent disposer dans une mesure toujours plus grande de compétences supplémentaires, en premier lieu en gestion de projet et en "soft skills", nécessaires pour les ouvertures et les combinaisons déjà évoquées. Divers experts critiquent le manque de carrières en ingénierie au sein des entreprises suisses.

*Ingénieurs : noyau disciplinaire et compétences supplémentaires*

#### *Politique de l'ingénieur*

En matière de politique de formation, la majorité des propositions et demandes des experts vont dans la même direction. Comme déjà mentionné, ils souhaitent que l'on conserve et même, le cas échéant, que l'on renforce un noyau disciplinaire fort, et qu'on le complète. Les hautes écoles techniques sont ainsi confrontées au problème de fournir ces compléments sans perte au niveau des disciplines de la formation de base. De plus, selon l'avis concordant des experts, il est avantageux de continuer à distinguer entre deux types d'ingénieurs, les ingénieurs EPF et les HES. Les deux profils doivent être renforcés, de manière à pouvoir effectuer au sein de l'ingénierie une différenciation selon des fonctions complémentaires et interdépendantes.

*Maintien de deux types d'ingénieurs différents*

Dans le cadre du modèle de Bologne de formation dans les hautes écoles, le master est majoritairement considéré comme étant la règle ou l'aboutissement normal des études dans les EPF, et le bachelor dans les HES (le master dans les HES est fortement contesté). Les experts souhaitent une coordination renforcée, une coopération, voire une intégration des formations d'ingénieurs, sans pour autant niveler les profils, et cela en raison de la dépendance réciproque des divers types d'ingénieurs sur le marché du travail ou, selon les points de vue, à cause de la proximité ou des recouvrements en ce qui concerne leurs tâches.

Il en découle pour les acteurs de la politique de la formation la nécessité de déterminer les fonctions des deux types d'ingénieurs et leur rapport quantitatif. Il faut de surcroît clarifier où doit s'orienter cette politique : vers les besoins déclarés ou vers les besoins futurs, à déterminer, dans des domaines de l'ingénierie porteurs ? Une clarification devra aussi survenir au sujet de la proportion souhaitée d'ingénieurs étrangers en Suisse. La demande est en outre souvent adressée aux entreprises pour qu'elles créent des carrières transparentes en ingénierie.

*Fonctions, besoins, ordres de grandeur respectifs*

En arrière-fond de la thèse de base, on peut interpréter ainsi l'exigence d'une coordination et d'une coopération renforcées : pour l'ingénierie, le système de formation à créer doit être en mesure de réagir à la fois rapidement et de manière flexible aux développements, ouvrant et dépassant les frontières, et nouant des contacts. Les avantages et inconvénients des concepts possibles, ainsi que la forme concrète d'un renforcement de la coordination et de l'intégration, ne sont toutefois pas encore abordés.

*Coordination renforcée souhaitée*

Il convient d'apporter des précisions en ce qui concerne l'image de l'ingénieur du futur. Les processus mentionnés d'ouverture et de combinaison au sein de l'ingénierie (interdisciplinarité des groupes de travail) ainsi que ses relations avec son environnement (clients, marchés, cultures nationales / internationalisation, cultures d'autres domaines de spécialisations) sont importants pour les deux types d'ingénieurs. A cela s'ajoute dans une mesure croissante la nécessité de l'aptitude à formuler des problèmes dans des environnements complexes. Ces aspects complètent ou corrigent les représentations traditionnelles qu'on se fait des ingénieurs.

*Correction de l'image de l'ingénieur*

#### *Politique de l'ingénierie*

En arrière-fond du modèle des chaînes de la connaissance, respectivement de la valeur ajoutée, on découvre des champs de tensions de la politique de l'ingénierie en général, et de la politique de la technologie en particulier. La jonction de la zone intermédiaire située entre la recherche fondamentale et le développement de produits semble revêtir une grande importance. Les avis des experts à ce sujet sont à vrai dire controversés. Tandis qu'on constate une grande concordance entre eux en ce qui concerne les aspects clés de la politique de formation, des divergences fondamentales existent quant à la politique de l'ingénierie. Celles-ci concernent :

*Les demandes des experts quant à la politique de la technologie sont contrastées*

- les fonctions des acteurs des secteurs publics et privés dans les chaînes de la connaissance et de la valeur ajoutée;
- la différenciation et le financement des zones intermédiaires situées entre la recherche fondamentale et le développement de produits;
- le rôle de la recherche vis-à-vis de l'enseignement (spécialement dans les HES) ;
- les profils concrets des hautes écoles techniques;
- l'acceptation et la possibilité de planifier et de piloter.

L'importance de la référence de ces points de vue varie: l'entreprise, l'économie, la société.

Des avis divergents sont aussi exprimés à propos des EPF et des HES. Selon les experts, un champ de tensions entre les orientations "système scientifique" et "mission économique" caractérise les EPF, soit en d'autres mots entre les exigences d'excellence scientifique au niveau international et celles de la formation et de la recherche dans l'optique de l'industrie suisse. Les HES occupent au contraire une position intermédiaire entre la formation professionnelle et les hautes écoles universitaires en matière d'enseignement, entre la recherche fondamentale et son application, en ce qui concerne la recherche. Plus avant, les opinions divergent à propos de l'équilibre à atteindre au milieu de ces champs de tensions.

*EPF et HES : des champs de tensions*

La promotion suisse de la recherche et de l'innovation représentée par les piliers que sont le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) et la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) est jugée comme étant globalement bonne, bien qu'encore perfectible.

Trois points controversés méritent d'être mis en exergue :

- Le choix de la *stratégie d'innovation* est un aspect clé. Les avis des experts interrogés à ce propos sont très partagés. Ils se situent entre les deux extrêmes suivants : les uns défendent la position selon laquelle chacune des diverses fonctions dans la chaîne de la connaissance travaille d'après d'autres critères et doit donc obligatoirement être différenciée. Le professionnalisme et l'efficacité absolument nécessaires pour maîtriser la complexité croissante ne peuvent être garantis que de cette manière. L'autre pôle défend le point de vue qu'il faut rechercher les chemins les plus directs possibles entre la recherche fondamentale et l'industrie afin de combattre la dynamique propre des structures. Ces deux positions se basent sur des stratégies de succès opposées : d'une part, on table sur une spécialisation institutionnelle pour former des chaînes du savoir solides avec des protections juridiques pour leur valeur économique au travers de brevets. D'autre part, on vise à un assouplissement des structures pour permettre une vitesse déterminante de production et d'application des nouvelles connaissances (c'est la constante avance au niveau des connaissances qui est efficace et garante de succès, et non les brevets). Il s'agit toutefois de tenir compte ici du fait que les experts n'ont pas forcément en tête l'ensemble des domaines de l'ingénierie, mais plutôt certains secteurs. Divers éléments laissent supposer, de manière un peu schématique, que la première position est plutôt défendue par des entreprises établies, actives dans des marchés mûrs, et la seconde plutôt par des experts des hautes écoles et des nouveaux domaines technologiques. De telles différences indiquent que, dans le débat politique au sujet de la stratégie d'innovation, il convient de différencier selon les domaines de l'ingénierie (et le degré de maturité de leurs marchés).
- Le *pilotage de la politique de la recherche et de la technologie* représente un autre point controversé. La plupart des experts plaident en principe pour la liberté en matière de recherche fondamentale. Certains aimeraient cependant canaliser cette liberté. Ils aspirent ainsi au développement d'une politique technologique commune aux hautes écoles, à l'industrie et aux institutions étatiques actives en recherche. Cette proposition part de l'idée que la liberté absolue de recherche pose problème dans les hautes écoles et qu'une solution du type "selon un principe, mais selon l'autre également" (orientation *et* liberté de recherche) est tout à fait possible. De la sorte, on aborde non seulement la thématique de la liberté dans la recherche fondamentale et dans les hautes écoles, mais également la problématique de la concurrence et de la coopération dans les diverses phases des chaînes de connaissance et de valeur ajoutée (lors de quelles phases ou dans quels secteurs la coopération doit-elle ou peut-elle passer *avant* la concurrence?). Les avantages et les inconvénients des systèmes nationaux d'innovation, resp. des structures fédéralistes, sont à discuter. On constate une forte tendance parmi les experts à privilégier le professionnalisme et l'efficacité plutôt que le parallélisme et le fédéralisme.
- Le *profil des deux types de hautes écoles, EPF et HES*, représente le troisième point très débattu. Les experts sont unanimes quant aux missions des EPF de formation scientifique et de recherche orientée sur le long terme. Des divergences existent en revanche à propos du pilotage de la recherche et de la création de ponts avec l'économie. Le problème de la recherche est le point clé du débat concernant les HES; il est lié étroitement à la question de savoir si les HES

*Points controversés :*

*Stratégie de l'innovation*

*Pilotage de la politique de la recherche et de la technologie*

doivent offrir ou non leurs propres filières de master. Un groupe composé de nombreux experts de tous les domaines de l'industrie et des EPF n'est pas favorable au mandat de recherche confié aux HES. Le rôle important des HES dans le domaine de la transmission des connaissances au niveau industriel est par contre incontesté : par les développements appliqués, par la recherche sur mandat ou encore par les prestations de services. On relève que les liens entre les EPF et les HES dans le domaine de la recherche et du développement ne sont pas clairs, et qu'en particulier le profil des HES dans le domaine de l'ingénierie reste encore trop peu précis.

Des discussions approfondies concernant ces points controversés sont nécessaires. En fonction de la grande hétérogénéité des disciplines de l'ingénierie et de leurs champs d'application, il semble approprié ce faisant de tenir compte dans le débat du contexte entourant les positions respectives. Il est en outre recommandé d'examiner si les relations complexes entre la science et l'économie sont reproduites de manière adéquate au moyen du modèle de la chaîne de connaissance.

*Besoin de clarification*

#### *Remarque finale*

Cette étude traite du futur de l'ingénierie en Suisse, dans toute sa dimension; les experts proviennent des différents domaines de l'ingénierie dans lesquels ils exercent diverses fonctions. C'est pourquoi il est peu surprenant qu'ils ne se soient exprimés que rarement à propos d'esquisses d'une politique de la technologie, qui englobe plusieurs problèmes. Quelques remarques finales s'imposent cependant quant à la politique de la technologie ou de l'ingénierie.

On remarque que lors des entretiens avec les experts, on a parlé de processus mais rarement d'objectifs, de conflits d'objectifs et de critères d'efficacité de la politique de l'ingénierie. La problématique de son futur se réfère naturellement toujours à son histoire ainsi qu'à son environnement actuel. Elle touche donc à la continuité et aux ruptures des évolutions et conduit à se demander quelles fonctions elle doit avoir : "Quelle ingénierie pour quelle Suisse ?" Les experts ont abordé indirectement les aspects de cette question lorsqu'ils ont évoqué les forces (tradition industrielle, qualité, multiculturalisme, etc.), lorsqu'ils ont diagnostiqué un manque de visions et constaté des exigences contradictoires de la société envers l'ingénierie. Le débat sur la question "Quelle ingénierie pour quelle Suisse" prend de l'importance à la lumière de notre thèse centrale. Cette dernière postule en effet que l'ingénierie se transforme notamment parce que ses relations avec son environnement sont jugées comme étant en profonde mutation. Tous les concepts de politique d'ingénierie ou de technologie touchent donc dans une certaine mesure aux questions de la fonction que remplit l'ingénierie. C'est pourquoi les acteurs de la politique de la technologie n'échapperont pas à la nécessité de formuler des objectifs de contenu et de s'entendre sur des axes de développement.

*"Quelle ingénierie pour quelle Suisse ?"*

*Des discussions sont nécessaires à propos des objectifs de contenu et des axes de développement*

-----

## Bibliographie

- Arvanitis, Spyros, et al. (2003), Die Schweiz auf dem Weg zu einer wissensbasierten Oekonomie: Eine Bestandesaufnahme. Studie im Auftrag des Staatssekretariats für Wirtschaft. Bern: seco, Strukturberichterstattung Nr. 17
- Arvanitis, Spyros, et al. (2004), 5<sup>e</sup> enquête sur l'innovation dans l'économie suisse. Une analyse des résultats de cette enquête sur l'innovation 2002, Zurich, KOF
- Balthasar, Andreas (1998), Vom Technologietransfer zum Netzwerkmanagement. Grundlagen zur politischen Gestaltung der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Industrie. Chur/Zürich: Rüegger
- Benninghoff, Martin, Jean-Philippe Leresche (2003), La recherche - affaire d'état. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes
- Berwert, Adrian, et al. (2004), Innovationssystem Finnland – was kann die Schweiz lernen? Zürich: SATW Bericht Nr. 37
- Berwert, Adrian, et al. (2004), Etudier – Rechercher – Créer une entreprise, THISS, PNR 43, Zurich
- Bodmer, Christian, et al. (2002), SPINE. Successful Practices in International Engineering Education. Benchmarking Study. Zürich
- Braun, Dietmar (2004), From Divergence to Convergence: Shifts in the Science and Technology Policy of Japan and Switzerland. In: Schweizerische Zeitschrift für Politikwissenschaft, vol. 10, issue 3, 103-135
- Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) (1998), Delphi 98-Umfrage. Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik. Im Auftrag des BMBF. Karlsruhe
- Freiburghaus, Dieter, et al. (1991), Technik-Standort Schweiz. Von der Forschungs- zur Technologiepolitik. Bern
- Hotz-Hart, Beat, et al. (2003), Innovation Schweiz. Herausforderungen für Wirtschaft und Politik. Zürich/Chur: Rüegger
- Fachgruppe Mechanik und Industrie (2002), Mechanik der Zukunft. Symposium 29.30.11.2002. Pfäffikon SZ
- HIS (1998), Ausbildung und Qualifikation von Ingenieuren: Herausforderungen und Lösungen aus transatlantischer Perspektive. HIS Kurzinformation A6/1998
- Jones, Charlotte (2004), Is there a future in engineering?  
[http://www.prospects.ac.uk/cms/ShowPage/Home\\_pictures/Is\\_there\\_a\\_future\\_in\\_engineering\\_/p!eflkc](http://www.prospects.ac.uk/cms/ShowPage/Home_pictures/Is_there_a_future_in_engineering_/p!eflkc) [12.07.2004 13:52:41]
- Leu, Andrea, et al. (1996), Die Wirksamkeit der Ingenieurausbildung in der Schweiz. Chur/Zürich: Rüegger
- National Science Board / National Science Foundation (2004), Science and Engineering Indicators 2004. Arlington
- Science, technologie et industrie : Perspectives de l'OCDE 2002
- Science, technologie et industrie : Tableau de bord de l'OCDE 2003
- Systèmes d'innovation nationaux, OCDE, Paris, 1997
- Politiques de la science et de l'innovation : Principaux défis et opportunités, OCDE, Paris, 2004
- Pastor, Elisabeth (2002), Science et technologie en Suisse. Bilan de la dernière décennie 1990-2000/2001, Neuchâtel, Office fédéral de la statistique
- Pfenning, Uwe, et al. (2002), Zur Zukunft technischer und naturwissenschaftlicher Berufe. Strategien gegen den Nachwuchsmangel. Akademie für Technikfolgenabschätzung
- The Royal Academy of Engineering, The Future of Engineering Research. London 2003
- Umbach-Daniel, Anja, Heinz Rütter (2004), Ingenieur-Nachwuchs Schweiz 2004. Entwicklung des Ingenieur-Angebots an universitären Hochschulen und Fachhochschulen. Im Auftrag von: Engineers Shape our Future INGCH. Rüslikon
- Vock, Patrick, und Urte Hinrichs (2004), Swiss Science and Innovation Policies. Recent developments 2002-2003. Bern: CEST 2004/7

## Liste des experts

### *Remarque préalable :*

La position professionnelle principale des experts, resp. leur fonction, a été ajoutée à leur nom en plus des fonctions que nous leur connaissons dans les institutions de recherche et les commissions, ainsi que dans les organisations faîtières nationales économiques suisse et Swissmem.

Affolter Ernst, Dr, directeur d'Helbling Technik SA, Zurich  
Bächler Herbert, Dr, Chief Technology Officer, Phonak SA, Stäfa  
Bergamaschi Crispino, Prof. Dr, recteur de la "Hochschule für Technik+Architektur Luzern" HTA, Horw  
Boër Claudio R., Prof. Dr, Instituto die Tecnologia Industriale e Automazione ITIA, Milano / Head of  
CTI International, CTI, OFFT, et Schwarz Franziska, Dr, Head of Section Engineering, CTI, OFFT  
Bührer Richard, Prof. Dr, directeur de la "Fachhochschule beider Basel" FHBB, Muttenz  
Hinderling Thomas, Dr, CEO Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique / Swiss Center for Elec-  
tronics and Microtechnology CSEM, Neuchâtel  
Kaiser Tony, Dr, directeur d'Alstom Power Technology Centre, Baden-Dättwil, président de la Commis-  
sion fédérale pour la recherche énergétique CORE  
Koopmann Andreas, CEO Bobst Group, Lausanne / vice-président de la société suisse des constructeurs  
de machine (VSM) / membre du bureau de Swissmem  
Kyburz Rainer, Dr, directeur du marketing, Unaxis Switzerland Ltd, Assembly & Packaging (ESEC),  
Cham  
Mayer Jürgen, président du conseil d'administration et directeur de maxon motor SA, Sachseln  
Piveteau Laurent-Dominique, Dr, Industrial Liaison Officer, Centre d'appui scientifique et technologique,  
Cast EPFL  
Schlöpfer Hans-Walter, Dr, président de Sulzer Innotec SA, Winterthur / membre de la Commission fédé-  
rale des hautes écoles spécialisées CFHES / président de la commission de recherche de Swissmem  
Siegwart Roland, Prof. Dr, directeur du laboratoire de systèmes autonomes LSA, EPFL, Lausanne (entre-  
tien téléphonique)  
Steiner Andreas E., Dr, membre du conseil d'administration et directeur de Belimo Holding SA, Hinwil /  
membre du Conseil de fondation du Fonds national de la recherche scientifique / membre du Conseil  
de l'université de Zurich / président de la Commission de la formation et de la recherche d'économie-  
suisse  
Thibaudeau Nicola, CEO MPS Micro Precision Systems SA, Bienne / membre de la CTI (entretien télé-  
phonique)  
Vetterli Martin, Prof. Dr, directeur du laboratoire de communications audiovisuelles LCAV, EPFL, Lau-  
sanne  
Villetta Jean-Claude, Dr, directeur Ra&D, Haute Ecole Valaisanne, Sion  
Voit Eugen, Dr, Chief Corporate Technology Center CTS, Leica Geosystems, Heerbrugg  
Wegener Konrad, Prof. Dr, Leiter Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung EPFZ, Zurich / Inspire  
– AG für mechatronische Produktionssysteme und Fertigungstechnik  
Wohlgemuth Rolf, Dr, Chief Corporate Technology / Technology Transfer, Siemens Schweiz SA, Zurich