



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,
de la formation et de la recherche DEFR

**Secrétariat d'Etat à la formation,
à la recherche et à l'innovation SEFRI**

Défis de la numérisation pour la formation et la recherche en Suisse

Juillet 2017

Résumé

La numérisation transforme l'économie et le monde du travail à une vitesse fulgurante et exerce une influence majeure sur le changement structurel et la croissance économique. Ces transformations touchent actuellement presque tous les secteurs de l'économie. Pour un pays comme la Suisse, pauvre en ressources naturelles, il est capital d'exploiter au mieux les potentiels offerts par la numérisation.

Fort de ce constat, le Conseil fédéral a approuvé le 11 janvier 2017 le « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique ». S'inscrivant dans la stratégie « Suisse numérique » de la Confédération, le rapport dresse un état des lieux systématique des défis liés à la numérisation dans des thématiques importantes de la politique économique. Le rapport fait également le point de la situation dans le domaine de la *formation* et dans celui de la *recherche et développement et de l'innovation* et reconnaît à ces deux domaines un rôle clé dans la maîtrise du changement induit par la numérisation de l'économie et de la société.

En s'appuyant sur l'analyse esquissée dans le « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique », le Conseil fédéral a chargé le DEFR (SEFRI) d'étudier de manière plus approfondie les défis que le tournant numérique représente pour la formation et la recherche en Suisse. Il s'agit d'une part d'examiner, en association avec les cantons, les effets systémiques horizontaux et verticaux de la numérisation sur le domaine de la formation et d'en tirer les conclusions. Il convient notamment de montrer comment et jusqu'à quel point la formation professionnelle (initiale et supérieure) et les hautes écoles suisses (formation universitaire) parviennent à contribuer dans leur secteur respectif à former une relève suffisante. D'autre part, concernant la recherche et le développement dans les hautes écoles, il s'agit d'examiner s'il y a lieu de combler certaines lacunes dans la recherche des hautes écoles afin de maîtriser la transformation numérique et si la collaboration entre les disciplines et les institutions nécessite des ajustements. Dans ce contexte, il convient également d'examiner de manière détaillée l'envergure que les capacités de recherche en Suisse doivent atteindre pour pouvoir assurer le transfert des connaissances et des technologies vers l'économie et garantir un fonctionnement sûr des infrastructures critiques. Il s'agit en outre d'étudier comment les instruments d'encouragement de la recherche et de l'innovation, tels qu'ils sont actuellement établis par la Confédération, peuvent soutenir ce processus.

Le présent rapport « Défis de la numérisation pour la formation et la recherche en Suisse » a été établi à la demande du Conseil fédéral et propose, à partir de ses analyses, un « Plan d'action Numérisation pour le domaine FRI durant les années 2019 à 2020 » qui identifie les champs d'action et les mesures permettant de remédier aux faiblesses de la Suisse face aux défis du tournant numérique.

Les technologies numériques comme nouvelles technologies de base

Le changement structurel que nous vivons actuellement est inédit de par son envergure et la vitesse à laquelle les technologies numériques pénètrent les différents secteurs. Ce faisant, les technologies numériques transforment aussi de plus en plus de technologies clés dans d'autres domaines (transversalité). Ce constat vaut également pour des technologies dans lesquelles la Suisse est à la pointe. Dans les domaines de la technique des capteurs et de la robotique par exemple, des applications totalement inédites sont possibles en combinant ces techniques à des systèmes auto-apprenants et interconnectés. La numérisation croissante de l'industrie (souvent appelée industrie 4.0) constitue un défi particulier pour de nombreuses entreprises et surtout pour les PME dans le domaine de la fabrication de pointe (« *Advanced Manufacturing* »), puisque la numérisation des processus clés de l'ensemble de la chaîne de création de valeur combinée, par exemple, à des procédés de fabrication additive, permet des processus de fabrication toujours plus complexes. Le développement de ce type de technologies de fabrication exige une collaboration transdisciplinaire et interdisciplinaire intense entre les spécialistes de différentes disciplines.

La combinaison de ces technologies de base crée sans cesse de nouveaux champs technologiques, des innovations et de nouveaux modèles d'affaires qui permettent à leur tour de nouvelles combinaisons. Le

caractère non linéaire de cette évolution empêche de prévoir quelles technologies seront créées ces prochaines années et quel rôle elles joueront au sein des branches nouvelles ou déjà établies. La numérisation n'entraîne cependant pas seulement la création de nouvelles technologies et de nouvelles applications. Il faut aussi s'attendre à ce qu'elle induise des changements fondamentaux dans la société, l'économie, le droit et la politique.

Défis pour la formation, la recherche et l'innovation

La formation, la recherche et l'innovation jouent un rôle central par rapport au développement, à l'utilisation et à la mise à disposition des nouvelles technologies: la numérisation modifie les qualifications recherchées sur le marché du travail ainsi que les profils de compétences correspondants. Parallèlement, des professions et des profils de compétences totalement inédits émergent. On constate un besoin croissant de compétences numériques dans pratiquement tous les domaines ainsi que de personnel qualifié dans le domaine TIC. Dès lors, la formation se trouve d'une part face au défi d'assurer la relève de personnel qualifié. Pour ce faire, l'intérêt des enfants et des adolescents pour ces domaines doit être éveillé suffisamment tôt. D'autre part, les compétences pertinentes doivent être enseignées à tous les niveaux du système éducatif tout en tenant compte des évolutions les plus récentes et en intégrant les nouveaux médias. Tant les contenus de formation que l'enseignement et l'apprentissage changent à un rythme de plus en plus soutenu dans l'ensemble du système éducatif. Cette tendance place les offres de formation et la coordination entre ces offres et les niveaux de formation face à des défis conséquents.

La science assistée par des ordinateurs gagne de plus en plus en importance, tant dans les sciences naturelles que dans les sciences humaines. Afin de maîtriser le changement structurel, il est impératif d'assurer les compétences de recherche pour l'ensemble des technologies de base. Par ailleurs, l'évolution accélérée des technologies numériques ainsi que leur pénétration des technologies et des branches existantes accroît l'importance de la recherche fondamentale interdisciplinaire pour l'utilisation réussie des technologies clés et de la rapidité du transfert de savoir et de technologie. La science et la recherche ne jouent cependant pas seulement un rôle crucial dans la maîtrise des défis du tournant numérique. De nombreux domaines de la science et l'enseignement et la recherche en général sont soumis à des transformations propres suite à la propagation des technologies numériques, notamment au vu de l'importance croissante de la disponibilité et des possibilités d'exploitation des données ou par rapport au développement et à l'utilisation de plus en plus répandue des formes d'enseignement et d'apprentissage numériques.

Les technologies numériques¹ revêtent également une importance toute particulière dans de nombreux domaines clés de la politique, notamment l'énergie, les transports, la santé ou la sécurité. Dans ces domaines, les nouvelles technologies offrent non seulement un formidable potentiel de nouvelles solutions, mais posent également des défis considérables quant à la maîtrise de la transformation numérique. De l'avis des services fédéraux et offices spécialisés compétents, des mesures ciblées visant à assurer les compétences de recherche et à renforcer la qualification du personnel sont nécessaires afin d'affronter ces défis. La transformation numérique soulève en outre des questions fondamentales concernant les conséquences de l'avancée numérique sur la société, notamment sur le monde du travail, les questions de répartition et de formation, sur la sphère privée, la santé, la sécurité, la mobilité et les processus démocratiques. Le traitement de ces questions exige une recherche orientée davantage vers l'interdisciplinarité.

¹ On entend par là de nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) ainsi que des ordinateurs et réseaux plus performants, qui constituent la base technique de la numérisation (cf. Conseil fédéral (2017) : « Rapport sur les principales conditions-cadres pour l'économie numérique »).

Forces et faiblesses

Le rapport montre que, dans l'ensemble, la Suisse se positionne bien : le système éducatif différencié, complémentaire et perméable de la Suisse constitue une condition essentielle à la maîtrise des défis du tournant numérique et offre de bonnes conditions pour répondre aux exigences du marché du travail. Les domaines de la formation ont déjà réagi à l'importance croissante du numérique comme le montrent notamment l'adaptation des plans d'études des régions linguistiques de l'école obligatoire ou les nouveaux profils de la profession dans la formation professionnelle.

Dans l'ensemble, le personnel TIC en Suisse se caractérise, en comparaison internationale, autant par sa haute disponibilité que par ses qualifications élevées. La Suisse compte ainsi parmi les pays où la proportion des spécialistes TIC dans l'emploi est la plus forte, leur part s'élevant à près de 5 %, ce que l'on attribue autant à l'immigration qu'à l'intensité croissante de l'activité de formation dans le domaine TIC, soutenue avant tout par l'augmentation du nombre de diplômes délivrés dans la formation professionnelle.

Cependant, le personnel du domaine TIC dispose, dans une proportion supérieure à la moyenne, d'un diplôme du degré tertiaire, une tendance qui se confirme notamment pour les travailleurs issus de l'immigration. À côté de la formation professionnelle supérieure, les hautes écoles jouent donc un rôle important dans la formation du personnel TIC. Tant le nombre de diplômes octroyés que le nombre d'étudiants du domaine TIC dans les hautes écoles suisses ont augmenté au cours des dix dernières années. En comparaison internationale, cette croissance est cependant assez faible. La Suisse s'appuie davantage sur la formation dans les hautes écoles spécialisées, tandis que la proportion et l'augmentation des diplômes universitaires est plutôt faible comparé aux autres pays. Malgré un nombre déjà important de professionnels du domaine TIC, la plupart des professions informatiques présentent des signes évidents de pénurie de personnel qualifié. Du point de vue des entreprises, cette situation représente l'obstacle le plus important à l'utilisation poussée des TIC.

Contrairement à son bon positionnement concernant le personnel qualifié, la Suisse ne se situe qu'en milieu de classement en comparaison internationale pour ce qui est de la part des utilisateurs TIC. Dans ce contexte, la numérisation place également le domaine de la formation face à des défis importants, notamment quant au renforcement des compétences des enseignants et des élèves. Les compétences nécessaires doivent être enseignées et apprises avec efficacité et efficacie. L'analyse montre que les écoles sont bien équipées en matière d'infrastructure numérique. Les avantages potentiels de l'utilisation des outils numériques devraient être entièrement exploités. Des mesures devraient également être prises afin d'adapter davantage les contenus de formation aux exigences de qualification qui se transforment sur le marché du travail. À l'avenir, toutes les offres de formation devront être contrôlées à une cadence plus élevée du point de vue de leur adéquation aux défis posés par la numérisation. Le domaine de la formation dans son ensemble doit donc être à même de réagir de manière plus flexible aux nouvelles exigences et doit cultiver ses qualités que sont la perméabilité et la complémentarité. Dans la mesure du possible, les obstacles existants doivent être levés. Une coordination étroite entre la Confédération et les cantons est essentielle pour atteindre ce but. Les structures mises en place par la Confédération et les cantons dans le cadre de la coopération en matière de formation doivent être utilisées intensément à cette fin.

Quant à la recherche dans le domaine informatique, l'activité de recherche en Suisse dans les domaines des technologies numériques (mesurée sur la base de la production de publications scientifiques) n'est pas, dans l'ensemble, une activité prioritaire, mais elle s'appuie tout de même sur des prestations de recherche de très haute qualité (mesurée d'après l'impact des publications scientifiques).

Des faiblesses évidentes existent néanmoins aussi dans la recherche, notamment compte tenu des capacités de recherche nécessaires pour couvrir au plus haut niveau l'ensemble de la numérisation.

Au sein des champs de recherche dédiés aux TIC, la Suisse est à la traîne en comparaison internationale précisément dans les domaines qui couvrent la majeure partie des technologies émergentes en matière de numérisation. Ce constat vaut notamment pour l'acquisition, le traitement, le stockage, la gestion et

la diffusion d'informations (des éléments clés du « Big Data ») et pour l'utilisation des technologies numériques dans les processus de production et les nouvelles technologies de fabrication (des aspects centraux de l'« Internet des objets » et de l'« industrie 4.0 »). Dans ces domaines, l'augmentation de la prestation de recherche en Suisse comparée à celle des pays les plus performants est nettement inférieure à la moyenne, de sorte que la Suisse a perdu beaucoup de terrain.

Du point de vue de sa couverture institutionnelle, la recherche dédiée aux TIC n'est que faiblement dotée en Suisse comparé à d'autres pays : la majeure partie de la recherche est issue du domaine des EPF, qui dispose d'une capacité de recherche très modeste concernant les ressources humaines et le nombre de professeurs comparé à d'autres établissements de recherche dominants au plan international.

Les dépôts de brevets – qui reflètent en premier lieu la base des savoirs du secteur économique – confirment cette observation. La Suisse a perdu du terrain dans les principaux champs technologiques émergents et ne fait plus partie des pays les plus avancés dans la recherche. En particulier dans les technologies numériques qui ont le plus gagné en importance au cours des dix dernières années, la Suisse est en partie nettement sous-représentée.

Comme il est impossible de prévoir quelles seront à l'avenir les technologies clés du domaine numérique, les compétences de recherche dans le domaine des technologies de base – notamment en vue du transfert vers l'économie – doivent être garanties dans toute leur étendue (*computing science*) ce qui demande un renforcement de la recherche fondamentale liée aux TIC. Avec la rapidité et l'ampleur colossale de la propagation de la numérisation, la proximité de la recherche revêt une importance toujours plus grande pour de nombreuses branches. Compte tenu de sa forte dépendance de la R&D, des innovations et des nouvelles technologies, l'économie suisse a tout intérêt à exploiter les opportunités qu'offre cette évolution. Dans ce contexte, d'autres améliorations dans le domaine du transfert de savoir et de technologie (TST) paraissent indiquées.

Enfin, une vue d'ensemble choisie de différentes initiatives internationales relatives à la numérisation montre les investissements considérables de nombreux pays dans ce domaine. La croissance exponentielle de l'importance de la numérisation pour l'économie va de pair avec de nombreuses initiatives étatiques visant à améliorer les conditions-cadre qui concernent également en priorité la recherche, l'innovation et l'enseignement dans les hautes écoles.

Champs d'action et mesures

Sur la base de cette analyse, le rapport propose huit champs d'action assortis de mesures relevant de la (co)responsabilité de la Confédération. Les mesures proposées visent à remédier aux faiblesses de la Suisse en matière de numérisation. Quatre champs d'action touchent le domaine de la formation (formation / formation professionnelle) et quatre touchent le domaine des hautes écoles (recherche, innovation et hautes écoles). Dans le cadre des champs d'action, des mesures à court terme sont proposées pour les années 2019 et 2020.

Champ d'action 1 : Amélioration des compétences numériques à l'école

Le système éducatif, de l'école obligatoire au secondaire II, doit permettre aux jeunes d'acquérir les compétences numériques nécessaires pour vivre dans une société et un monde du travail de plus en plus numérisés.

Champs d'action 2 : Utilisation des TIC dans l'enseignement et dans l'apprentissage

La numérisation bouleverse le contexte de l'enseignement et de l'apprentissage. Afin de profiter davantage des TIC, il est fondamental d'assurer de bonnes conditions-cadre dans les écoles:

- Offres de formation pour la promotion des compétences numériques et de la transmission du savoir des enseignants et des directions des écoles du secondaire II
- Renforcement de la sécurité et de la confiance dans l'utilisation et la publication de données grâce à la création d'une fédération de services d'identité

Champ d'action 3 : Adaptation rapide du système éducatif aux exigences du marché

Afin de garantir la compétitivité de la place économique suisse, le système de formation doit réagir rapidement à l'évolution des compétences exigées par le marché. Tous les niveaux de la formation sont impliqués.

- Renforcement de l'encouragement des disciplines MINT
- Renforcement et dynamisation de la formation professionnelle initiale et supérieure
- Formation continue : les travailleurs sont à la hauteur des exigences numériques du monde du travail
- Cyberdéfense : mise en place d'un contingent de spécialistes pour la défense en faveur de l'armée et les exploitants d'infrastructures critiques

Champ d'action 4 : Coordination et communication dans la coopération en matière de formation

La numérisation entraîne des changements à tous les degrés d'enseignement et dans toutes les filières de formation, quoique de différentes manières et avec de nombreuses spécificités. En outre, les stratégies et les mesures adoptées à l'un des niveaux ne manqueront pas d'avoir des effets sur les autres niveaux, et, partant, sur l'ensemble du système éducatif. Une coordination des stratégies et des mesures orientée vers l'ensemble du système et englobant tous les degrés d'enseignement n'en est que plus importante, de même que la sensibilisation des acteurs.

- Renforcement de la coordination systémique et de la communication dans le cadre de la coopération en matière de formation

Champ d'action 5 : Renforcement de la qualification de la relève (compétences numériques)

L'avancée rapide de la numérisation place aussi les hautes écoles face à des défis importants concernant les structures d'information scientifiques, l'évolution constante des contenus et des formes d'enseignement et d'apprentissage ainsi que la transmission des compétences d'utilisation des technologies numériques (compétences numériques) dans toutes les disciplines. La mesure suivante est conseillée pour les années 2019 et 2020 :

- **Renforcement des compétences numériques par le biais des contributions liées à des projets**

Comme mesure efficace à court terme, swissuniversities² proposera des projets de coopération entre les hautes écoles visant à renforcer les compétences numériques : l'éventail est volontairement conçu de manière large et peut comprendre la didactique de branche, la technologie éducative, les formes d'enseignement et d'apprentissage, les profils d'exigence des cursus d'études ou des mesures dans le domaine des humanités numériques et de l'information scientifique.

Champ d'action 6 : Consolidation de la recherche interdisciplinaire sur les conséquences du tournant numérique pour l'économie et la société suisses

La numérisation n'engendre pas seulement de nouvelles technologies et de nouvelles utilisations, mais elle touche et transforme également de nombreux autres aspects de notre société et de notre économie. Diverses disciplines de recherche jouent un rôle éminent dans l'analyse critique et le développement de solution face à ces défis. Le rapport recommande donc la mesure suivante pour la période 2019 à 2023 :

- **Lancement d'une série interdisciplinaire de programmes nationaux de recherche (PNR) autour de la « transformation numérique »**

Une série interdisciplinaire de PNR doit être lancée afin d'étudier les conséquences de la numérisation sur l'économie et la société. Dans le cadre de cette série, il s'agira d'analyser de manière systématique et en vue de déterminer d'autres mesures à prendre les défis prioritaires de la numérisation dans son interaction avec la société et l'économie.

Champ d'action 7 : Renforcement des compétences dans la recherche fondamentale

La création de savoir et, par là, la recherche fondamentale en informatique / *computing science* revêt une importance capitale. À ce niveau, le développement des compétences doit se concentrer principalement sur les fonctions transversales de la numérisation et, en tant que recherche fondamentale, étendre et garantir la création de savoir par-delà les disciplines en vue de nouvelles utilisations. Les mesures suivantes sont recommandées pour les années 2019 et 2020 déjà :

- **Renforcement des instruments compétitifs d'encouragement de la recherche par le biais des Pôles de recherche nationaux (PRN / NCCR; 5^e série)**

Des projets de recherche à long terme et d'excellente qualité doivent permettre de renforcer une recherche fondamentale en informatique / *computing science* qui soit suffisamment large et intégrée à un réseau national.

- **Développement des compétences en informatique / *computing science* dans le domaine des EPF**

Un développement des compétences en plusieurs étapes dans le domaine des EPF par la création de nouvelles chaires doit permettre de renforcer la recherche fondamentale pour les domaines d'utilisation les plus variés de la numérisation tout en créant une base institutionnelle permettant aux EPF d'être, en matière de ressources, à la hauteur des centres de référence de renommée internationale.

² La Conférence des recteurs des hautes écoles suisses.

Champ d'action 8 : Encouragement de l'innovation : accélération du transfert de savoir

L'avancée de la numérisation dans l'industrie (« industrie 4.0 ») pose des défis particuliers à bon nombre d'entreprises industrielles et surtout aux PME dans le domaine des nouvelles technologies de fabrication, plus fortement liées au numérique. Le développement de ce type de technologies de fabrication (« Advanced Manufacturing ») exige non seulement une collaboration trans et interdisciplinaire intense entre les spécialistes de différentes disciplines, mais également une collaboration directe avec l'industrie. Les mesures suivantes sont recommandées pour les années 2019 et 2020 :

- **Lancement d'un programme d'impulsion CTI / Innosuisse « Technologie de fabrication »**
Un programme d'impulsion au carrefour de la recherche fondamentale et de l'innovation basée sur la science permet de réaliser des projets au sein desquels des consortiums relativement grands ou des réseaux de recherche avec des équipes interdisciplinaires issues de la recherche et de l'industrie peuvent collaborer. Ce faisant, toutes les connaissances et compétences nécessaires à un TST accéléré sont réunies dans des projets visant à développer des technologies complexes.
- **Création d'un réseau national de centres de transfert technologique pour les technologies de fabrication (« Advanced Manufacturing Technology Transfer Centers »)**
La création de centres de transfert technologique doit permettre de combler les lacunes entre la recherche et l'application industrielle. Au sein d'un réseau de centres régionaux qui ont chacun leurs domaines prioritaires et sont organisés sous forme de partenariat public-privé (PPP), tant les hautes écoles et les établissements de recherche que les entreprises peuvent participer à la création et à l'exploitation de plateformes techniques et d'installations pilotes. L'infrastructure de ces centres sera accessible à tous les acteurs de la recherche et de l'industrie en Suisse, de telle sorte qu'elle puisse être utilisée aussi bien pour des projets de recherche financés par des fonds publics que pour des expériences menées par des entreprises privées. Ce faisant, elle contribuera grandement au développement et à l'utilisation de technologies de fabrication innovantes.

Par ailleurs, le tournant numérique touche aussi des domaines clés de la politique, notamment par le biais des défis liés aux infrastructures, dans les domaines de l'énergie et des transports entre autres. Dans ce contexte, il est non seulement nécessaire de renforcer la recherche fondamentale, mais il faut avant tout permettre une utilisation plus rapide de ces résultats puisque les infrastructures déjà en place ne peuvent pas être réorganisées à partir de zéro, mais doivent au contraire être remplacées et complétées en cours d'exploitation. Dans ce contexte, la mesure suivante est conseillée pour les années 2019 et 2020 déjà :

- **Renforcement des mesures d'encouragement de la CTI / Innosuisse dans le domaine des Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER)**
Les pôles de compétence en recherche énergétique créés entre temps doivent être reconduits en mettant davantage l'accent sur la numérisation afin de pouvoir exploiter encore mieux le potentiel des nouvelles technologies pour affronter les défis qui se posent dans les domaines de l'énergie et des transports.

Table des matières

1	Mandat du Conseil fédéral	11
2	Les technologies numériques comme nouvelles technologies de base	13
2.1	Pénétration de l'économie	15
2.2	Pénétration dans les domaines de la formation et de la science	19
2.3	Importance de la recherche pour le transfert de savoir et de technologie.....	20
2.4	Enjeux pour d'autres domaines politiques	22
3	Les défis de la numérisation dans le domaine de la formation	24
3.1	Spécialistes TIC: besoin important et croissant en Suisse	24
3.2	Changement structurel accéléré: nécessité d'adaptation rapide à de nouvelles exigences en termes de compétences et de profils de qualification.....	30
3.3	Enseignement et apprentissage dans les écoles	36
3.4	Mesures à prendre dans le domaine de la formation	40
4	Les défis de la numérisation dans la recherche et l'innovation	42
4.1	Forces et faiblesses du profil de la Suisse dans les TIC	42
4.2	Absence de masse critique.....	46
4.3	Des points faibles dans le TST en Suisse	47
4.4	Actions nécessaires dans le domaine de la recherche et de l'innovation	51
5	Champs d'action et mesures dans le domaine de la formation.....	55
5.1	Champ d'action 1: Amélioration des compétences numériques à l'école	55
5.2	Champ d'action 2: Utilisation des TIC dans l'enseignement et dans l'apprentissage	56
5.3	Champ d'action 3: Adaptation rapide du système éducatif aux exigences du marché	60
5.4	Champ d'action 4: Coordination et communication dans la coopération en matière de formation	66
6	Champs d'action et mesures dans le domaine recherche/innovation et hautes écoles ...	67
6.1	Champ d'action 5: Renforcement de la qualification de la relève (compétences numériques)	68
6.2	Champ d'action 6: Maintien de la recherche interdisciplinaire sur les conséquences du tournant numérique pour l'économie et la société suisses	70
6.3	Champ d'action 7: Renforcement des compétences dans la recherche fondamentale (informatique/sciences informatiques)	71
6.4	Champ d'action 8: Encouragement de l'innovation : accélération du transfert de savoir.	72

Annexe 1: Enjeux dans d'autres domaines politiques selon des données issues des offices fédéraux concernés	77
1. Office fédéral de l'énergie	77
2. Office fédéral de la communication.....	79
3. Office fédéral du développement territorial	80
4. Office fédéral des transports	81
5. Office fédéral pour l'approvisionnement économique du pays	82
6. Unité de pilotage informatique de la Confédération.....	82
7. Office fédéral de la santé publique.....	83
8. Office fédéral de la protection de la population.....	83
 Annexe 2: Analyses complémentaires.....	 85
1. Informations complémentaires sur le chapitre 2: « Les technologies de numérisation comme nouvelles technologies de base »	85
2. Informations complémentaires sur le chapitre 3: Enjeux dans le domaine de la formation.....	87
3. Informations complémentaires sur le chapitre 4: «Enjeux dans le domaine Recherche et innovation»	88
 Annexe 3: Sélection d'initiatives en matière de numérisation dans les domaines de la recherche, de l'innovation et des hautes écoles	 97
1. Initiatives en Suisse.....	97
2. Initiatives à l'extérieur de la Suisse	101

1 Mandat du Conseil fédéral

La numérisation transforme rapidement l'économie et le monde du travail et a une influence considérable sur le changement structurel et la croissance économique. Aujourd'hui, quasiment aucun secteur n'y échappe. Pour un pays pauvre en ressources naturelles comme la Suisse, il sera donc de plus en plus nécessaire d'exploiter au mieux le potentiel qu'offre l'avènement du numérique.

Devant cet enjeu, le Conseil fédéral a approuvé le 11 janvier 2017 le « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique ». Celui-ci dresse, dans le cadre de la stratégie « Suisse numérique », un état des lieux systématique des défis que posera à l'avenir le tournant numérique dans certains domaines-clés de la politique économique suisse.

Selon le rapport, l'une des clés de la maîtrise des défis que posera demain la numérisation réside dans la formation et dans son adaptation aux compétences qui seront à l'avenir exigées par le marché. Le rapport conclut que le système de formation suisse, grâce à sa différenciation, sa complémentarité et sa perméabilité, prépare au mieux les individus à maîtriser avec succès le changement structurel et pose les assises idéales d'une économie fonctionnelle et innovante. La numérisation, toujours davantage basée sur la recherche qui se répand dans l'ensemble de l'économie, soulève néanmoins certaines questions, par exemple celle de savoir comment les hautes écoles suisses, par leur enseignement, peuvent aider le pays à relever le défi numérique. Des questions se posent également au niveau systémique, notamment sur les ajustements horizontaux judicieux à opérer au sein du système de formation (à l'intérieur d'un même niveau de formation) et sur la nécessité et la faisabilité d'une coordination verticale entre les niveaux de formation pour réussir la transformation numérique.

Le tournant numérique repose essentiellement sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC). La recherche et l'innovation sont des facteurs essentiels dans la maîtrise des technologies sous-tendant la numérisation. Il faut donc s'interroger sur les défis immédiats auxquels doit faire face le pôle scientifique suisse. On peut citer l'étendue réelle et nécessaire des disciplines, les capacités de recherche nécessaires, la coopération à la croisée des disciplines et les éventuelles conséquences que cette coopération peut avoir sur l'ensemble des instruments établis d'encouragement de la recherche et de l'innovation.

En se basant sur l'état des lieux dressé dans le « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique », le Conseil fédéral a mandaté le Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI), le 11 janvier 2017, pour qu'il étudie les enjeux liés au système éducatif et à la recherche-développement dans les hautes écoles, selon les principes suivants :

(1) Enjeux liés au système éducatif :

Il s'agit d'analyser, avec la participation des cantons et éventuellement d'autres partenaires, quels effets systémiques horizontaux et verticaux sont produits par la numérisation sur le domaine de la formation et quelles conséquences il faut en tirer. Il faudra montrer notamment comment la formation professionnelle (formation professionnelle initiale, FPS) et les hautes écoles suisses (formation académique) peuvent contribuer dans une ampleur suffisante à la formation de la relève. Une attention particulière sera portée à la coordination entre les acteurs du système au sein de la coopération en matière de formation.

(2) Enjeux liés à la recherche-développement dans les hautes écoles :

Il s'agit de déterminer, en collaboration avec le DETEC (OFCOM, OFEN, OFT, OFROU, ARE), le DDPS (SG, OFPP) et le DFI (SG), et en consultant la CSHE, dans quelle mesure les lacunes en matière de recherche au sein des hautes écoles doivent être comblées pour relever les défis du virage numérique et s'il est nécessaire d'adapter la coopération entre les disciplines et les institutions. Une analyse approfondie sera effectuée afin d'estimer les capacités de recherche nécessaires en Suisse pour assurer le transfert de savoir et de technologie vers l'économie et garantir l'exploitation sûre des infrastructures critiques. Il faudra également examiner s'il peut être fait recours aux instruments existants de promotion de la recherche et de l'innovation de la Confédération.

Le présent rapport répond au mandat du Conseil fédéral et analyse les enjeux de la numérisation dans les domaines de la formation et de la recherche et développement/innovation dans les hautes écoles. Le chapitre 2 présente tout d'abord en quoi la numérisation représente un défi d'un nouveau genre en comparaison avec les changements structurels expérimentés par le passé. Les chapitres 3 et 4 abordent les enjeux de la numérisation respectivement dans les domaines « Formation » et « Recherche et innovation » et on y expose dans quelle mesure l'importance croissante de la numérisation a déjà été prise en compte dans le domaine de la formation et de la recherche. Ces deux chapitres expliquent également comment la Suisse se positionne sur cette question sur le plan international. Les chapitres 5 et 6 concluent en proposant des champs d'action avec différentes mesures dans les domaines « Formation/formation professionnelle » et « Recherche et innovation » propres à combler les lacunes identifiées pour la Suisse en lien avec les enjeux de la numérisation. Ce rapport comporte également une partie « Annexes », qui contient une vue d'ensemble détaillée des enjeux de la numérisation du point de vue d'autres domaines politiques (annexe 1), des analyses complémentaires sur l'importance des technologies numériques comme technologies de base et sur le positionnement de la Suisse dans les domaines « Formation/formation professionnelle » et « Recherche et innovation » (annexe 2), et pour finir un aperçu (non exhaustif) des initiatives existantes en Suisse et dans certains autres pays dans les domaines de la recherche et de l'innovation (annexe 3).

2 Les technologies numériques comme nouvelles technologies de base

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) modifient durablement notre quotidien aussi bien au niveau privé que professionnel. Il est depuis longtemps devenu impensable de vivre sans téléphone mobile, sans courrier et agenda électroniques ou encore sans l'internet et rien ne laisse aujourd'hui présager un ralentissement prochain de l'évolution technologique fulgurante des années passées.

Mais, au-delà de ce point de vue du consommateur, les TIC revêtent une importance plus signifiante encore comme technologies de base. À l'instar de l'électricité, les TIC représentent des technologies transversales, qui non seulement transforment petit à petit de nombreux domaines de notre vie, mais qui ont aussi déjà pénétré un grand nombre de branches. Aussi, le Conseil fédéral a-t-il classé les technologies de l'information et de la communication parmi les infrastructures dites critiques³. Parmi les nouvelles applications, on peut citer AirBnB et Uber, qui sont rapidement devenues des concurrentes sérieuses des prestataires « classiques » bien établis et qui, en se basant sur des plateformes technologiques, ont également obligé des branches jusque-là moins dynamiques à évoluer très rapidement. Dans d'autres domaines, des branches et des entreprises bien établies placent de plus en plus les TIC au cœur de leur activité principale ; c'est le cas, par exemple, de la biotechnologie, du génie biomédical, de l'industrie des machines ou encore des technologies financières.

Le potentiel de voir émerger d'autres évolutions fondamentales est toujours considérable. L'efficacité des technologies numériques augmente de manière fulgurante et permet de traiter rapidement des volumes de données de plus en plus importants. L'accès aux infrastructures numériques à travers le « cloud », peu onéreux et facilement adaptable, permet de réduire les barrières à l'entrée sur le marché pour les jeunes entreprises. Grâce à la mise en réseau et aux appareils de communication personnalisés, il est maintenant possible de regrouper des données jusque-là indépendantes et de recourir à l'apprentissage automatique. Les technologies basées sur l'internet permettent aussi de mettre en place des activités économiques intermédiaires passant presque exclusivement par des plateformes.

De telles technologies, dont l'impact sur la productivité dans de nombreux domaines économiques est très fort, sont considérées comme des technologies de base⁴. La littérature économique met en avant la grande importance des technologies de base pour la croissance économique, la productivité et l'évolution de l'emploi. Dans cette perspective, si l'on compare par exemple les répercussions de l'électricité avec celles des technologies de l'information, on constate dans un premier temps que les inventions liées aux technologies de l'information sont à la fois plus radicales et plus pénétrantes que ne l'ont été les inventions liées à l'électricité⁵. Dans un second temps, comme le montre par exemple la part des technologies de l'information dans le stock de capital, leur diffusion semble continuer à croître très rapidement à travers toute l'économie, ce qui laisse présager que leur importance pour les entreprises devrait elle aussi continuer à croître fortement (cf. Figure 1).

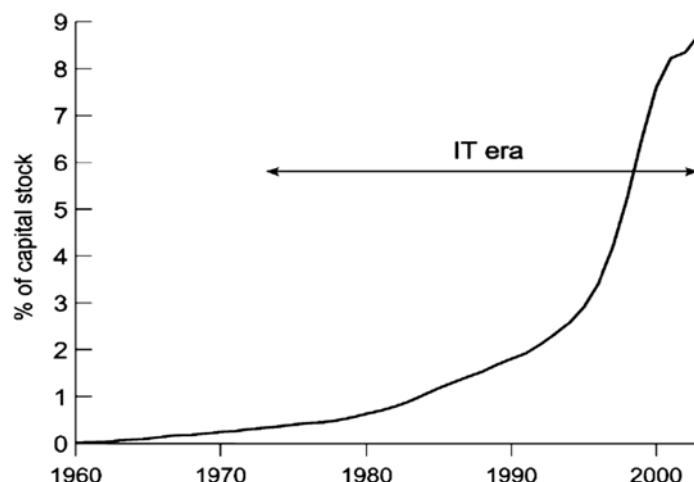
³ Stratégie nationale pour la protection des infrastructures critiques (FF 2012 7715).

⁴ Les « general purpose technologies » (ou technologies à usage général) présentent quatre caractéristiques (cf. Commission d'experts EFI, 2014) :

1. elles peuvent être utilisées de manière productive dans un grand nombre de domaines d'application ;
2. leurs prix et caractéristiques de performance évoluent fortement au fil du temps ;
3. elles sont source d'innovations pour de nombreux produits, processus et modèles de gestion ;
4. leur capacité à interagir avec d'autres technologies complémentaires est importante et les évolutions qui en découlent sont nombreuses.

⁵ Cf. Jovanovic/Rousseau (2005): «General Purpose Technologies, Handbook of Economic Growth», in: Aghion/Durlauf (Hrsg.), Handbook of Economic Growth, p. 1181–1224, Elsevier.

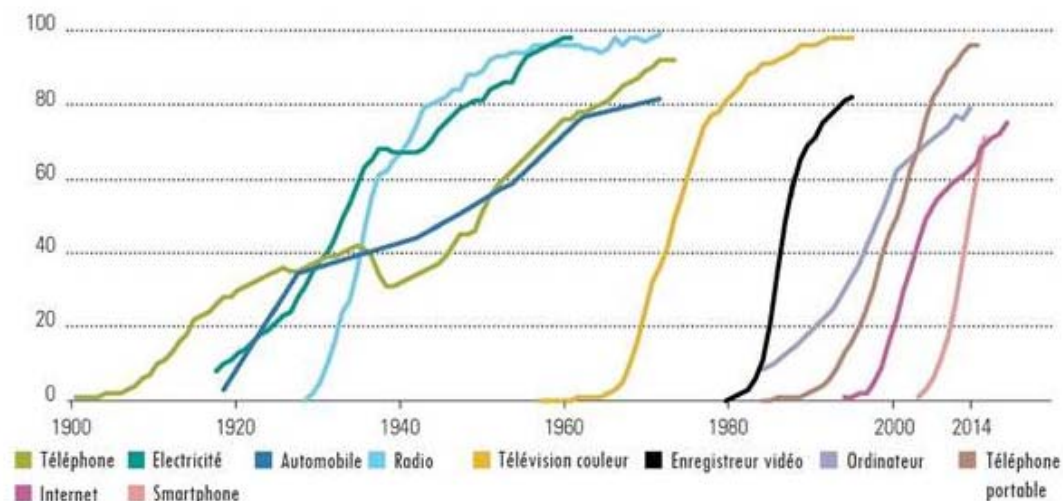
Figure 1 : Diffusion des TIC : part des équipements logiciels et informatiques dans le stock de capital aux États-Unis (1960-2003)



Source : Jovanovic/Rousseau/Peter (2005)

La rapidité croissante avec laquelle les technologies pénètrent le marché est également nouvelle (cf. Figure 2). En outre, l'adoption des technologies de base suit généralement une évolution non linéaire, qui voit l'émergence de nouveaux champs technologiques, innovations et modèles de gestion à travers la combinaison de différentes technologies. Cette absence de linéarité empêche de prévoir quelles possibilités seront engendrées dans les années à venir par la combinaison et la pénétration de ces nouvelles technologies dans de nouvelles branches ou des branches existantes de l'économie.

Figure 2 : Accélération croissante de l'adoption des technologies (taux de pénétration aux États-Unis, 1900-2014)



Source : Blackrock Investment Institute/NZZ

Dans ce contexte, la phase de mise en place et de développement continu des technologies de l'information et de la communication pourrait bien n'en être qu'à ses débuts. La puissance de calcul informatique évolue de façon exponentielle ; à l'avenir, les innovations s'appuyant sur cette puissance de calcul pourraient ainsi émerger beaucoup plus rapidement qu'aujourd'hui. On peut donc en déduire que cela va encore élargir l'éventail des possibles ; ne serait-ce que parce que les technologies de l'information

sont non seulement venues compléter la main d'œuvre humaine depuis quelques années, mais également parce qu'elles ont permis de développer des « capacités de calcul et de connexion » qui vont bien au-delà des capacités humaines. Par conséquent, les technologies actuelles constituent potentiellement des innovations plus radicales que les innovations de base précédentes. On peut d'ores et déjà prévoir que, dans un avenir proche, des algorithmes pourront procéder à des tâches analytiques exigeantes jusqu'ici réservées aux seuls humains.

2.1 Pénétration de l'économie

2.1.1 Impact macroéconomique

Bien que certaines études partent du principe que la pénétration des technologies numériques n'en est qu'à ses débuts dans de nombreuses branches, l'importance pour la croissance économique et le développement de la productivité est aujourd'hui déjà considérable. L'action des investissements TIC sur la productivité des différentes branches et de la vie économique dans son ensemble est documentée dans de nombreuses études plus récentes⁶. On attribue ainsi notamment la forte augmentation de la productivité aux États-Unis entre 1995 et 2005 à l'utilisation croissante des TIC les plus récentes. L'écart important de productivité entre les États-Unis et l'Europe peut en outre s'expliquer en grande partie par l'utilisation plus intensive des TIC aux États-Unis⁷. Des études sur l'influence des TIC ont été reproduites dans de nombreux autres pays et montrent l'impact important de différents profils d'utilisateurs de TIC sur la compétitivité nationale. Il convient en outre de considérer l'importance croissante de la numérisation comme particulièrement significative pour la capacité d'innovation. En 2011, les industries de production des TIC (y compris les médias numériques) ont à elles seules concentré plus d'un quart des dépenses de R-D des pays de l'OCDE.

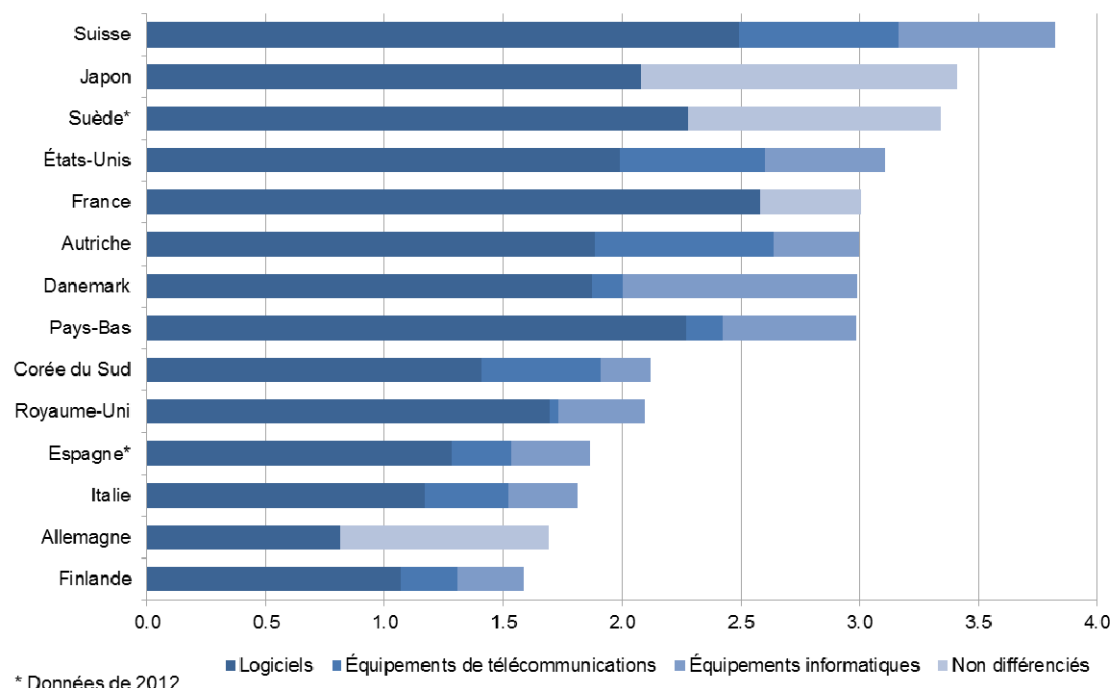
Il n'existe à ce jour aucune étude sur les effets macroéconomiques de la numérisation en Suisse. Le niveau très élevé, en comparaison internationale, des investissements dans les TIC montre toutefois l'importance considérable des technologies numériques dans l'économie locale (cf. Figure 3). Les calculs de l'OCDE pour la période 1995-2014 montrent que les investissements en capital physique dans les TIC ont atteint en moyenne un cinquième de la croissance annuelle du PIB⁸.

⁶ Commission d'experts EFI, 2014, et littérature citée, p. 198.

⁷ Des études montrent que, sur la période de 1995 à 2000, les TIC ont contribué à la croissance de la productivité au niveau macroéconomique à hauteur de 42 % maximum en Europe, contre 59 à 66 % aux États-Unis. Cf. M. Cardona; T. Kretschmer; T. Strobel (2013). « The Contribution of ICT to Productivity: Key Conclusions from Surveying the Empirical Literature », *Information Economics and Policy*, 25(3), pp. 109-125.

⁸ Cf. Conseil fédéral (2017) : « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique ».

Figure 3 : Investissements dans les TIC en 2013, en % du PIB



Source : OFS/OCDE (2015), *Perspectives de l'économie numérique 2015*

Si on observe plus généralement l'évolution des investissements en biens d'équipement TIC en Suisse, on remarque une tendance à la hausse. En particulier, les investissements dans les services informatiques (logiciels et base de données) ont plus que triplé au cours des 20 dernières années, en passant d'environ 6 milliards de francs au milieu des années 1990, à 16 milliards de francs en 2014 (cf. annexe 2, figure B). Selon des estimations de l'Office fédéral de la statistique OFS, la croissance du secteur des TIC depuis la fin des années 1990 était largement supérieure à celle de l'ensemble de l'économie, même si la contribution moyenne de la croissance du secteur des TIC au PIB atteignait déjà (malgré la petite taille du secteur) 17 % entre 1998 et 2013, soit près d'un cinquième du PIB.

Pour différentes raisons, ce type d'analyses et de statistiques ne peuvent que partiellement appréhender les effets de la numérisation sur la croissance⁹. Elles ne rendent compte que de manière insuffisante des changements profonds et radicaux amenés par la numérisation au sein des branches. À cet égard, une accélération notable de la pénétration des applications liées aux TIC a notamment été détectée, particulièrement dans les années suivant la crise économique et financière (vers 2008). On peut citer les exemples suivants, à titre d'illustration:

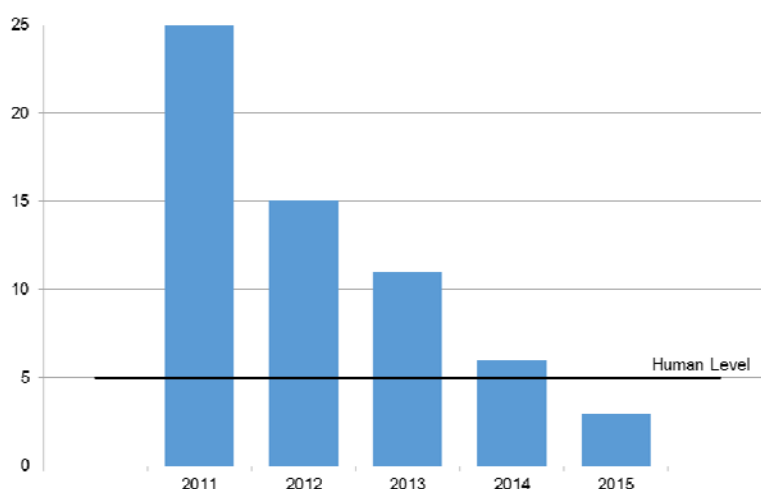
Apparition de nouveaux modèles de gestion « disruptifs » dans des branches jusque-là moins fortement touchées par des changements technologiques profonds :

Cette évolution touche actuellement déjà les secteurs du commerce de détail, avec l'augmentation du nombre d'acteurs sur le marché du e-commerce, de la musique, du transport de personnes et des services d'hébergement (économie collaborative).

Des systèmes d'« *intelligence artificielle* » permettent notamment l'élaboration d'applications automatisant des activités cognitives complexes qu'il n'était jusque-là pas possible d'automatiser (par ex. la traduction, le diagnostic médical, les voitures sans chauffeur, cf. Figure 4).

⁹ Cf. Conseil fédéral (2017) : « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique ».

Figure 4 : Taux d'erreur de la reconnaissance d'image automatique (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)



Source: Economist.com / ImageNet¹⁰

Innovations radicales dans les branches de haute technologie à forte valeur ajoutée :

Les secteurs de la haute technologie, très productifs, ont déjà dû par le passé opérer un fort changement structure face à la concurrence mondiale, défi relevé avec succès en Suisse grâce à d'importants investissements et à une concentration sur des activités à haute valeur ajoutée. Cependant, la numérisation croissante s'accompagne aussi d'un potentiel d'accélération du changement structurel dans ces branches performantes en Suisse, amenant certes des risques plus élevés, mais aussi des opportunités pour le pays. Parmi les exemples de développements technologiques revêtant un potentiel de transformation pour les branches concernées par le tournant numérique et très présentes en Suisse, on peut citer les techniques de production additives et l'apparition des « objets connectés » dans l'industrie mécanique, la création de montres « intelligentes » dans l'industrie horlogère, les solutions FinTech dans le domaine des services financiers et d'assurance, ou encore la médecine personnalisée dans l'industrie pharmaceutique.

2.1.2 Pénétration transversale de technologies-clés existantes

Pour que les technologies numériques pénètrent les marchés de manière significative, il est capital qu'elles modifient en profondeur les possibilités d'utilisations des technologies-clés existantes dans d'autres domaines (transversalité). Les nouvelles évolutions techniques, comme les services cloud, l'informatique mobile, le big data et l'internet des objets, permettent la création de nouveaux produits, services et modèles de gestion, dont l'utilisation va croissante dans de nombreuses branches. C'est également le cas de technologies sur lesquelles la Suisse est en pointe (par exemple, les technologies d'analyse sensorielle ou de robotique permettent d'autres utilisations possibles en combinaison avec des systèmes dotés d'une capacité d'autoapprentissage).

Cette transversalité transparaît par exemple dans l'activité en matière de brevets. À l'échelle mondiale, la part des brevets dans le domaine des TIC représente déjà environ 40 % de l'ensemble des demandes de brevets. Elle atteint 37 % dans les pays de l'OCDE, contre 55 % dans les pays du groupe BRICS, résultant de l'augmentation des activités de brevetage de la Chine dans ces domaines (Figure 5)¹¹. Tandis que nombre de technologies nouvelles se fondent sur des innovations dans les TIC, elles gagnent aussi en importance dans des domaines technologies « classiques ». Cette tendance est attestée

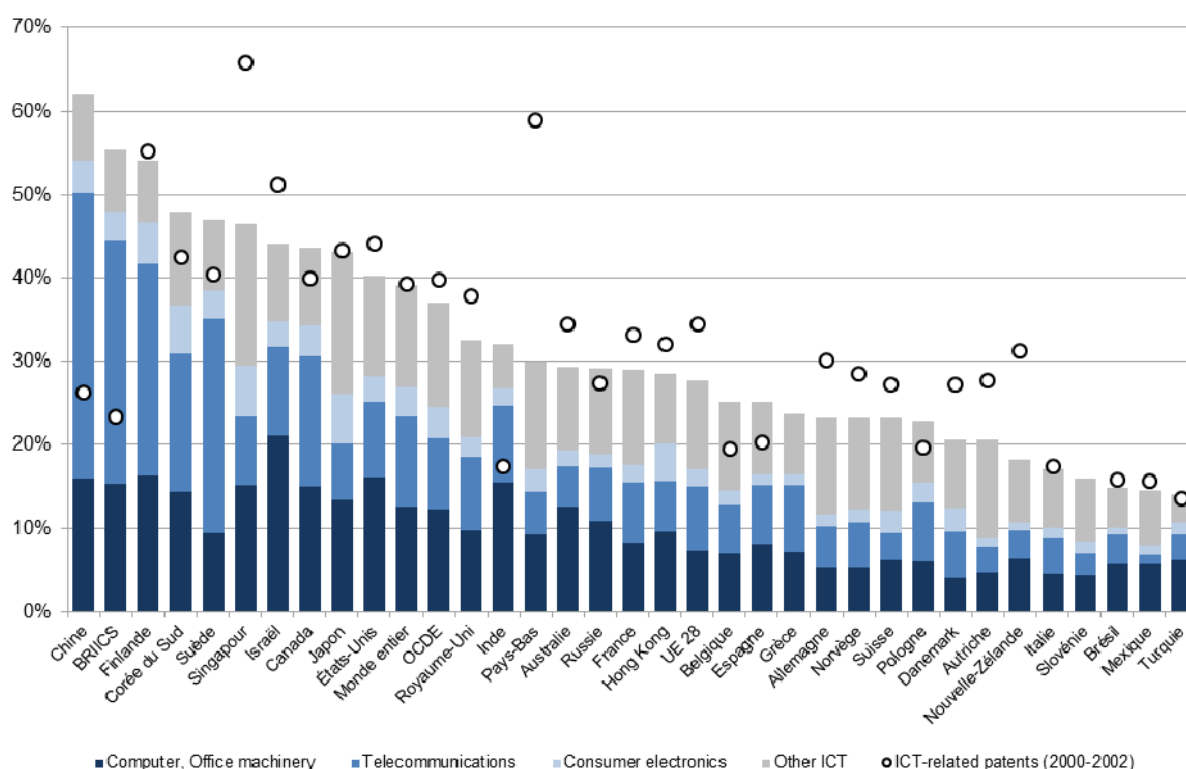
¹⁰ <http://www.economist.com/news/special-report/21700756-artificial-intelligence-boom-based-old-idea-modern-twist-not>

¹¹ OCDE (2015) : « Perspectives de l'économie numérique 2015 ».

par le nombre croissant de brevets relevant de ces domaines tout en ayant en plus un lien avec les technologies numériques au sens strict ; la numérisation fait parfois office de moteur de ces branches (cf. Figure 6 pour quelques exemples choisis de combinaison avec les TIC). Selon l'OCDE, pas moins de 25 % des brevets TIC se rattachent également à un domaine ne relevant pas des TIC.

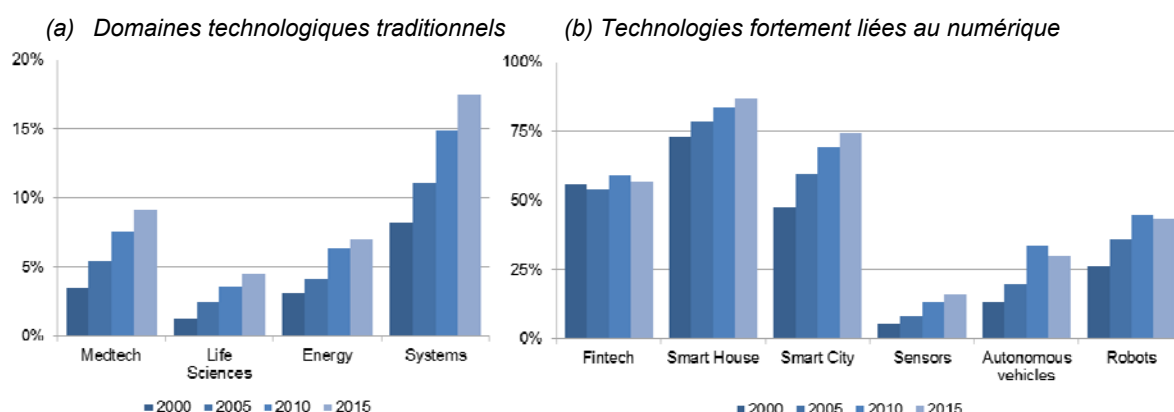
Les TIC rendent l'accès aux inventions et innovations plus rapide, moins onéreux et plus facile. La large diffusion des services à haut débit a ouvert aux utilisateurs tout un monde de contenus numériques. Les services cloud ont montré un grand potentiel comme plateforme pour de nouveaux services et ont considérablement réduit les obstacles rencontrés par les PME dans l'utilisation des TIC, leur permettant ainsi de se développer plus rapidement et de manière plus innovante.

Figure 5 : Spécialisation dans les brevets axés sur les TIC (pourcentage des demandes de brevets ayant un rapport avec les TIC dans l'ensemble des demandes de brevets ; valeurs de la période 2010-2012 et valeurs de comparaison sur la période 2000-2002)



Source : OCDE (2015) : Perspectives de l'économie numérique 2015

Figure 6 : Part du numérique dans une sélection de technologies



Définition : Proportion de brevets dans les technologies ou domaines technologiques respectifs ayant en plus un lien avec la « communication numérique » ou la « technologie informatique »

Source : BAKBASEL (2017), « Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten » (en allemand), étude sur mandat du SEFRI.

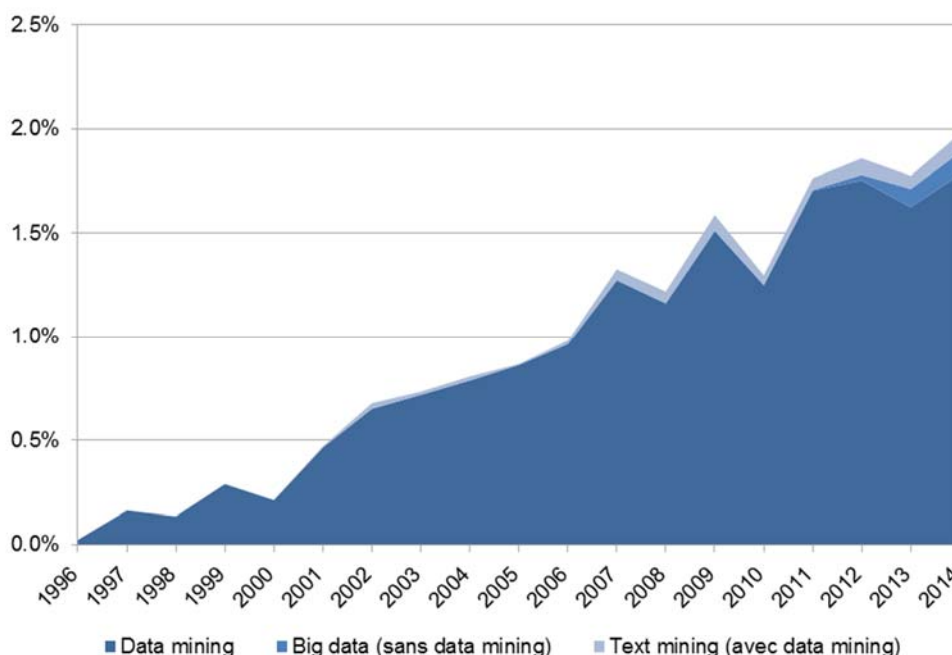
2.2 Pénétration dans les domaines de la formation et de la science

L'éducation et la science jouent un rôle fondamental dans la création de savoirs et dans la formation à des compétences nécessaires. La numérisation transforme le contexte de travail, de l'enseignement et de l'apprentissage à tous les degrés de l'éducation et pour toutes les offres de formation. La formation, qu'elle soit formelle, continue ou informelle, a aujourd'hui de plus en plus lieu tout au long de la vie et de manière connectée. D'un point de vue aussi bien personnel que sociétal ou professionnel, elle exige l'acquisition continue et l'amélioration perpétuelle de savoirs, de qualifications et de compétences. On part ici du principe que la mise en réseau est croissante, en raison d'une accessibilité permanente des données, informations et médias via des technologies mobiles et ubiquitaires, et d'une disparition de la délimitation dans le temps et dans l'espace de l'acquisition des connaissances, traditionnellement circonscrite à l'école, au cours, à l'institut de formation ou encore au lieu de travail. Les nouvelles technologies représentent un défi important pour les prestataires de formation, tout en ouvrant de nouvelles possibilités en matière de transmission des savoirs et d'accès à la formation. Les formes traditionnelles d'enseignement et d'apprentissage, les supports pédagogiques ainsi que les lieux d'apprentissage connus jusque-là ne sont en aucun cas remis en question par ce tournant numérique, mais les dimensions fondamentales de la transmission et de l'acquisition des savoirs en sont nettement élargies. Cette nouvelle situation redéfinit le processus d'apprentissage et modifie les rôles d'enseignant et d'élève ou étudiant.

De nombreux domaines scientifiques connaissent eux aussi une transformation liée à la numérisation.¹² De nouvelles technologies permettent l'utilisation de nouvelles méthodes de recherche, et les sciences empiriques génèrent et traitent des volumes de données de plus en plus importants, ce qui nécessite de nouveaux instruments et de nouvelles qualifications (Figure 7, cf. aussi « OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016 »).

¹² Cf. Conseil fédéral (2017) : « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique ».

Figure 7 : Importance croissante de la recherche basée sur des données (part des articles scientifiques en lien avec le « data mining »)



Source : OCDE (2014), « *Measuring the Digital Economy: A New Perspective* » (résumé en français, « *Mesurer l'économie numérique, un nouveau regard* »).

La numérisation mènera au développement continu de champs technologiques existants, à l'émergence de technologies complètement nouvelles et probablement à des combinaisons totalement inédites entre ces technologies. Selon de nombreux experts en Suisse et à l'étranger, la maîtrise de ces thèmes qualifiés très largement de « cybertechnologies » suppose, d'une part, une recherche fondamentale nouvelle et différente comme élément initiateur central. D'autre part, d'autres domaines scientifiques pénètrent ainsi de plus en plus l'informatique (transversalité). Le développement de la science assistée par ordinateur génèrera une recherche d'un nouveau genre, des sciences naturelles aux sciences humaines. Dans ce contexte, la numérisation fait également évoluer, au sein même de la science, les profils des chercheurs, enseignants et diplômés dans presque tous les domaines spécialisés (qualification de la relève), tout en accordant une importance centrale à la transmission des savoir-faire liés au développement des technologies numériques (« digital skills »).

Enfin, la numérisation progressive pose aussi des défis tout à fait nouveaux en matière de diffusion et de traitement des données scientifiques, ainsi que pour les infrastructures d'information scientifiques (par ex. archives, bibliothèques, bases de données des publications et de la recherche). Les évolutions des technologies de l'information ont révolutionné le partage de savoirs et permis l'émergence de solutions nouvelles en matière de diffusion et de traitement des données scientifiques. Des chercheurs du monde entier sont aujourd'hui connectés entre eux, les données et résultats de recherche sont en principe disponibles et souvent facilement accessibles partout sur la planète. Les licences coûteuses pour accéder à certaines revues électroniques et les conditions de licence peuvent réduire sensiblement cette disponibilité des contenus.

2.3 Importance de la recherche pour le transfert de savoir et de technologie

La transversalité et la rapidité du développement des technologies et compétences représentent le principal défi pour le transfert de savoir et de technologie (TST), eu égard notamment à l'importance croissante des données pour l'économie comme pour les sciences. D'un côté, la science des données se trouve à la croisée de plusieurs domaines académiques que sont la gestion des données et les sciences

de l'ingénieur, la statistique, l'apprentissage automatique, les algorithmes, l'optimisation et la visualisation des données. Cette situation pose également des défis importants. Par exemple, les fournisseurs de données, les informaticiens et les scientifiques doivent trouver un langage commun à ces différentes disciplines pour pouvoir obtenir des résultats pertinents à partir de la montagne de données numériques disponibles. D'un autre côté, les entreprises ressentent la nécessité croissante de constituer un savoir interdisciplinaire en raison des nombreuses combinaisons possibles entre les technologies accompagnant la numérisation.

Pour de nombreuses branches de l'économie suisse, les technologies numériques représentent de nouvelles sources potentielles de valeur ajoutée. Cela vaut non seulement pour des branches qui se voient actuellement confrontées à des modèles de gestion disruptifs, mais aussi, comme indiqué au départ, de plus en plus pour les branches des hautes technologies et les autres branches fortement créatrices de valeur ajoutée (banques, pharmacie, horlogerie/technologie médicale, etc.) en Suisse. L'utilisation de technologies numériques rendra possibles par ex. de nouveaux processus opérationnels, tels que des chaînes de création de valeur continues et orientées vers le client, dans lesquelles celui-ci configure lui-même le produit ou contribue à sa conception, et peut suivre en ligne toutes les étapes, de la production à la livraison, à l'aide de l'internet des objets. Ces technologies pénètrent aussi l'industrie manufacturière, avec l'utilisation croissante de la robotique et de l'automatisation industrielle, et contribuent ainsi à l'augmentation de la productivité et de la compétitivité des entreprises.

En outre, les nouvelles opportunités apportées par la numérisation offrent aussi un fort potentiel aux technologies de production. La numérisation de la production, combinée à des processus de fabrication additifs, fait par ex. émerger des processus de production originaux, débouchant sur la transformation voire la synthèse de matériaux. Cette technologie permet non seulement de nouvelles géométries, mais aussi de nouveaux matériaux. L'exemple de la fabrication additive montre qu'avec une technologie d'impression numérique de ce type, la fabrication individualisée pour chaque client devient possible, mais qu'il est en même temps plus complexe de maîtriser cette technologie de fabrication et que la gestion de la qualité en est par conséquent plus exigeante. C'est aussi le cas d'autres technologies : la fabrication additive n'est en effet pas l'unique technologie de production de pointe à être caractérisée par une plus forte intégration des différentes étapes du processus de fabrication et par une plus grande densité d'intégration des étapes de production. La maîtrise de ce type de technologies de production avec une forte densité d'intégration n'est possible qu'à l'aide de technologies numériques, en utilisant par ex. des capteurs pour collecter des données au cours du processus, des outils d'analyse et de visualisation des données issues du processus ou encore des machines dotées d'une capacité d'autoapprentissage qui pilotent le processus en continu et qui surveillent en même temps l'usure des outils. Le développement de ce type de technologies de production numériques exige en cela une collaboration transdisciplinaire et interdisciplinaire intensive entre des spécialistes de différentes disciplines.

Enfin, les estimations faites par les offices fédéraux responsables de différents domaines politiques (cf. section 2.4 ci-après) montrent qu'il est impératif d'agir, notamment au niveau des possibilités nouvelles en matière de conception d'infrastructures critiques et de la garantie de leur sécurité, mais aussi plus généralement au niveau de la sécurité des données. Il ne faut pas oublier à ce titre que la recherche et l'enseignement sont eux aussi classés parmi les infrastructures critiques¹³ et que le besoin d'action (notamment par rapport aux cyberrisques) s'étend donc au domaine même de la recherche et de l'enseignement¹⁴.

Pour presque toutes les infrastructures, les technologies numériques offrent la possibilité de passer sur des structures radicalement nouvelles. Cela est particulièrement vrai pour les domaines de l'énergie et des transports, pour lesquels il existe un réel potentiel. À ce sujet, l'accent doit cependant être directement mis, parallèlement à la recherche fondamentale, sur le transfert de savoir, car les infrastructures

¹³ Stratégie nationale pour la protection des infrastructures critiques (FF 2012 7715)

¹⁴ Dans le cadre de la stratégie nationale pour la protection des infrastructures critiques et de la stratégie nationale contre les cyberrisques, tous les 28 sous-secteurs des infrastructures critiques – y compris le secteur recherche et enseignement – ont fait l'objet d'une analyse des risques et de la vulnérabilité et des mesures ont été conçues pour renforcer la résilience, avec un accent sur les cyberrisques et la cyber-vulnérabilité.

existantes ne peuvent être remaniées en profondeur et doivent plutôt être remplacées et complétées tout en restant opérationnelles.

2.4 Enjeux pour d'autres domaines politiques

La numérisation apporte certes des technologies et applications nouvelles, mais il faut s'attendre à ce qu'elle donne également lieu à des évolutions fondamentales de la société, de l'économie, du droit et de la politique. Du point de vue de la vie économique, la numérisation a pour conséquence une réorganisation de l'ensemble des chaînes de création de valeur et contribue à l'émergence de nouvelles formes de travail et d'activités¹⁵. Cela présente alors, comme le montre par la suite le présent rapport, de nouveaux enjeux pour le système de formation (professionnelle) et le paysage de la recherche en Suisse. Parmi les exemples d'évolutions induites par la numérisation, on peut également citer l'individualisation de l'assistance médicale, l'évolution des formes de mobilité ou encore l'importance croissante de la sphère privée et de la sécurité (numérique).

Selon le « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique », il existe également un lien étroit particulier entre d'un côté les évolutions technologiques liées à la numérisation et d'un autre côté l'activité, le contrôle et la sécurité d'infrastructures critiques, aussi bien à l'échelon régional que national. On entend par « infrastructures critiques » en premier lieu les lignes d'approvisionnement (courant, électricité, eau, eaux usées, chauffage, etc.) et les infrastructures de communication (lignes à haut débit, réseau de fibre optique) qu'utilise toute société moderne. Mais les voies de circulation (routes, voies ferrées ou lignes aériennes) ou encore les systèmes multinationaux basés sur des données (par ex. la navigation satellite) peuvent connaître et connaîtront certainement des évolutions technologiques. Dans le même temps, de nombreuses questions juridiques, parfois totalement inédites, apparaissent (notamment dans le domaine des réglementations, qui devront être adaptées en conséquence, mais aussi de manière très marquée par exemple sur les questions de responsabilité).

Outre les évolutions affectant la sécurité des infrastructures, apparaît un autre enjeu fondamental, lié à la sécurité des informations. Il devient de plus en plus complexe de protéger les données personnelles en raison du nombre croissant d'appareils et d'applications générant des données. L'importance des fournisseurs privés a tendance à augmenter dans ce domaine.

Selon une évaluation menée par des organes fédéraux / services spécialisés responsables d'autres domaines politiques (cf. Tableau 1), les technologies numériques sont fondamentales pour de nouvelles approches.¹⁶ Cette évaluation a souligné non seulement les énormes potentiels de la transformation numérique, mais aussi les défis à relever pour pouvoir la maîtriser.

¹⁵ Cf. Conseil fédéral (2017) : « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique ». En réponse au postulat « Automatisation. Risques et opportunités » du CN Reynard (15.3854), le Conseil fédéral rendra en outre, en novembre 2017, un rapport complet sur des questions de fond sur le marché du travail en analysant notamment les thématiques suivantes : effets par secteurs d'emploi, conséquences pour les assurances sociales, défis pour la protection de la santé, développement du partenariat social.

¹⁶ Cf. Annexe 1 pour une description détaillée des enjeux par domaine politique.

Tableau 1 : Représentation d'une sélection d'enjeux liés à différents champs technologiques selon les domaines politiques (compilation OFS basée sur les retours de différents offices fédéraux)

Enjeux majeurs	Énergie (OFEN)	Télécommunications (OFCOM)	Aménagement du territoire (ARE)	Transports (OFT)	Infras-structures critiques (OFAE)	Cyber-sécurité (DDPS/UPIC)	Cyber-santé (DFI/OFSP)
Cybersécurité	+	+		+	+	+	+
Systèmes de commande	+	+	+	+	+	+	
Big data	+	+	+	+			+
Réseau intelligent	+	+	+	+	+	+	
Internet des objets / analyse sensorielle	+	+		+			+
Cloud (informatique / données)		+				+	+
Concepts de mobilité numériques	+		+	+			
Robotique, moyens de transport autonomes	+		+	+		+	

Malgré les implications importantes, les enjeux majeurs ne peuvent actuellement être évalués que de manière partielle. Du point de vue des services spécialisés responsables, les hautes écoles doivent fortement contribuer à l'analyse de ces enjeux majeurs de société, ainsi que d'autres enjeux (nouvelles formes de travail, évolution de l'activité, culture, processus démocratiques) et au développement de solutions correspondantes. Le renforcement des efforts, soutenus de manière ciblée, est pour cela nécessaire dans le domaine de la recherche interdisciplinaire. Au regard du domaine FRI, les offices fédéraux envisagent des mesures conformes aux objectifs pour répondre aux enjeux de la numérisation : renforcement des qualifications de la main-d'œuvre, structuration des compétences pour la recherche, développement partiel de nouvelles architectures et de nouveaux processus et meilleure coordination de l'encouragement du TST. Un rôle central est donc ainsi accordé au domaine FRI, y compris pour d'autres domaines politiques.

La recherche de l'administration fédérale joue elle aussi un rôle important dans la formulation de réponses aux défis politiques de la numérisation. Les plans directeurs de recherche 2017–2020 pour les onze domaines politiques font souvent référence aux défis de la numérisation (Sécurité sociale, Agriculture et agroalimentaire, Énergie, Politique de sécurité et de paix, Formation professionnelle, Transports et durabilité). Toutefois, seuls deux plans directeurs font de la numérisation des priorités thématiques majeures. Cela s'explique par le caractère même de la recherche de l'administration, qui doit fournir des résultats répondant à un intérêt immédiat des offices et qui doivent contribuer directement à l'exécution et au développement des politiques des offices. La recherche de l'administration est un instrument peu approprié pour la recherche fondamentale dont continuent de relever nombre de thèmes liés à la numérisation.

3 Les défis de la numérisation dans le domaine de la formation

Les offres et les degrés de formation ont déjà réagi à l'importance accrue de la numérisation et la Suisse occupe une bonne position dans ce contexte. La hausse du nombre de diplômes décernés dans les domaines de la formation professionnelle et des hautes écoles a permis d'accroître la main-d'œuvre disponible. Différencié, complémentaire et perméable, le système éducatif suisse constitue une base essentielle pour maîtriser les défis de la numérisation et offre de bonnes conditions pour répondre aux exigences du marché du travail. La définition des contenus de la formation professionnelle par les entreprises et l'autonomie des hautes écoles sont en particulier des facteurs importants du succès de ce système.

À divers égards, la pénétration du numérique et les exigences de l'économie et de la société placent la formation devant des défis de taille. La formation contribue largement à la garantie à long terme d'une main-d'œuvre qualifiée dans le domaine des TIC. Les efforts consentis dans ce domaine ne doivent pas diminuer (chap. 3.1). Parallèlement, il est également de la responsabilité des acteurs de la formation de réfléchir sans relâche aux contenus et aux compétences qui permettent aux individus de participer durablement à la vie économique et sociale (chap. 3.2). Les compétences des enseignants doivent être renforcées de manière à ce que ceux-ci puissent transmettre ces contenus correctement (chap. 3.3). Enfin, les responsables du système de formation au niveau fédéral sont tenus de coordonner leurs activités et d'harmoniser leurs stratégies et leurs mesures dans l'intérêt de l'ensemble. Le chapitre 3 s'achève par un bref résumé des mesures qui s'imposent suite à l'analyse (chap. 3.4).

3.1 Spécialistes TIC: besoin important et croissant en Suisse

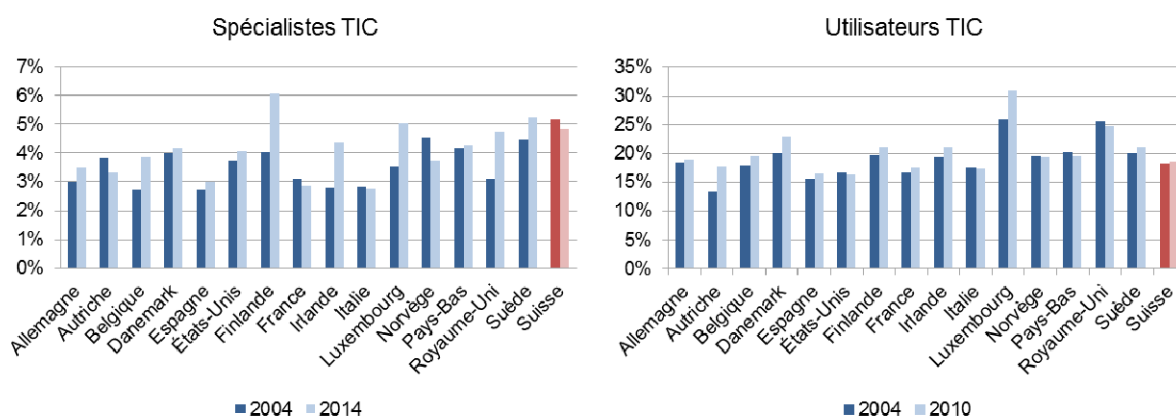
3.1.1 Disponibilité et niveau de formation

En comparaison internationale, la Suisse est globalement bien lotie en termes de disponibilité et de qualification des spécialistes en TIC (Figure 8). Malgré un léger recul depuis 2004, elle fait partie des pays affichant la plus forte densité de spécialistes TIC avec une part de près de 5 % des travailleurs. En revanche, la Suisse se situe seulement dans la moyenne quant à la part d'utilisateurs de TIC¹⁷.

¹⁷ On distingue trois catégories de compétences TIC:

- 1) les spécialistes TIC, qui sont capables de développer et de faire fonctionner des systèmes TIC et d'en assurer la maintenance; leur travail englobe principalement des tâches TIC;
- 2) les utilisateurs TIC avancés sont des utilisateurs compétents de logiciels complexes, souvent spécifiques à un secteur; pour eux, les TIC sont un outil et ne constituent pas le domaine central de leur activité professionnelle;
- 3) les utilisateurs TIC disposant de connaissances de base sont des utilisateurs compétents de logiciels ordinaires (par ex. Microsoft Word, Excel, Outlook, PowerPoint), auxquels ils ont recours dans le contexte de leur travail, de la société de l'information et de la cyberadministration. Là aussi, les TIC sont un outil et ne constituent pas le domaine central de l'activité professionnelle.

Figure 8: Part de spécialistes et d'utilisateurs TIC dans l'emploi en comparaison internationale



Source: OFS

La Figure 9 montre que la part élevée de spécialistes TIC par rapport au total des emplois en Suisse résulte en premier lieu d'une forte hausse des capacités au niveau de la formation professionnelle (CFC: certificat fédéral de capacité) depuis la fin des années 90. Il est vrai que le niveau de qualification des informaticiens est élevé par rapport à l'ensemble de l'économie¹⁸, comme le montre entre autres le taux de diplômes du degré tertiaire supérieur à la moyenne (61 % contre 37 % en moyenne en Suisse). Une part considérable des diplômes TIC du degré tertiaire est décernée, dans des proportions semblables, dans la formation professionnelle supérieure et dans les hautes écoles spécialisées (HES). Le nombre de diplômes (bachelor et master) obtenus dans ces dernières a notamment bondi entre 2000 (223) et 2005 (893). Depuis 2005, il a également connu une hausse d'environ 30 % pour atteindre 1200 diplômes.

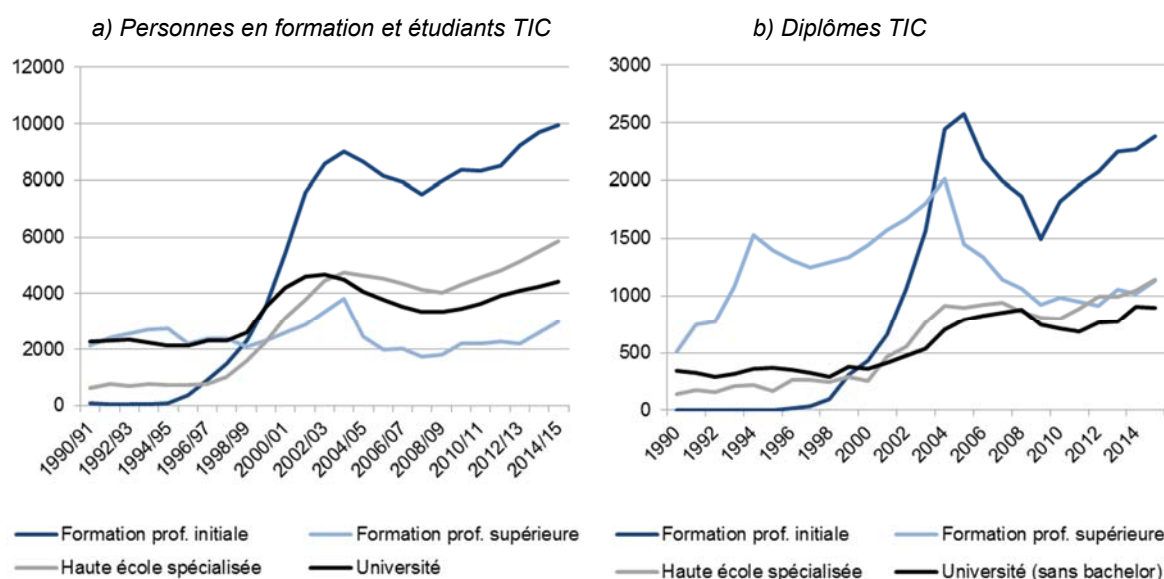
Dans les universités, le nombre de diplômes¹⁹ décernés dans le domaine TIC a également augmenté entre la fin des années 1990 et le milieu des années 2000, mais cette hausse a été beaucoup moins forte que dans les HES (cf. Figure 9 et annexe 2, tableau A). Après un recul passager, le nombre de diplômés tend à remonter depuis 2010, sans pour autant atteindre les valeurs de 2004.

Au vu de la hausse du nombre d'étudiants dans les branches TIC ces dernières années – tant dans les HES que dans les hautes écoles universitaires – il faut s'attendre à une nouvelle augmentation du nombre de diplômes au cours des années à venir. Entre 2010 et 2015, les branches MINT ont enregistré une hausse de 14 % au niveau des admissions, tous types de hautes écoles confondus. À titre de comparaison, dans les branches autres que MINT, le nombre d'admissions n'a augmenté que de 5 % au cours de la même période. Dans les orientations TIC, la hausse du nombre d'étudiants dans les HES et les hautes écoles universitaires se situe autour de 25 %. Les universités, elles non plus, n'ont pas atteint le niveau enregistré au début des années 2000 (cf. Figure 9 et annexe 2, tableau A).

¹⁸ SECO (2016) : « Pénurie de main-d'œuvre qualifiée en Suisse. Système d'indicateurs pour évaluer la demande en personnel qualifié ».

¹⁹ Englobe les diplômes de niveau master ou licence et les doctorats.

Figure 9: Personnes en formation et étudiants TIC et diplômes TIC²⁰ en Suisse selon le type de formation, évolution 1990 à 2014



Source: OFS

Selon une analyse du SECO, deux tiers des travailleurs exerçant une profession de l'informatique ont suivi une formation dans un autre champ professionnel²¹. Nombre d'entre eux possèdent un diplôme dans un champ professionnel technique apparenté (par ex. professions d'ingénieur), mais des diplômés des professions des sciences sociales, humaines et naturelles occupent aussi souvent un poste dans le domaine de l'informatique. Cela montre qu'une considération du pool de main-d'œuvre se restreignant aux diplômés TIC des hautes écoles n'est pas pertinente et que le caractère transversal des compétences demandées revêt justement une importance accrue.

Cette évolution est difficilement comparable au niveau international, car la plupart des pays ne disposent pas d'un système de formation professionnelle et de hautes écoles spécialisées aussi étendu que celui de la Suisse et les données correspondantes sont peu abondantes. Le nombre élevé et l'importance des diplômes de la formation professionnelle supérieure en particulier sont souvent mal reflétés, voire sous-estimés, dans les comparaisons internationales. Toutefois, la classification internationale CITE attribue de nombreux diplômes des domaines MINT au moins au même niveau que les diplômes de bachelor académiques. À cela s'ajoute que les qualifications les plus élevées (diplômes du degré tertiaire) en particulier sont difficilement comparables, car leur qualité n'est pas facile à interpréter dans les pays où la part de diplômes universitaires est élevée. Les diplômes universitaires se prêtent toutefois à une comparaison internationale approximative si on considère les diplômes de master et les doctorats²², car ceux-ci – contrairement à l'ensemble des diplômes du degré tertiaire – sont obtenus principalement dans les universités.

Les données de l'OCDE relatives aux diplômes universitaires dans le domaine «Sciences informatiques»²³ montrent que la plupart des pays sont parvenus à augmenter considérablement le nombre de

²⁰ Pour les hautes écoles universitaires, les nombres de diplômes englobent les bachelors, les masters et les promotions.

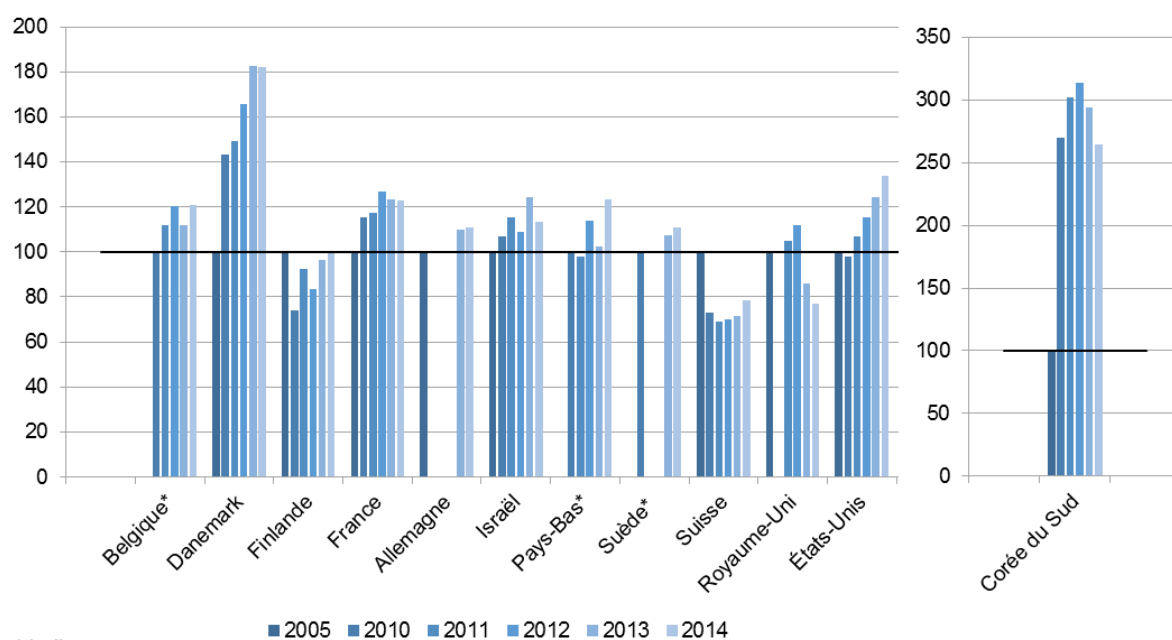
²¹ SECO (2016) : « Pénurie de main-d'œuvre qualifiée en Suisse. Système d'indicateurs pour évaluer la demande en personnel qualifié ».

²² Classification internationale type de l'éducation (International Standard Classification of Education), catégories 6 et 7.

²³ Le champ CITE F48 «Sciences informatiques» comprend des catégories ayant trait à la mise au point de logiciels: conception de systèmes, programmation informatique, traitement des données, réseaux, systèmes d'exploitation.

diplômes de master depuis 2005 (cf. Figure 10), à savoir de 10 % à 20 % en règle générale. Le Danemark, les États-Unis et la Corée du Sud ont enregistré une hausse nettement plus importante. En Suisse, ce n'est que depuis 2011 que l'on observe à nouveau une modeste progression. Même depuis 2010 (sans illustration), la Suisse fait partie, avec la France, Israël et la Corée du Sud, des pays ayant enregistré la croissance la plus faible du nombre de diplômes universitaires (la Corée du Sud étant le seul pays à connaître une baisse pendant cette période).

Figure 10: Diplômes de master dans le domaine «Sciences informatiques» en comparaison internationale (indice: 2005=100, ligne noire)



* Indice

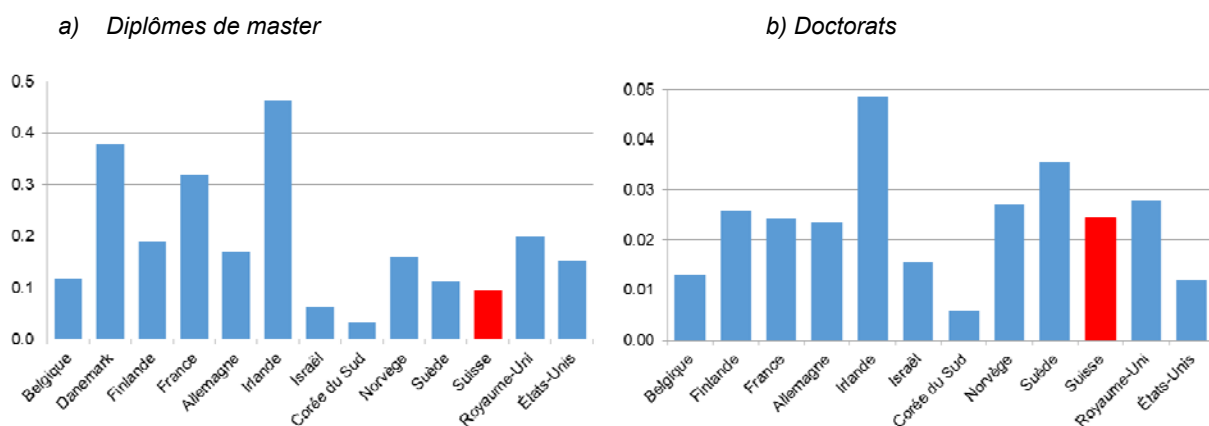
Source: OCDE

Au niveau du nombre de diplômes de master (mesuré en pourcentage de la population active) également, la Suisse se situe seulement dans le dernier tiers du groupe de pays considéré. L'écart par rapport aux pays en tête de classement est considérable, comme le montre la Figure 11.

La Suisse occupe une meilleure position en ce qui concerne les diplômes de doctorat en informatique: elle se situe dans la moyenne supérieure tant en termes de niveau qu'en termes d'évolution (figures 11 et 12). Le haut niveau des hautes écoles universitaires suisses, en particulier des EPF, en comparaison internationale vient renforcer cet aspect. Le nombre de doctorats TIC a pratiquement triplé depuis le tournant du siècle, la majeure partie de cette progression étant attribuable aux doctorants étrangers (cf. annexe 2, figure D)²⁴.

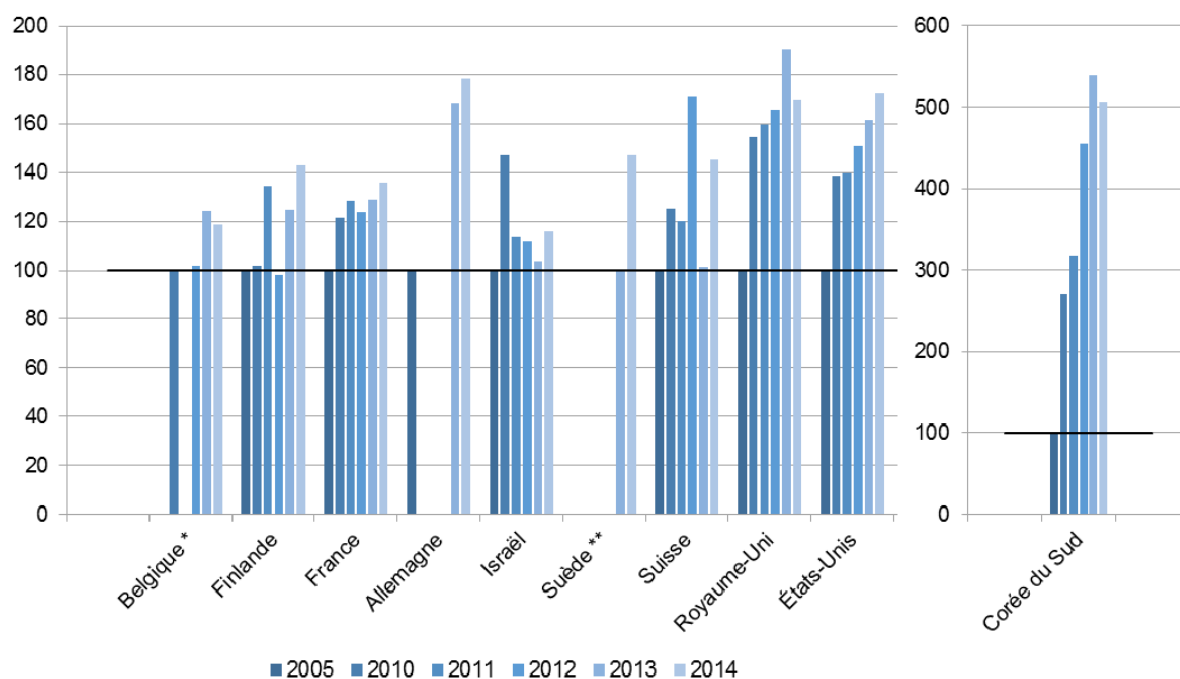
²⁴ La forte proportion de doctorants étrangers n'est pas spécifique au domaine TIC; la proportion de doctorants étrangers – dont la grande majorité provient des pays européens voisins – est globalement de 70 % dans le domaine des EPF. L'internationalisation est une caractéristique importante des universités de pointe internationales, qui rivalisent entre elles pour attirer les meilleurs talents du monde. Après l'obtention du doctorat, les jeunes scientifiques participent au transfert du savoir de l'université vers les entreprises et contribuent ainsi de manière déterminante à l'innovation, à la compétitivité et à la création de valeur en Suisse.

Figure 11: Diplômes de master en 2014 dans le domaine «Sciences informatiques» pour mille travailleurs (population active)



Source: Calculs du SEFRI sur la base de données de l'OCDE (diplômes) et des indicateurs du développement dans le monde (population active) de la Banque mondiale.

Figure 12: Promotions dans le domaine «Sciences de l'informatique» en comparaison internationale (indice: 2005=100)



Source: OCDE

3.1.2 Besoin en spécialistes TIC toujours croissant

Outre la disponibilité accrue de Suisses hautement qualifiés, le besoin en spécialistes TIC a été couvert au cours des dernières années principalement par des actifs immigrés. Ces dix dernières années, le taux d'immigration dans ce domaine était supérieur à la moyenne nationale (14,2 % pour une moyenne de 10,5 %). Afin de couvrir le besoin en informaticiens, le recours à la main-d'œuvre étrangère a été légèrement plus fréquent que dans les autres professions. En outre, la part de frontaliers est supérieure à la moyenne dans les professions de l'informatique. Avec un taux de diplômes du degré tertiaire de

57 %, la main-d'œuvre arrivée dans le cadre de la libre circulation des personnes est particulièrement bien qualifiée, et cela vaut également pour les spécialistes TIC²⁵.

Selon le système d'indicateurs pour évaluer la demande en personnel qualifié du SECO²⁶, les professions de l'informatique présentent dans l'ensemble un besoin important de main-d'œuvre qualifiée. L'indice global du besoin de main-d'œuvre se situe dans le tiers supérieur en comparaison horizontale avec les autres professions. La plupart des professions de l'informatique présentent des signes clairs d'un besoin de main-d'œuvre insatisfait. Le fait que, malgré l'immigration et la hausse du nombre de professionnels disponibles formés dans le pays, l'emploi dans les professions de l'informatique ait connu une progression légèrement plus faible que dans les autres professions (+11 % contre +14 %) semble également étayer ce constat. Exception faite des opérateurs en informatique, toutes les professions de l'informatique présentent des signes de pénurie de main-d'œuvre qualifiée. Avec un total de 2,6 %, le taux de chômage dans les professions de l'informatique est inférieur à la moyenne nationale (3,2 %). Le chômage est inférieur à la moyenne dans toutes les professions de l'informatique; il atteint son point le plus bas (1,3 %) chez les opérateurs en informatique les moins qualifiés. Le taux de postes vacants de 6,8 % est nettement supérieur à la moyenne nationale (2,1 %). Toutefois, les différentes professions de l'informatique diffèrent fortement les unes des autres: le taux de postes vacants varie entre 0,2 % chez les opérateurs en informatique et 24,5 % chez les programmeurs.

Selon une enquête du KOF auprès des entreprises²⁷, la disponibilité de la main-d'œuvre est le plus gros défi qui se pose aux entreprises par rapport au recours aux TIC; environ 30 % des entreprises interrogées désignent ce point comme un obstacle.

Le potentiel de mobilisation supplémentaire de main-d'œuvre est limité. Les personnes disposant d'une profession d'informaticien sont souvent déjà plus actifs que la moyenne nationale. Le volume de travail est nettement supérieur à la moyenne suisse, surtout chez les femmes, car les femmes diplômées en informatique travaillent nettement moins souvent à temps partiel que celles qui sont titulaires d'autres diplômes.

L'accélération soutenue de la transformation numérique, les investissements toujours élevés des entreprises dans les TIC (surtout en logiciels), mais aussi le changement structurel en cours, la croissance économique attendue et des raisons démographiques (départs à la retraite, émigration de la main-d'œuvre née à l'étranger, besoin de main-d'œuvre à l'étranger, notamment dans l'espace de l'UE) sont autant de facteurs indiquant que la pénurie de main-d'œuvre actuelle s'accroîtra au cours des dix prochaines années. L'ampleur de cette pénurie future fait toutefois l'objet de débats²⁸. À priori, on peut s'attendre à ce que le système de formation réagisse à l'évolution de la demande. Il faudra néanmoins continuer à observer l'évolution. En réponse au postulat «Automatisation. Risques et opportunités» du CN Reynard (15.3854), le Conseil fédéral rendra en outre, en novembre 2017, un rapport complet sur des questions de fond sur le marché du travail en analysant notamment les thématiques suivantes: effets par secteurs d'emploi, conséquences pour les assurances sociales, défis pour la protection de la santé, développement du partenariat social.

²⁵ SECO (2016) : « 12^e rapport de l'Observatoire sur la libre circulation des personnes entre la Suisse et l'UE. Répercussions de la libre circulation des personnes sur le marché du travail suisse ».

²⁶ SECO (2016) : « Pénurie de main-d'œuvre qualifiée en Suisse. Système d'indicateurs pour évaluer la demande en personnel qualifié ».

²⁷ Cf. Conseil fédéral (2017) : « Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique ».

²⁸ Cf. par exemple Econolab (2014) : « *ICT-Fachkräftesituation. Bedarfsprognose 2022. Schlussbericht* » ; ICT Formation professionnelle Suisse : « Monitoring relatif à la cyberéconomie en Suisse sur mandat du SECO » ; Commission européenne (2016) : « *A New Skills Agenda for Europe – Working together to strengthen human capital, employability and competitiveness* ».

3.1.3 Importance croissante de l'encouragement MINT à tous les degrés de formation

Dans le contexte du besoin élevé et croissant de main-d'œuvre et du caractère restreint du potentiel de mobilisation de cette dernière, les efforts concernant l'encouragement MINT dans le système éducatif ne doivent pas faiblir. Le message FRI 2017 à 2020 prévoit par conséquent la poursuite des mesures visant à renforcer les compétences MINT à tous les degrés. Dans les objectifs communs 2015²⁹ de la Confédération et des cantons figure la volonté d'améliorer le choix des études et de la profession, en particulier dans le domaine des MINT. Environ 140 millions de francs y sont consacrés. Ces mesures tiennent compte des compétences constitutionnelles dans l'espace suisse de formation et sont, si nécessaire, mises en œuvre en étroite collaboration avec les services cantonaux. Comme expliqué au ch. 3.1, elles sont efficaces: entre 2020 et 2015, les entrées dans les disciplines MINT ont accusé une progression de 14 %, soit supérieure à la moyenne³⁰.

L'encouragement précoce de l'intérêt des enfants pour le domaine MINT a des effets particulièrement durables. De nombreux indices permettent de penser que le choix de l'option spécifique au gymnase influence plus tard le choix des études³¹. La Confédération encourage donc les initiatives MINT précoces dans le contexte extrascolaire. Ces mesures efficaces doivent être renforcées. Parallèlement, une orientation professionnelle qui vient soutenir les branches et les professions MINT joue un rôle clé. Il est probable que le potentiel des élèves intéressés pourra ainsi être exploité davantage dans l'enseignement obligatoire et dans les gymnases.

3.2 Changement structurel accéléré: nécessité d'adaptation rapide à de nouvelles exigences en termes de compétences et de profils de qualification

3.2.1 Connaissances TIC et compétences transversales indispensables

Les périodes de profonds bouleversements technologiques se sont toujours accompagnées de la crainte que la machine remplace le travail humain. Ces préoccupations restent d'actualité. L'histoire économique montre toutefois que, sur le long terme, les transformations technologiques ont généralement abouti à une croissance de l'emploi dans l'économie en général, les postes de travail ayant été transférés vers d'autres domaines. Le progrès technologique a donc toujours contribué à l'apparition de nouveaux produits, de nouvelles branches et de nouvelles professions. À l'heure actuelle, ce phénomène peut être observé notamment dans le domaine TIC. En 2013, dans l'OCDE, 22 % des nouvelles places de travail ont en effet été créés dans ce domaine.

Nul ne sait, aujourd'hui, comment les technologies numériques influenceront le marché du travail à long terme³². Les trois développements suivants semblent toutefois avérés:

1. la numérisation n'implique pas seulement la réorganisation de certaines entreprises, mais la réorganisation de chaînes de valeur entières;
2. tandis que les précédentes révolutions industrielles consistaient principalement à remplacer la main-d'œuvre manuelle, des systèmes informatiques sont aujourd'hui capables de prendre en charge des tâches de plus en plus complexes et même des activités cognitives;
3. selon diverses études, le potentiel croissant d'automatisation – surtout pour les activités répétitives – met surtout sous pression les activités peu qualifiées;

²⁹ http://www.edudoc.ch/static/web/aktuell/medienmitt/erklaerung_18052015_f.pdf

³⁰ OFS (2017) : « Etudiants et diplômés des hautes écoles dans les filières MINT ».

³¹ CSRE (2014) : « L'éducation en Suisse, rapport 2014 ».

³² Pour une discussion approfondie voir Conseil fédéral (2017): « *Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique* ».

4. la numérisation modifie les profils d'activité exigés sur le marché du travail et, partant, les qualifications demandées aux travailleurs. On observe un besoin accru non seulement de compétences d'utilisation des TIC dans pratiquement tous les domaines, mais aussi de spécialistes TIC qualifiés. De ce fait, les actions de formation destinées à la requalification des travailleurs (*upskilling*) gagneront en importance³³.

Afin d'empêcher une inadéquation durable entre les qualifications demandées et celles offertes, il est crucial de proposer les bons profils de compétences sur le marché du travail. Le progrès technologique ne peut se répercuter favorablement sur l'emploi que si l'offre de travail est suffisamment capable de s'adapter aux besoins du marché. Plus l'adaptation des compétences des travailleurs à la demande est rapide, mieux le changement structurel est maîtrisable.

À cause la numérisation, les aptitudes et les qualifications demandées (*skills*) pourraient toutefois varier dans une large mesure. D'après les analyses de l'OCDE³⁴, l'utilisation accrue de technologies numériques au travail augmente la demande d'aptitudes nouvelles à trois niveaux:

- **Connaissances spécialisées en TIC:** la production de biens et services TIC (par ex. logiciels, sites internet, commerce électronique, applications *cloud* et *big data*) nécessite des connaissances spécialisées permettant de développer des programmes et des applications et d'administrer des réseaux. Ces aptitudes sont jugées centrales pour répondre à la demande croissante de spécialistes TIC attendue dans presque tous les domaines pour les années à venir³⁵.
- **Connaissances TIC génériques:** dans tous les champs professionnels, les travailleurs doivent acquérir de plus en plus de connaissances TIC génériques, afin de pouvoir utiliser ce type de technologies dans leur travail quotidien (par ex. utilisation de logiciels).
- **Compétences transversales:** l'utilisation de TIC induit un changement au niveau du déroulement du travail dans certains domaines. Par exemple, le fait que les informations soient disponibles en quantité et à une fréquence toujours plus élevées exige un traitement tout à fait différent de ces données. L'OCDE compte dans ces compétences TIC complémentaires également l'aptitude à traiter des informations complexes, à communiquer de diverses façons, à résoudre des problèmes, à planifier à l'avance et à réagir rapidement. Les compétences transversales jouent un rôle particulièrement important, car la perspective actuelle ne permet pas d'évaluer dans quelle mesure la numérisation imprégnera les activités existantes et quelles aptitudes informatiques seront demandées à l'avenir.

Une enquête³⁶ de l'OCDE montre qu'une meilleure maîtrise des compétences en résolution de problèmes à l'aide d'appareils numériques (TIC) est récompensée par une plus forte probabilité d'être actif, et l'utilisation plus fréquente des TIC dans le cadre professionnel, par une rémunération plus élevée que celle observée parmi les adultes moins compétents dans le domaine des TIC ou utilisant moins fréquemment les TIC. Les adultes sans expérience dans les TIC se trouvent considérablement pénalisés en termes de perspectives professionnelles et de rémunération. Ceci confirme que les compétences numériques représentent une compétence essentielle dans l'économie moderne³⁷. La même enquête

³³ Arntz/Gregory/Zierahn (2016): «The risk of automation for jobs in OECD Countries: A comparative analysis», OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. Conseil fédéral (2017): «Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique».

³⁴ OCDE (2017): «Key Issues For Digital Transformation in the G-20».

³⁵ Selon le réseau social à vocation professionnelle LinkedIn, les compétences les plus demandées actuellement concernent presque toutes le secteur des TIC. Au nombre des compétences particulièrement recherchées figurent par exemple l'analyse statistique, l'ingénierie de données et la modélisation de logiciels. Cf. Conseil fédéral (2017): «Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique».

³⁶ «Evaluation des compétences des adultes», lancée dans le cadre du Programme de l'OCDE pour l'évaluation internationale des compétences des adultes (PIAAC), qui évalue les compétences clés des adultes (16-65 ans) en traitement de l'information dans trois grands domaines, à savoir en littératie, en numératie et en résolution de problèmes dans des environnements à forte composante technologique.

³⁷ OCDE (2015): «Les compétences numériques: un investissement vraiment rentable?».

montre aussi qu'un niveau plus élevé de compétences en TIC (qui peuvent s'acquérir aussi en dehors du système éducatif) associé à un niveau inférieur d'éducation formellement reconnue entraînent souvent des bénéfices plus importants par comparaison avec un niveau plus élevé d'éducation formellement reconnue associé toutefois à un niveau inférieur de compétences en TIC. En d'autres termes, sur le marché du travail, les compétences en TIC compensent souvent totalement un niveau inférieur d'éducation formellement reconnue³⁸.

Pour la Suisse, les preuves de changements au niveau des compétences demandées sont encore relativement peu nombreuses. De nouvelles enquêtes indiquent que c'est surtout l'interaction de compétences techniques, mathématiques et TIC avec d'autres compétences, plutôt transversales, qui est importante. Outre les compétences TIC qu'il est nécessaire de développer, les compétences de base comme la compréhension, l'expression, la pensée critique et l'apprentissage actif constituent le fondement indispensable de l'acquisition de compétences complémentaires. L'analyse critique (*digital literacy*) et l'utilisation de la technologie numérique, ainsi que des compétences en analyse de données et en traitement de l'information dans un domaine interdisciplinaire et administratif font également partie des aptitudes et des qualifications qui gagneront sans doute en importance et qui seront notamment transmises dans les hautes écoles. En outre, la créativité au niveau des décisions et de la résolution de problèmes, ainsi que l'intelligence sociale gagneront davantage en importance. Les emplois exigeant des compétences mathématiques élevées combinées à des compétences sociales marquées ont nettement progressé en Suisse et continueront sans doute sur cette lancée. La situation est différente en ce qui concerne les emplois qui exigent certes des compétences mathématiques, mais pas de compétences sociales élevées: ces emplois stagnent et ne devraient connaître qu'une croissance légère.

Il semble incontestable que l'utilisation des technologies numériques sur le lieu de travail sera renforcée et complètera d'autres compétences. Par conséquent, la maîtrise de ces technologies sera de plus en plus demandée sur le marché du travail. Une des clés pour parvenir à maîtriser les défis qui se poseront sur ce marché réside donc dans la formation et la formation continue, ainsi que dans l'adaptation des contenus correspondants aux compétences qui seront exigées.

3.2.2 Les niveaux de l'éducation doivent tous apporter leur contribution

La transmission des compétences numériques à tous les niveaux de l'éducation joue un rôle crucial. Le défi consiste à faire acquérir des compétences TIC et des compétences transversales aux enfants, aux jeunes et aux adultes, afin qu'ils puissent participer pleinement à la vie économique, sociale, politique et culturelle. Cette évolution s'est déjà imposée à tous les niveaux de l'éducation et dans toutes les filières du système de formation formelle et elle continuera à se renforcer. Les répercussions et les défis liés aux nouvelles exigences en termes de compétences sont présentés ci-dessous selon degré de formation.

École obligatoire

Selon l'art. 62, al. 1, de la Constitution fédérale (Cst.)³⁹ l'instruction publique est du ressort des cantons. Il existe trois plans d'études de la scolarité obligatoire⁴⁰, un par région linguistique. En Suisse alémanique⁴¹ et au Tessin⁴², les plans d'études incluent des cours d'informatique qui visent à transmettre aux élèves des connaissances techniques et les concepts principaux liés au traitement automatisé des informations. Dans le Plan d'études romand (PER)⁴³, l'apprentissage des outils informatiques et de la culture TIC se fait dans le cadre de la formation générale aux MITIC⁴⁴. Les compétences transversales,

³⁸ Lane/Conlon (2016): «The impact of literacy, numeracy and computer skills on earnings and employment outcomes».

³⁹ RS 101

⁴⁰ <http://www.ides.ch/dyn/18178.php>

⁴¹ <http://v-ef.lehrplan.ch/index.php?code=b|10|0&la=yes>

⁴² <http://www.pianodistudio.ch/Contesti-di-formazione-generale-Tecnologie-e-media>

⁴³ <http://www.plandetudes.ch/web/guest/mitic>

⁴⁴ Médias, Images, Technologies de l'Information et de la Communication

telles que collaboration, communication, stratégie d'apprentissage, pensée créatrice ou démarche réflexive, figurent dans les trois plans d'études régionaux.

Gymnases

Sur la base de l'ordonnance sur la reconnaissance des certificats de maturité gymnasiale (ORM)⁴⁵ la Confédération et les cantons assurent conjointement la reconnaissance au niveau national des certificats de maturité gymnasiale cantonaux ou reconnus par les cantons. Le gymnase joue un rôle essentiel dans la préparation aux études. Les connaissances TIC sont de plus en plus indispensables dans presque toutes les branches d'études. Le gymnase doit tenir compte de cette évolution afin de garantir l'aptitude aux études dans une haute école. Aujourd'hui, l'informatique est enseignée dans les gymnases en tant que discipline sous la forme d'une option complémentaire que peuvent choisir les élèves intéressés. La promulgation des plans d'études cadres pour les écoles de maturité⁴⁶ relève de la compétence de la CDIP. En estimant que certains aspects de l'informatique sont importants pour tous les élèves, la CDIP, en accord avec le chef du Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche (DEFR), a procédé du 1^{er} février au 5 mai 2017, à une audition publique⁴⁷ sur l'introduction de l'informatique à titre obligatoire. L'idée du projet est de transmettre à tous les élèves une vaste formation de base en informatique⁴⁸.

Formation professionnelle

La formation professionnelle visée à l'art. 63 Cst. est la tâche commune de la Confédération, des cantons et des organisations du monde du travail. La Confédération, les cantons et les organisations du monde du travail collaborent pour atteindre les buts de la loi sur la formation professionnelle (LFPr)⁴⁹ (art. 1 LFPr).

La formation professionnelle a toujours été soumise à des changements. Aujourd'hui déjà, les profils professionnels sont examinés en permanence et adaptés aux développements économiques, technologiques et écologiques. La force du système réside dans le fait que les compétences nécessaires dans une profession sont définies par des représentants de l'économie, à savoir les organisations du monde du travail (Ortra), qui les développent ensuite en continu. Son orientation conséquente vers le marché du travail fait de la formation professionnelle un des piliers centraux de l'offre de main-d'œuvre dans l'économie en général. Les jeunes profitent d'offres de formation attrayantes et tournées vers l'avenir. L'économie, elle, se voit garantir un rapport coût/bénéfice adéquat. Jusqu'à présent, la formation professionnelle a contribué dans une large mesure à la gestion réussie de la transformation numérique.

Les profils professionnels sont développés en permanence dans chaque branche. Ce développement concerne tant la formation professionnelle initiale que la formation professionnelle supérieure. Des filières obsolètes, qui ne sont plus demandées, sont régulièrement remplacées par des professions actuelles et axées sur le marché du travail. L'économie demande toujours une relève professionnelle à la hauteur des exigences d'aujourd'hui. Les profils professionnels ont donc beaucoup évolué au cours des dernières années, surtout en raison des développements technologiques et de la numérisation. Dans de nombreuses professions, les cycles de révision sont de plus en plus courts, afin de toujours garder les profils professionnels à jour. Un grand nombre de professions concernées par la numérisation et l'automatisation ont été regroupées avec des professions apparentées ou remplacées par de nouvelles professions. En font partie par exemple les professions de l'industrie mécanique et graphique. C'est ainsi que la profession moderne de polymécanicien CFC, qui compte environ 1650 nouveaux contrats

⁴⁵ Ordonnance sur la reconnaissance des certificats de maturité gymnasiale (ORM), RS 413.11, également RRM.

⁴⁶ <http://www.edk.ch/dyn/26142.php>

⁴⁷ <http://www.cdip.ch/dyn/30422.php>

⁴⁸ La CDIP devrait se prononcer en octobre 2017 sur la promulgation du plan d'études cadre pour l'informatique. Pour pouvoir rendre l'enseignement de l'informatique obligatoire dans toute la Suisse, il faudra encore que la Confédération et les cantons procèdent à la révision des bases légales respectives, à savoir le Règlement de reconnaissance de la maturité (RRM) de la CDIP et l'ordonnance fédérale sur la reconnaissance de la maturité/règlement sur la reconnaissance des certificats de maturité gymnasiale (ORM/RRM). Le calendrier de cette étape reste à définir.

⁴⁹ RS 412.10

d'apprentissage chaque année, est née de la fusion de sept formations professionnelles initiales indépendantes, à savoir conducteur de machines-outils, opérateur sur machines de câblerie, mécanicien de machines, ajusteur-monteur, mécanicien, ouilleur et mécanicien-décolleteur. La nouvelle profession d'Interactive Media Designer CFC, créée suite à la numérisation intervenue dans la branche graphique, constitue un autre exemple de transformation. La transformation permanente touche également les professions du domaine commercial et du commerce de détail, ainsi que la santé. Les dénominations des professions évoluent elles aussi en fonction du changement des profils professionnels. Par exemple, l'ancienne profession de mécanicien d'automobiles a laissé la place à la profession actuelle de mécatronicien d'automobiles CFC suite à la généralisation progressive de l'électronique. La formation professionnelle initiale peut ensuite être poursuivie soit dans le domaine de la formation professionnelle supérieure en vue de l'obtention du brevet fédéral de diagnosticien d'automobiles, soit dans une école supérieure.

Le rythme déjà soutenu des changements sur le marché du travail persistera ou augmentera encore en raison de la numérisation. De nouveaux champs professionnels, places d'apprentissage et de travail attrayants verront le jour dans des branches économiques en pleine croissance. Certaines professions disparaîtront. Parallèlement, l'adaptation des qualifications demandées aux nouvelles technologies sera toujours plus rapide dans les professions existantes. D'un autre côté, l'adaptation des contenus de formation aux exigences, qui a jusqu'à présent toujours été rapide et conforme aux besoins du marché du travail, doit pouvoir continuer à être mise en œuvre dans des délais courts et de manière précise⁵⁰.

Enfin, le plan d'études cadre pour l'enseignement de la culture générale dans la formation professionnelle initiale⁵¹, qui est adopté par le Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) et donc valable au niveau national, prévoit l'enseignement obligatoire de l'aspect «technologie», notamment l'analyse de l'influence des technologies, l'évaluation des chances et des risques ainsi que l'utilisation judicieuse des TIC. Les cantons et les écoles édictent ensuite leurs propres plans d'études en se basant sur le plan d'études cadre. Etant donné l'organisation décentralisée, des différences selon les filières et les régions subsistent.

Hautes écoles

En vertu de l'art. 63a, al. 3, Cst. et de l'art. 1 de la loi sur l'encouragement et la coordination des hautes écoles (LEHE)⁵², la Confédération veille avec les cantons à la coordination, à la qualité et à la compétitivité du domaine suisse des hautes écoles.

Avec les Écoles polytechniques fédérales (EPF), les universités cantonales, les hautes écoles spécialisées (HES) et les hautes écoles pédagogiques (HEP), la Suisse dispose d'un excellent système de formation supérieure en comparaison internationale. Une des principales missions des hautes écoles consiste à former des spécialistes pour l'économie et la société en tenant compte de l'évolution des exigences en termes de qualification. Les hautes écoles fournissent une contribution essentielle au développement et à la transmission de savoirs scientifiques. Elles jouent également un rôle décisif dans la création, la diffusion et l'utilisation de savoirs et font partie des éléments fondamentaux de la capacité d'innovation, et donc de l'attractivité et de la compétitivité de la Suisse.

Les hautes écoles développent en permanence et de manière autonome les contenus de leurs offres de formation et de formation continue, tout en tenant compte des développements sociaux, économiques et scientifiques. Ce faisant, elles entretiennent le dialogue avec l'économie et la société et ne cessent d'analyser le besoin et la pertinence pratique de nouvelles offres. Etant donné le besoin accru de diplômes du degré tertiaire dans le domaine des TIC, les hautes écoles jouent un rôle particulièrement important au niveau de la formation. Outre l'aspect quantitatif, la transmission des qualifications demandées par la science, l'économie et la société est déterminante. L'importance des compétences

⁵⁰ Cf. Ecoplan (2017) : « Formation professionnelle 2030 – Vision et lignes directrices de la stratégie. Résultats des Journées des partenaires de la formation professionnelle des 16 et 17 mars 2017 ».

⁵¹ <https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/fr/home/themes/formation-professionnelle/formation-professionnelle-initiale/allgemeinbildung-in-der-beruflichen-grundbildung.html>

⁵² RS 414.20

numériques (*digital skills*) continuera probablement à s'accroître dans le cadre des offres de formation et de formation continue des hautes écoles, et ce non seulement dans les orientations TIC, mais également dans l'ensemble des domaines d'études. Il en va de même pour l'analyse critique (*digital literacy*), l'utilisation de la technologie numérique, ainsi que l'encouragement renforcé de nouvelles compétences en analyse de données et en traitement de l'information dans le domaine interdisciplinaire. La numérisation a également fait son entrée au niveau des formes et du développement de l'enseignement et de l'apprentissage dans les hautes écoles suisses et conduit à des changements durables. Il convient de souligner le rôle important des hautes écoles dans la conception et le développement actifs d'idées d'enseignement didactiques et techniques et de possibilités qui en découlent. Les nouvelles possibilités technologiques modifient dans une large mesure l'enseignement et l'apprentissage (*educational technology*). L'adaptation de l'enseignement est une compétence incombant aux hautes écoles mêmes, qui ont déjà pris de nombreuses mesures.

Formation continue

En vertu de l'art. 64a, al. 1, Cst., la Confédération fixe les principes applicables à la formation continue. Elle peut encourager la formation continue (al. 2). La loi sur la formation continue (LFCo)⁵³ définit les domaines et les critères.

La formation continue joue un rôle important pour les individus, la société et l'économie. Les transformations sociétales et économiques toujours plus rapides requièrent une adaptation et une extension constantes des qualifications et du savoir. On entend par formation continue une formation dispensée en dehors de la formation formelle, notamment dans des cours organisés, avec des programmes d'enseignement et une relation enseignant-apprenant définie⁵⁴. Le but de la formation continue est l'amélioration et le renouvellement des connaissances et des compétences ainsi que leur élargissement vers de nouveaux domaines et vers la réalisation de nouvelles tâches.

Le paysage suisse de la formation continue se caractérise par une grande diversité en matière de responsabilité, réglementation, offres et financement. La formation continue est essentiellement organisée selon les principes de l'économie de marché. Ce sont souvent des prestataires privés qui en assument la gestion et proposent les offres de formation. La formation continue est placée en tout premier lieu sous la responsabilité individuelle et est financée en grande partie par les participants aux cours de formation eux-mêmes. La Confédération et les cantons agissent dans le domaine de la formation continue de façon subsidiaire. Ils interviennent dans les domaines dans lesquels les objectifs et effets de la formation continue ne pourraient être atteints sans mesures de soutien spéciales.

Pour ce qui concerne la participation à des cours de formation continue, les statistiques indiquent que la majorité de la population suisse prend part à la formation continue. La participation dépend entre autres de la motivation, du temps à disposition, des ressources financières ou de l'offre de cours. Les personnes actives professionnellement et occupées à plein temps ainsi que les personnes ayant un taux d'activité de plus de 50 % prennent plus souvent part à des cours de formation continue que les personnes ayant un taux d'activité inférieur à 50 %. Les personnes disposant d'un revenu de leur travail se forment plus souvent que les personnes qui n'ont pas de tel revenu.

Ci-dessous figurent quelques résultats intéressants⁵⁵ des statistiques relatives à la participation de la population suisse à des cours de formation continue dans le domaine informatique (les derniers chiffres disponibles se réfèrent à l'année 2011⁵⁶) :

- la part des cours d'informatique dans l'ensemble des thèmes de cours de formation continue fréquentés par la population de 25 à 64 ans en 2011 s'élevait à 10,6 %. L'informatique était à

⁵³ RS 419.1

⁵⁴ <https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/fr/home/themes/formation-continue.html>

⁵⁵ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/culture-medias-societe-information-sport/societe-information/indicateurs-generaux/formation-bibliotheques/formation-continue.html>

⁵⁶ Les résultats de l'enquête de 2016 ne sont pas encore disponibles.

la troisième place en regard du nombre total de cours suivis, derrière les cours de santé et médecine (13,0 %) et de développement personnel (10,8 %);

- les femmes étaient moins nombreuses à fréquenter des cours d'informatique (13,0 % de la population de 25 à 64 ans contre 13,8 % pour les hommes);
- plus le niveau de formation de la population est élevé, plus la part de personnes fréquentant des cours d'informatique de formation non formelle est importante. En 2011, seulement 4,3 % de la population sans formation postobligatoire a utilisé l'offre de cours de formation continue en informatique. Chez les personnes ayant obtenu un titre du degré secondaire II (formation professionnelle initiale ou formation scolaire de culture générale), cette proportion est de 13,5 %. Le taux de participation des personnes ayant achevé une formation de niveau tertiaire (formation professionnelle supérieure ou haute école) s'élève à 18,2 %. À l'intérieur de cette catégorie, le taux est plus haut pour les personnes bénéficiant d'une formation professionnelle supérieure que pour les universitaires (18,4 % contre 18,0 %);
- la part de personnes qui suivent des cours d'informatique est la plus importante dans le groupe d'âge des 45-54 ans (14,3 %), suivie par les groupes d'âge des 35-44 et 55-64 (les deux avec 13,5 %) et enfin le groupe d'âge des 25-34 (12,1 %).

Ces résultats montrent qu'il y a un intérêt de la part des résidents suisses de suivre des cours de formation continue en informatique afin d'améliorer leurs compétences. Ceci est valable surtout pour les adultes de plus de 35 ans, qui ne sont pas «digital natives», et pour les personnes plus qualifiées.

En ce qui concerne la formation continue pour des motifs professionnels, les cours dans le domaine de l'informatique arrivent en tête⁵⁷ et le thème de l'informatique remporte également la première place dans le domaine informel⁵⁸. Dans ce contexte, il est intéressant de remarquer que la part des cours d'informatique par rapport à l'ensemble des cours de formation continue suivis à la fin des années 90 – autrement dit à l'époque de la diffusion massive de l'utilisation d'ordinateurs dans le processus de travail – était environ deux fois plus élevé qu'en 2011. Cela indique la grande souplesse du marché de la formation continue, qui parvient à réagir rapidement aux fluctuations de la demande de cours dans des domaines précis.

La numérisation aura surtout un impact sur les activités demandant un niveau de qualification relativement bas, par exemple au travers de l'automatisation dans le domaine de la fabrication. Or les travailleurs concernés sont justement ceux qui font preuve d'une intensité comparativement faible en termes d'activités de formation continue. Les défis de l'État dans le domaine de la formation continue sont donc axés en particulier sur les travailleurs faiblement qualifiés.

3.3 Enseignement et apprentissage dans les écoles

Les médias numériques font désormais partie intégrante de notre quotidien. Pendant leur temps libre, les enfants et les jeunes jouent à des jeux vidéo, s'informent, nouent des contacts sur Internet et utilisent leur mobile pour communiquer avec leurs amis et leur famille. Les médias numériques sont partout et offrent aux jeunes de multiples opportunités de développement et d'apprentissage. En participant activement à notre société médiatique, les enfants et adolescents apprennent non seulement à lire, à écrire et à calculer, mais acquièrent également des techniques aujourd'hui indispensables pour gérer de nombreuses situations de la vie quotidienne et professionnelle. Mais ces médias présentent aussi certains risques, comme la cyberaddiction, l'utilisation abusive des données ou les agressions sexuelles. Pour que les enfants et les jeunes apprennent à utiliser les médias numériques en toute sécurité, il faut qu'ils prennent conscience de ces risques. L'éducation à l'autonomie numérique et la sensibilisation à la sécurité de l'information sont donc essentielles.

⁵⁷ OFS (2013) : « Microrecensement formation de base et formation continue », p. 49.

⁵⁸ OFS (2013) : « Microrecensement formation de base et formation continue », p. 58.

3.3.1 Infrastructure numérique de bonne qualité dans les écoles

À notre connaissance, il n'existe pas d'études récentes et complètes sur l'infrastructure numérique et l'utilisation des TIC dans les écoles suisses⁵⁹. Afin d'évaluer la situation en Suisse, les données statistiques relatives à l'enquête PISA⁶⁰ et à l'étude ICILS 2013⁶¹ offrent d'importantes précisions.

Les résultats de l'enquête PISA 2015 montrent que le niveau de l'infrastructure numérique en Suisse est bon. Comme le montre le tableau 2, 76 % des jeunes disposent et utilisent une connexion internet sur un ordinateur à l'école et 51 % disposent et utilisent un ordinateur avec une connexion sans fil. Les ordinateurs fixes et portables sont utilisés par une plus grande part des jeunes (respectivement 61 % et 41 %) que les autres outils numériques tels que les tablettes (15 %), les eBooks (7 %) ou encore le tableau blanc interactif (30 %). À noter encore que le nombre d'ordinateurs par élève est passé de 0,56 en 2009 à 0,72 en 2015. Concernant la disponibilité des TIC à l'école, en regard des pays limitrophes, la Suisse est au milieu, derrière la France, mais devant l'Italie et l'Autriche. En ce qui concerne l'OCDE, la Suisse est significativement en retard⁶².

Tableau 2: Accès des jeunes Suisses de 15 ans aux outils numériques à l'école (2015)

	Ordinateur fixe	Ordinateur portable	Ordinateur connecté à internet	Ordinateur connecté à internet sans fil	Tablette	eBook	Tableau blanc interactif
Oui, et je l'utilise	61 %	41 %	76 %	51 %	15 %	7 %	30 %
Oui, mais je ne l'utilise pas	14 %	12 %	14 %	14 %	8 %	6 %	17 %
Non	25 %	47 %	10 %	35 %	77 %	87 %	53 %

Source: Données PISA 2015⁶³

D'un point de vue international, la Figure 13 montre que la Suisse a tendance à moins utiliser les outils numériques à l'école que ses voisins et les pays de l'ODCE, Allemagne exceptée (USESCH). Les jeunes en Suisse perçoivent cependant leur autonomie comme relativement élevée, toutefois derrière les jeunes d'Allemagne et de France (AUTICT). L'intérêt des jeunes en Suisse est très près de celui de la moyenne de l'OCDE, mais un peu moins marqué que dans les pays limitrophes, exception faite de l'Italie (INTICT). Concernant la perception de leurs compétences, les jeunes en Suisse sont légèrement au-dessus de la moyenne de l'OCDE, seuls les jeunes français les devancent pour ce qui concerne les pays limitrophes (COMPICT).

⁵⁹ Dernière étude exhaustive connue: *TIC et formation en Suisse*, educa.ch, 2007.

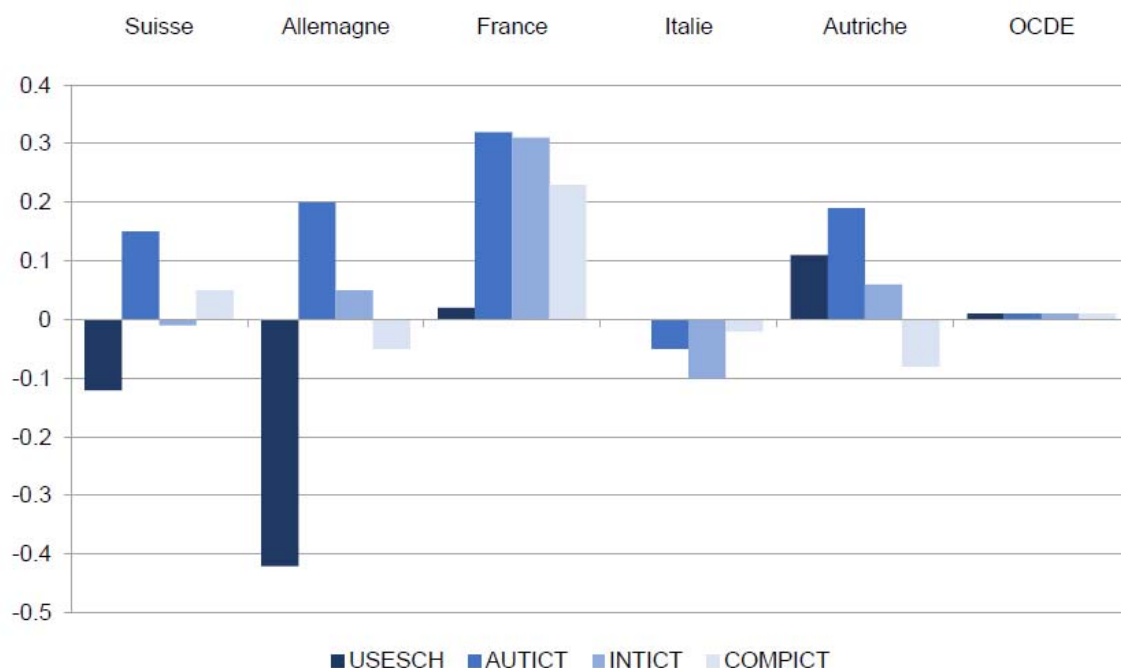
⁶⁰ La Suisse participe depuis 2000 au Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) et à l'option internationale «TIC». L'enquête évalue tous les trois ans le niveau des élèves de 15 ans en lecture, mathématiques et sciences.

⁶¹ ICILS (International Computer and Information Literacy Study). Etude sur la façon dont les jeunes de 2^e année du cycle secondaire I utilisent l'ordinateur pour la recherche, la création et la communication. <http://www.iea.nl/icils>

⁶² Les moyennes pour ces pays, exprimées sur une échelle de 0 à 10 sont les suivantes: Suisse: 5,8; Allemagne: donnée non disponible; France: 5,84; Italie: 5,58; OECD: 6,08 (PISA 2015).

⁶³ <http://www.oecd.org/pisa/data/2015database/>

Figure 13: Les jeunes Suisses dans une perspective internationale (moyenne des indices pour la Suisse, jeunes de 15 ans, PISA 2015)



Source: Données PISA 2015

L'étude ICILS 2013, qui met elle aussi en lumière la position de la Suisse⁶⁴ dans le domaine TIC dans la formation en comparaison internationale, montre également que notre pays dispose d'une infrastructure relativement bonne. Pour notre pays, les valeurs relatives à l'utilisation d'ordinateurs et d'internet à l'école sont toutefois inférieures à la moyenne internationale. La Suisse se situe nettement en dessous de la moyenne quant à l'utilisation correcte d'internet en tant que source d'information. Cette étude mentionne quelques raisons expliquant les lacunes en matière d'utilisation des TIC par les enseignants: peur des problèmes techniques, équipement TIC insuffisant, pas de connexion internet, pas de soutien technique et pas d'accès aux ressources numériques. Enfin, certains enseignants, en particulier les plus âgés, ont une attitude critique face aux TIC.

3.3.2 Développement du matériel pédagogique

Juridiquement, les cantons sont souverains en ce qui concerne le matériel pédagogique.

Il existe actuellement plusieurs plateformes d'enseignement qui répertorient les ressources électroniques d'enseignement et d'apprentissage en Suisse. Une liste actualisée de tous les portails suisses est disponible sur le site d'educa.ch⁶⁵. Au niveau de la production, en principe toute personne peut élaborer n'importe quel contenu numérique et le rendre public sur internet (par ex. Wikipédia). Les ressources électroniques sont produites aussi bien par des maisons d'édition de matériel pédagogique⁶⁶ et des institutions spécialisées, telles que des musées ou des bibliothèques, que par des médias⁶⁷, des associations de métiers ou les enseignants eux-mêmes. L'étude ICILS 2013 montre que les écoles suisses ne manquent pas de ressources. Elles disposent presque toutes de la suite Office, de logiciels de formation et d'exercices, de logiciels graphiques et de dessin et de logiciels de présentation. Mais seule la moitié des écoles suisses propose à ses élèves un service de messagerie. Les plateformes

⁶⁴ Icilis.ch (2014) : « Internationale Computer- und Informationskompetenz-Studie (ICILS 2013) – Schweiz First Findings ».

⁶⁵ <http://www.educa.ch/fr/tic-education/ancrage-tic-systeme-educatif/portails-l-enseignement>

⁶⁶ Par ex. Lehrmittelverlag Zürich, Éditions Loisirs et pédagogie, www.educanet2.ch.

⁶⁷ Par ex. SRF «MYSCHOOL» et les archives de la RTS.

d'enseignement et les logiciels de simulation et de communication sont également peu utilisés en comparaison internationale. Les plans d'études des régions linguistiques, la constante évolution des contenus d'enseignement et, partant, la modification des instruments et des formes de transmission sont autant de défis de taille en termes de structures et de contenus qui se posent dans le domaine du développement du matériel pédagogique.

3.3.3 Compétences numériques et transfert de connaissances par les enseignants et les directions d'écoles

La formation initiale et continue des enseignants est de la responsabilité des hautes écoles pédagogiques ainsi que d'autres écoles chargées de la formation des enseignants, pour ce qui concerne les enseignants de l'école obligatoire et des gymnases. L'Institut fédéral des hautes études en formation professionnelle ainsi que d'autres hautes écoles reconnues par la Confédération sont responsables de la formation des enseignants de la formation professionnelle.

Hautes écoles pédagogiques et autres hautes écoles chargées de la formation des enseignants

La formation initiale des enseignants des écoles obligatoires et des gymnases est la compétence des cantons. Les hautes écoles pédagogiques (HEP) ainsi que d'autres écoles chargées de la formation des enseignants forment les enseignants, offrent des formations continues et mènent aussi des projets de recherche orientés vers la pratique. La formation de base dans le domaine des TIC ne constitue pas une formation spécialisée autonome, mais s'insère dans la formation générale visant à mieux intégrer les TIC dans les différentes disciplines. Les HEP se basent sur les recommandations de la CDIP dans ce domaine⁶⁸.

La formation continue des enseignants fait partie des contrats de prestation des HEP. Depuis plusieurs années des formateurs (formations F3⁶⁹) sont formés dans toute la Suisse. Généralement, il s'agit de formations proposées conjointement par plusieurs institutions de formations cantonales et conçues en collaboration avec les responsables TIC cantonaux. Une vaste coopération intercantonale dans le domaine des formations de formateurs s'est développée. Les certificats cantonaux de formations F3 peuvent être reconnus pour toute la Suisse par la CDIP sur la base du profil du 10 décembre 2004 des formations complémentaires destinées aux formateurs et formatrices dans le domaine de l'intégration des médias, images et technologies de l'information et de la communication (MITIC) dans l'enseignement⁷⁰. Les certificats d'onze programmes ont été reconnus par la CDIP.

Enfin, la Chambre des hautes écoles pédagogiques de *swissuniversities* s'occupe aussi de TIC. Elle possède le groupe de travail Médias et Informatique⁷¹, qui l'aide à réaliser ses objectifs relatifs à la formation et à la formation continue du corps enseignant dans le domaine des TIC.

Écoles professionnelles

L'intégration de la pédagogie des médias dans la formation initiale et continue des enseignants des écoles professionnelles est du ressort de l'Institut fédéral des hautes études en formation professionnelle (IFFP)⁷² et d'autres hautes écoles reconnues par la Confédération⁷³. Les enseignants des écoles professionnelles sont formés selon des plans d'études cadres communs à toute la Suisse et dans lesquels sont établis des standards de compétences en pédagogie des médias. La pédagogie des médias est traitée sous différentes formes dans tous ces modules. En plus des médias traditionnels, différentes

⁶⁸ http://edudoc.ch/record/24706/files/Empf_ICT_LB_f.pdf

⁶⁹ Cette offre de formation s'adresse à des personnes qui à leur tour apprennent aux enseignants à utiliser les TIC de façon didactique et pédagogique.

⁷⁰ http://edudoc.ch/record/38149/files/Profil_ICT_f.pdf

⁷¹ <http://groupepedetravail.ch/Mundi>

⁷² <http://www.iffp.swiss/>

⁷³ <https://www.sbf.admin.ch/sbf/de/home/themen/berufsbildung/berufsbildungsverantwortliche/berufspaedagogische-bildungsgaenge.html>

plateformes internet sont délibérément utilisées, afin que les étudiants acquièrent une large expérience et puissent évaluer et choisir celles qui sont appropriées à leur enseignement. Les questions fondamentales relatives à l'intégration des médias sont discutées en premier lieu dans la didactique générale et la concrétisation pratique a lieu dans les modules de didactique spécialisée. La transmission des compétences numériques aux futurs enseignants doit se faire tant lors de leur formation initiale que lors de la formation continue.

3.3.4 Garantir la sécurité et la protection des données dans l'espace de formation numérique

Dans un espace suisse de formation numérique, il existe également un espace de données où des données personnelles sont non seulement générées, mais également utilisées pour obtenir un accès à des services en ligne. Certains cantons disposent déjà de solutions centralisées ou coordonnées de manière centrale pour assurer le contrôle sur l'origine de ces données. Toutefois, l'hétérogénéité est encore grande aujourd'hui en ce qui concerne la collecte et l'organisation des données personnelles. À de nombreux endroits, celles-ci sont générées sans prise en compte suffisante de normes ou de règles importantes. En outre, il n'existe aucune réglementation claire au sujet du traitement de ces données sensibles. De plus en plus de prestataires privés proposent gratuitement des services en ligne dans le domaine de la formation (par ex. *Google Classroom*, *Microsoft Classroom*, etc.). L'opacité est souvent de mise quant à la réutilisation des données générées par le recours à ce type de produits et au lieu de stockage. En plus, de tels services demandent des données personnelles pour l'identification des utilisateurs finaux. Cette situation pose des problèmes de protection de données aux institutions de formation des différents niveaux. Les questions concernent par exemple la sécurité et la propriété des données des élèves, des apprentis, des étudiants, des enseignants, des chercheurs et des institutions au sein d'un espace de formation numérique. Chacun a le droit de savoir où ses données sont conservées et comment elles sont utilisées. En même temps, la transmission de connaissances sur la sécurité des données constitue un contenu de formation important. Les élèves déjà doivent être conscients des risques liés à la publication d'informations personnelles et les personnes en formation professionnelle doivent naturellement être au courant des concepts de sécurité de leurs entreprises formatrices.

3.4 Mesures à prendre dans le domaine de la formation

L'analyse l'a montré: le système éducatif suisse a fourni et continue à fournir une contribution importante afin de maîtriser avec succès le changement structurel de l'économie. Ce système différencié et de grande qualité, qui propose une formation professionnelle occupant une position importante et axée sur les besoins économiques ainsi que des filières de formation académiques remarquables, offre un éventail de qualifications économiquement pertinent. L'analyse a ainsi révélé que la disponibilité de spécialistes TIC est pour le moment bonne en comparaison internationale. En même temps, il est indéniable que la Suisse est dans une certaine mesure tributaire des spécialistes étrangers.

La numérisation mettra encore plus l'accent sur les défis présentés. Tant pour les individus que pour l'ensemble de l'économie et de la société, une bonne formation est un élément indispensable pour relever ces défis et pour saisir les opportunités qui en découlent. Le système éducatif a déjà réagi à la numérisation à plusieurs niveaux et part donc d'une excellente position. Il est décisif de poursuivre ce processus sans s'arrêter.

3.4.1 Renforcer les connaissances TIC

Au vu des développements décrits, les compétences pertinentes dans le contexte de la numérisation jouent un rôle primordial. L'analyse a montré le caractère absolument indispensable des connaissances TIC et des compétences transversales à l'avenir afin de pouvoir rester sur le marché du travail. Le système éducatif a pour mission de transmettre ces compétences à tous les niveaux et dans toutes les filières, en tenant compte de l'âge et du groupe cible. Comme mentionné, il a déjà fait preuve d'une réaction claire, par exemple en adaptant les plans d'études des régions linguistiques relatifs à la scolarité obligatoire ou en définissant de nouveaux profils dans la formation professionnelle. À l'avenir, toutes

les offres de formation devront être examinées à un rythme soutenu sous l'angle des défis posés par la numérisation.

3.4.2 Améliorer l'enseignement et l'apprentissage

Des conditions permettant de transmettre et d'acquérir ces compétences de manière concrète et efficace sont également nécessaires. L'analyse a montré que les écoles sont bien équipées en infrastructure numérique. Ce potentiel et les bienfaits possibles liés à l'utilisation des outils numériques mériteraient d'être davantage mis à profit. Parallèlement, les risques relatifs à la protection des données et à l'utilisation responsable des nouveaux médias ne reçoivent pas encore toute l'attention qu'ils méritent. Les problèmes mentionnés peuvent être résolus dans le cadre de la formation de base et de la formation continue des enseignants. Le corps enseignant doit être en mesure de transmettre les nouvelles compétences grâce à du matériel pédagogique adéquat et à de nouveaux modèles didactiques. Les directions d'écoles, elles, jouent un rôle central au niveau du soutien des changements. D'autre part, un «espace de confiance» protégé doit être mis en place en matière de sécurité des données.

3.4.3 Permettre une adaptation rapide du système éducatif

L'ensemble du système éducatif doit s'adapter dans la mesure où il est capable de réagir aux développements plus rapidement et de manière plus flexible qu'auparavant. Au niveau systémique, il convient d'éveiller l'intérêt des enfants et des jeunes pour les branches MINT aussi tôt que possible et de favoriser cet intérêt tout au long du cursus scolaire. L'analyse a montré que la formation professionnelle a jusqu'à présent fait preuve d'une grande souplesse face aux défis. Cette souplesse systémique de la formation professionnelle doit être renforcée et les obstacles rencontrés démantelés. Enfin, la formation continue privée joue un rôle central. Les prestataires de formations, les entreprises et les individus assument une grande responsabilité dans l'offre de formations appropriées et dans l'utilisation de ces offres. L'État assume parfois un rôle complémentaire, par exemple dans le domaine de l'encouragement des compétences de base.

3.4.4 Renforcer la coordination au sein de l'espace de formation

Afin de garantir la cohérence du système éducatif à l'avenir également, la coordination et l'harmonisation entre les acteurs impliqués sont toujours plus importantes.

Conformément à la Constitution fédérale, la Confédération et les cantons coordonnent leurs efforts dans l'espace suisse de formation et assurent leur coopération par des organes communs et en prenant d'autres mesures (art. 61a, al. 2, Cst.). La loi sur la coopération dans l'espace suisse de formation (LCESF)⁷⁴ qui se fonde sur cette base constitutionnelle ainsi que la convention entre la Confédération et les cantons sur la coopération dans l'espace suisse de formation (CCoop-ESF) règlent les modalités de cette coopération.

Les défis ne peuvent être maîtrisés que si tous les partenaires de la formation contribuent activement au succès dans les limites de leurs compétences. Les structures créées par la Confédération et les cantons dans le cadre de la coopération en matière de formation doivent être utilisées en manière intensive. Le Comité de coordination Numérisation de l'éducation⁷⁵ coordonne les mesures stratégiques communes liées à la numérisation de l'éducation dans une approche transversale et interdisciplinaire. Pour ce faire, des données et une recherche relatives aux causes et aux effets de la numérisation constituent une base indispensable. La communication des conséquences de la numérisation doit également faire l'objet d'une coordination étroite.

⁷⁴ RS 410.2

⁷⁵ http://edudoc.ch/record/124948/files/mandat-koa-digi_f.pdf

4 Les défis de la numérisation dans la recherche et l'innovation

Recherche et développement sont indispensables à la maîtrise des technologies-clés de base. Cela vaut en particulier pour les technologies de la numérisation, qui prennent leur essor à une vitesse encore inédite et se traduisent par des changements dans de nombreux domaines. La numérisation élargira des champs technologiques existants et donnera naissance à des technologies nouvelles, mais tissera probablement aussi des liens tout nouveaux entre eux. On ne distingue pas encore aujourd'hui ceux de ces technologies et de ces liens qui gagneront en importance dans le futur, ni à quel rythme cela se passera ; c'est pourquoi les compétences de recherche, surtout en ce qui concerne le transfert vers l'économie, doivent être garanties sur tout l'éventail de ces technologies.

Les hautes écoles elles-mêmes auront des défis à relever : avec l'essor du numérique, le spectre complet des sciences de l'informatique acquiert le statut de sciences de base dans tous les domaines de recherche. De nombreux experts suisses et étrangers estiment que ces transformations devront impérativement se nourrir de recherches fondamentales parfois nouvelles, parfois transformées. Les changements suscités par la numérisation dans la société, l'économie et la formation feront surgir de nouveaux défis, dont la maîtrise exigera une intensification de la recherche (fondamentale) interdisciplinaire.

4.1 Forces et faiblesses du profil de la Suisse dans les TIC

La recherche scientifique améliore les connaissances existantes ou génère de nouveaux savoirs, instruments ou méthodes. Cette production de connaissances se reflète dans les articles publiés dans des revues scientifiques, que les chercheurs considèrent comme le premier canal de diffusion des résultats de leurs travaux. L'analyse statistique des publications scientifiques permet d'observer les tendances et le développement de la recherche dans le temps, puis de calculer des indicateurs pour classer et apprécier les pays, les institutions ou les domaines de recherche⁷⁶.

Une comparaison internationale du développement de la recherche (mesuré sur la base de la production de publications scientifiques) a été réalisée pour les besoins du présent rapport dans les domaines suivants⁷⁷ :

- intelligence artificielle, robotique, automatique et régulation ;
- sciences informatiques et génie informatique ;
- technologies de l'information et systèmes de communication.

La catégorie « sciences informatiques et génie informatique » couvrirait plutôt les sciences de l'informatique à proprement parler, tandis que les catégories « intelligence artificielle, robotique et automatique » et « technologies de l'information et systèmes de communication » tiendraient une très large place dans les nouvelles technologies transversales de base décrites au chapitre 2⁷⁸. L'analyse se concentrera

⁷⁶ Voir SEFRI (2016) : « Analyse bibliométrique de la recherche scientifique en Suisse 1981-2013 ».

⁷⁷ La section 3.1 de l'annexe 2 contient un complément d'information sur le sous-domaine de la catégorie matériel informatique « sciences du génie électrique et électronique », qui englobe par exemple les recherches sur les semi-conducteurs.

⁷⁸ La catégorie « intelligence artificielle, robotique et automatique/régulation » englobe la recherche et les techniques de l'intelligence artificielle c'est-à-dire la création de machines capables de répliquer des traits de l'intelligence humaine (présentation efficace du savoir, argumentation, déduction, résolution des problèmes, heuristique et analyse d'informations contradictoires ou ambiguës, par exemple) ; parmi les technologies d'intelligence artificielle figurent les systèmes experts, les systèmes flous, le traitement des langues naturelles, la reconnaissance vocale et la reconnaissance des formes, la vision artificielle, les systèmes d'aide à la décision, les bases de connaissances et les réseaux neuroniques. La robotique porte sur la conception, la fabrication et l'exploitation de robots. L'automatique et la régulation recouvrent la conception et le développement de processus et de systèmes de régulation capables de se substituer à l'intervention humaine ; on y trouve la régulation adaptative, la régulation robuste, la régulation des systèmes à événements discrets, la régulation dynamique, la régulation à logique floue et le pilotage optimal. Les technologies de l'information et systèmes de communication englobent les ressources touchant aux aspects techniques des systèmes d'information et des technologies de l'information, y compris l'acquisition, le traitement, le stockage, la gestion et la diffusion de l'information ; cette catégorie

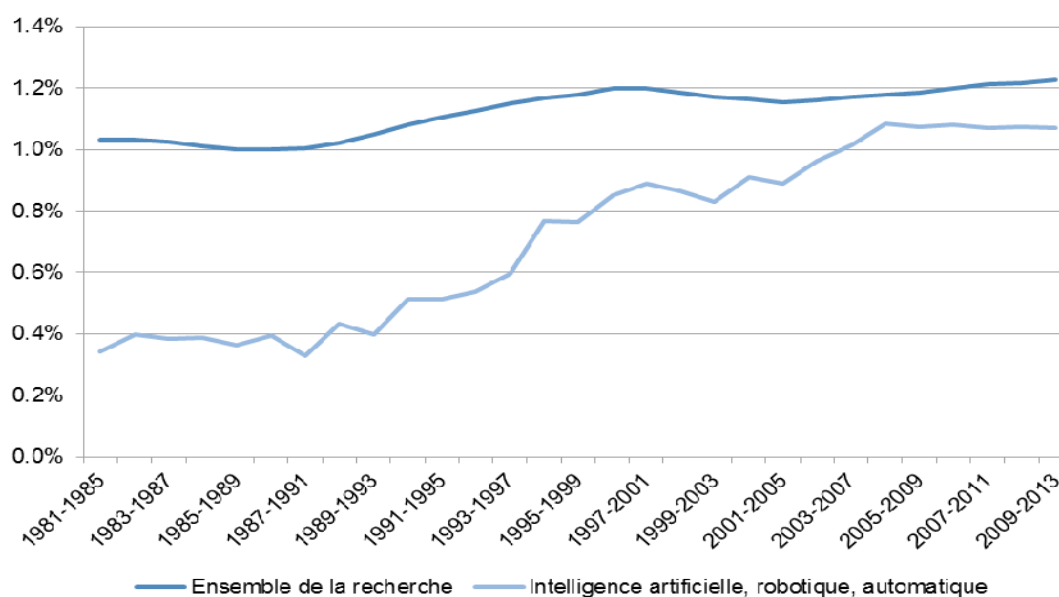
donc surtout sur ces deux sous-domaines (de la classification SCI) ; on trouvera des analyses plus fouillées à la section 3 de l'annexe 2.

L'analyse montre tout d'abord que la Suisse, à l'aune de ses publications scientifiques, ne mène pas beaucoup de recherches très spécialisées dans des technologies numériques par comparaison avec d'autres grands domaines, telles la physique ou les sciences de la vie ; mais elle produit certains travaux de très haute qualité, comme le révèle l'impact relatif de ses publications scientifiques (voir annexe 2, figures G et H).

Elle occupe une position de tête en intelligence artificielle, robotique et automatique, aussi bien par le volume de ses publications (part aux publications mondiales, exprimée en nombre de publications par habitant) que par l'impact (calculé par bibliométrie sur la base des citations) des produits de sa recherche. Cela dit, sa part dans les publications mondiales est en deçà de la part totale qu'elle obtient globalement dans tous les grands domaines de recherche (selon le classement SCI).

De plus, quelques pays très axés sur la recherche (en particulier la Chine, les Pays-Bas, Taiwan, la Corée du Sud et la France) ont à ce point intensifié leur travail en intelligence artificielle, robotique et automatique que la Suisse n'est pas parvenue à accroître sa part du volume mondial des publications dans ce domaine ces dix dernières années (voir annexe 2, figures Ha et Hb).

Figure 14 : Part de la Suisse dans les publications mondiales en intelligence artificielle, robotique et automatique



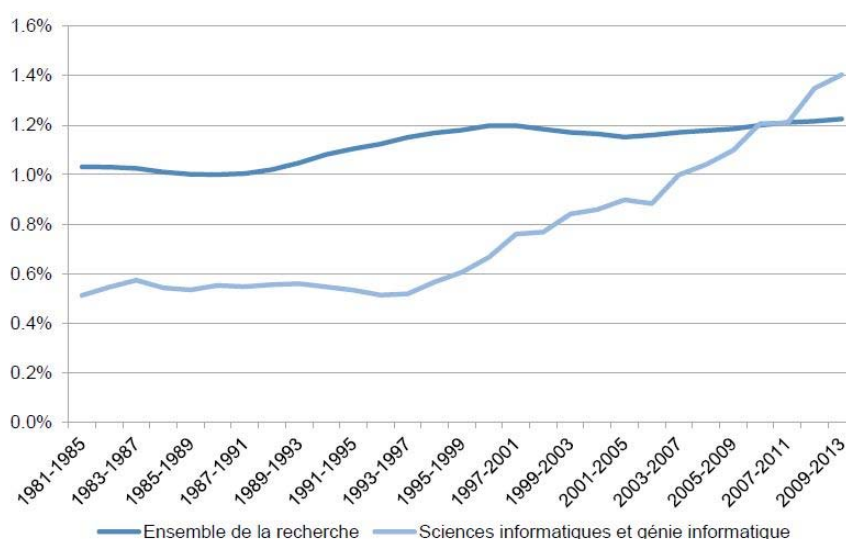
Source : Analyse SEFRI fondée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

Dans le domaine de la recherche établie en informatique, que représente la catégorie des sciences informatiques et génie informatique, la Suisse est en revanche parvenue à accroître notablement ces dernières années sa part du volume mondial des publications, malgré les investissements considérables consentis par d'autres pays, et à la porter à un niveau enviable (figure 15) ; cela s'est toutefois accompagné d'un recul de l'impact relatif de ses publications (voir annexe 2, figure Gb)⁷⁹.

s'étend aussi aux aspects techniques de la communication par divers systèmes et dispositifs : http://ip-science.thomsonreuters.com/mjl/scope/scope_ccect/

⁷⁹ Dans les sciences du génie électrique et électronique, qui englobent certains aspects de la recherche sur le matériel informatique et doivent ainsi être considérées comme faisant aussi partie de la recherche établie en informatique, la position de la Suisse est comparable à celle qu'elle occupe dans le domaine intelligence artificielle, robotique et automatique. Là encore, sa part a stagné, bien que sa recherche soit d'excellente qualité (voir annexe 2, figure E et Gd).

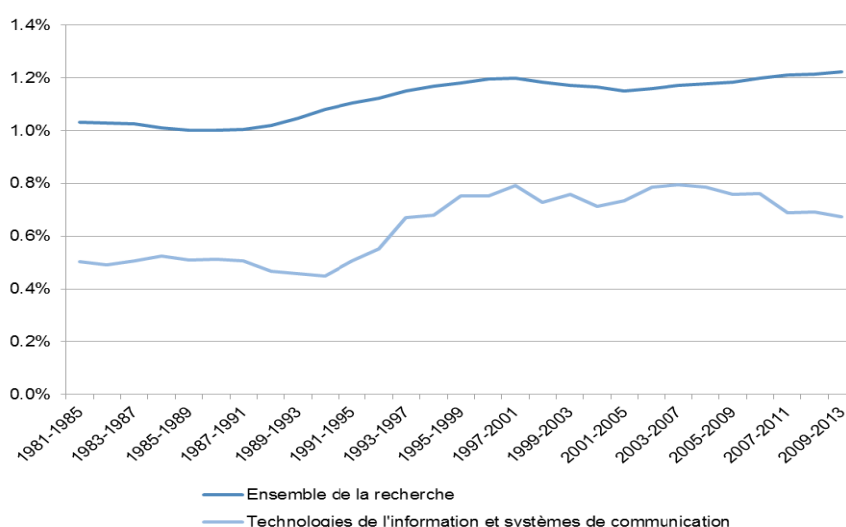
Figure 15 : Part de la Suisse dans les publications mondiales en sciences informatiques et génie informatique



Source : Analyse SEFRI fondée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

Le tableau est différent dans la catégorie des technologies de l'information et systèmes de communication, qui englobe les recherches portant sur les nouvelles technologies clés numériques essentielles, comme la collecte, le traitement, le stockage, la gestion et la diffusion de l'information, ainsi que les aspects techniques de la communication empruntant divers systèmes d'information. D'autres pays ont investi ces dernières années bien davantage que la Suisse dans ce domaine. La part de cette dernière a reculé en conséquence dans ce secteur essentiel en ce qui concerne les recherches publiées dans le monde, même si la recherche suisse se maintient toujours à un niveau très élevé pour ce qui est de son impact. En tout cas, avec une part de 0,7 % seulement des publications mondiales, le pays ne figure pas dans le groupe mondial de tête des nations les plus impliquées dans la recherche (voir figure 16 et figure 17 pour une comparaison avec un certain nombre de pays).

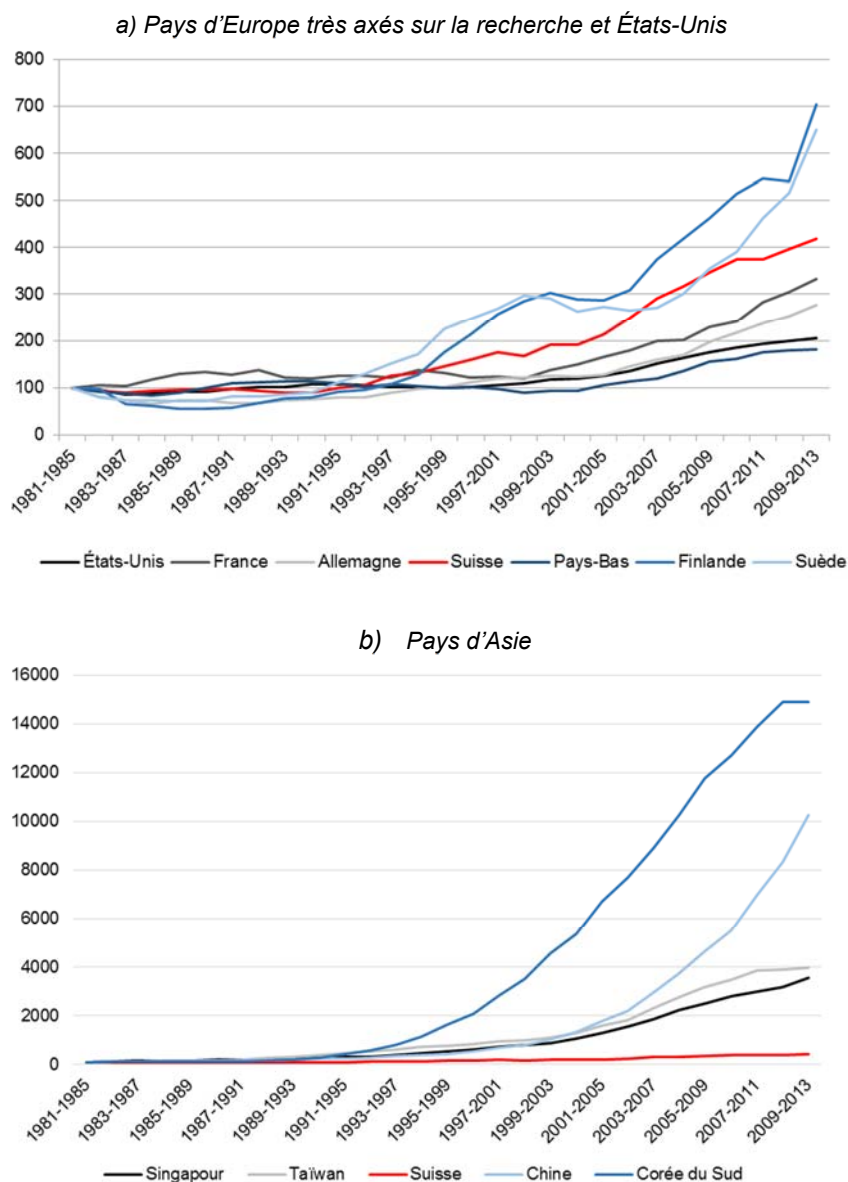
Figure 16 : Part de la Suisse dans les publications mondiales en technologies de l'information et systèmes de communication



Source : Analyse SEFRI fondée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

La comparaison entre pays fait ressortir un développement très hétérogène de la recherche en technologies de l'information et systèmes de communication (figure 17). La Corée du Sud, la Chine, Taiwan et Singapour ont considérablement intensifié leur effort de recherche. Parmi les pays d'Europe comparables à la Suisse, la Finlande et la Suède enregistrent (également par rapport aux USA) une progression impressionnante de leur productivité de recherche dans ce domaine – encore que dans une proportion sensiblement plus faible par comparaison avec les pays asiatiques mentionnés. La Suisse n'obtient qu'un score moyen dans cette comparaison.

Figure 17 : Évolution des produits de la recherche mondiale en technologies de l'information et systèmes de communication (indice: 1981/1985=100)

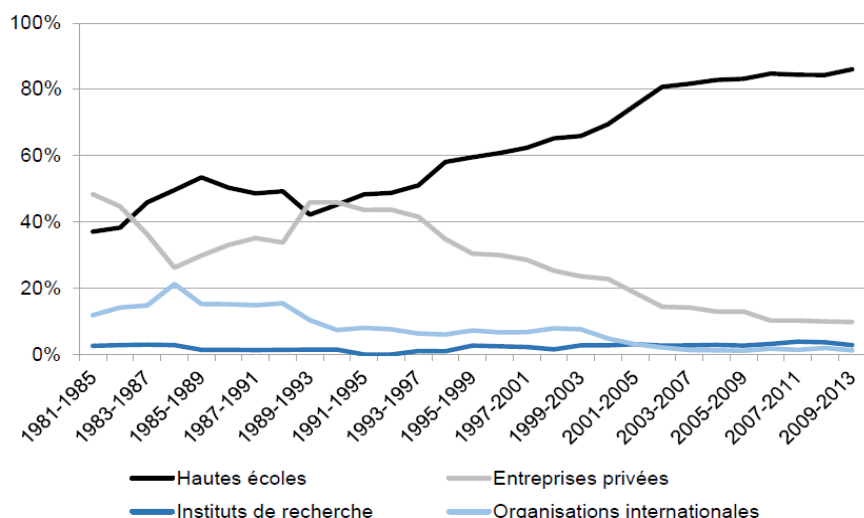


Source : Analyse SEFRI fondée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

En conclusion, les hautes écoles de Suisse ont dans l'ensemble étendu leurs recherches en technologies de l'information et systèmes de communication. Le recul relatif de la Suisse s'explique par les investissements nettement supérieurs consentis dans d'autres pays. Cette évolution s'est accompagnée d'un (léger) recul de la recherche privée, ce qui a fait retomber la part de cette dernière, mesurée en volume de publications, à un peu moins de 10 % (figure 18) — ce qui est en contraste frappant avec

la progression très marquée de la recherche fondamentale dans la recherche et développement du secteur privé en Suisse⁸⁰.

Figure 18 : Ventilation institutionnelle des parts aux publications concernant les TIC (1981-2013)

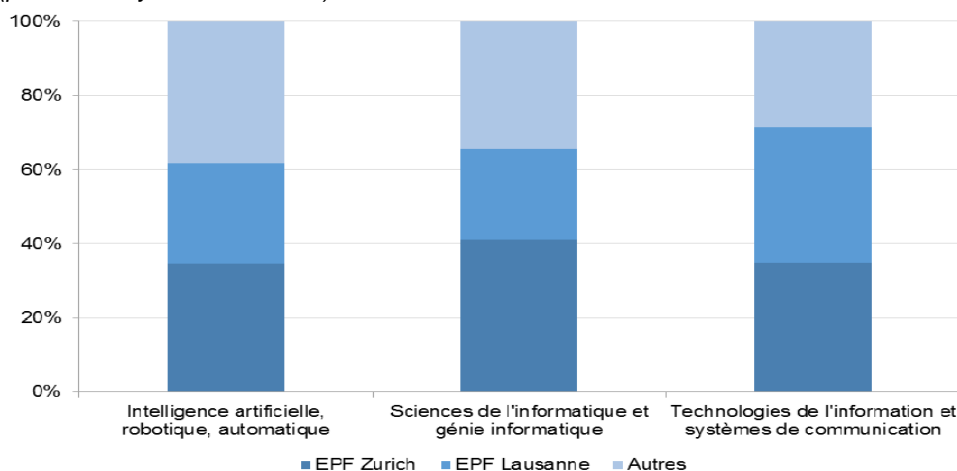


Source : Analyse SEFRI fondée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

4.2 Absence de masse critique

Les données disponibles permettent aussi de connaître les entités suisses où se font les recherches consacrées aux domaines qui nous occupent ici. La figure 19 présente cette ventilation institutionnelle (répartition des publications scientifiques entre les acteurs) pour les trois domaines des TIC examinés. Il en ressort que dans l'ensemble, les deux EPF dominent nettement la recherche suisse, avec des parts comprises entre 62 % et 71 % selon le domaine. Le domaine des EPF assure par exemple plus des deux tiers de la recherche en technologies de l'information et systèmes de communication. L'analyse révèle en outre une progression sensible des centres spécialisés en cybertechnologie (IDIAP, Zurich Information and Security Center ZISC, *Disney Research Center*, par exemple) et des sociétés privées comme ABB (pas de figure).

Figure 19 : Part des EPF dans le nombre total de toutes les publications concernant trois domaines de recherche (période analysée : 2009-2013)

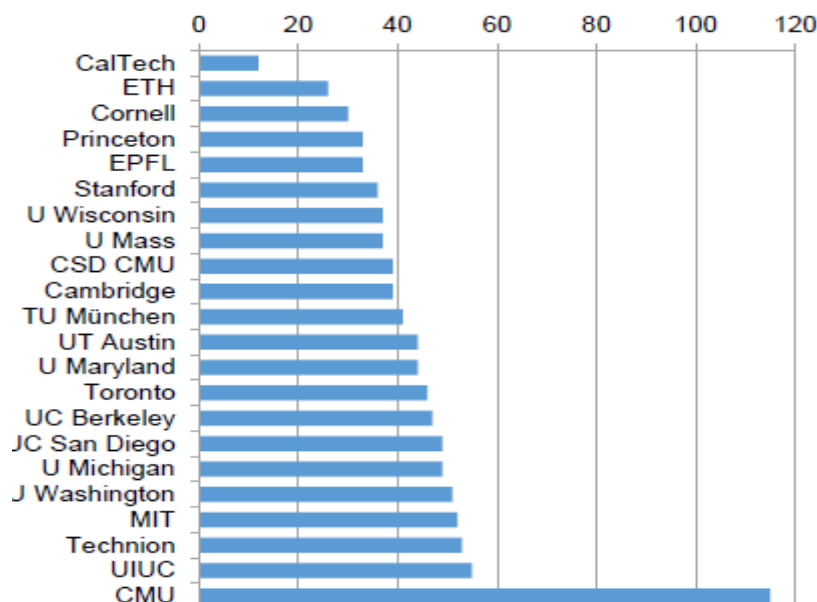


Source : Analyse SEFRI fondée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

⁸⁰ Voir OFS (2017) : Conférence de presse – Dépenses de R-D des entreprises privées en Suisse, résultats 2015 ».

Les EPF, principaux centres de recherche de Suisse dans les domaines qui nous intéressent, parviennent à travailler avec un personnel relativement réduit, comme le montre la comparaison avec les grands centres de recherche mondiaux en TIC (figure 20). Par rapport à ces centres internationaux de référence, les EPF de Zurich et de Lausanne sont très petites et leur dotation en personnel et en postes de professeur n'atteint même pas le niveau critique en TIC — malgré de bonnes prestations pour ce qui est des publications internationales.

Figure 20 : Taille départements informatiques des EPF par comparaison à d'autres grands centres de recherche⁸¹



Source : Groupe d'experts pour l'identification des besoins d'action en matière de numérisation dans le domaine de la recherche et de l'innovation (2016)⁸²

Le domaine des EPF a pris conscience de ce besoin d'étoffer leur corps professoral. L'EPF de Zurich et l'EPFL ont tout récemment redistribué des ressources existantes afin de créer quelques nouveaux postes de ce type en sciences de l'informatique. Les ressources actuellement disponibles ne permettront toutefois pas de renforcer ces prochaines années les compétences de recherche fondamentale en informatique et sciences de l'informatique sur l'ensemble de leur spectre dans la mesure qu'appellerait le rôle de ces disciplines dans d'autres domaines de recherche.

4.3 Des points faibles dans le TST en Suisse

Une base de connaissances étendue est déterminant de la compétitivité technologique d'un pays, car elle accroît la probabilité d'un grand nombre d'inventions de qualité, qui constitueront autant d'avantages concurrentiels sur les marchés desservis. Une large base technologique favorise en outre le développement technologique dans les diverses industries⁸³. Au-delà de la base de connaissances des hautes écoles, il faut donc que les entreprises possèdent une base de savoir qui leur permette d'absorber les technologies nouvelles.

⁸¹ Présentation simplifiée où ne figurent que les professeurs et les postes avec *tenure track*.

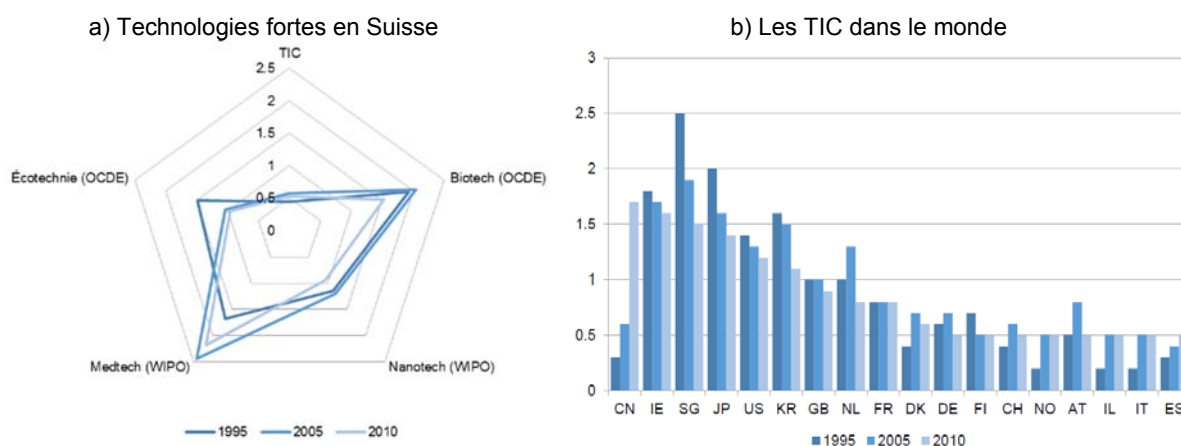
« Forschung und Lehre für die Digitale Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz », rapport sur mandat du Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation SEFRI.

⁸³ Voir Arvanitis et al. (2015) : « Patentportfolio Schweiz – Studie im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation SEFRI », *KOF Studien* n° 62.

Le centre de recherches conjoncturelles KOF a consacré une étude⁸⁴ à la base de connaissances existante en se fondant sur les brevets déposés dans un certain nombre de secteurs technologiques importants, entre autres les technologies de l'information et de la communication⁸⁵. Si l'analyse bibliométrique fait bien ressortir les activités des hautes écoles, celle des brevets met mieux en lumière le secteur privé. Il faut alors s'interroger sur les secteurs industriels dans lesquels la Suisse est relativement forte ou faible par rapport à ses rivales internationales. On recourt en particulier pour cela à l'indice d'avantage technologique révélé (ATR)⁸⁶, qui reflète l'importance relative ordinaire de grandes technologies dans un pays et fait ainsi ressortir les spécialisations générales de l'économie concernée.

L'étude KOF révèle que la Suisse est faiblement spécialisée dans les technologies de l'information et de la communication — et cela par rapport aux autres pays comme aux autres grands groupes de technologies (figure 21)⁸⁷. Elle montre également que la Suisse, par son ATR, se classe dans la moyenne générale des pays observés en ce qui concerne les TIC. Ce n'est donc pas un site au rayonnement particulier pour ce qui est de l'annonce d'inventions de ce type. L'absence de fabricants industriels de matériel informatique constituerait, selon le KOF, l'une des faiblesses structurelles du pays.

Figure 21 : Avantage technologique révélé (ATR) dans les technologies de l'information et de la communication



Source : KOF

L'appréciation de l'inventivité technologique moyenne permet de juger de la position de la Suisse sur le plan qualitatif, et non plus simplement quantitatif. Il apparaît ainsi (figure 22) que la part des inventions suisses en TIC dans les inventions mondiales accuse un net retard sur d'autres technologies, mais aussi que la valeur technologique de ces inventions dépasse légèrement la moyenne.

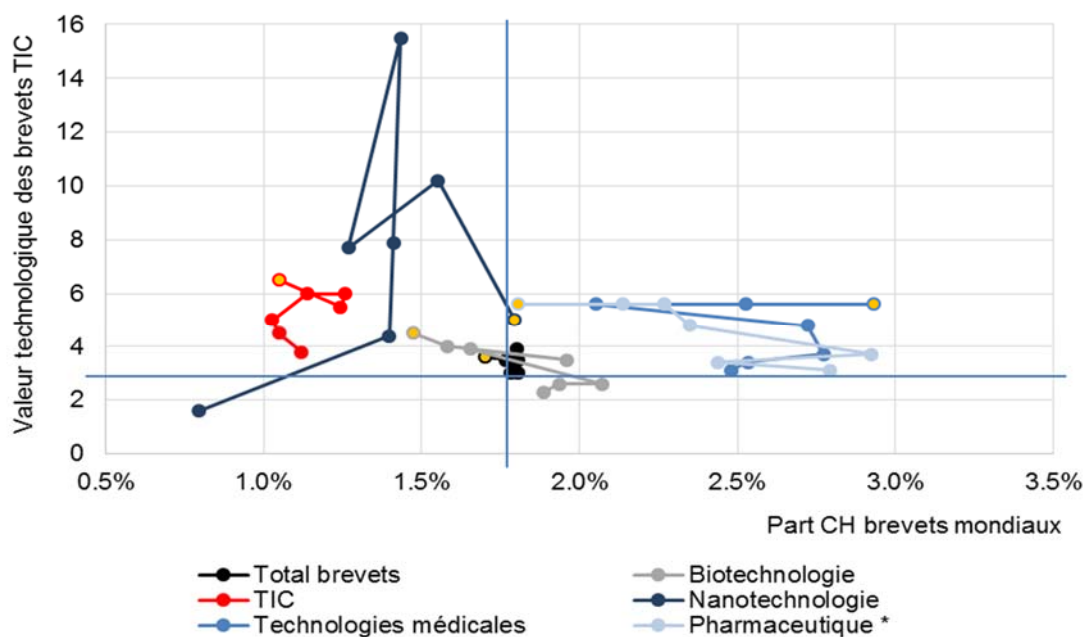
⁸⁴ Voir Arvanitis et al. (2015) : « Patentportfolio Schweiz – Studie im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation SEFRI », *KOF Studien* n° 62.

⁸⁵ L'analyse des inventions brevetées porte sur la création de technologies dans ces domaines, mais non pas sur l'adoption ou l'utilisation de ces technologies.

⁸⁶ L'ATR exprime la part mondiale des brevets demandés par un pays dans un domaine industriel ou technologique donné par rapport à la part de ce pays dans les brevets déposés par tous les pays et dans tous les domaines dans le monde. Selon l'étude, cet indicateur révèle également la compétitivité relative du pays dans une technologie ; on peut penser qu'un indice ATR élevé (pour autant que le nombre des découvertes brevetées dans ce domaine soit relativement élevé) est le signe de l'existence d'une base de savoir nécessairement grande, qui permettra d'absorber les connaissances nouvelles dans ce domaine, mais aussi d'arriver à en tirer d'autres inventions (KOF, p. 41).

⁸⁷ Depuis 1995, la comparaison internationale montre que les indices ATR ont progressé dans les TIC en Suisse, en Norvège, en Israël, en Italie et en Espagne (à un niveau relativement bas), ainsi qu'en Suède (à un niveau relativement haut). C'est en Chine que cet indice a augmenté le plus rapidement depuis 1995 dans les TIC, pour dépasser en 2010 celui de tous les pays de référence. Les indices ATR de Singapour, du Japon et de la Corée du Sud, pays très spécialisés en TIC en 1995, sont nettement retombés, mais étaient encore supérieurs à 1 en 2010. Globalement, sept pays du groupe examiné par le KOF ont encore un indice ATR supérieur à 1, et trois (Chine, Irlande, Singapour) un indice même supérieur à 1,5.

Figure 22 : Évolution de la part des brevets et de la valeur technologique de la Suisse dans certains groupes de brevets (période couverte : 1999-2005)



Remarque : les lignes fines donnent les valeurs moyennes de la valeur technologique ou de la part au total mondial des brevets pour la Suisse. Les cercles représentent les valeurs observées pour diverses années ; les premiers relevés (1999) sont repérés en jaune. Les calculs restent approximatifs du fait que la définition des différentes technologies varie entre les deux sources.

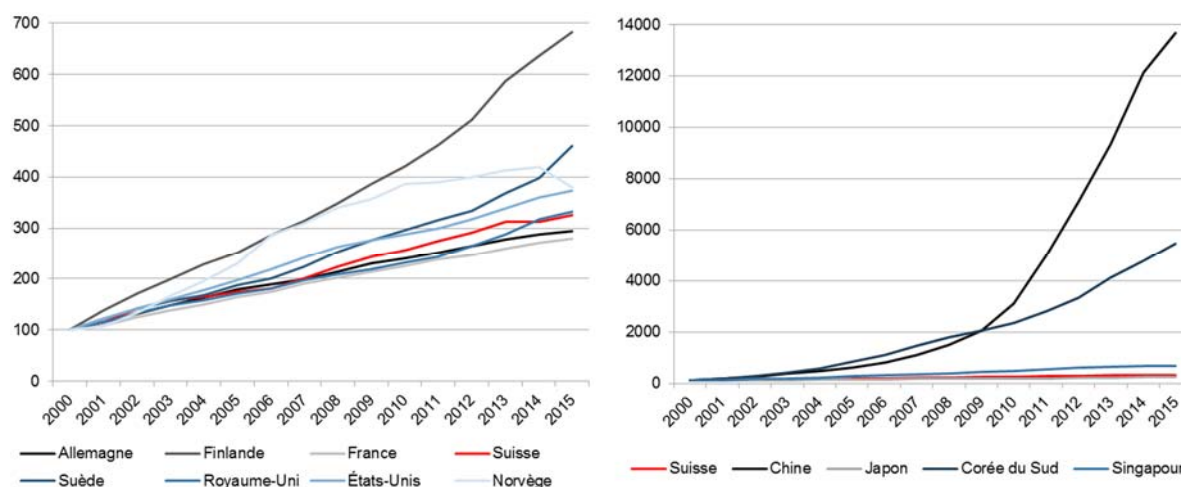
*Calcul approximatif du fait que la catégorie de brevets qui est à la base de l'analyse KOF (chimie, pharma, matières synthétiques) est plus étendue que celle qui fonde l'étude de l'OCDE (pharmaceutique).

Source : présentation SEFRI, d'après Arvanitis et alt. (2015) et OCDE (2017).

Le KOF a surtout mis en lumière un fait très important pour la Suisse, à savoir que, par *comparaison internationale*, elle se laissait distancer par des pays de tête sur le terrain de la valeur technologique de ses brevets en TIC. Elle arrive dans la seconde moitié du groupe des pays examinés, où les États-Unis et Israël prennent les premières places par leurs valeurs moyennes, suivis de la Finlande, de l'Irlande et du Royaume-Uni.

Une analyse réalisée par l'institut BAKBASEL sur les demandes de brevets déposées dans un certain nombre de domaines technologiques liés au numérique révèle qu'elles ont évolué comme la recherche, c'est-à-dire que leur progression générale se situe en Suisse dans la moyenne des pays européens, même si certains domaines (comme l'intelligence artificielle) y ont connu un essor dynamique. Dans d'autres domaines cruciaux, par ex. l'Internet des objets, la Suisse accuse un retard. Quelques pays émergents d'Asie ont en revanche développé nettement plus rapidement leurs activités dans tous les sous-domaines (voir figure 23 pour l'évolution générale et l'annexe 3.5, figure J, pour l'évolution dans les différents champs technologiques).

Figure 23 : Évolution des demandes de brevets dans des champs technologiques numériques choisis (Additive Manufacturing, intelligence artificielle, Internet des objets, robotique). Indice 2000=100.



Source : BAKBASEL (2017), « Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten » (en allemand), étude sur mandat du SEFRI.

L'étude BAKBASEL montre aussi, exemples à l'appui, que la combinaison de technologies traditionnelles et numériques accroît la qualité des brevets. La Suisse a un peu de retard en ce qui concerne cette infiltration des technologies numériques, par exemple dans les techniques médicales ou dans l'industrie 4.0. Ce qui veut dire qu'elle tire mieux son épingle du jeu dans telle ou telle technologie, mais que d'autres pays comparables parviennent mieux à marier les technologies (cf. annexe 2, figure K).

D'autres études confirment la modestie de la position et des progrès de la Suisse en ce qui concerne les brevets de TIC. La commission allemande d'experts de la recherche et de l'innovation a étudié les demandes de brevets en informatique et télécommunications⁸⁸ ; le tableau 3 montre l'évolution des demandes de brevets transnationaux entre les périodes 1999-2001 et 2009-2011. En informatique, le nombre de ces demandes est passé de 20 346 à 26 550 dans les pays de tête ; la part de la Suisse a régressé en une décennie de 1,2 % à 0,8 %. La Chine, en particulier, a gagné beaucoup de terrain en technique informatique, avec un essor encore plus dynamique pour les demandes de brevets, dont le nombre est passé de 33 247 à 51 964 dans les télécommunications. Là encore, la part de la Suisse est retombée de 1,2 % dans les années 90 à 0,5 % 10 ans plus tard. La Chine s'est entre-temps hissée en première place, dépassant même les États-Unis.

⁸⁸ Expertenkommission Forschung und Innovation (2014): « Jahresgutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2014 ».

Tableau 3 : Demandes de brevets transnationaux de plusieurs pays en informatique et télécommunications

	Demandes de brevets transnationaux 1999-2001			Demandes de brevets transnationaux 2009-2011		
		Nombre	Part (%)		Nombre	Part (%)
Informatique	USA	9202	45.2	USA	13948	52.5
	Japon	5419	26.6	Japon	5021	18.9
	Allemagne	2105	10.3	Chine	2216	8.3
	France	1176	5.8	Allemagne	1586	6.0
	Royaume-Uni	1147	5.6	Corée	1299	4.9
	Corée	628	3.1	France	1132	4.3
	Suède	285	1.4	Royaume-Uni	824	3.1
	Suisse	254	1.2	Suède	311	1.2
	Chine	130	0.6	Suisse	213	0.8
	Total	20346	100.0	Total	26550	100.0
Télécommunications	USA	14715	44.3	Chine	15791	30.4
	Japon	5670	17.1	USA	11947	23.0
	Allemagne	4974	15.0	Japon	8026	15.4
	France	2284	6.9	Corée	5262	10.1
	Royaume-Uni	2251	6.8	Allemagne	3790	7.3
	Suède	1633	4.9	France	2718	5.2
	Corée	1052	3.2	Suède	2185	4.2
	Suisse	390	1.2	Royaume-Uni	1967	3.8
	Chine	278	0.8	Suisse	278	0.5
	Total	33247	100.0	Total	51964	100.0

Source : Rapport 2014 de la commission d'experts EFI et Gehrke *et alt.* (2014): « Informations- und Kommunikationstechnologien in Deutschland und im internationalen Vergleich – ausgewählte Innovationsindikatoren », *Studien zum deutschen Innovationssystem* n° 11-2014, Berlin: EFI.

Une étude de l'OCDE analyse également les demandes de brevet déposées dans un certain nombre de technologies numériques importantes⁸⁹. Elle confirme elle aussi que la Suisse ne figure pas parmi les leaders dans ces domaines où ses demandes de brevets sont nettement en deçà de ce que ferait attendre l'ensemble des brevets qu'elle dépose⁹⁰. Dans une analyse approfondie des technologies très spécifiques qui se sont le plus développées ces dernières années, l'OCDE révèle en outre que la Suisse remporte parfois des parts nettement inférieures à la moyenne⁹¹. Enfin, une étude Prognos sur la place de la recherche et de la technologie dans l'industrie suisse⁹² conclut également que les technologies du numérique ne figurent en bonne place ni dans les dépenses de recherche ni dans les exportations de la Suisse⁹³.

4.4 Actions nécessaires dans le domaine de la recherche et de l'innovation

La Suisse est à l'échelle mondiale l'un des pays de tête pour le développement de nouvelles technologies. Les nouveaux produits fondés sur ces dernières contribuent notablement à la valeur ajoutée dans le pays, et ainsi à la croissance économique nationale. La production de nouvelles technologies est donc un précieux facteur de compétitivité pour les entreprises suisses. La mise au point et la commercialisation de technologies nouvelles leur permettent de faire face à une dure concurrence internationale, qui s'est encore intensifiée ces derniers temps avec la valorisation du franc suisse. Il est donc essentiel pour la Suisse de tirer le meilleur parti possible de ces possibilités.

⁸⁹ OCDE (2016) : « *Science, technologie et innovation: perspectives de l'OCDE 2016* ».

⁹⁰ OCDE (2015) : « Tableau de bord 2015 de l'OCDE sur la science, la technologie et l'industrie ».

⁹¹ Transfert numérique de données (0,2 %), dispositifs à semiconducteurs sensibles (0,8 %), systèmes de communication multiplexés (0,1 %), gestion des ressources hertziennes (0,2 %), interface humaine des transferts de données numériques (0,2 %), services d'applications mobiles (0,3 %), matériel de traitement des données (0,2 %), surveillance par systèmes sans fil (0,2 %).

⁹² Böhmer/Weiss (2014) : « Forschungs- und Technologieintensität in der Schweizer Industrie », *Strukturbericht-erstattung* Nr. 53/5, étude demandée par le Secrétariat d'État à l'économie (SECO), Berne.

⁹³ Analyse des douze technologies principales sur un total de 32.

La manière dont la Suisse négociera le tournant numérique et exploitera les potentialités qu'il recèle conditionnera sa prospérité future. Les progrès décrits ci-dessus à attendre des avancées du numérique confèrent une importance primordiale à l'ensemble de la recherche fondamentale en TIC — ne serait-ce que parce qu'elle transforme dans son sillage la recherche fondamentale et les technologies dans tous les domaines.

4.4.1 Renforcement nécessaire de la recherche fondamentale

L'analyse de la recherche menée dans les hautes écoles (chapitre 4.1) et dans les entreprises (chapitre 4.3) a montré que les TIC ne constituent pas dans l'ensemble une priorité particulière pour la recherche suisse. D'ailleurs, les chiffres de publications montrent que le pays perd justement du terrain par rapport à ses rivaux étrangers dans les domaines de recherche correspondant en grande partie aux technologies numériques qui ont pris un essor considérable cette dernière décennie.

Si l'analyse statistique renseigne sur la position relative de la Suisse dans le monde, elle ne fait pas ressortir au niveau utile d'agrégation les domaines thématiques dans lesquels il conviendrait d'agir concrètement. C'est pourquoi un groupe pluridisciplinaire d'experts issus de la science et de l'économie s'est appuyé sur une analyse des *contenus* de l'évolution des technologies numériques pour identifier les défis que suscite la progression du numérique dans la recherche et l'innovation en fonction des priorités thématiques ; il est arrivé à la conclusion que la Suisse devrait agir dans les domaines ci-dessous⁹⁴.

En ce qui concerne l'informatique dématérialisée (cloud computing), le problème majeur est celui de la sécurité des données. Les progrès technologiques étant très rapides dans le « nuage », la Suisse doit impérativement se doter d'un appoint de compétences pour ne pas devoir s'en remettre entièrement à des services étrangers importés, mais se rendre capable de mettre en place et de gérer elle-même des structures en nuage d'avant-garde. La recherche (et l'enseignement) sur les systèmes et réseaux résilients (sécurité, disponibilité, vérifiabilité) et les nouveaux modèles et architectures d'ordinateurs et de systèmes constituent également des domaines transversaux importants.

Pour ce qui est des systèmes cyberphysiques (ce qui inclut l'Internet des objets, l'industrie 4.0 ou industrie2025), le développement de la Suisse n'est encore qu'en phase de démarrage, surtout par pénurie d'informaticiens suffisamment formés. Malgré des travaux de recherche notables, les hautes écoles ne présentent pas de centrage explicite sur le domaine très interdisciplinaire des *systèmes cyberphysiques*. De plus, les technologies de l'Internet des objets (*Internet of Things, IoT*) appellent impérativement de nouveaux efforts de recherche portant spécifiquement sur les matériels et logiciels économisant l'énergie, ainsi que sur la communication, de sorte qu'il devienne possible de décentraliser le traitement de l'information et d'implanter des capteurs là où cela était auparavant impossible pour des raisons d'alimentation en énergie.

Dans le domaine des mégadonnées (*big data*), la Suisse a déjà lancé sa propre initiative⁹⁵ (*Initiative for Data Science in Switzerland*) en mai 2016, sous la houlette des EPF. Dans ce cadre a aussi été créé le *Swiss Data Science Center* (SDSC), qui doit remédier à la fragmentation méthodologique actuelle du traitement et de l'analyse des données et des systèmes. Il s'agit aussi de renforcer les efforts de recherche et d'innovation au niveau des bases (traitement, analyse, visualisation, protection des données, etc.) et des applications du *big data*. Il serait en outre indispensable d'étoffer l'offre de formation dans ce domaine, l'industrie étant très demandeuse d'experts en la matière dans le monde entier.

⁹⁴ Groupe d'experts pour l'identification des besoins d'action en matière de numérisation dans le domaine de la recherche et de l'innovation (2016) : « Forschung und Lehre für die Digitale Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz », rapport sur mandat du Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation SEFRI.

⁹⁵ <https://datascience.ch>

Le rôle porteur de ce domaine dans l'émergence future d'activités commerciales nouvelles aussi bien que dans les activités traditionnelles serait sous-estimé, selon les experts. Peu de travaux de recherche et d'innovation ont en outre été consacrés en Suisse jusqu'à présent au social computing⁹⁶.

Les hautes écoles suisses contribuent déjà notablement au développement de compétences de recherche en intelligence artificielle et systèmes apprenants. Pourtant, le besoin d'action est là encore significatif, eu égard à la rapidité du progrès technique et à l'importance économique considérable de ces domaines. Cela vaut pour la recherche fondamentale, l'application dans certains domaines, et surtout la formation, car les informaticiens spécialisés en intelligence artificielle auront des apports considérables et indispensables à fournir à la compétitivité future de la Suisse ; ils travailleront d'ailleurs moins dans des sociétés d'informatique que dans l'industrie et les services, dont l'intelligence artificielle révolutionnera les offres et les processus.

En ce qui concerne les systèmes décentralisés et l'informatique à tolérance de pannes, il est surtout essentiel pour la Suisse, avec son secteur financier très développé, d'être présente dans les technologies *Fintech* (comme la *blockchain*). Là encore, les hautes écoles doivent fournir d'importants apports à la recherche et à l'innovation, car la technologie utilisée et son développement comptent énormément, au-delà d'un modèle d'affaires innovant.

La progression de la numérisation dans les infrastructures critiques pose de nouveaux défis pour la sûreté d'exploitation de ces infrastructures. La prise en compte des cyberrisques dans le cadre de la protection des infrastructures critiques gagne ainsi constamment en importance, et constitue un devoir essentiel pour l'État, l'économie et chaque personne.

Le développement d'architectures informatiques nouvelles n'en est qu'à ses débuts et nécessite encore un gros travail de recherche fondamentale. On peut citer comme exemples les processeurs 3D, les architectures « bio-inspirées » ou les calculateurs quantiques. Les hautes écoles suisses possèdent des compétences en sciences des matériaux, en nanotechnologie, en informatique et en électrotechnique, et ont été associées à des projets de recherche sur le cerveau (*Human Brain Project*) ; elles seraient donc très bien placées pour apporter ici une contribution significative.

La recherche sur les bases de l'informatique (comme le génie logiciel, le développement de systèmes, les méthodes formelles, les algorithmes et la théorie) joue un important rôle transversal dans les domaines évoqués ci-dessus.

4.4.2 L'optimisation du TST nécessite une large base de recherche

La production d'innovations technologiques requiert un bon accès à la recherche universitaire. Un tiers environ des entreprises de Suisse employant plus de cinq personnes pratiquent le transfert avec des hautes écoles⁹⁷. Le savoir passe notamment aussi dans le monde de l'entreprise par les publications, les brevets et licences, les spin-offs et les diplômés des universités. L'accès à un capital humain, à des capacités de résolution des problèmes et à des recherches nouvelles, ainsi que le développement de nouveaux produits constituent autant d'incitations aux activités de transfert.

Une étude portant sur la Suisse⁹⁸ montre qu'au-delà de la base de savoir interne indispensable aux entreprises, la proximité thématique entre la recherche pratiquée par les hautes écoles et les technologies utilisées dans les entreprises joue un rôle central. Comme on peut s'y attendre, l'étude montre que

⁹⁶ Le *social computing* est une discipline relativement nouvelle de l'informatique, qui englobe l'analyse et la facilitation des interactions sociales humaines. En relèvent le *social sensing* (médias sociaux, smartphones utilisés comme capteurs, *crowdsourcing*, comme Wikipedia), et les modèles sociaux (application de l'intelligence artificielle aux sciences sociales).

⁹⁷ Voir Wörter (2012) : « Technology proximity between firms and universities and Technology transfer », *The journal of technology transfer*.

⁹⁸ Wörter (2012) : « Technology proximity between firms and universities and Technology transfer », *The journal of technology transfer*.

le TST est surtout intense dans les domaines où entreprises et hautes écoles font beaucoup de recherche.

Elle révèle en outre que les entreprises s'impliquent volontiers dans le TST pour les technologies dans lesquelles leur capital de savoir est faible, mais auxquelles les hautes écoles consacrent une recherche intense. Les entreprises recourent alors surtout au transfert pour mettre à jour et enrichir leur savoir, et pour rehausser ainsi leur compétitivité dans certains domaines techniques. Elles ont en outre tendance à diversifier leurs contacts avec les hautes écoles pour éviter une trop grande dépendance à l'égard d'un établissement en ce qui concerne leurs connaissances (effet de *lock in*)⁹⁹. Cela confirme qu'une large base de connaissances a des retombées bénéfiques et contribue à l'apparition d'un phénomène de *technology push* des hautes écoles vers le privé et, ainsi, à la compétitivité durable du partenaire du transfert.

Les nouvelles technologies numériques ont connu cette dernière décennie un essor inédit, en grande partie imputable à leur caractère transversal et à la non-linéarité de leurs applications. On ne distingue pas encore quelles sont les technologies qui gagneront en importance dans le futur, ni comment elles se combineront. La recherche et l'innovation suisses s'exposeraient à un risque considérable si le pays prenait du retard dans les domaines qui ont joué un grand rôle dans le transfert de savoirs et de technologies ces dernières années.

Dans le numérique, la capacité d'innovation s'appuie sur des plates-formes technologiques (*technology hubs*) où les interactions entre de nombreuses composantes doivent impérativement engendrer un effet d'auto-amplification. Parmi ces composantes figurent des hautes écoles de pointe, d'excellents spécialistes nourrissant l'innovation dans les entreprises et les universités, un terrain fertile pour les start-ups (avec sources de capital risque), un pool de jeunes talents créatifs (attirés par un tel site) et l'infrastructure nécessaire. Il n'existe qu'un tout petit nombre de ces pôles dans le monde ; en se dotant de centres très performants, la Suisse aurait là un potentiel à exploiter.

⁹⁹ Une très forte dépendance à l'égard de certaines technologies (ou de certaines connaissances spécifiques) freine ou interdit le passage à une autre technologie en raison du coût élevé de conversion.

5 Champs d'action et mesures dans le domaine de la formation

Comme montré dans les chapitres 2 et 3, la numérisation est en train de transformer notre société et notre économie. Afin d'assurer que le système d'éducation suisse s'adapte de façon adéquate à l'évolution numérique, il est nécessaire d'agir sur différents fronts:

- au niveau des individus: les apprentis, les écoliers, les étudiants, les enseignants et les responsables d'écoles ont besoin de connaissances étendues et doivent acquérir de nouvelles compétences. À cette fin, l'utilisation des TIC et des médias numériques dans l'enseignement et l'apprentissage doit être encouragée;
- au niveau des écoles et des autres lieux d'apprentissage, il faut des responsables d'écoles ouverts au changement, des cultures scolaires favorables à l'innovation, des stratégies explicites sur ces questions, des infrastructures adaptées aux besoins, d'amples activités de formation continue et de conseil et un soutien technique;
- au niveau du système éducatif, une réflexion approfondie est également nécessaire, par exemple en ce qui concerne les lignes directrices en matière de politique de formation, les supports numériques et les logiciels, le besoin de moyens financiers en suffisance pour acquérir des équipements, pour assurer la formation et la formation continue ainsi que les services de conseil. Le système éducatif doit aussi être assez flexible pour s'adapter rapidement aux exigences (présentes et futures) du marché.

Suite aux précédentes considérations, les quatre domaines d'intervention suivants sont identifiés:

- Champ d'action 1: Amélioration des compétences numériques à l'école
- Champ d'action 2: Utilisation des TIC dans l'enseignement et dans l'apprentissage
- Champ d'action 3: Adaptation rapide du système éducatif aux exigences du marché
- Champ d'action 4: Coordination et communication dans la coopération en matière de formation

Les recommandations liées au champ d'action se limitent aux mesures appropriées ainsi que nécessaires pour répondre aux points faibles identifiés au regard des défis que pose la numérisation. Elles ont été choisies en fonction des principes suivants:

- limitation de l'engagement fédéral aux mesures qui relèvent de la (co)responsabilité de la Confédération. Les mesures extérieures à la compétence de la Confédération ne sont affichées que comme mentions des compétences. Elles n'ont qu'un caractère de recommandation ;
- limitation aux bases légales en vigueur et aux instruments d'encouragement existants.

5.1 Champ d'action 1: Amélioration des compétences numériques à l'école

Comme expliqué dans le chapitre 3.2, il est fondamental que tous les élèves, les apprentis ainsi que les étudiants acquièrent des compétences numériques de base et sachent utiliser les médias de façon consciencieuse. Ces compétences leur seront utiles tant dans leur vie privée que professionnelle. Des efforts considérables ont déjà été fournis sur ce point à différents niveaux de formation. Ces efforts doivent se poursuivre et être renforcés.

Objectif: Tous les élèves devraient disposer de compétences informatiques de base et être capables de comprendre et d'utiliser correctement les médias et les outils informatiques, d'en profiter et de s'en protéger.

Mesures:

- **La Confédération invite les cantons à poursuivre ou intensifier leurs efforts dans ce domaine.**

Compétence:

École obligatoire: Cantons (art. 62, al. 1 Cst.)

Formation professionnelle: Confédération, cantons et organisations du monde du travail (sur la base de l'art. 15, 16, 20 et 21 LFPr)

- **Afin d'établir l'informatique en tant que discipline fondamentale dans les gymnases, la Confédération soutient clairement le renforcement de l'informatique dans le plan d'études cadre. Elle procédera, en cas de révision du plan d'études cadre, à une révision rapide de l'ordonnance fédérale sur la reconnaissance de la maturité (ORM).**

Compétence:

Gymnases: Cantons et Confédération (sur la base de l'art. 9 RRM/ORM)

5.2 Champ d'action 2: Utilisation des TIC dans l'enseignement et dans l'apprentissage

La numérisation transforme fondamentalement le contexte de l'enseignement et de l'apprentissage. Les études montrent qu'il existe une grande marge d'amélioration dans l'utilisation des TIC dans l'enseignement (cf. chapitre 3.3). Afin de profiter davantage des atouts des TIC dans l'enseignement et l'apprentissage, il est fondamental d'assurer de bonnes conditions-cadre. Il faut une bonne infrastructure numérique capable d'intégrer les récentes évolutions techniques, un meilleur accès aux ressources pédagogiques numériques, une formation des enseignants adéquate ainsi qu'un effort en matière de sécurité et de protection des données. Vu que les conséquences, les chances et les risques liés à la numérisation touchent les pratiques pédagogiques quotidiennes à tous les niveaux – scolarité obligatoire, formation professionnelle, hautes écoles, formation continue – une approche coordonnée, applicable à l'ensemble du système s'impose.

5.2.1 Infrastructure numérique

En Suisse, une très grande partie des jeunes ont accès à un ordinateur tant à la maison qu'à l'école. Presque toutes les écoles disposent en effet d'ordinateurs et d'une connexion Internet. Cependant, au jour d'aujourd'hui, pour assurer une utilisation répandue des TIC dans les écoles, il ne suffit plus de mettre à disposition des appareils et une connexion à Internet, mais encore faut-il que l'équipement soit en bon état et si possible présent dans toutes les classes, que l'infrastructure soit sûre, la connexion rapide (surtout en vue de l'augmentation du trafic des données dû au développement technologique) et stable et que l'accès aux services numériques soit garanti. Un équipement efficace requiert que, en plus des appareils, on tienne également compte du support interne ou de la maintenance et de l'extension du parc informatique. L'école est aujourd'hui confrontée à plusieurs questions, comme la compatibilité des appareils personnels (par ex. téléphones mobiles) avec l'infrastructure scolaire, savoir quel devrait être l'équipement personnel des élèves et déterminer l'ampleur de l'utilisation des offres en ligne.

En outre, les écoles ont besoin d'un soutien juridique lors de l'achat des infrastructures, car la complexité et le manque de transparence du marché leur compliquent le choix. La compréhension des clauses et des conditions des contrats de licence et d'utilisation applicables aux produits TIC et, partant, la négociation avec les prestataires de ces produits ne sont pas toujours faciles. Les clauses des contrats

doivent être réglées au moyen de contrats-cadres, pour pouvoir renégocier d'éventuelles dispositions qui ont une importance fondamentale. Même si elles n'ont pas à mener elles-mêmes la procédure d'appel d'offre, les écoles ont besoin d'un soutien continu. Sur mandat des pouvoirs publics, educa.ch¹⁰⁰ établit déjà des contrats-cadres avec des fabricants et des éditeurs afin d'offrir des logiciels à des conditions avantageuses aux écoles, mais ce soutien doit être intensifié. Pour que les écoles puissent trouver et acquérir des produits adaptés à leurs buts spécifiques, les expériences réalisées en la matière et les connaissances disponibles devraient être présentées et mises à disposition sur des plateformes d'orientation et des portails, avec des exemples de bonnes pratiques. Il incomberait alors aux écoles ou aux services compétents d'en tenir compte pour prendre leur décision.

Objectif: Toutes les écoles du niveau obligatoire et du secondaire II devraient disposer d'une infrastructure numérique permettant aux enseignants d'utiliser les TIC et les médias numériques.

Mesures:

- **La Confédération invite les cantons à poursuivre ou intensifier leurs efforts dans ce domaine.**

Compétence: cantons et communes

- **Il faut examiner s'il convient de mettre en place un « eduCloud » suisse qui puisse être utilisé par toutes les écoles jusqu'au degré secondaire II.**

Compétence: compétence commune de la Confédération et des cantons sur la base de l'art.2 , let. e et f ainsi que l'art. 6, let. b et d de la CCoop-ESF

- **Il s'agit de créer les bases pour que les écoles jusqu'au degré secondaire II aient les compétences suffisantes pour se doter de l'infrastructure, notamment pour l'acquisition et l'entretien.**

Compétence: compétence commune de la Confédération et des cantons sur la base de l'art.2 , let. e et f ainsi que l'art. 6, let. b et d de la CCoop-ESF

5.2.2 Matériel didactique et autres ressources d'apprentissage et d'enseignement

Pour transmettre les connaissances en TIC et les compétences transversales de manière durable tout au long du parcours scolaire, les moyens didactiques devraient être basés les uns sur les autres ou coordonnés à tous les niveaux. Les nouvelles possibilités techniques devraient être exploitées, pour autant qu'elles soient judicieuses sur le plan didactique. Les contenus des formations seront par ailleurs plus librement accessibles sur Internet. De fait, prévoir un accès limité à ces contenus, que ce soit dans le temps ou dans l'espace, ou des restrictions à leur utilisation ne serait pas possible à long terme. Un autre défi lié aux ressources électroniques est l'amélioration de l'accès aux ressources déjà disponibles en ligne.

Objectif: Le matériel didactique et les autres ressources d'apprentissage et d'enseignement devraient être adaptés aux nouveaux défis posés par la numérisation.

¹⁰⁰ <http://www.educa.ch/fr/contrats-cadre>

Mesures:

- **La Confédération invite les cantons à poursuivre ou intensifier leurs efforts dans ce domaine.**

Compétence: cantons

- **Garantir les conditions techniques et l'interopérabilité des plateformes de formation en créant des standards jusqu'au degré secondaire II.**

Compétence: compétence commune de la Confédération et des cantons sur la base de l'art. 2, let. e et f ainsi que l'art. 6, let. b et d de la CCoop-ESF

5.2.3 Compétences numériques et transmission du savoir des enseignants et des responsables des écoles

Les recherches menées jusqu'ici montrent que les TIC ne sont utilisés dans l'enseignement que lorsque les enseignants sont convaincus qu'ils sont importants pour la vie en société, qu'ils peuvent être utiles aux élèves pour acquérir des connaissances théoriques et pratiques en vue de leur vie professionnelle et surtout qu'ils permettent d'améliorer les processus d'enseignement et d'apprentissage. Les enseignants devraient disposer de compétences numériques propres, de connaissances dans le domaine de la socialisation médiatique ainsi que de compétences en didactique et en pédagogie des médias pour leur activité de niveau scolaire et de développement des compétences numériques à l'école. Le potentiel des TIC et des médias numériques ne sera donc pleinement exploité que si tous les enseignants sont favorables à l'innovation¹⁰¹.

La formation des enseignants (école obligatoire et gymnase) relève de la compétence des cantons. La Confédération gère l'Institut fédéral des hautes études en formation professionnelle (IFFP), qui est chargé de la reconnaissance des programmes éducatifs des responsables de la formation professionnelle (cours interentreprises et écoles professionnelles). En tant qu'organe politique supérieur des hautes écoles, la Conférence suisse des hautes écoles (CSHE) peut, sur proposition de swissuniversities, octroyer des contributions liées à des projets à des projets de coopération impliquant différents types de hautes écoles.

Objectif: Promotion des compétences numériques des enseignants aux fins d'utilisation des TIC et des médias numériques dans l'enseignement.

Mesures:

- **Offres de formation pour la promotion des compétences numériques dans la formation de base des enseignants**
 - La Confédération invite l'Institut fédéral des hautes études en formation professionnelle (IFFP) à intégrer davantage les aspects liés aux TIC dans la formation de base des responsables de la formation professionnelle actifs dans les cours interentreprises et les écoles professionnelles, ainsi que dans les écoles supérieures.
 - La CSHE invite swissuniversities à se pencher sur les mesures permettant de renforcer les compétences numériques («digital skills»; pour plus de détails voir champ d'action 5). Ces mesures peuvent également comprendre des projets de coopération impliquant plusieurs types de hautes écoles qui contribuent à renforcer la numérisation en matière de formation de base des enseignants dans les hautes écoles (par ex. le développement et la transmission de

¹⁰¹ «Beiträge zur Lehrerbildung», 2011, p. 159

nouveaux modèles didactiques tenant compte de la collaboration interdisciplinaire entre l'informatique et les autres domaines d'études).

Compétence:

- IFFP : Confédération (art. 46 et 48 LFPr)
- Octroi de contributions liées à des projets à des hautes écoles: swissuniversities et CSHE (art. 59 LEHE)

• **Renforcement de la formation continue des enseignants**

- La Confédération invite les cantons à poursuivre ou intensifier leurs efforts dans ce domaine.
- La Confédération encourage les prestataires de cours de formations continue à garantir une offre de cours de bonne qualité dans le cadre de la formation continue des enseignants.

Compétence:

- cantons et communes (en tant qu'employeurs)
- enseignants (en tant que participants à la formation continue)
- établissements de formation (par ex. IFFP, en tant que prestataires)

• **Sensibilisation des responsables des écoles et des enseignants jusqu'au secondaire II et échange d'informations**

- La Confédération soutient l'organisation de campagnes de sensibilisation aux atouts de la numérisation pour l'enseignement jusqu'au secondaire II.
- La Confédération soutient une plateforme numérique nationale où les enseignants, jusqu'au secondaire II, peuvent déposer ou rechercher des bonnes pratiques afin de mieux intégrer les TIC et les médias numériques dans leur enseignement.
- La Confédération soutient des rencontres de toutes les parties prenantes (responsables d'école, enseignants et autres jusqu'au secondaire II).

Compétence: compétence commune de la Confédération et des cantons sur la base de l'art. 2, let. e et f ainsi que l'art. 6, let. b et d de la CCoop-ESF

5.2.4 Protection et sécurité des données dans l'espace numérique de la formation

La numérisation pose des questions urgentes concernant la sécurité des données. Cette sécurité repose notamment sur le rapport de confiance existant entre le prestataire de services et l'école qui a recours à ses services. La personnalisation des données d'utilisation représente à cet égard un défi particulier. En général, le modèle d'affaires des prestataires de services prévoit que ceux-ci réutilisent pour leurs propres besoins les données personnelles des utilisateurs finaux. Cela devient problématique lorsque les données d'utilisation personnalisées sont revendues à des tiers ou qu'elles sont traitées par des tiers sans que les utilisateurs finaux en aient connaissance. Ces derniers doivent en outre gérer un grand nombre de comptes d'utilisateurs et de mots de passe, dans la majorité des cas un pour chaque service utilisé. Les données personnelles étant traitées différemment par les divers prestataires de services, les utilisateurs finaux sont confrontés à des conditions variées. Le rapport de confiance qui les unit aux prestataires de services doit dès lors être renégocié au cas par cas. Il faut régler les problèmes de protection des données et, par ailleurs, mettre en place à l'échelon national un accès sûr aux services en ligne à disposition de tous les niveaux du système éducatif.

La création d'un système qui assure un accès sûr aux services en ligne permettrait de décider de l'utilisation des données personnelles pour un cercle de personnes déterminé ainsi que de fixer et mettre en œuvre cette décision par voie contractuelle. À cette fin, les cantons sont en train de créer une Fédération des services d'identité (FIDES). Cette fédération prévoit d'établir des critères, des standards et

des règlements communs concernant les processus d'inscription aux services en ligne qui soient reconnus au niveau national, l'objectif étant que les prestataires de services et les fournisseurs d'identité y fassent référence. Grâce aux contrats passés entre la fédération, les prestataires de services et les cantons, les utilisateurs des services en ligne gagneront en sécurité juridique. Cette solution présente l'avantage d'instaurer des conditions-cadre valables pour l'ensemble des participants. Elle offre aux responsables de la formation l'opportunité de contrôler les flux de données, de les piloter et de mettre en place un accès aux services en ligne simple, sûr et gérable.

Objectif: Tous les acteurs du domaine de l'éducation (en particulier les élèves et les enseignants) jusqu'au degré secondaire II disposent d'une identité numérique qui est reconnue à l'échelle nationale.

Mesure:

- **La Confédération soutient l'important projet de création d'une Fédération des services d'identité (FIDES), afin que les établissements scolaires des différents niveaux (de l'école maternelle au degré secondaire II) puissent accéder aux médias et aux services numériques à l'échelle suprarégionale et interinstitutionnelle, conformément aux règles en la matière («espace de confiance»).**

Compétence: compétence commune de la Confédération et des cantons sur la base de l'art. 2, let. e et f ainsi que l'art. 6, let. b et d la CCoop-ESF

5.3 Champ d'action 3: Adaptation rapide du système éducatif aux exigences du marché

Comme on l'a vu au chapitre 3.2, le système de formation doit réagir rapidement à l'évolution des compétences demandées par le marché du travail suite à la numérisation, afin de garantir la compétitivité de la place économique suisse. Tous les niveaux de formation sont concernés – de la stimulation précoce de l'intérêt pour les MINT (mathématiques, informatique, sciences naturelles, technique), en passant par l'adaptation rapide de la formation professionnelle ou encore l'encouragement de la formation continue.

5.3.1 Encouragement du domaine MINT

Plusieurs études montrent que le choix des études et de la profession n'est pas déterminé uniquement par l'intérêt et le talent, mais aussi, et de façon marquée, par d'autres facteurs. Il est notamment influencé par le contexte parental ainsi que par le genre, surtout dans le domaine des MINT. Cela signifie qu'un certain nombre de talents qui auraient l'aptitude à parvenir à un haut niveau de qualification restent inexploités, ce qui représente une perte aussi bien pour l'économie que pour la société. Il convient donc d'élaborer des mesures visant à ce que le choix des études et de la profession soit moins influencé par les stéréotypes de genre et le niveau d'instruction des parents et à ce qu'il s'appuie davantage sur le talent et le potentiel des jeunes ainsi que sur la situation du marché de travail.

Objectif: Augmentation du nombre des élèves et des étudiants dans les branches MINT aux niveaux secondaire et tertiaire et augmentation de la part des femmes.

Mesures:

- **Conseillers en orientation professionnelle qualifiés dans le domaine des MINT et des TIC pour aider les élèves dans leur choix des études à la fin du degré secondaire I et au degré secondaire II, ainsi que les étudiants au degré tertiaire**

- La Confédération invite les cantons à poursuivre ou intensifier leurs efforts dans ce domaine.

Compétence: cantons

- **Éveiller l'intérêt des élèves pour les études MINT en dehors de l'école**

Dans le passé, il s'est révélé particulièrement efficace de sensibiliser très tôt les élèves aux branches MINT, surtout vu que le choix de l'option spécifique au gymnase a une influence sur le choix des études à venir. Actuellement, les mesures d'encouragement du domaine MINT en dehors de l'école sont mises en œuvres par les Académies suisses des sciences en étroite concertation avec la CDIP.

Pendant la période FRI 2013-2016, les Académies des sciences ont assumé un rôle de coordination des initiatives privées et publiques de promotion des filières MINT et ont aussi contribué à l'amélioration de la mise en réseau des acteurs MINT. Dans le cadre du programme d'encouragement « MINT Suisse », 28 initiatives MINT lancées par des tiers ont reçu un soutien financier après une évaluation en plusieurs étapes. Beaucoup d'autres acteurs ont également développé des initiatives MINT. C'est pourquoi les Académies ont élaboré une vue d'ensemble des offres MINT en dehors de l'école ou, en d'autres termes, une vue d'ensemble des mesures d'encouragement du domaine MINT prises par des organisations à but non lucratif, des pouvoirs publics, des entreprises, etc. Durant la période FRI 2017-2020, les Académies seront également soutenues dans le cadre de leur mandat MINT pour leurs activités dans ce domaine. La vue d'ensemble des offres MINT en dehors de l'école sera tenue à jour et disponible sur educamint.ch. La Confédération prévoit de renforcer le programme.

Compétence: Confédération (art. 11, al. 7, LERI)

- **Les acteurs privés et autres sont encouragés à emprunter de nouvelles voies pour créer des centres de technologie («fab-lab») où les jeunes peuvent voir des projets concrets et expérimenter les TIC avec le soutien de spécialistes.**

5.3.2 Formation professionnelle

Les contenus d'apprentissage doivent continuer à s'adapter de manière rapide et précise aux exigences du marché, comme il a été le cas jusqu'à présent. Dans le système de la formation professionnelle, l'écheveau des responsabilités entre les nombreux groupes d'intérêts et les structures fédérales entraînent des procédures parfois complexes et lentes, qui constituent un obstacle à des changements rapides. La densité réglementaire ainsi que la charge administrative dans son ensemble devraient être réduites au minimum nécessaire.

Le rythme soutenu de la numérisation accentuera le fait que les développements technologiques ne se font pas à la même vitesse dans toutes les branches et même d'une entreprise à l'autre. La tendance visant à relever le niveau de qualification et les besoins en professionnels qualifiés – notamment en raison des changements démographiques – existent toujours. Cela signifie d'une part que les nouveaux champs professionnels qui apparaissent dans les branches innovantes doivent être ancrés aussi vite que possible dans la formation professionnelle, sans que la qualité et la pertinence des diplômes de la formation professionnelle soient réduites. Les organes responsables devront ici aussi emprunter de nouvelles voies. D'autre part, cela signifie qu'il faudra examiner les possibilités de flexibiliser le système de la formation professionnelle, y compris celles de modulariser les offres de formation. Le lancement de projets pilotes innovants peut donner des impulsions importantes en la matière et inciter les acteurs concernés à chercher des complémentarités dans les filières de formation et à tester de nouvelles voies

de formation. Dans ce contexte, la numérisation offre également de nouveaux instruments permettant de concevoir les processus de manière plus efficace et plus efficiente.

Les développements technologiques rendent le savoir toujours plus facilement accessible. Les apprentis ont pour la plupart une bonne formation préalable dans le domaine technologique. La numérisation rend possibles des modes d'apprentissage plus souples, sans contrainte de lieu ni d'horaire et adaptés aux besoins individuels. Il en résulte une augmentation des exigences auxquelles doivent satisfaire les enseignants dans les écoles, sur les différents lieux de formation et dans les entreprises. Même si de nombreuses plateformes d'apprentissage électroniques ont déjà été mises en place, les lacunes des contenus des formations, notamment dans la partie générale (par ex. en ce qui concerne les compétences TIC) ainsi que dans la transmission des compétences sociales et personnelles (faculté d'abstraction, pensée systémique ou esprit critique), doivent être comblées. Il s'agit donc d'examiner l'opportunité de procéder à des correctifs.

Objectif: Les filières de formation professionnelle (FPI et FPS) et les contenus des formations s'adaptent rapidement aux exigences du marché du travail.

Mesures:

- **Renforcement des mécanismes d'innovation lors de la définition des contenus de formation**
 - La Confédération vérifie le processus de développement des professions pour garantir une adaptation plus rapide et plus flexible des ordonnances sur la formation et un assouplissement des contenus soumis à ces ordonnances.
 - Lors de la révision des contenus de formation prévus par les ordonnances sur la formation, il convient d'accorder une haute priorité aux exigences de l'économie numérique (prise en compte de la numérisation).
 - La Confédération soutient une intégration facilitée des contenus de formation transversaux qui sont importants pour la numérisation. L'objectif devrait être d'aligner les contenus de formation sur les entreprises les plus innovantes dans leurs branches.
- **Encouragement plus flexible des nouveaux profils de profession et des projets innovants**
 - La Confédération soutient le raccourcissement et la flexibilisation du processus de développement des professions et encourage le développement de nouveaux profils de profession. La désignation d'organes responsables à titre temporaire peut également être envisagée.
 - En lançant des projets pilotes, la Confédération incite les acteurs concernés à développer de nouvelles idées concernant la constitution et la structure des contenus de formation, de nouveaux profils de profession et la complémentarité avec d'autres profils de profession.
- **Intégration de la numérisation et des contenus numériques sur les différents lieux de formation**
 - La Confédération se penche sur le renforcement des compétences numériques et transversales dans l'enseignement de la culture générale (CG) et dans le plan d'études cadre (PEC).
 - La Confédération soutient l'amélioration de la transmission du savoir et du réseautage entre les lieux de formation grâce à l'utilisation des technologies numériques.

Compétence: Partenariat de la formation professionnelle selon la LFPr (entre autres art. 54 et 55 LFPr). Les mesures seront discutées au sein du partenariat sur la base du processus stratégique «Formation professionnelle 2030» et mises en œuvre dans le cadre des compétences respectives.

5.3.3 Formation continue

Une étude réalisée en Allemagne par l'«Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung»¹⁰² montre que l'automatisation des activités routinières concerne en particulier le domaine de la fabrication et les activités qui requièrent relativement peu de qualifications. C'est précisément dans ce domaine que l'intégration de technologies numériques dans les processus de travail modifie les profils d'activité et, partant, les qualifications demandées aux travailleurs¹⁰³. Cette intégration se traduit par un besoin accru de formation continue. C'est pourquoi, dans le domaine de la formation continue, les champs d'action se concentrent principalement sur les personnes actives qui ont un niveau de qualification peu élevé.

La Constitution confère à la **Confédération** la tâche de fixer les principes applicables à la formation continue. La loi sur la formation continue¹⁰⁴ entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2017 concrétise cette obligation en réglant les principes relatifs à la responsabilité, à la qualité, à la prise en compte des acquis dans la formation formelle, à l'amélioration de l'égalité des chances et à la concurrence. La loi prévoit en outre des conditions homogènes pour les subventions fédérales allouées à la formation continue en vertu des lois fédérales spéciales.

De plus, la loi sur la formation continue règle l'encouragement de l'acquisition et du maintien de compétences de base chez les adultes. La loi a pour but d'améliorer la coordination des mesures en place aux échelons fédéral et cantonal et de donner à la Confédération la possibilité de verser aux cantons des subventions spécifiques pour des mesures de soutien à l'acquisition et au maintien de compétences de base chez les adultes. Il s'agit de permettre aux groupes cibles visés d'acquérir les compétences de base qui leur font défaut en lecture, écriture et expression orale dans une langue nationale, en mathématiques élémentaires et dans l'utilisation des technologies de l'information et de la communication, afin de favoriser l'intégration de ces personnes dans la société et le marché de l'emploi.

Enfin, l'article 12 de la loi sur la formation continue permet l'octroi d'aides financières à des organisations actives dans le domaine de la formation continue qui s'occupent de manière prépondérante de questions liées à la formation continue, sont actives à l'échelle nationale et fournissent des prestations d'ordre général au profit de la formation continue.

D'autres lois fédérales spéciales contiennent également des dispositions sur la formation continue, par exemple:

- la loi fédérale sur la formation professionnelle (LFPr) régit la formation continue à des fins professionnelles;
- différentes dispositions fédérales concernent les mesures de réinsertion professionnelle en cas de chômage ou d'invalidité;
- le droit des obligations et le droit du travail contiennent également des dispositions concernant la formation continue;
- des mesures de formation continue sont soutenues aussi dans le cadre des politiques d'intégration socioculturelle de groupes spécifiques, telles que la politique des étrangers, la politique en faveur de la jeunesse et des sports et de l'égalité des personnes avec un handicap.

Au niveau des **cantons**, la formation continue à des fins professionnelles est régie dans les lois d'application de la loi sur la formation professionnelle. La formation continue générale (à l'exclusion de celle orientée à des fins professionnelles) peut quant à elle être réglementée de manières diverses tant du point de vue législatif que du point de vue de l'organisation, par exemple dans une loi spécifique sur la formation continue, dans le cadre de la réglementation de la formation continue à des fins professionnelles, dans les lois scolaires et sur la culture ou dans d'autres bases légales. Les cantons coordonnent

¹⁰² Dengler/Matthes (2015) : «Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt – Substituierbarkeitspotentiale für Deutschland». Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung.

¹⁰³ Cf. Conseil fédéral (2017) : «Rapport sur les principales conditions-cadre pour l'économie numérique», p. 41.

¹⁰⁴ Loi fédérale sur la formation continue

les tâches interrégionales en matière de formation continue par le biais de la Conférence intercantonale de la formation continue (CIFC). La CIFC est une conférence spécialisée de la CDIP qui s'engage pour l'apprentissage tout au long de la vie. Elle est composée de délégués cantonaux responsables de la formation continue.

Objectif: Les personnes actives possèdent les compétences numériques requises par le monde du travail.

Mesures:

- **Prévention: promotion de l'apprentissage de compétences de base et de compétences numériques tout au long de la vie afin de prévenir le licenciement du personnel n'ayant pas les compétences requises par les entreprises**
 - Dans le cadre de la loi sur la formation continue, la Confédération soutient les cantons pour l'encouragement de l'acquisition et du maintien des compétences de base chez l'adulte. Les compétences de base – qui comprennent également les connaissances de base en matière d'utilisation des technologies de l'information et de la communication – sont indispensables pour pouvoir participer à l'apprentissage tout au long de la vie.
Compétence: Confédération (art. 16 LFCo) et cantons
 - La Confédération invite les entreprises à profiter des entretiens de bilan avec les collaborateurs pour détecter rapidement les risques potentiels et les compétences manquantes et à y remédier.
Compétence: entreprises
 - La Confédération encourage les cantons à proposer, dans le cadre de l'orientation professionnelle, également des offres pour les personnes actives dans les branches ou les professions à haut potentiel d'automatisation.
Compétence: cantons
 - La Confédération élabore, d'ici fin novembre 2017, des critères d'encouragement de la formation continue de travailleurs peu qualifiés et de travailleurs âgés dans le domaine des compétences de base (notamment informatiques et linguistiques), en se fondant sur la loi sur la formation professionnelle. Dans le même délai, les ressources financières nécessaires devront être chiffrées et demandées au Conseil fédéral.
Compétence: Confédération (art. 5, al. 2-4 LFCo et 32, al. 2, lett. a LFPr).
- **Réaction au changement structurel: la formation continue à des fins professionnelles permet le maintien dans la vie active**
 - Fondamentalement, la formation continue relève de la responsabilité individuelle. Elle est en outre favorisée par les employeurs. La Confédération et les cantons peuvent intervenir à titre subsidiaire (art. 5 LFCo). Ainsi, l'art. 32 LFPr donne à la Confédération la possibilité de soutenir les offres visant à permettre aux personnes dont la profession connaît des modifications structurelles de se maintenir dans la vie active. Les cours de formation continue à des fins professionnelles qu'elle encourage doivent être coordonnés avec les mesures concernant le marché du travail prévues par la loi sur l'assurance-chômage.

L'intervention de la Confédération suppose – outre les conditions de la responsabilité en cascade prévue par la LFCo – qu'il y ait un groupe cible clairement défini et des contenus de formation précis.

Pour l'heure, il n'est pas nécessaire d'intervenir dans d'autres domaines que celui des compétences de base et des connaissances fondamentales en informatique.

Compétence: Confédération (art. 5, al. 2-4 LFCo et art. 32, al. 2, let. a LFPr).

5.3.4 Cyber-Defence

Comme le montrent les travaux réalisés par le DDPS avec le SEFRI dans le cadre de la Stratégie nationale pour la protection de la Suisse contre les Cyberrisques (NCS), le paysage de la formation dans le domaine de la cybersécurité ne comprend pas encore le domaine de la cyberdéfense. C'est là un important déficit en regard du nombre, de la nature et des conséquences croissantes des cyberattaques déjà quotidiennes. Plusieurs travaux et stratégies réalisés au sein de la Confédération pointent vers ce déficit qui est particulièrement problématique du point de vue des infrastructures critiques et du DDPS (armée en particulier). Le personnel des infrastructures critiques dédié à de telles tâches fait défaut et ne trouve pas de formations adéquates (de base ou continue), chacun cherchant ou réalisant des solutions ad hoc sans coordination. Quant à l'armée, il est attendu d'elle un appui subsidiaire mais elle peine également à trouver et former son personnel et étudie des solutions. En plus des déficits constatés, on observe une forte hétérogénéité du personnel actif dans ce domaine, ce qui complique d'autant les professionnels à interagir, notamment en temps de crise.

Il convient donc d'élaborer des mesures visant à 1) détecter et sélectionner à temps les personnes compétentes, 2) définir et établir les filières pour créer les contingent métiers de base nécessaires, 3) disposer d'un mécanisme permettant d'entretenir / maintenir ce personnel à l'engagement dans ce domaine.

En termes de priorité la logique suivante se dessine: 1) personnel de l'armée afin de lui permettre de délivrer le plus rapidement possible une aide subsidiaire compétente, 2) personnel des infrastructures critiques (par branche, avec priorisation sur les fonctions vitales pour le fonctionnement du Pays) et 3) formation continue des deux premières catégories et formation du personnel général au profit de l'ensemble du tissu économique.

Objectif: Mise en place d'un contingent de spécialistes pour la défense en faveur de l'armée et les exploitants d'infrastructures critiques.

Mesure:

Le DDPS vient de terminer la conception de son Plan d'Action Cyberdéfense DDPS (PACD). Les unités organisationnelles sont chargées, d'ici au 30 octobre 2017, d'élaborer les «détails métiers». Ce plan prévoit une étroite collaboration avec les infrastructures critiques, les hautes écoles et l'économie et un démarrage des activités de formation est envisagé pour l'automne 2018. En parallèle le DFF conduit la révision de la Stratégie nationale pour la protection de la Suisse contre les cyberrisques. En conséquence, les mesures pour atteindre ce but pourront être présentées aux instances décisionnelles du DDPS et du DEFR à fin mars 2018, notamment leurs contours financiers.

Compétence : Confédération (DDPS, SEFRI, SATW ; Bases juridiques: Art 100 al. 1 et 2 LAAM, Art. 26 et 37 LRens)

5.4 Champ d'action 4: Coordination et communication dans la coopération en matière de formation

La collaboration existante dans ce domaine entre la Confédération et les cantons doit continuer et même s'intensifier, afin de coordonner leurs stratégies, d'améliorer le monitoring du système éducatif et de mettre en place une communication ouverte et coordonnée sur les chances et les risques de la numérisation dans le domaine de la formation. Le nouveau Comité de coordination Numérisation dans l'éducation (CC N) a la tâche de veiller à la cohérence des objectifs et des mesures aux différents niveaux de formation. Le besoin de disposer de bases de décision fondées sur des données statistiques et scientifiques augmente toujours plus. Des bases factuelles fiables permettent en effet aux autorités de faire des choix éclairés. De plus, la Confédération doit, de concert avec les cantons, suivre les développements internationaux dans le domaine de la numérisation de l'éducation et les rendre applicables dans toute la Suisse (par exemple, analyse de la nécessité de mettre en place, en Suisse, une initiative similaire à celle de l'Union européenne « Digital Skills and Jobs Coalition »).

La Confédération et les cantons ont encore une autre mission importante qui concerne l'ensemble du système, à savoir celle de sensibiliser la population aux avantages et aux risques de la numérisation dans le domaine de l'éducation. Pour pallier au sentiment d'insécurité qui résultera des changements présentés ci-dessus, il s'agira de communiquer de manière responsable et coordonnée. Même si les défis à relever sont grands, la numérisation doit être considérée comme une chance pour le développement de l'espace de la formation et celui de chaque acteur concerné.

Objectif: La Confédération et les cantons renforcent leur coopération pour faire face aux défis de la numérisation, s'accordent sur leurs stratégies et communiquent de façon coordonnée les avantages et les risques liés à la numérisation dans le domaine de la formation.

Mesures:

- **Renforcement de la coordination systémique entre la Confédération et les cantons**
 - Développer davantage des bases de décision fondées sur les données statistiques et scientifiques.
 - Observer plus attentivement les développements internationaux et mieux les exploiter.

Compétence: compétence commune de la Confédération et des cantons sur la base de l'art. 2, let. e et f ainsi que l'art. 6, let. b et d de la CCoop-ESF

- **Garantir une communication ciblée et coordonnée sur les chances et les risques de la numérisation dans le domaine de l'éducation ainsi que sur les mesures prises en la matière**
 - Il s'agit de lancer, à tous les niveaux de formation, une campagne de sensibilisation et de communication portant aussi bien sur les avantages et les risques de la numérisation dans le domaine de l'éducation que sur les mesures déjà prises.

Compétence: compétence commune de la Confédération et des cantons sur la base de l'art. 2, let. e et f ainsi que l'art. 6, let. b et d de la CCoop-ESF

6 Champs d'action et mesures dans le domaine recherche/innovation et hautes écoles

Pour les individus, la société et l'économie, les changements liés à la numérisation sont hautement complexes et encore largement incompris dans leur contexte. C'est pourquoi la recherche sur les questions sociétales, juridiques et politiques en matière de numérisation revêt une importance capitale. Ses résultats forment une base solide qui permet à la politique et à la société de mieux comprendre le tournant numérique, de le gérer de manière responsable, de renforcer l'acceptation d'un monde numérique et la confiance qu'on lui accorde ainsi que de mettre à profit, à tous les niveaux, les possibilités qu'offre la numérisation.

L'une des caractéristiques principales du tournant numérique est son dynamisme: les technologies numériques évoluent rapidement et peuvent provoquer des changements fondamentaux dans de nombreux domaines, notamment celui du monde du travail, et soulèvent des questions du développement des compétences et de la transmission de ces compétences dans les domaines de l'enseignement (formation initiale et formation continue) et de la recherche (promotion de la relève).

Les chapitres précédents montrent que les domaines de formation ont déjà réagi face à l'importance croissante de la numérisation et que, fondamentalement, la Suisse occupe une très bonne position en la matière. Cependant, la numérisation de l'économie, toujours plus basée sur la recherche, soulève différentes questions, notamment sur la manière d'offrir un soutien optimal aux hautes écoles suisses pour l'enseignement et la qualification de la relève afin de contribuer à répondre à ce défi. Dans ce contexte, il convient de tenir compte de l'autonomie des hautes écoles et d'inclure les cantons, en tant que collectivités responsables, suffisamment tôt et de manière appropriée dans la planification d'éventuelles mesures.

Au vu de la vitesse et de l'ampleur énormes auxquelles se propage la numérisation dans les divers secteurs, l'informatique dans sa totalité, en tant que science de base, gagne en importance dans d'autres domaines de recherche. Les sciences informatiques occupent aujourd'hui une place particulière dans tous les domaines du savoir, des sciences naturelles aux sciences humaines (par ex. les sciences humaines numériques/digital humanities, cf. annexe 3). En outre, la pertinence de la proximité de la recherche pour de nombreuses branches économiques continue de croître. L'économie suisse est fortement dépendante de la recherche et développement, de l'innovation et des nouvelles technologies. Elle a de ce fait grand intérêt à utiliser les possibilités de cette évolution, ce qui requiert un renforcement non seulement de la recherche fondamentale liée aux TIC, mais aussi du transfert de savoir et de technologie.

Par ailleurs, les technologies numériques offrent de nouvelles solutions possibles dans de nombreux domaines politiques principaux, tels que l'énergie, les transports, la santé, la sécurité, la culture et la communication. L'évolution numérique recèle donc un potentiel énorme, mais sa maîtrise pose des défis majeurs face auxquels les services compétents et les offices de la Confédération estiment que des mesures ciblées doivent être mises en œuvre afin de contribuer à assurer la disponibilité des compétences de recherche et au renforcement de la qualification des spécialistes.

L'analyse des faiblesses de la Suisse et des défis auxquels elle fait face montre que le pays est globalement bien positionné – en ce qui concerne la recherche et les hautes écoles – pour faire face aux défis liés à la numérisation. Toutefois, l'analyse révèle également quelques points faibles, notamment concernant les capacités de recherche nécessaires pour couvrir dans toute l'étendue et au meilleur niveau la numérisation en tant que science de base.

Pour relever les défis mentionnés, des mesures supplémentaires doivent être arrêtées en complément des actions lancées dans le cadre du message FRI 2017-2020. Elles sont divisées en quatre champs d'action (liés entre eux de manière systémique):

- Champ d'action 5: Renforcement de la qualification de la relève (compétences numériques)
- Champ d'action 6: Maintien de la recherche interdisciplinaire sur les conséquences du tournant numérique pour l'économie et la société suisses
- Champ d'action 7: Renforcement des compétences dans la recherche fondamentale
- Champ d'action 8: Encouragement de l'innovation: accélération du transfert de savoir

Les recommandations suivantes se limitent aux mesures qui sont pertinentes et indiquées pour contrer les faiblesses de la Suisse face aux enjeux de la numérisation. La sélection a été réalisée en fonction des critères suivants:

- limitation à des mesures relevant de la compétence de la Confédération et déployées en étroite collaboration avec les acteurs du domaine des hautes écoles;
- limitation au soutien d'initiatives en cours dans le domaine des EPF ou dont la planification est déjà bien avancée;
- appui sur les instruments d'encouragement compétitifs de la Confédération déjà établis pour l'encouragement de la recherche et de l'innovation.

Outre les mesures à court terme (dès 2019), le thème de la numérisation fera partie du mandat de la CSHE dans le cadre de la planification stratégique des hautes écoles pour les années 2021 à 2024. La planification stratégique constitue la base sur laquelle sont choisies les priorités du message FRI. À cette fin, la Confédération et les cantons (CSHE) ont mandaté swissuniversities pour l'élaboration de propositions de projets correspondantes.

6.1 Champ d'action 5: Renforcement de la qualification de la relève (compétences numériques)

La numérisation croissante place aussi les hautes écoles face à d'importants défis relatifs aux infrastructures d'information scientifiques et à l'adaptation des formes d'enseignement et d'apprentissage ainsi que des contenus d'enseignement, c'est-à-dire l'adaptation de la transmission des compétences d'application liées à l'évolution des technologies numériques (compétences numériques).

Concernant les infrastructures d'information scientifiques, il convient de savoir comment organiser l'accessibilité et l'utilisation des informations numériques nécessaires à l'enseignement et à la recherche de sorte que les informations soient librement accessibles à un coût modeste. Plusieurs mesures ont déjà été proposées en ce sens (cf. aperçu des mesures à l'annexe 3).

Le même type de question se pose pour le développement de nouvelles formes d'enseignement et d'apprentissage. Dans les hautes écoles, la numérisation a également gagné les formes d'enseignement et d'apprentissage ainsi que leur développement et génère des changements durables. Les nouvelles possibilités qu'offre la technologie auront une influence considérable sur l'enseignement et l'apprentissage (technologie éducative). L'adaptation de l'enseignement relève de la compétence des hautes écoles, lesquelles ont déjà pris des mesures appropriées (cf. annexe 3).

Face au besoin élevé en diplômés du degré tertiaire dans le domaine des TIC (cf. ch. 3.1), les hautes écoles jouent un rôle très important dans la formation et la qualification de la relève en matière de compétences numériques. Outre le côté quantitatif, il est capital qu'elles transmettent les qualifications requises par la science, l'économie et la société dans les filières de formation et de formation continue proposées. Cependant, les exigences de qualification liées à la numérisation progressive ne concernent pas uniquement les spécialistes TIC au sens strict (professions de l'informatique), elles sont également

déterminantes pour la formation initiale et continue dans d'autres disciplines. Il est fort probable que de nombreux thèmes gagneront en importance dans tous les domaines d'études, notamment la réflexion critique (culture numérique), le comportement face aux technologies numériques ainsi que le renforcement accru de nouvelles capacités en analyse de données et en traitement de l'information dans le domaine interdisciplinaire. En ce qui concerne la transmission de compétences numériques dans toutes les branches, des mesures supplémentaires sont nécessaires.

Afin d'avoir la meilleure adéquation possible entre les qualifications transmises et celles requises, les hautes écoles cultivent les échanges avec l'économie et la société, évaluent continuellement le besoin et la pertinence pratique de nouvelles offres de formation initiale et continue et adaptent elles-mêmes leur palette de cours en conséquence. Le principe d'autonomie des hautes écoles constitue, pour le domaine des TIC comme pour les autres disciplines, l'un des moteurs principaux du développement continu et réussi des offres de formation.

Objectif: renforcement des compétences numériques dans tous les domaines d'études.

Assurer dans tous les domaines d'études une relève qualifiée et les compétences nécessaires en technologies numériques. Aborder les thèmes touchant aux technologies intelligentes plus tôt dans l'enseignement et la formation et transmettre aux étudiants de tous les domaines des compétences relatives aux technologies de numérisation.

Mesure:

- **Renforcement des compétences numériques au moyen de l'instrument des «contributions liées à des projets»**

La Confédération finance à titre subsidiaire les universités cantonales et les hautes écoles spécialisées par divers types de contributions, conformément à la loi sur l'encouragement et la coordination des hautes écoles (LEHE). Les *contributions liées à des projets* sont les seules qui peuvent être affectées spécifiquement à un thème¹⁰⁵; elles sont allouées à des projet coordonnées entre les hautes écoles, proposés par la Conférence des recteurs (*swissuniversities*) et sélectionnés par la CSHE, dans le but d'atteindre des objectifs et des tâches définis en commun¹⁰⁶. Le 19 mai 2017, la CSHE a invité *swissuniversities* à élaborer des projets.

Comme mesure à court terme, *swissuniversities* propose des projets de collaboration entre les hautes écoles contribuant à renforcer les compétences numériques. La palette de propositions est volontairement large et englobe tant des projets dans les domaines de la didactique, de la technologie éducative, des formes d'enseignement et d'apprentissage ainsi que des profils d'exigences pour les programmes d'études, que des mesures prises en sciences humaines numériques et en information scientifique.

Compétence: *swissuniversities* et CSHE

¹⁰⁵ Base légale: art. 47, al. 1, let.c, LEHE en relation avec l'art 59 LEHE.

¹⁰⁶ Les contributions liées à des projets en vertu de la LEHE sont attribuées sur quatre ans et constituées à 50 % de fonds propres (*matching funds*).

6.2 Champ d'action 6: Maintien de la recherche interdisciplinaire sur les conséquences du tournant numérique pour l'économie et la société suisses

Les changements sociétaux, économiques et de formation dans le cadre de la numérisation feront surgir des défis encore largement incompris actuellement. Une intensification de la recherche interdisciplinaire est nécessaire à leur meilleure compréhension. La mise en place de nouvelles priorités de recherche dans toutes les disciplines scientifiques permettra de renforcer les compétences de recherche, l'accent portant sur les conséquences de la numérisation sur la société.

Objectif: renforcement des compétences de recherche ayant pour but d'étudier les conséquences de la numérisation sur la société, sur l'économie et sur la formation.

Promouvoir le savoir et la relève scientifique en tenant compte de questions thématiques autour de la numérisation; renforcer la recherche sur la base de questions pertinentes pour la société, abordant de nombreux thèmes tels que la société, l'économie, le droit, la politique et la sécurité.

Mesure:

- **Lancement d'une nouvelle série de PNR interdisciplinaires sur la « transformation numérique »**

Les programmes nationaux de recherche (PNR) apportent une contribution scientifiquement fondée à la résolution de problèmes urgents d'importance nationale. Le lancement d'un PNR (ou d'une série de PNR)¹⁰⁷ vise à étudier les conséquences de la numérisation dans un cadre permettant d'analyser systématiquement les enjeux majeurs posés par la numérisation dans leur interaction et sous l'angle des actions à entreprendre¹⁰⁸.

Les aspects de société figurent au centre des recherches. Les questions prises en compte sont notamment des questions d'organisation des processus démocratiques, de culture, de développement des formes d'emploi ou de productivité à l'ère numérique.

Des questions plus spécifiques doivent être étudiées concernant la sécurité des données, sur la protection de la sphère privée (au niveau des réglementations) et sur la sécurité informatique des nouvelles technologies dans divers domaines d'utilisation (par ex. infrastructures critiques). Le monde du travail et diverses branches (secteur de la production et secteur des services) requièrent également une attention particulière à la lumière des transformations dues à la numérisation (chances et risques).

Le Fonds national suisse (FNS) examine la faisabilité scientifique des programmes conformément à une procédure établie, au besoin en collaboration avec la CTI/Innosuisse. Pour la préparation des propositions de programmes, le DEFR (SEFRI) établit une commission d'experts nationale, composée de représentants de la CSHE, de swissuniversities et des organisations du monde du travail.

Compétence: Confédération (DEFR) et FNS (au besoin en collaboration avec la CTI/Innosuisse)

¹⁰⁷ Base légale: art. 7, al. 3, LERI en relation avec l'art. 10, al. 2, let. c, LERI, art. 5, al. 4, O-LERI.

¹⁰⁸ Le PNR proposé remplacera le programme en cours «Big Data».

6.3 Champ d'action 7: Renforcement des compétences dans la recherche fondamentale (informatique/sciences informatiques)

La recherche fondamentale, tout comme l'accès à ses résultats, jouent un rôle décisif dans la création d'innovations technologiques. Les technologies clés sont alors d'importants moteurs pour l'innovation. Les innovations en microélectronique, en photonique/optique, en biotechnologie, en technologies de production, en sciences des matériaux et en nanosciences permettent l'élaboration de nouveaux produits, procédures et services dans de nombreux domaines d'application de l'industrie et de la société¹⁰⁹. Pour de nombreuses technologies majeures, la Suisse dispose d'une recherche fondamentale d'excellente qualité et très compétitive en comparaison internationale, notamment dans le domaine des EPF. Les avancées produites par les technologies de l'information et de la communication et par les nouvelles technologies de numérisation infiltrent les technologies clés déjà établies, interagissent avec elles, les influencent considérablement et contribuent à leur développement. L'avance prise dans le développement des connaissances sur les technologies numériques clés sera décisive pour le succès du système d'innovation national. C'est pourquoi la production de savoir et la recherche fondamentale dans le domaine des TIC (technologies numériques) revêtent une importance capitale.

Selon les analyses présentées (cf. ch. 4.1), par rapport à d'autres grands domaines de recherche comme la physique ou les sciences de la vie, l'activité de recherche en Suisse dans les domaines des technologies numériques n'est pas, dans l'ensemble, une activité prioritaire, mais elle s'appuie tout de même sur des prestations de recherche de très haute qualité dans certains domaines. Au sein des clusters de recherche dédiés aux TIC, la Suisse est toutefois à la traîne, précisément dans les domaines de recherche qui couvrent la majeure partie des technologies émergentes en matière de numérisation. En outre, si l'on compare les deux EPF aux instituts de recherche à la pointe mondiale dans le domaine des sciences informatiques, on constate que les deux écoles, acteurs scientifiques de premier plan pour la Suisse, disposent de capacités comparativement très limitées en ce qui concerne le nombre de postes de professeurs.

Etant donné que tant la vitesse d'utilisation que l'ampleur des technologies de numérisation ont nettement gagné en importance dans tous les domaines, il n'est pas possible d'imaginer aujourd'hui quelles compétences et quelles technologies seront nécessaires à l'avenir. Ce qui est sûr, c'est que la recherche fondamentale, dans son ensemble, occupera une position centrale dans la mise en lien des technologies clés. Compte tenu de ces éléments, les résultats montrent que des mesures supplémentaires sont nécessaires pour le renforcement des compétences dans la recherche fondamentale numérique (informatique/sciences informatiques), ce que confirme également l'analyse d'un groupe d'experts issus du monde scientifique et économique qui constatait une réelle nécessité d'agir en Suisse dans certains domaines de recherche liés aux TIC.

Objectif: Renforcement des compétences dans l'ensemble de la recherche fondamentale en informatique et sciences informatiques, compte tenu de l'importance de ces domaines pour d'autres domaines de recherche.

Maintenir un haut niveau de recherche et développement en informatique/sciences informatiques. Les sciences de l'information seront au 21^e siècle ce que la physique a été au 20^e siècle: une science de base sur laquelle se fondent d'autres sciences et d'autres applications. Le développement des compétences doit donc prendre en compte ce principe de transversalité bien plus que par le passé; il s'agit de renforcer et garantir la production de savoir au titre de recherche fondamentale, en vue de nouvelles applications dans tous les secteurs. L'attention devra notamment porter sur les cyberrisques et la protection contre ces risques.

¹⁰⁹ Cf. SATW Technology Outlook 2017.

Mesures:

- **Renforcement de l'encouragement compétitif de la recherche par le biais des pôles de recherche nationaux PRN (5^e série)**

Les pôles de recherche nationaux (PRN)¹¹⁰ constituent un instrument qui permet à la Confédération de soutenir des projets de recherche de grande qualité sur le long terme traitant de thèmes d'importance nationale. Ils servent également à renforcer la répartition du travail entre les hautes écoles et la coordination dans les domaines de recherche d'importance stratégique pour la Suisse. Les PRN sont financés, d'une part, par la contribution fédérale et, d'autre part, par les moyens propres des hautes écoles et les contributions de tiers. Dans le cadre de la mise au concours de la cinquième série de PRN, dans les limites de la procédure ordinaire, la priorité peut être accordée aux projets issus des sciences informatiques afin de consolider la recherche fondamentale dans le domaine des TIC. Sur la base des recommandations du FNS, le DEFR prend la décision finale quant à la mise en œuvre des projets¹¹¹.

Compétence: Confédération (DEFR) et FNS

- **Développement des compétences «informatique/sciences informatiques» dans le domaine des EPF**

L'importance que prennent les TIC dans d'autres domaines professionnels et dans les technologies exige désormais une recherche fondamentale plus fortement axée sur l'interdisciplinarité en informatique. En outre, il est également essentiel de mener en parallèle des activités de recherche fondamentale et de recherche orientée vers les applications. Les initiatives du domaine des EPF dans le secteur de la science des données (notamment la création du Swiss Data Science Center SDSC, cf. annexe 3) abordent cette problématique dans un sous-domaine et confirment le potentiel existant en la matière.

Des compétences de recherche supplémentaires pour la recherche fondamentale en informatique et en sciences de l'informatique à large éventail sont nécessaires pour donner des impulsions déterminantes à la mise en relation des technologies numériques avec les d'autres technologies clés. Il convient de prévoir un développement progressif des compétences dans le domaine des EPF en créant de nouveaux postes de professeur compte tenu de la planification stratégique 2021-2024 de swissuniversities, et de doter ainsi la Suisse d'une base institutionnelle qui puisse rivaliser en termes de ressources avec les centres de références de renommée mondiale¹¹².

Compétence: Confédération/domaine des EPF (EPFZ et EPFL)

6.4 Champ d'action 8: Encouragement de l'innovation : accélération du transfert de savoir

La numérisation crée de nouveaux potentiels de valeur ajoutée dans différents domaines de l'économie. En plus du transfert de savoir vers les branches et les entreprises qui développent et commercialisent principalement des produits ou services numériques et qui recherchent et gardent souvent une certaine proximité avec les établissements de recherche actifs dans le domaine, il convient de faire en sorte que les nouvelles solutions et possibilités technologiques puissent également être exploitées par l'industrie suisse afin de garantir et augmenter sa performance et sa compétitivité.

¹¹⁰ Base légale: art. 7, al. 3, LERI en relation avec l'art. 10, al. 2, let. c, LERI, art. 13, al. 1, O-LERI.

¹¹¹ La procédure se fait en deux étapes. Les esquisses pour de nouveaux PRN sont d'abord évaluées par un comité international et le FNS d'un point de vue de qualité, d'interdisciplinarité et de caractère novateur. Le FNS recommande ensuite au DEFR une sélection des requêtes les mieux évaluées en vue de leur réalisation.

¹¹² Base légale: art. 7 en relation avec l'art. 34b de la loi sur les EPF.

Dans le domaine des technologies de fabrication modernes, de nombreux entrepreneurs suisses, et plus particulièrement des PME, se retrouvent face à des défis spécifiques liés à numérisation progressive dans l'industrie (souvent appelée industrie 4.0). Non seulement parce que la numérisation donne lieu à de nouveaux modèles d'affaires (notamment dans le cadre des chaînes de valeur continues et d'une meilleure mise en réseau de l'Internet des objets) et qu'elle infiltre les processus de production actuels (par le biais entre autres de l'utilisation de robots et de l'automatisation industrielle), mais aussi parce que les technologies de production elles-mêmes sont soumises à de grands changements. La fabrication additive, processus relativement nouveau, est un exemple d'une technologie de fabrication présentant une forte densité d'intégration. Les possibilités qu'offrent les technologies numériques, telles que la simulation, l'enregistrement et l'analyse des données, la visualisation, la capacité d'apprentissage des systèmes ou l'assistance lors du maniement des machines, permettent de mieux intégrer nombre d'autres technologies de fabrication largement répandues et d'augmenter la productivité. Le déploiement de ces technologies de fabrication avancées et fortement numérisées (*Advanced manufacturing*) nécessite une collaboration accrue entre les spécialistes des différentes disciplines (cf. ch. 2.3).

Par ailleurs, le TST revêt une importance particulière en ce qui concerne les enjeux pour les domaines politiques centraux (cf. ch. 2.4). La saisie des données se fait de plus en plus de manière décentralisée, grâce à l'amélioration des systèmes de capteurs. La numérisation crée ainsi par exemple de nouvelles conditions pour les processus de pilotage et la sécurité des infrastructures sensibles, notamment dans les domaines de l'énergie et des transports. Il s'agit ici directement de recherche appliquée, étant donné que les infrastructures actuelles ne peuvent pas être reconstruites à partir de zéro, mais qu'elles sont plutôt remplacées et complétées au fur et à mesure.

Ces constatations montrent que des mesures supplémentaires sont nécessaires en ce qui concerne l'accélération du TST et l'encouragement de l'innovation sur la base des technologies numériques, ce que confirment également divers offices fédéraux.

Objectif: Accélération du TST pour l'encouragement de l'innovation destiné aux PME dans le domaine des technologies de production avancées. Développement et renforcement de la sécurité des infrastructures centrales (énergie/transports).

Assurer la disponibilité des compétences et des qualifications nécessaires et garantir le transfert de savoir et de technologie au sein des champs centraux pour l'économie suisse et des domaines politiques importants. Les défis particuliers que pose le renforcement du transfert de savoir et de technologie concernent les évolutions dans le cadre de l'industrie 4.0, les processus de fabrication additive ainsi que le développement et la sécurité des infrastructures sensibles.

Mesures:

- **Lancement d'un programme d'impulsion CTI/Innosuisse «technologies de fabrication»¹¹³**

Le développement de technologies de fabrication avancées et fortement numérisées exige une collaboration accrue entre les spécialistes des différentes disciplines. Sont notamment concernés l'informatique, le génie électrique, le génie mécanique, les sciences des matériaux et les sciences naturelles telles que la chimie et la physique. En la matière, les compétences de recherche nécessaires sont disponibles pour l'essentiel dans les hautes écoles et dans les institutions de recherche. Le développement des technologies de fabrication ou des différents com-

¹¹³ Base légale: art. 7, al. 3, LERI en relation avec l'art. 3, al. 6, LASEI

posants de ces technologies est une tâche qui est généralement menée par des équipes interdisciplinaires, composées de scientifiques issus des différents instituts de formation et hautes écoles, ainsi que, dans les phases plus tardives, en étroite collaboration avec l'industrie.

Les objectifs du programme d'impulsion «technologies de fabrication» sont élaborés de manière similaire à ceux du programme BRIDGE du FNS et de la CTI, ce qui permet de combler la lacune entre les projets CTI, plutôt axés sur le développement de produits, et les programmes d'encouragement du FNS, plutôt orientés quant à eux sur la recherche fondamentale. Semblable au programme BRIDGE mais avec un accent thématique, le programme d'impulsion «technologies de fabrication» donne la possibilité de mener des projets mélangeant recherche fondamentale et transfert de technologie, sur lesquels travaillent ensemble d'importants consortiums ou réseaux de recherche dont les équipes interdisciplinaires sont formées de chercheurs et d'industriels. C'est uniquement en rassemblant ainsi les connaissances et les compétences nécessaires que l'on parvient à mener des projets visant l'élaboration de technologies complexes. Les hautes écoles spécialisées peuvent elles aussi contribuer grandement aux projets grâce à leur expertise dans le domaine de la recherche appliquée et à leur proximité avec la pratique.

Compétence: Confédération/CTI (Innosuisse)

- **Création d'un réseau national de centres de transfert de technologie pour les technologies de fabrication («Advanced Manufacturing Technology Transfer Centers»)**

Au-delà de l'encouragement d'activités et de projets, il est essentiel de soutenir la mise en place de plateformes et d'infrastructures, car elles s'avèrent nécessaires au développement de technologies novatrices. L'aménagement et l'équipement de centres de transfert de technologie, dotés d'installations pilotes sur lesquelles tester et développer de nouvelles technologies de fabrication, jouent également un rôle important. L'acquisition et l'utilisation des installations pilotes et des infrastructures sont coûteuses et dépassent souvent les moyens financiers des établissements de recherche. De plus, il est rarement possible qu'une institution de recherche puisse à elle seule assurer une utilisation optimale des installations.

La création de centres de transfert de technologie¹¹⁴ doit permettre de combler les lacunes existant entre la recherche et l'application industrielle. Grâce au réseautage des centres régionaux organisés en partenariats publics-privés (PPP), chacun avec leurs priorités individuelles, les hautes écoles et les institutions de recherche, tout comme les entreprises, peuvent prendre part aux travaux de construction et d'exploitation. Les installations dans ces centres devraient être accessibles à toutes les parties de la recherche et de l'industrie suisses, de sorte à ce qu'elles servent tant à des projets de recherche soutenus par des fonds publics qu'à des expériences menées individuellement par des entreprises. Elles contribueront ainsi grandement au développement et à la mise en place de technologies de fabrication avancées et fortement numérisées.

En Suisse, les infrastructures de recherche des institutions du domaine des EPF et certains sites du parc d'innovation suisse offrent les conditions idéales pour l'installation des premiers centres de transfert de technologie en vue d'un futur réseau suisse réunissant divers centres.

Compétence: Confédération/domaine des EPF (coordination par l'Empa)

¹¹⁴ Base légale: art. 7 en relation avec l'art. 34b de la loi sur les EPF.

- **Renforcement des mesures d'encouragement de la CTI/Innosuisse dans le domaine des pôles de compétence interuniversitaires en recherche énergétique (SCCER)**

Dans le cadre du plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée», la CTI a été chargée de financer et de piloter la mise en place de pôles de compétence interuniversitaires en recherche, les Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER). Les orientations formulées rejoignent largement les enjeux techniques, sociétaux et politiques dont la maîtrise passe en grande partie par les technologies numériques (cf. ch. 2.4).

Pour exploiter mieux encore le potentiel des nouvelles technologies pour faire face aux défis dans les domaines politiques centraux que sont l'énergie et les transports, trois des SCCER actuellement en place («Future Energy Efficient Buildings & Districts»¹¹⁵, «Future Swiss Electrical Infrastructure»¹¹⁶ et «Efficient Technologies and Systems for Mobility»¹¹⁷) seront reconduits avec une plus forte focalisation sur les technologies numériques. La reconduction et la plus forte dotation de ces SCCER¹¹⁸ permettra de développer des compétences de recherche importante dans la perspective du potentiel des TIC.

Compétence: Confédération/CTI (Innosuisse)

¹¹⁵ <http://www.sccer-feebd.ch>

¹¹⁶ <http://sccer-furies.epfl.ch/Home>

¹¹⁷ <http://www.sccer-mobility.ch/>

¹¹⁸ Base légale: art. 7, al. 3, LERI en relation avec l'art. 3, al. 6, LASEI

ANNEXES

Annexe 1: Enjeux dans d'autres domaines politiques selon des données issues des offices fédéraux concernés

1. Office fédéral de l'énergie

Pour le système énergétique, la numérisation représente une nouvelle révolution technologique. Les systèmes numériques de prestations de services ainsi que les technologies de l'information et de la communication se greffent sur les composantes de l'infrastructure énergétique et permettent une nouvelle forme de surveillance du système énergétique. Des contrôles du système, qui se superposent à la surveillance numérique du système et y sont étroitement liés, surveillent et garantissent la sécurité et la fiabilité de l'infrastructure énergétique.

La numérisation modifiera en outre la structure de la branche: des structures existantes disparaîtront et de nouvelles structures, qui étaient jusqu'alors des fournisseurs de produits et de services étrangers à la branche, feront leur apparition sur le marché. Il en résultera de nouvelles questions réglementaires qui devront être résolues à moyen ou à long terme dans le domaine de l'approvisionnement énergétique.

L'utilisation pertinente des flux de données numériques nécessite une collecte ciblée, une analyse, une interprétation et une représentation des données. Cela se manifeste par exemple dans la visualisation, la décentralisation ou l'imagerie, ainsi que dans l'anticipation en matière d'exploitation et d'entretien des systèmes énergétiques. La multiplication des techniques de simulation, de nouveaux capteurs, de grandes capacités de stockage de données et une connectivité toujours plus grande sont le signe d'une grande complexité; il importe dès lors de se concentrer sur la définition du sens et de la finalité de ces nouvelles techniques. Ainsi, des applications seront créées pour permettre d'utiliser les données de manière sûre et fiable et de gagner en efficacité.

Dans l'industrie des ressources et des procédés dans le domaine de l'énergie, la numérisation est la prochaine étape pour comprendre et optimiser une construction intégrée et la gestion du cycle de vie. Il y a une connexion directe et concrète avec des modèles de données exigeants (par ex. les géodonnées pour enregistrer la Suisse en trois dimensions, les données de processus, les données d'installation) qui se trouvent également interconnectés en raison de la numérisation en cours et offrent ainsi des possibilités inégalées d'augmentation de l'efficacité, d'innovation, de fiabilité, de disponibilité et de sécurité. L'intégration verticale et horizontale, les connexions au niveau des différents systèmes, les opérations intégrées sur l'ensemble du cycle de vie, l'intégration d'algorithmes et de systèmes de surveillance, la synthèse et la réduction du «big data» à des «small data» ciblées et réduites à l'essentiel, et le développement de nouveaux champs professionnels et domaines d'activité veillant à une analyse et une interprétation du système énergétique et ses composantes sont autant d'aspects de la numérisation qui la font apparaître comme une «new frontier» pour le système énergétique. Il convient de les exploiter et d'en prendre la mesure.

C'est pourquoi la numérisation est également fondamentale pour le plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée». Il existe un bon nombre d'interfaces entre les centres de compétences dans le domaine de l'énergie (SCCER) et le «big data» ainsi que les opportunités et risques qui lui sont liés. Mentionnons dans ce contexte les SCCER *Mobility* (nouveaux systèmes de transports, régulation et réduction du trafic, nouveaux services type Uber, conduite autonome, horaires des trains plus étoffés, évent. systèmes de transports plus rapides), *FURIES* Future Swiss Electrical Infrastructure (réseaux intelligents, gestion des réseaux, cybersécurité), *FEED&D* Future Energy Efficient Building & Districts (smart cities, données personnelles, sécurité des données, nouvelles formes du travail, problématique du trafic pendulaire, nouveaux services type AirBnB) et *EIP* Efficiency of Industrial Processes (efficacité énergétique dans les processus industriels, industrie 4.0).

Voici par ailleurs quelques aspects du domaine de l'énergie qui sont particulièrement concernés par la numérisation :

- énergies renouvelables: pour prévoir l'utilisation optimale des énergies renouvelables, les modèles de données en temps réel sont nécessaires (vent et profils de vent, rayonnement solaire, brouillard, (forte) pluie, etc.). Dans le domaine de l'énergie éolienne, la numérisation joue un rôle important dans l'apprentissage automatique (auto-optimisation des machines basée sur leurs propres données d'exploitation en lien avec les données météorologiques), la surveillance à distance des pales de rotor (différents capteurs mesurant la pression, la flexion, etc.) et la maintenance par des drones;
- exploitation et maintenance des installations hydroélectriques: la maîtrise et l'évaluation rapide de grandes quantités de données sont nécessaires pour la détermination optimale du moment adapté pour les travaux de révision sur des machines ou leurs composantes, par ex. les augets des turbines Pelton (centrale à pompage-turbinage), ou sur des processus industriels. Les temps d'arrêt très coûteux et les frais de réparation peuvent ainsi être considérablement réduits et l'approvisionnement en énergie configuré de manière sécurisée;
- dans le domaine du bâtiment, il convient de mentionner deux évolutions. Premièrement, la numérisation a recatégorisé le secteur de la construction (notamment les projeteurs en technique du bâtiment, mais aussi les architectes) sous le terme BIM, pour Building Information Modelling. Il s'agit de méthodes basées sur un logiciel permettant d'optimiser la planification, la construction et l'exploitation des bâtiments. De plus, une communauté d'intérêt baptisée «Bâtir digital Suisse» a déjà été créée¹¹⁹. Ce thème est continuellement intégré aussi bien dans la formation et la formation continue que dans la recherche dans le domaine du bâtiment. Deuxièmement, le «big data» est un thème potentiellement important pour les «smart cities». Dans ce domaine, il s'agira de tirer toujours plus profit des potentiels d'efficacité, en travaillant de manière interdisciplinaire et dans une optique de durabilité. La numérisation soutient particulièrement l'intégration des domaines de l'eau, de l'électricité, du gaz, de la mobilité et des télécommunications;
- «Systèmes de bourse» aussi bien pour des transactions d'énergie que pour des prestations de services (par ex. flexibilités à l'échelle locale et/ou du système). De nouvelles interactions entre communautés d'autoconsommation seront à l'avenir aussi faciles à imaginer que les micro-réseaux conversant entre eux ou qu'un échange direct entre petits *prosommateurs* et accumulateurs. Les idées sur la manière d'organiser ce type de systèmes ne manquent pas (par ex. au moyen d'une blockchain). En Suisse, les premiers projets de recherche en la matière ont commencé. Ils visent à permettre non seulement des transactions d'électricité «virtuelles» au sein de réseaux de particulier à particulier, mais aussi le pilotage automatique du réseau physique par le développement de systèmes énergétiques renouvelables décentralisés. Plusieurs entreprises exerçant des activités dans les domaines de la blockchain et des FinTech ont par ailleurs été créées dans la «Crypto Valley» à Zoug. La Suisse pourrait jouer un rôle de pionnier dans ces domaines. Cependant, la technologie de la blockchain n'en est encore qu'à ses débuts et plusieurs des questions qu'elle pose ne sont pas encore résolues, par ex. celles qui concernent le traitement des grandes quantités de données, les aspects de sécurité et l'anonymat;
- l'«internet des objets» (IdO): il s'agit typiquement d'un thème transversal, mais il concerne également le domaine de l'énergie. Il porte sur le matériel informatique, la communication, la protection et la sécurité des données, les plates-formes de données et les applications. Des études sont nécessaires concernant les concepts/architectures adaptés aussi bien à des systèmes publics / «non-discriminants» qu'à des systèmes «fermés» (infrastructures critiques). Pour l'IdO, deux aspects sont importants: l'infrastructure elle-même et les possibilités issues de la technologie («enabler»);
- les réseaux intelligents sont des infrastructures qui sont davantage imprégnées que les autres par les technologies de l'information et de la communication et qui peuvent de ce fait être conçues et exploitées plus efficacement¹²⁰. Alors que la numérisation progresse déjà dans le domaine de l'élec-

¹¹⁹ <http://www.bauen-digital.ch/fr/>

¹²⁰ Voir aussi le rapport de l'OFEN (2015) : «Feuille de route suisse pour un réseau intelligent – Pistes vers l'avenir des réseaux électriques suisses».

tricité, d'autres domaines ne sont encore que très peu concernés par cette évolution. C'est notamment le cas des secteurs du gaz, de l'eau et de la chaleur, où des développements sont encore attendus. Une considération intégrée de ces infrastructures promet des gains économiques, mais elle recèle également une énorme complexité, tant sur le plan technique qu'organisationnel. Aussi est-il nécessaire d'améliorer la saisie, l'analyse et la perméabilité des données dans ces domaines;

- «Infrastructures de mesure»: de plus en plus d'outils de mesure sont installés dans des objectifs très variés, par ex. pour surveiller l'état du réseau ou pour des raisons de protection. Les questions typiques concernent les canaux de communication adaptés (sécurisés, très accessibles, avec des latences déterministiques, etc.). Des concepts sur leur utilisation et leur sauvegarde (centralisées/décentralisées) sont nécessaires. Se pose également la question de savoir comment des outils «analogues» peuvent être «numérisés», sans pour autant devoir les échanger complètement, et comment les données recueillies peuvent être transférées et intégrées dans les systèmes de gestion actuels;
- «Traitement de quantités de données» provenant par ex. de compteurs intelligents («smart meters») qui ont le vent en poupe. Les fournisseurs d'énergie sont confrontés à la question de savoir comment traiter ces quantités de données de la planification à la création de nouveaux modèles de gestion sur le marché libre, en passant par leur exploitation. Les données de qualité élevée de différentes formes ont notamment une grande importance pour le marché de l'électricité et pour celui des services énergétiques. Il est de plus en plus urgent de prévoir une organisation efficace. Des solutions prévoyant une organisation plus centralisée, par ex. des plates-formes de données («data hubs»), sont envisageables à relativement court terme;
- «Bugs»: les erreurs de programmation représentent un gros problème pour les infrastructures critiques et il y a un besoin de concepts pour le «bug free by design». Dans le domaine des transports, on sait bien qu'une autorisation de mise sur le marché (y compris pour les logiciels) nécessite actuellement beaucoup de temps. Des solutions doivent être trouvées pour accélérer le processus tout en conservant, voire en améliorant, la sécurité¹²¹;
- «Outils de planification»: cela va de la planification de la topologie optimale du réseau (nombreuses possibilités, études de faisabilité) à l'exploitation de l'installation (y compris les prévisions météorologiques, les prévisions de consommation, les mesures de maintenance, le «digital twinning», etc.), en passant par les câbles eux-mêmes et le dimensionnement du raccordement au réseau des bâtiments/secteurs.

2. Office fédéral de la communication

Les réseaux de télécommunication représentent l'infrastructure centrale permettant l'utilisation des technologies numériques. Il est par conséquent important d'observer les évolutions et d'aborder les nouveaux défis au bon moment.

- Dans le cadre de la numérisation actuelle, de plus en plus de nouveaux services fortement basés sur les données sont proposés. Les services cloud et l'internet des objets plus particulièrement ont pour conséquence le stockage des données non plus chez l'utilisateur, mais de manière décentralisée dans un cloud.
- Pour que les applications correspondantes fonctionnent, et plus particulièrement pour que l'accès aux données en question soit possible, une connexion à l'internet doit être en permanence disponible. Il faut par conséquent s'attendre à une augmentation des exigences en termes de fiabilité et d'accessibilité des réseaux de télécommunication.

¹²¹ Voir également le rapport de l'OFEN (2016) : «Schutz- und Sicherheitsanalyse im Rahmen der Entwicklung von Smart Grids in der Schweiz».

- La numérisation croissante implique également une augmentation constante de la circulation des données sur les réseaux de télécommunication. Cela concerne aussi bien les réseaux fixes que les réseaux de téléphonie mobile.
- Pour que les réseaux puissent faire circuler ce volume croissant de données, ils doivent constamment être agrandis.
- L'élargissement des réseaux de téléphonie mobile notamment nécessite la disponibilité de ressources du spectre radioélectrique suffisantes. Les fréquences assignées dans le cadre de la coordination internationale des fréquences du réseau mobile doivent par conséquent être attribuées le plus rapidement possible. La Commission fédérale de la communication ComCom est responsable de la procédure d'attribution des fréquences correspondante.
- Dans le cadre de l'élargissement des réseaux de téléphonie mobile, il faut tenir compte du fait qu'il est nécessaire de construire un grand nombre de nouveaux sites d'antennes. Il s'agit pour l'opérateur de téléphonie mobile d'un véritable défi, car il lui faut trouver des lieux pour les installations concernées, passer par une procédure d'autorisation de construire et respecter les limites strictes imposées par la Suisse en matière de rayonnement.

Dans le cadre de la mise en place de la stratégie nationale en matière de protection des infrastructures critiques PIC, les travaux d'analyse de vulnérabilité du secteur des télécommunications sont en cours, sous la direction de l'OFAE. Les enjeux liés aux évolutions des domaines de la formation et de la recherche mentionnées sont étudiés dans le cadre de cette analyse, qui devrait porter essentiellement sur les points suivants.

Spécialistes: comme tout dépendra à l'avenir de la disponibilité et de la robustesse des réseaux, il est urgent de multiplier le nombre de spécialistes capables de construire et d'exploiter des réseaux résistants et sécurisés, et qui soient en mesure, en cas de dysfonctionnement ou d'incident sur le service, de remettre celui-ci rapidement en marche et de restaurer les informations éventuellement perdues (spécialistes en architecture informatique, en sécurité informatique, en récupération d'informations). En raison de la complexité des systèmes, il est également nécessaire de disposer de connaissances en matière de communication afin de pouvoir expliquer efficacement aux décideurs ou aux responsables les conséquences de telle ou telle décision. Le présent rapport n'a pas actuellement pour objet d'estimer la pertinence éventuelle d'une spécialisation distincte à ce sujet.

Grand public: le grand public (à savoir des personnes ayant déjà quitté le système formel de formation) doit comprendre dans les grandes lignes comment fonctionnent les systèmes informatiques, ce qu'est un cloud, etc. Cela suppose par conséquent un accès à des informations bien préparées, facilement accessibles et fiables. Les personnes se trouvant encore dans le système éducatif devraient accéder à ces connaissances de base dans le cadre de leur formation scolaire. Il faudra déterminer si la programmation, par exemple, qui va bien au-delà des connaissances de base, devrait être enseignée ou non aux élèves. Dans les deux cas, les enseignants doivent être formés en conséquence et disposer du matériel d'enseignement adapté.

3. Office fédéral du développement territorial

Selon les informations de l'ARE, dans la situation actuelle, les développements en matière de numérisation pertinents dans le domaine du développement territorial sont les suivants:

Numérisation de la planification

La planification a aujourd'hui encore lieu de manière très analogue. Passer à une planification numérique représentera de véritables défis pour les partenaires concernés et nécessitera des ajustements au niveau de la formation et de la recherche.

Numérisation dans le domaine de la mobilité

Dans le domaine de la mobilité, la numérisation fait apparaître de nouvelles offres au sein du système des transports (véhicules automatisés, mélange entre transports publics et individuels à travers l'autopartage, les taxis collectifs, le partage de vélos, de places de parc, l'entrée sur le marché de Mobility comme fournisseur de services) et des évolutions sociétales (travail nomade, partager au lieu de posséder (par ex. autopartage)) pouvant avoir des répercussions au niveau du territoire ou des transports. La dimension, la direction et la vitesse de ces évolutions restent toutefois à clarifier. Les répercussions au niveau du territoire et des transports de ces nouvelles offres et de l'évolution des comportements de la société devront être anticipées et analysées par la recherche. Les résultats de la recherche, ainsi que les conceptions sur le développement souhaité consignées dans les bases de l'aménagement du territoire et de la planification des transports, devront être intégrés dans les bases de planification, d'étude et de dimensionnement des projets, ainsi que dans le processus législatif.

4. Office fédéral des transports

La numérisation modifie fondamentalement la manière de fournir une prestation et l'offre des entreprises de transport et des gestionnaires d'infrastructure. Les données en sont la clé. Aujourd'hui, les données statiques du réseau constituent les éléments d'étude principaux. Grâce à la disponibilité croissante des données en temps réel, on se focalise toutefois de plus en plus sur des «instantanés» dynamiques et sur un contrôle en temps réel des offres de transport, ainsi que sur le suivi des processus d'exploitation et de maintenance des véhicules et de l'infrastructure. La disponibilité des informations tarifaires au format numérique modifie également la communication avec les clients. À l'avenir, la vente de prestations en matière de mobilité sera également possible.

Afin de profiter des opportunités offertes par la numérisation et en limiter les risques, les enjeux doivent être abordés de manière transversale, notamment dans les domaines de la formation et de la recherche. Pour que les différents secteurs d'activité puissent bénéficier de ces opportunités, il convient d'une part de développer les compétences en matière de numérique et, d'autre part, de répondre au besoin croissant de compétences pour une gestion systématique de l'innovation en «lean», afin de réduire les risques (et assurer la rentabilité).

La liste des thèmes suivante, non exhaustive, montre que de nouvelles compétences dans la formation et la recherche sont indispensables:

- infrastructures critiques (lignes d'approvisionnement, infrastructures de télécommunication, voies de circulation, approvisionnement énergétique, systèmes internationaux basés sur des données): cela concerne les relations entre les cybertechnologies, l'exploitation, le contrôle et la sécurité;
- cybersécurité des installations et composantes techniques: ce thème revêt une importance croissante notamment au niveau de la sécurité et de la qualification fonctionnelles des éléments de construction;
- véhicules automatisés -> rails, routes;
- numérisation des offres de transport et de leur relation avec le concept «Mobility as a Service»;
- numérisation des données sur les véhicules et les infrastructures -> exploitation et entretien: utilisation des possibilités offertes par le big data, le data mining, etc.;
- enregistrement en ligne de données (prestations, projets, finances) issues des entreprises de transport ainsi que de l'échange de données avec le régulateur;
- virtualisation des certificats d'agrément;
- management de la technologie;
- définition d'interfaces pour simplifier l'échange de données.

Le rapport pose entre autres la question suivante: dans quelle mesure le lien étroit existant entre les cybertechnologies, les compétences de recherche et l'exploitation, le contrôle et la sécurité des infrastructures critiques (lignes d'approvisionnement, infrastructures de télécommunication, voies de circulation, approvisionnement énergétique, systèmes internationaux basés sur des données) a-t-il d'autres influences?

La numérisation croissante offre certes des opportunités pour les nouvelles formes de mobilité, mais elle comporte aussi les enjeux suivants, au regard du lien entre les compétences de recherche et l'exploitation, le contrôle et la sécurité des infrastructures critiques (dans le domaine des techniques de sécurité dans les transports):

- évaluation des conséquences de la numérisation;
- utilité et application de la numérisation dans les domaines de l'efficacité énergétique et de la protection de l'environnement dans les transports (mais possibilités de manipulation et risques à ce sujet).

5. Office fédéral pour l'approvisionnement économique du pays

Les gestionnaires de grandes infrastructures critiques, que ce soit dans le domaine de l'approvisionnement en électricité, en gaz ou en eau, installent des systèmes de contrôle complexes pour surveiller leurs installations, tels que les systèmes «Industrial Control Systems» (ICS) ou «Supervisory Control and Data Acquisition» (SCADA). Ces systèmes ICS/SCADA sont des développements individuels, adaptés sur mesure pour les besoins spécifiques de chaque client. La relation de dépendance aux fabricants est forte. Des gestionnaires d'infrastructures critiques ont déploré à plusieurs reprises le fait que les universités et hautes écoles spécialisées n'offrent pratiquement aucune filière de formation spécialisée pour les administrateurs ICS/SCADA. Par conséquent, il leur est impossible de demander explicitement cette qualification pour les postes mis au concours. De nombreux employés chargés de l'exploitation et de l'entretien (et parfois de la manipulation opérationnelle) de ces systèmes sont en fait des informaticiens spécialistes d'autres domaines ou des personnes parvenues à ce poste par des voies détournées. Pour cette raison, l'entreprise BKW envoie par exemple ses administrateurs SCADA en Allemagne pour suivre des formations continues et obtenir une certification.

Le besoin de meilleures offres de formation et de certification dans le contexte du système Industrial Control Systems (ICS) avait déjà été reconnu dans le cadre de la stratégie nationale de protection de la Suisse contre les cyberrisques NCS.¹²² La création d'un brevet reconnu pour les administrateurs SCADA avait de ce fait été définie comme objectif dans le rapport d'intervention de la NCS sur le sous-secteur de l'approvisionnement en électricité.

6. Unité de pilotage informatique de la Confédération

Selon l'UPIC, les enjeux majeurs pour la cybersécurité sont les suivants:

- la forte dynamique de la numérisation et la complexité croissante rendent l'estimation et l'anticipation des risques et menaces difficile;

¹²² Cette problématique avait également été reconnue par l'Agence de l'Union européenne chargée de la sécurité des réseaux et de l'information ENISA, qui avait publié une étude comprenant une série de recommandations pour la certification des administrateurs SCADA: <https://www.all-about-security.de/security-artikel/organisation/security-management/artikel/16683-enisas-empfehlungen-fuer-die-zertifizierung-von-icsscada/> (en allemand)

- la numérisation de nouveaux domaines fait naître des risques jusque-là jamais rencontrés. Le renforcement du lien entre l'espace numérique et l'espace physique augmente l'étendue potentielle des dommages en cas d'attaque ou de dysfonctionnement des TIC utilisées;
- il devient de plus en plus difficile de protéger les données personnelles en raison du nombre croissant d'appareils et d'applications générant des données. L'utilisateur ne comprend pas où ses données sont stockées et dans quel but;
- l'importance des fournisseurs privés pour la sécurité des États augmente encore. La collaboration public-privé gagne en importance, mais pose un défi dans le domaine de la sécurité;
- le respect des normes de sécurité est très difficile à vérifier dans des systèmes complexes.

7. Office fédéral de la santé publique

La numérisation va influencer le domaine de la santé de différentes manières. On anticipe de manière générale un impact positif de l'utilisation croissante des technologies de l'information et de la communication (TIC) sur l'efficacité, la qualité et la sécurité du domaine de la santé. La pénétration du domaine de la santé par les TIC (cybersanté ou «eHealth») est par exemple perceptible dans la mise en place du dossier électronique des patients, en passe d'être instauré. Il devrait permettre de renforcer la coordination entre tous les acteurs du processus de traitement, faire disparaître les doublons, améliorer la sécurité des patients et, à terme, réduire les coûts. Les améliorations techniques permettent en outre progressivement de nouvelles possibilités en matière de diagnostics et de formes de traitement. On peut citer ici par exemple de nouvelles possibilités de surveillance d'importants paramètres de santé (télémontoring) ou encore des améliorations dans le domaine de la médecine personnalisée. Cette dernière consiste en des méthodes de traitement de mieux en mieux adaptées aux situations individuelles des patients (en se basant sur l'analyse de données diagnostiques). Il existe aussi un potentiel considérable d'application de la numérisation dans le domaine de la recherche pharmaceutique. Le volume important de données et la puissance de calcul croissante permettent l'identification de relations non détectées jusque-là, le développement de nouveaux médicaments plus efficaces et une meilleure évaluation des instruments existants. L'amélioration systématique de la cybersanté fait finalement naître un nouveau secteur de services, devenant lui-même un facteur économique à proprement parler.

Outre les opportunités mentionnées, la numérisation s'accompagne également de nouveaux risques auxquels il faut être attentif, particulièrement en matière de protection des données personnelles. La numérisation place dans le même temps le domaine suisse de la santé devant un certain nombre de défis supplémentaires. Il s'agit en premier lieu, face au besoin accru de main d'œuvre, de garantir la qualification de la relève à tous les niveaux de formation. Les profils de formation doivent par conséquent être adaptés pour tenir compte de ces nouveaux défis et il convient, si besoin, d'étoffer les qualifications dans les TIC. La collaboration interdisciplinaire devrait prendre de l'ampleur dans le domaine de la recherche en particulier (par exemple entre le personnel médical qualifié et les scientifiques sur ordinateur).

8. Office fédéral de la protection de la population

L'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) est chargé par le Conseil fédéral de coordonner la mise en œuvre de la stratégie nationale pour protéger les infrastructures critiques (stratégie PIC). Pour beaucoup d'infrastructures critiques, qui comprennent entre autres le sous-secteur de la recherche et de l'enseignement, la numérisation représente de grandes opportunités, mais elle comporte aussi des risques importants. La numérisation augmente en outre la vulnérabilité de ces infrastructures, notamment parce que les systèmes basés sur les TIC dépendent d'un bon approvisionnement en électricité et, à maints égards, de la fiabilité des réseaux informatiques et des réseaux de télécommunication. Dans le cadre de la stratégie nationale PIC et de la stratégie nationale de protection contre les cyber-risques, les 28 sous-secteurs critiques sont soumis à des analyses de risques et de vulnérabilité; des

mesures visant à renforcer la résilience des infrastructures critiques (capacités de résistance et de régénération) sont ensuite élaborées sur cette base. Les analyses portent en particulier sur les vulnérabilités qui découlent du recours aux TIC. De plus, l'OFPP a publié un guide qui montre aux exploitants des infrastructures critiques comment ils peuvent étudier eux-mêmes la résilience et l'améliorer au besoin.

La numérisation concerne également le système coordonné de protection de la population dans son ensemble. Elle offre aux partenaires de la protection de la population (organes de conduite, organisations de premier secours) de nouvelles possibilités d'application leur permettant d'intervenir plus efficacement en cas de catastrophe ou de situation de crise (par ex. dans les domaines des systèmes d'intervention, de communication et du suivi de la situation).

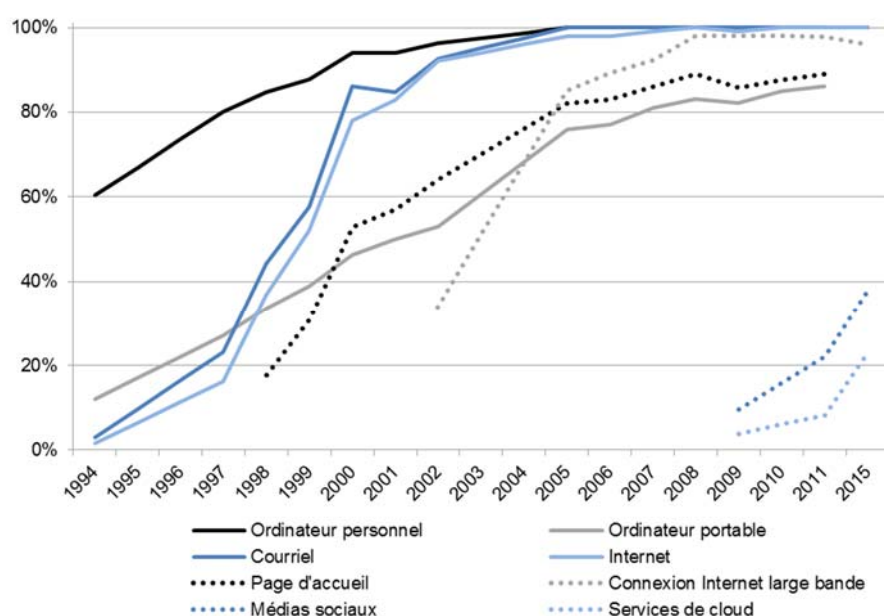
Annexe 2: Analyses complémentaires

1. Informations complémentaires sur le chapitre 2: « Les technologies de numérisation comme nouvelles technologies de base »

1.1 Importance de la numérisation pour l'économie

Rares sont aujourd'hui les entreprises qui peuvent se passer d'une utilisation massive des TIC. Cette importance croissante se reflète notamment dans l'évolution rapide de l'utilisation de ces technologies au sein des entreprises (voir Figure A)¹²³. Le recensement statistique de ce phénomène est cependant complexe: comment saisir et délimiter les nouvelles technologies pertinentes? Si l'utilisation d'Internet était encore plutôt nouvelle dans les années 1990, plus aucune entreprise ne pourrait s'en détourner aujourd'hui. Pourtant, les entreprises sont actuellement confrontées à l'arrivée de nouvelles technologies, comme les services cloud.

Figure A: Infrastructure TIC dans les entreprises suisses, évolution 1994-2015 (en % des entreprises)

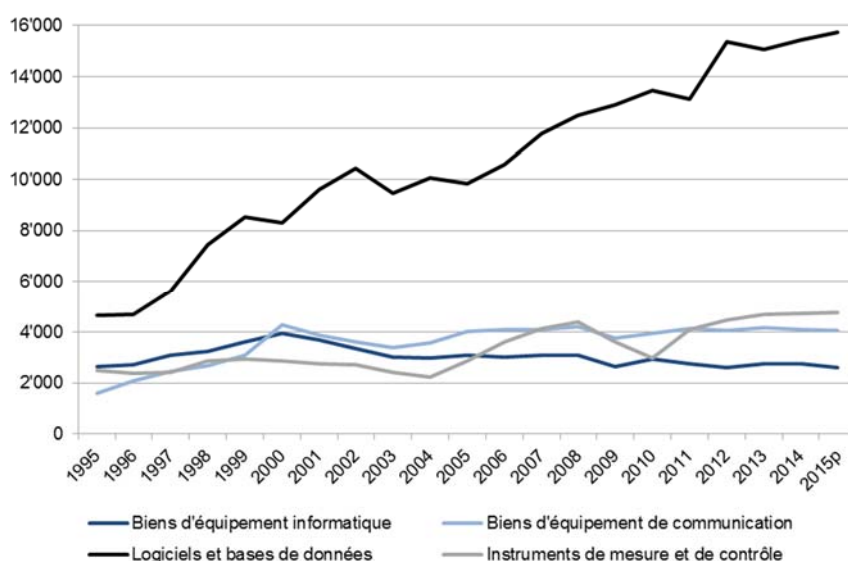


Source: OFS

Au niveau agrégé, les investissements en TIC, en hausse rapide dans le domaine des logiciels et des bases de données depuis quelques années, sont révélateurs de ce gain d'importance (voir Figure B).

¹²³ <http://www.oecd.org/edu/eri/GEIS2016-Background-document.pdf>

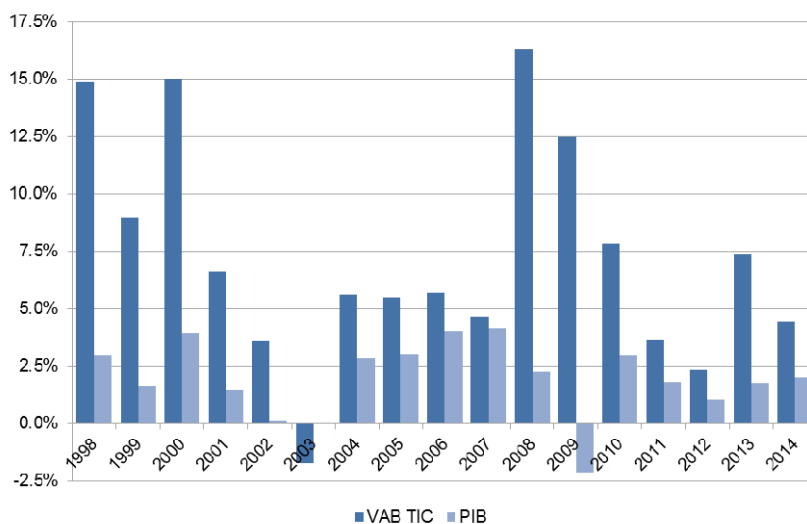
Figure B: Investissements en technologies de l'information et de la communication en Suisse, évolution 1995-2015 (en millions de francs, à prix courants)



Source: OFS

Le secteur TIC affiche également une forte dynamique et une importance économique certaine. Malgré sa taille relativement modeste dans le PIB (entre 4,3 % et 4,8 % du PIB 'sur la période de 1997 à 2014'¹²⁴), il constitue un soutien important à la croissance de l'économie suisse. Il représentait en effet 18 % de la croissance du PIB en 2013 et 10 % en 2014. Cela s'explique par un taux de croissance impressionnant toujours supérieur à celui de l'économie dans son ensemble (voir Figure C) – à l'exception de 2003, après l'éclatement de la bulle Internet¹²⁵.

Figure C: Taux de croissance de la valeur ajoutée brute du secteur TIC et du PIB, 1998-2014 (aux prix de l'année précédente, en %)



Source: OFS

¹²⁴ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/culture-medias-societe-information-sport/societe-information/indicateurs-generaux/secteur-tic/valeur-ajoutee-secteur-tic.assetdetail.1681022.html>

¹²⁵ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/culture-medias-societe-information-sport/societe-information/indicateurs-generaux/secteur-tic/valeur-ajoutee-secteur-tic.assetdetail.1681021.html>

Selon plusieurs études, les effets de productivité bénéficieront principalement aux entreprises qui développent elles-mêmes les technologies de numérisation¹²⁶. L'utilisation des technologies affiche également d'importants potentiels de productivité. Une étude du KOF¹²⁷ révèle que plus d'un tiers des entreprises constatent que l'utilisation des TIC améliore leur productivité. L'étude montre aussi que l'utilisation et les domaines d'application des technologies sont similaires dans les entreprises industrielles et de services, ce qui corrobore la thèse qui veut que ces technologies soient des technologies de bases utilisées dans toutes les branches. Les branches des services modernes (banques/assurances, technologie de l'information, médias, télécommunication, services techniques et non techniques aux entreprises), qui reposent davantage sur les technologies de numérisation, constituent une exception.

2. Informations complémentaires sur le chapitre 3: Enjeux dans le domaine de la formation

2.1 Évolution du nombre d'étudiants et de diplômes en TIC dans le domaine des hautes écoles

Jusqu'en 2003, le nombre d'étudiants en TIC dans les hautes écoles spécialisées et les hautes écoles universitaires était en hausse constante. Après un repli jusqu'en 2007/2008, la hausse est maintenant de nouveau constante dans les deux types de hautes écoles (+171 % dans les hautes écoles universitaires, +150 % dans les hautes écoles spécialisées). Depuis 2003, les hautes écoles spécialisées comptent également plus d'étudiants en TIC que les hautes écoles universitaires. L'évolution des diplômes en TIC suit globalement le nombre d'étudiants sur ces périodes.

Tableau A: Évolution du nombre d'étudiants et de diplômes en TIC

a) Diplômes en TIC dans les hautes écoles universitaires, 1997-2015¹²⁸

Année	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Masters / Licences / Diplômes	268	221	307	284	346	402	451	599	542	509	496	497	428	316	329	317	391	428	410
Doctorats	58	66	72	76	69	72	68	73	105	108	103	103	110	146	118	165	109	147	159
Total (avec bachelor)	326	287	379	360	415	474	533	704	788	822	850	882	751	714	687	765	773	909	893
Total (sans bachelor)	326	287	379	360	415	474	519	672	647	617	599	600	538	462	447	482	500	575	569

b) Diplômes en TIC dans les hautes écoles spécialisées, 2000-2015¹²⁹

Année	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Diplôme / Bachelor	223	469	556	766	915	893	926	943	857	810	720	708	775	836	831	922
Master											79	178	216	158	218	222
Total	223	469	556	766	915	893	926	943	857	810	799	886	991	994	1049	1144

c) Étudiants en TIC aux hautes écoles universitaires et spécialisées, 1997-2016

Année	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
HES	465	1292	2202	3139	3793	4448	4752	4649	4524	4344	4128	4018	4327	4563	4817	5140	5501	5876	6392	6872
HEU	2311	2609	3546	4203	4590	4669	4497	4067	3796	3548	3345	3347	3453	3630	3910	4097	4261	4442	4692	5021

Source: OFS, SIUS

¹²⁶ Balsmeier / Wörter (2016): «Identifikation und Bewertung von wirtschaftlichen Entwicklungen im Bereich Digitalisierung aufgrund vorhandener Literatur». KOF Studien, Nr. 85.

¹²⁷ Arvanitis et al. (2017): «Numérisation dans l'économie suisse: résultats de l'enquête 2016 – évaluation partielle sur mandat du SEFRI».

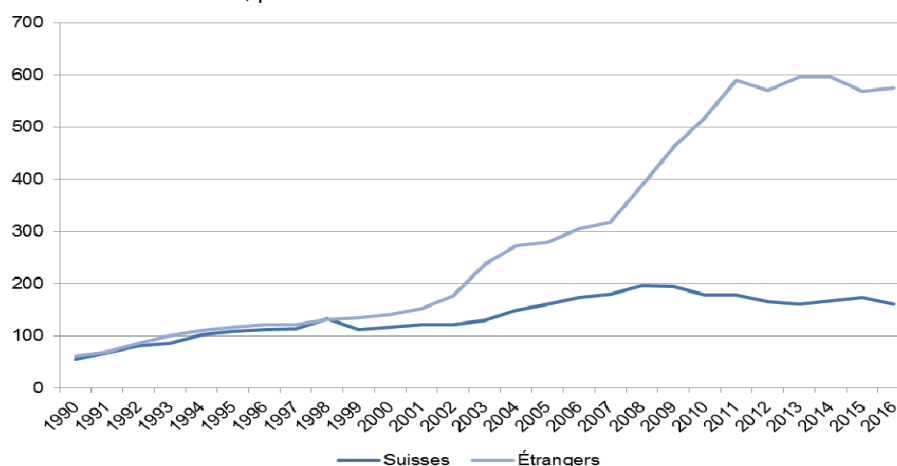
¹²⁸ Spécialisations: informatique, informatique de gestion, systèmes de communication.

¹²⁹ Spécialisations: Hyperwerk, géomatique, informatique, informatique de gestion, télécommunications, informatique médicale, technologie de l'information, ingénierie et informatique.

2.2 Doctorats TIC

Le nombre de doctorats dans le domaine de la technologie de l'information et des systèmes de communication est en forte hausse en Suisse depuis la fin des années 1990. La hausse du nombre de ces doctorats TIC s'explique en grande partie par la présence massive de ressortissants étrangers, aujourd'hui majoritaires parmi les doctorants (voir Figure D).

Figure D: Promotions TIC en Suisse, par nationalité



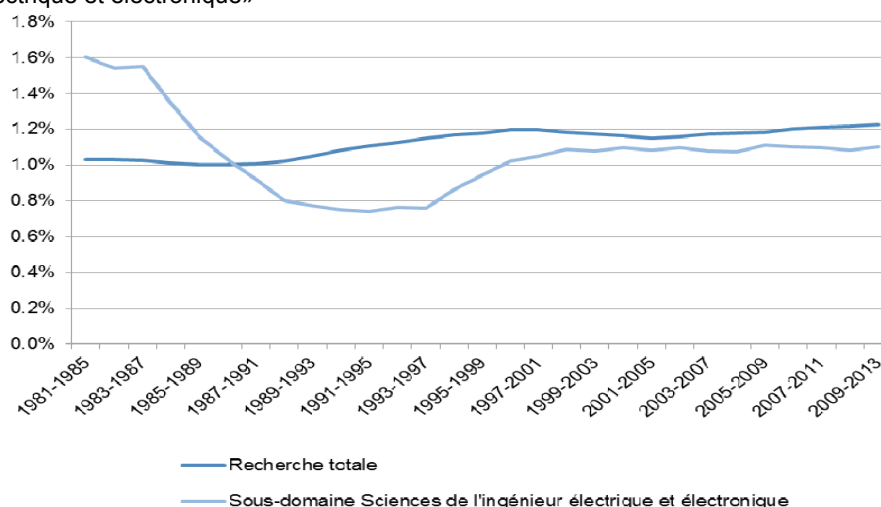
Source: OFS

3. Informations complémentaires sur le chapitre 4: «Enjeux dans le domaine Recherche et innovation»

3.1 Activité de recherche dans le domaine «Sciences de l'ingénieur électrique et électronique»

Avec une recherche axée sur le matériel informatique (par ex. semi-conducteurs par ex.), le domaine de recherche «Sciences de l'ingénieur électrique et électronique» est également lié aux TIC. La position de la Suisse dans ce domaine est similaire au sous-domaine «Intelligence artificielle, robotique et automatique» (voir Figure 12 du rapport et Figure E). Malgré une stagnation récente, la part de la Suisse en volume de publications est qualitativement élevée dans ce domaine de recherche.

Figure E: Part de la Suisse sur l'ensemble des publications mondiales dans le domaine «Sciences de l'ingénieur électrique et électronique»



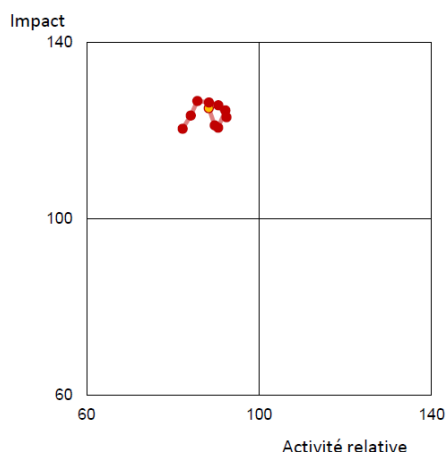
Source: Analyse SEFRI basée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters. <http://ip-science.thomsonreuters.com/mjl/>

3.2 Part et impact de certains domaines de recherche

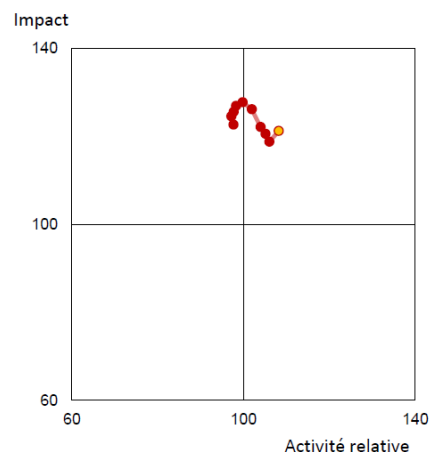
Par rapport à d'autres domaines de recherche importants comme la physique ou les sciences de la vie, les domaines de recherche des technologies numériques ne sont pas considérés par la Suisse comme un axe prioritaire dans les activités de recherche (mesurée à la production de publications scientifiques), mais certaines performances de recherche (mesurées selon l'impact relatif (des citations) des publications scientifiques) sont de très bonne qualité (voir Figure F pour l'ensemble du domaine Engineering, Computing & Technology).

Figure F: Évolution de la production et de l'impact de quatre domaines de recherche centraux

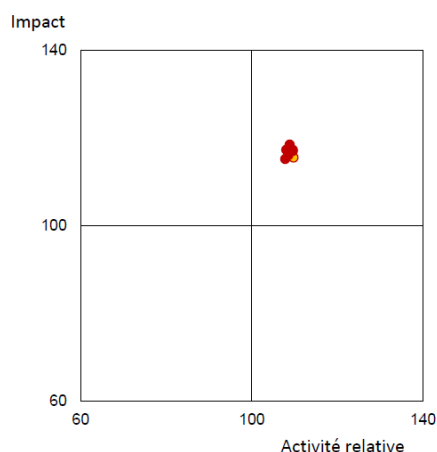
a) Engineering, Computing & Technology



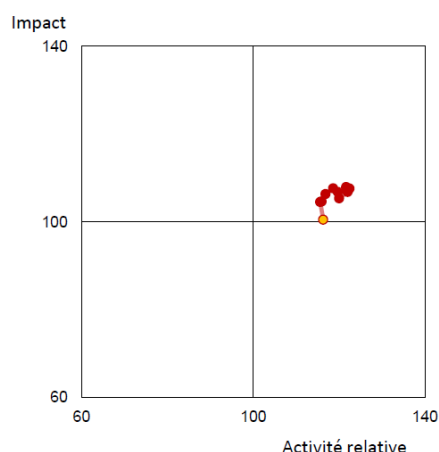
b) Physical, Chemical & Earth Sciences



c) Life Sciences



d) Clinical Medicine

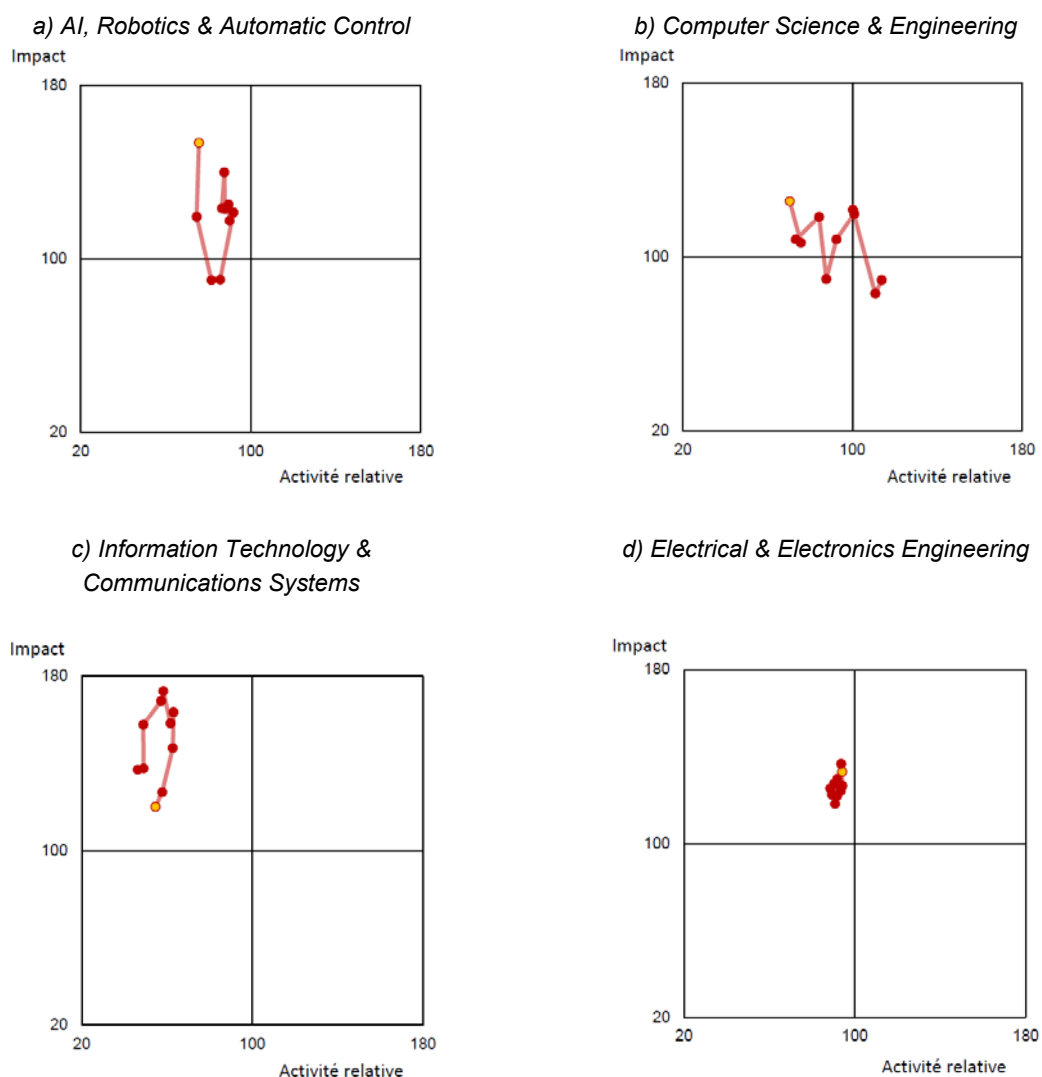


Remarque: Impact: indicateur relatif de citations; activité relative: indicateur relatif de publications, c.-à-d. la part suisse du sous-domaine par rapport à la part mondiale du sous-domaine, chiffre qui est ensuite normé et où le 100 représente la moyenne mondiale du sous-domaine; le point jaune est la première période 2000-2004.

Source: Analyse SEFRI basée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

L'analyse de sous-domaines de la recherche liée aux TIC confirme également, dans la plupart des domaines de recherche, une part des activités de recherche inférieure à la moyenne avec toutefois parfois un fort impact de la recherche (Figure G).

Figure G: Évolution de la production et de l'impact de quatre domaines de recherche TIC



Remarque: Impact: indicateur relatif de citations; activité relative: indicateur relatif de publications, c.-à-d. la part suisse du sous-domaine par rapport à la part mondiale du sous-domaine, chiffre qui est ensuite normé et où le 100 représente la moyenne mondiale du sous-domaine; le point jaune est la première période 2000-2004.

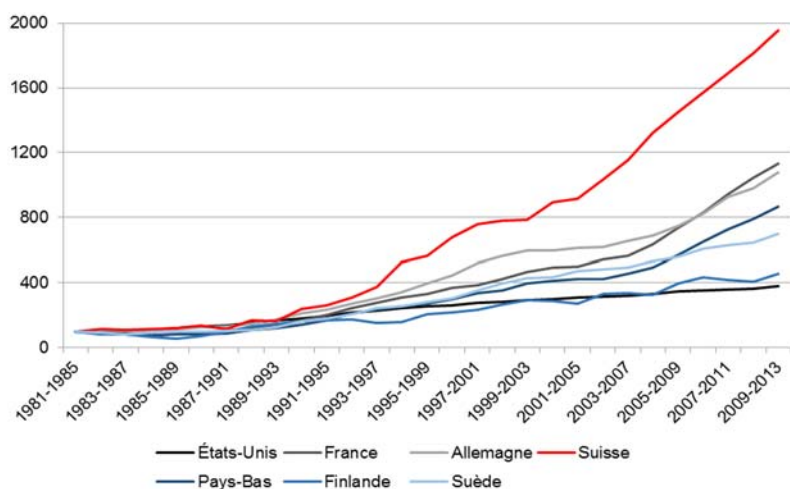
Source: Analyse SEFRI basée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

3.3 Évolution internationale des résultats de recherche pour d'autres domaines de recherche

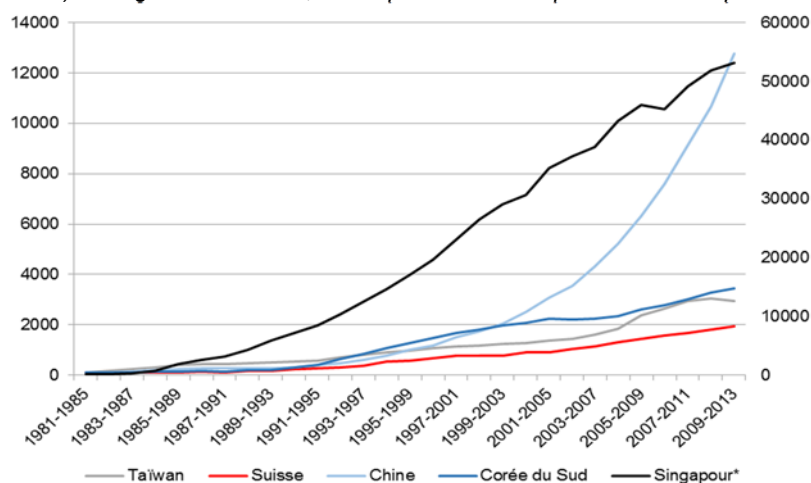
Les pays d'Asie sont ceux qui ont le plus massivement investi dans tous les champs de recherche liés aux TIC ces dernières années.

Figure H: Évolution internationale des résultats de recherche pour d'autres domaines de recherche (indice: 1981/1985 = 100)

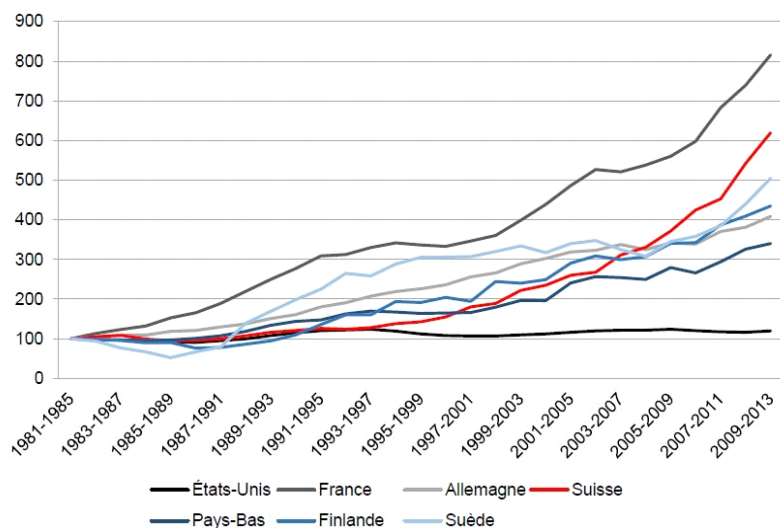
a) Intelligence artificielle, robotique et automatique: pays européens particulièrement actifs dans la recherche et États-Unis



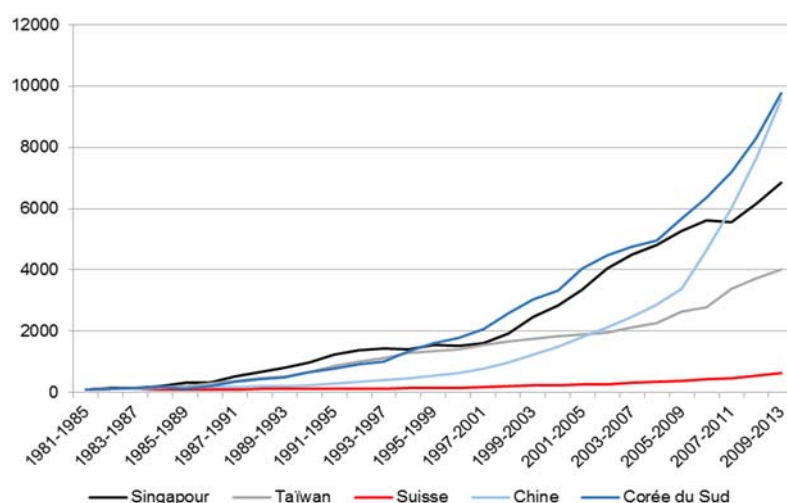
b) Intelligence artificielle, robotique et automatique: États asiatiques



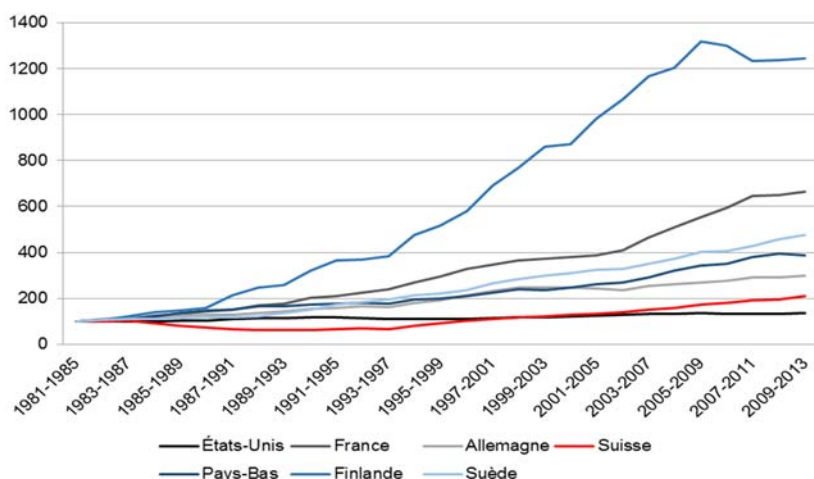
c) Sciences informatiques et sciences de l'ingénieur liées à l'informatique: pays européens particulièrement actifs dans la recherche et États-Unis



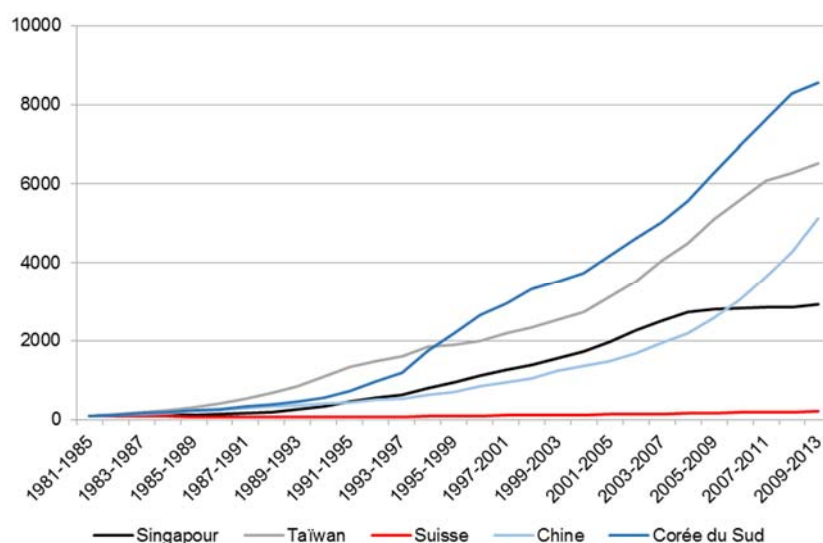
d) Sciences informatiques et sciences de l'ingénieur liées à l'informatique: États asiatiques



e) Sciences de l'ingénieur électrique et électronique: pays européens particulièrement actifs dans la recherche et États-Unis



f) Sciences de l'ingénieur électrique et électronique: États asiatiques

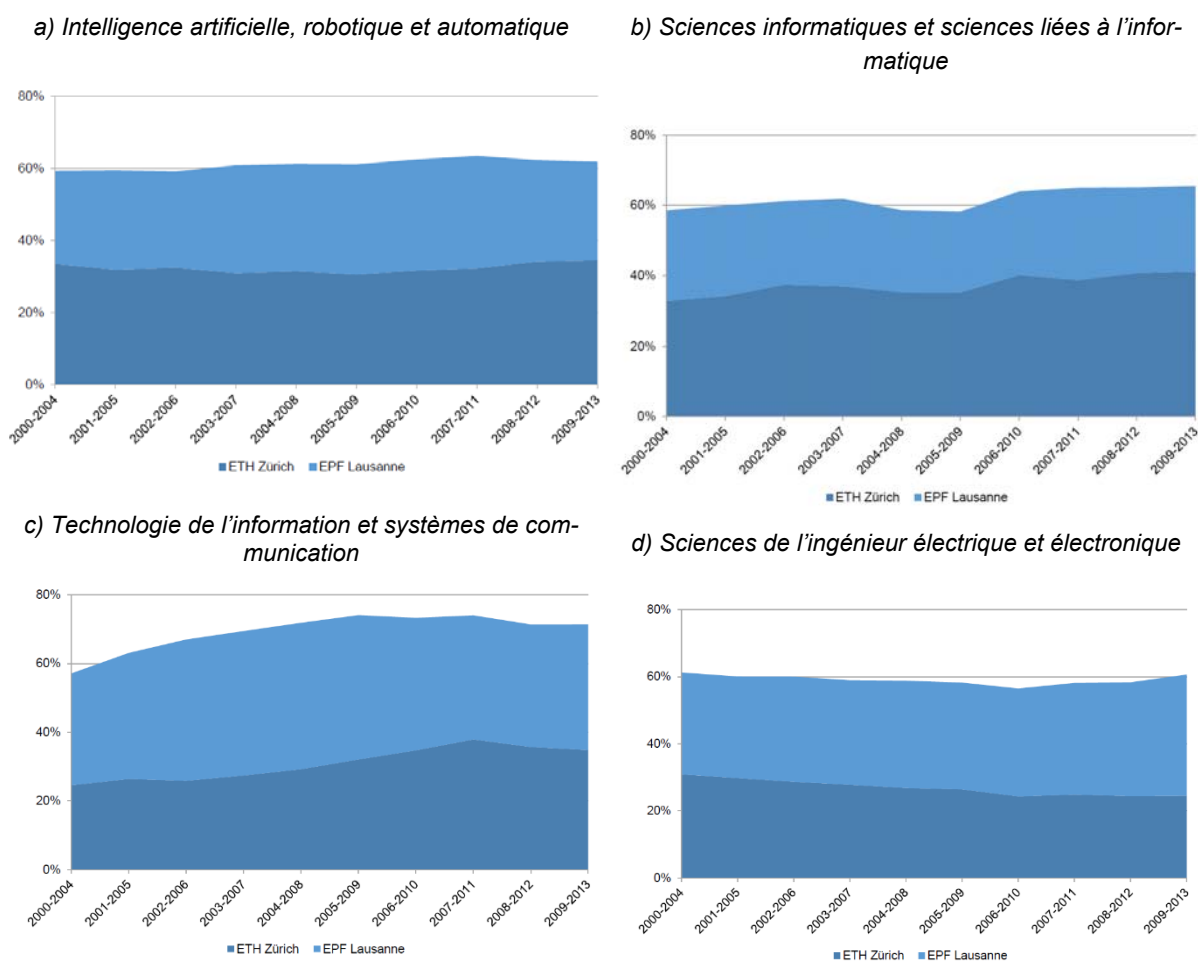


Source: Analyse SEFRI basée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

3.4 Part des deux EPF sur l'ensemble des publications dans une sélection de domaines de recherche des TIC

Les quatre domaines de recherche représentés ici sont massivement dominés par les deux EPF. Dans les disciplines mentionnées, près de deux publications sur trois peuvent ainsi être attribuées à l'une des deux institutions. Elles sont notamment parvenues à augmenter leur part dans les «Sciences informatiques et liées à l'informatique» et dans le domaine «Technologie de l'information et systèmes de communication».

Figure 1: Part des deux EPF sur l'ensemble des publications dans une sélection de domaines de recherche des TIC en Suisse (évolution 2000-2013)



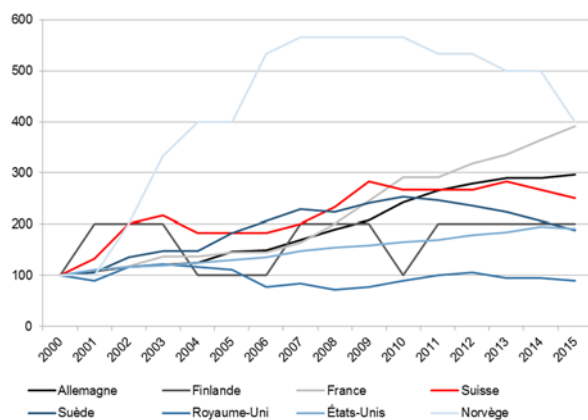
Source: Analyse SEFRI basée sur le Science Citation Index (SCI), le Social Science Citation Index (SSCI) et le Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) de Thomson Reuters.

3.5 Évolution internationale de l'activité de brevets dans une sélection de technologies de numérisation

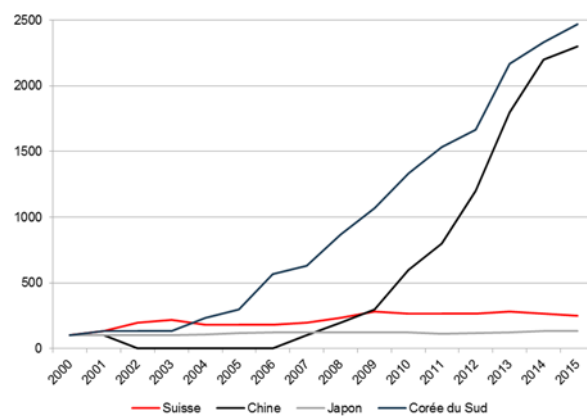
Si l'on considère l'évolution de l'activité de brevets dans une sélection de technologies de numérisation, la comparaison avec les pays européens et les États-Unis montre que la Suisse est dans la moyenne, avec toutefois des différences selon la technologie concernée.

Figure J: Évolution internationale de l'activité de brevets dans une sélection de technologies de numérisation (indice: 2000 = 100)

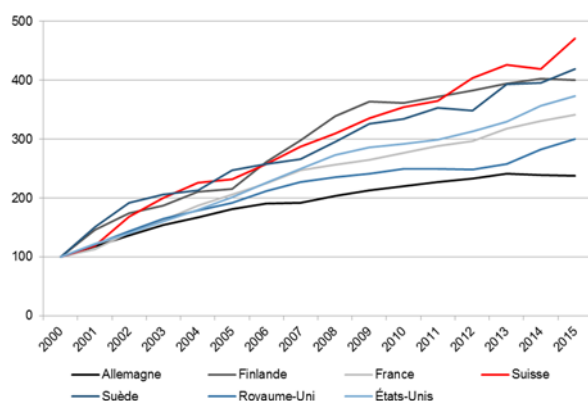
a) Technologies de fabrication de pointe: pays européens particulièrement actifs dans la recherche et États-Unis



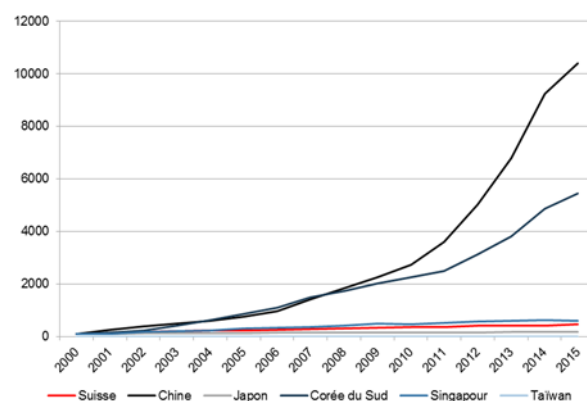
b) Technologies de fabrication de pointe: États asiatiques



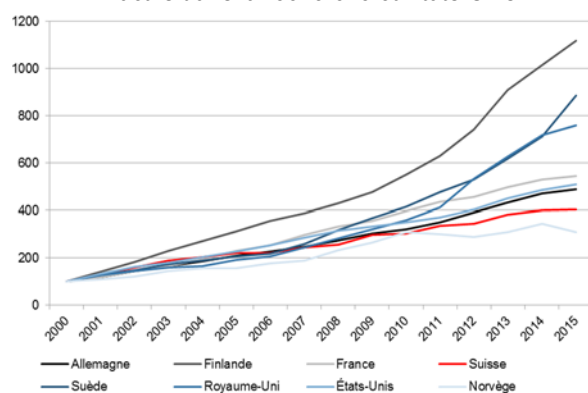
c) Intelligence artificielle: pays européens particulièrement actifs dans la recherche et États-Unis



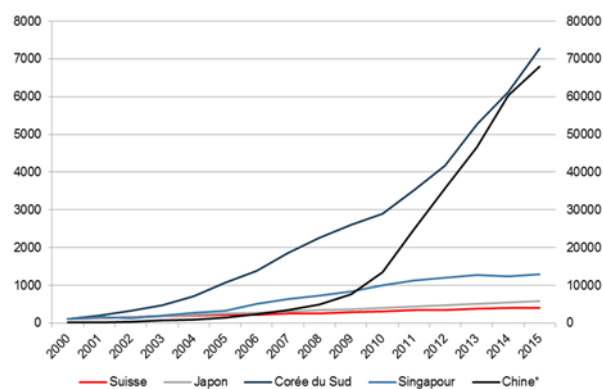
d) Intelligence artificielle: États asiatiques



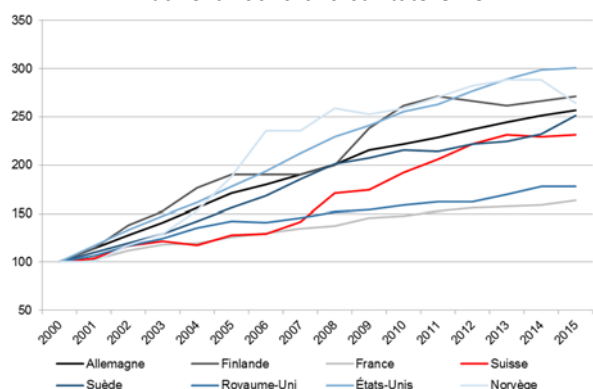
e) Internet des objets: pays européens particulièrement actifs dans la recherche et États-Unis



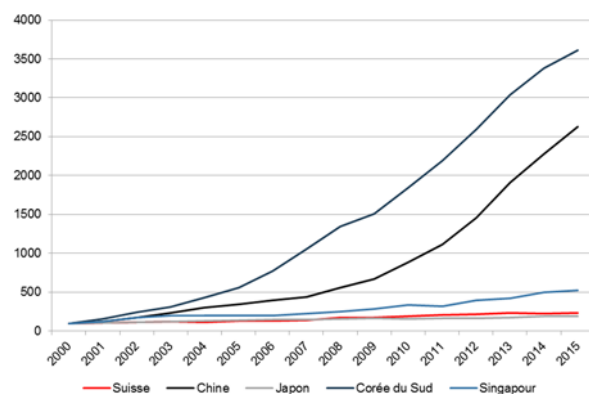
f) Internet des objets: États asiatiques



g) Robotique: pays européens particulièrement actifs dans la recherche et États-Unis



h) Robotique: États asiatiques



Remarque: * représentation sur l'axe secondaire'

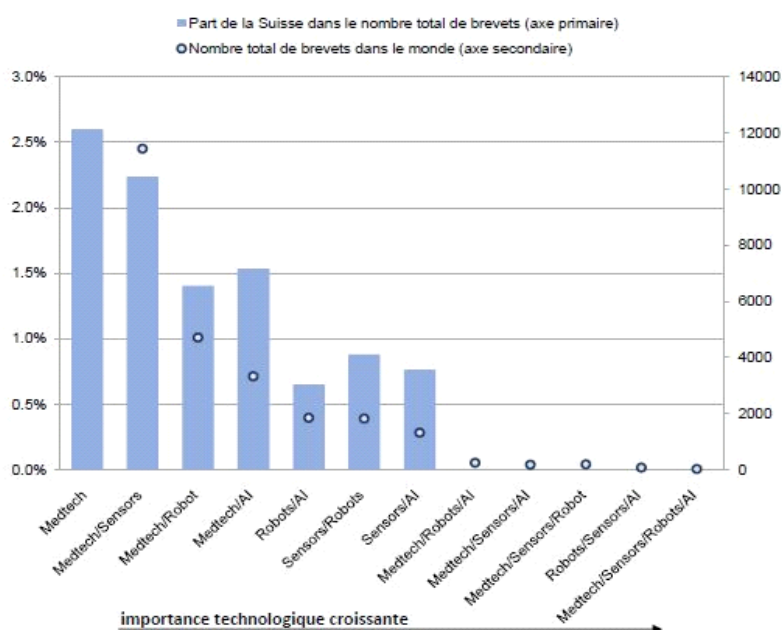
Source: BAKBASEL (2017), «Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten» (en allemand), étude sur mandat du SEFRI.

3.6 Sélection de combinaisons de technologies

La combinaison entre des technologies spécifiques et différentes technologies de numérisation donne plus de valeur aux brevets. La Suisse est en léger retrait en matière d'interpénétration des technologies: bien qu'elle soit mieux placée dans les différentes technologies, d'autres pays comparables parviennent mieux à combiner les technologies. Dans les technologies médicales, par exemple, la Suisse détient 2,6 % de tous les brevets; cette part tend toutefois à diminuer à mesure que l'importance technologique des combinaisons de brevets augmente. Cette tendance est également observable, bien que moins nettement, dans le domaine de l'«Industrie 4.0»¹³⁰.

Figure K: Combinaison entre des technologies spécifiques et différentes technologies de numérisation (nombre de brevets par combinaisons de technologies)

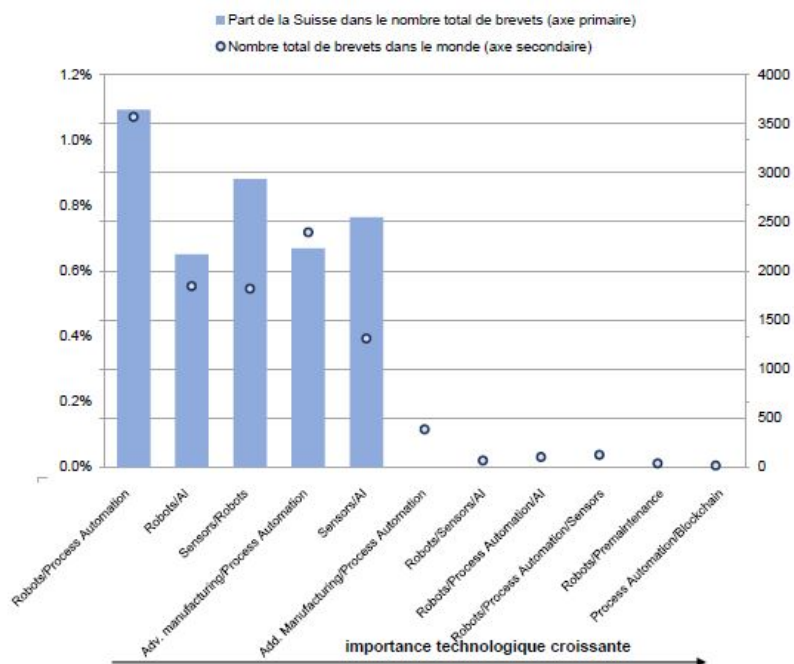
a) Technologies médicales (Medtech)



¹³⁰ Le domaine «Industrie 4.0» est lui-même constitué d'une combinaison de différentes technologies (mécanique, automatisation des processus, robotique, capteurs, technologies de fabrication de pointe, intelligence artificielle, Internet des objets).

Remarque: le nombre total de brevets du domaine Medtech déposés dans le monde n'est pas représenté (état 2015: 198 740).

b) Industrie 4.0



Remarque : Par « Industrie 4.0 » on entend une combinaison de différentes technologies et non d'une technologie exclusive, c'est pourquoi le nombre total de brevets dans le monde et la part de la Suisse ne sont pas représentés séparément

Source: BAKBASEL (2017), «Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten» (en allemand), étude sur mandat du SEFRI.

Annexe 3: Sélection d'initiatives en matière de numérisation dans les domaines de la recherche, de l'innovation et des hautes écoles

Tout comme différents autres pays, la Suisse a lancé toute une série d'initiatives dans le domaine de la numérisation au cours de ces dernières années. En voici quelques exemples ci-dessous.

1. Initiatives en Suisse

1.1 Encouragement de la recherche et de l'innovation

Le **PNR 75 «Big Data»** (programme national de recherche, *25 millions de CHF*) couvre trois axes principaux: les questions techniques, les impacts sociétaux et les applications concrètes. Le module Technologies de l'information est consacré à l'analyse des données (examen, évaluation, apprentissage automatique), aux services de gestion des données, ainsi qu'aux questions liées à la sécurité, au contrôle des accès et à la confidentialité. Le deuxième module traite des défis sociétaux et analyse l'acceptation du big data par la société, les défis légaux, ainsi que les avantages sur les plans économique, social et éducatif. Le troisième module concerne les applications du big data dans plusieurs secteurs de la société, tels que la médecine, les transports et la protection de la population.

Trois **pôles de recherche nationaux** (PRN) actuels s'intéressent au thème de la numérisation.

- Le pôle de recherche «QSIT – Science et technologie quantiques» (période 2010-2017: environ 110 millions de CHF) comprend le développement d'applications en informatique quantique, mais également l'étude de nouveaux paradigmes en recherche physique fondamentale. Le secteur de l'informatique et des capteurs regroupe les principales possibilités d'application.
- Le pôle de recherche «Robotique – Robots intelligents pour améliorer la qualité de vie» (période 2010-2017: environ 63 millions de CHF) se concentre sur un secteur très prometteur des sciences de l'ingénieur et vise à développer des technologies robotiques au service de l'homme.
- Le pôle de recherche «MARVEL – Materials' Revolution: Computational Design and Discovery of Novel Materials» (période 2014-2017: environ 36 millions de CHF) propose une révolution scientifique et technologique, où les découvertes et les inventions reposeront sur des simulations basées sur la mécanique quantique et sur les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour des données massives. Cette approche informatique des matériaux sera appliquée aux domaines de l'énergie, des TIC et de la synthèse pharmaceutique.

Dans le cadre de ses instruments de promotion, la **Commission pour la technologie et l'innovation (CTI)** soutient et travaille également sur des projets du secteur numérique, entre autres. Ainsi, sur la somme totale de 26,3 millions de francs disponible pour le domaine «Enabling Sciences», 16,1 millions ont été versés en 2014 par la CTI à des projets relevant des technologies de l'information et de la communication. Ces projets couvraient des thèmes les plus divers, allant de l'Internet des objets aux réseaux énergétiques, en passant par la visualisation des systèmes experts à l'appui des thérapies dans le domaine de la médecine.

1.2 Structures d'information scientifique et stratégie Open Access

L'évolution des technologies de l'information a révolutionné l'échange de savoirs et rendu possibles de nouvelles solutions de diffusion et de traitement des données scientifiques. Des chercheurs du monde entier sont aujourd'hui connectés entre eux, tandis que les données et résultats de recherche sont en principe disponibles et souvent facilement accessibles partout sur la planète. Les licences coûteuses pour accéder à certaines revues électroniques et les conditions de licence peuvent réduire sensiblement

cette disponibilité des contenus. Les hautes écoles financent aussi bien l'abonnement (bibliothèques) que les prestations de recherche (scientifiques). Une hausse considérable des frais liés à l'accès aux publications scientifiques a accentué cette situation au cours des dernières années. C'est pourquoi les infrastructures d'information scientifique (par ex. archives, bibliothèques, bases de données de publications et de recherche) doivent être renforcées, consolidées, et ainsi mises en réseau entre les institutions, afin de garantir l'accès et l'utilisation des informations numériques essentielles pour l'apprentissage et la recherche.

L'espace suisse des hautes écoles est confronté à un défi particulier à ce sujet, avec l'instauration et la mise en réseau à la fois nationale et internationale de répertoires et bases de données de recherches, dans le but de pouvoir reproduire les résultats de ces dernières et d'utiliser des données obtenues à l'aide de fonds publics dans le cadre de recherches. Pour des raisons matérielles, mais aussi notamment financières, il est nécessaire d'élaborer des solutions communes et coordonnées entre tous les acteurs (domaines spécialisés, hautes écoles, organes de promotion) à l'échelle nationale. Ces mesures peuvent être regroupées sous le terme d'Open Science, qui inclut l'Open Access et l'Open Data. Afin de faciliter l'accès du public à la recherche financée par des fonds publics, différentes initiatives ont vu le jour au cours de ces dernières années:

P-5 «Information scientifique: accès, traitement et sauvegarde»

Avec le projet «Accès à l'information scientifique» (P-5), financé par les contributions liées à des projets conformément à la LEHE, les ressources des hautes écoles suisses doivent être regroupées et l'accès aux publications ainsi qu'aux données doit s'effectuer de la manière la plus simple et abordable possible, grâce à la mise à disposition de prestations de service coordonnées. L'établissement et la garantie de cette infrastructure constituent une base importante pour une recherche et un apprentissage de qualité.

Processus stratégique sur l'«Open Access» (hautes écoles universitaires et FNS)

Fin 2015, dans le même contexte que le P-5 et afin de coordonner les différentes activités en Suisse, le SEFRI a chargé swissuniversities de développer une stratégie nationale en faveur de l'Open Access avec le FNS et en coordination avec les bibliothèques universitaires. swissuniversities a adopté cette stratégie au début 2017. Selon la vision de la stratégie nationale en faveur de l'Open Access, toutes les publications scientifiques financées avec de l'argent public devront être en accès libre sur Internet d'ici 2024. La CSHE a pris connaissance de cette stratégie et l'a approuvée, en invitant dans le même temps swissuniversities à lui présenter un plan de mise en œuvre concret ainsi qu'une vue d'ensemble des conséquences financières. Ce n'est qu'après cela qu'elle pourra finalement s'exprimer au sujet de la stratégie. Ce plan de mise en œuvre est en cours d'élaboration sous la direction de swissuniversities, et devrait être présenté à la CSHE avant la fin de l'année 2017 (cf. <https://www.swissuniversities.ch/fr/themes/politique-des-hautes-ecoles/open-access/>).

1.3 Autres projets de coopération dans le domaine des hautes écoles

En plus du P-5 mentionné ci-dessus, la Conférence suisse des hautes écoles a approuvé différents autres projets en lien avec la numérisation pour la période de financement 2017-2020. Avec le P-10, c'est la «création d'un réseau national pour la promotion des études MINT» jusqu'au degré secondaire I qui est financée et encouragée. Ce programme vise à valoriser de manière générale l'éducation aux disciplines MINT dans la scolarité obligatoire et à susciter l'intérêt des enseignants, des enfants et des jeunes pour les thèmes liés aux MINT, en portant une attention particulière à l'aspect genre. Le développement de nouvelles offres de formation et de formation continue des enseignants permettra en particulier d'atteindre cet objectif. Le P-10 est un projet de coopération entre des hautes écoles spécialisées et des hautes écoles pédagogiques.

Un autre projet de cette période 2017-2020 étroitement lié à la numérisation est le programme P-9: «Développement des compétences scientifiques en didactique des disciplines». Il a pour objectif de développer et relier les compétences scientifiques de didactique des disciplines, en vue de donner plus

de poids au débat scientifique dans ce domaine en Suisse. Différentes possibilités de qualification devraient être créées pour les enseignants et les collaborateurs scientifiques des hautes écoles pédagogiques et autres instituts de formation des enseignants en didactique des disciplines. La numérisation croissante de la société ainsi que la définition des priorités du programme d'enseignement 21 dans les domaines des médias et de l'informatique ont été intégrés dans le projet. Ce programme prévoit par exemple une filière de Master en didactique des disciplines dans le domaine des «médias et de l'informatique». La transmission des compétences numériques dans le cadre de la formation des enseignants (degré primaire I, degré secondaire I et II) est aussi encouragée, avec notamment la mise en place et l'utilisation de plateformes en ligne, le traitement de contenus numériques, ainsi que l'exploitation d'autres compétences d'apprentissage en ligne (par ex. blogs, journaux en ligne, vidéophonie). Dans le cadre de ce programme, ce sont finalement des contenus ou des offres de formation et de formation continue des enseignants en lien avec la numérisation dans les domaines de l'enseignement/la didactique qui sont développés.

En plus des projets coordonnés par la CSHE, il existe de nombreux autres exemples de coopérations interfacultaires et interdisciplinaires dans les hautes écoles. L'université de Zurich est par exemple en train de monter la Digital Society Initiative (DSI). Il s'agit d'une plateforme interdisciplinaire de chercheurs qui s'intéressent au changement survenu dans la recherche et la société, du fait de la numérisation. La DSI doit mettre les chercheurs en réseau au-delà des disciplines et des facultés, attirer l'attention sur les chances et les risques de chacun et délibérer sur des projets liés à la science et à la société numérisées du futur. Jusqu'à présent, les projets de la plateforme traitaient par exemple de la transformation numérique des entreprises ou des effets de la numérisation sur le processus démocratique. L'université de Berne a quant à elle lancé le programme «Digital Humanities» en 2013, avec pour objectif d'encourager l'application de méthodes numériques pour les sciences humaines et sociales, aussi bien dans la recherche que dans l'enseignement. Les projets de coordination visant à promouvoir les compétences numériques dans les hautes écoles sont typiquement interdisciplinaires et utilisent des ressources de différentes facultés. L'EPFL+ECAL Lab représente un autre exemple de coopération interdisciplinaire, à laquelle participent l'EPFL et l'École Cantonale de Lausanne (ECAL). Son objectif est de combiner les compétences des domaines du design et de l'informatique en utilisant des technologies (de fabrication) numériques modernes. L'EPFL+ECAL Lab propose aux étudiants de l'EPFL un MAS au carrefour entre la recherche technique et le design, entre autres. Par ailleurs, l'EPFL s'est dotée avec le Swiss EdTech Collider d'un incubateur de start-up dans le domaine des technologies de l'éducation. Cet espace collaboratif doit permettre aux jeunes entreprises de mieux exploiter les synergies et de bénéficier des connaissances des professeurs de l'EPFL dans le champ de recherche «Educational Technology». Les hautes écoles spécialisées et les hautes écoles pédagogiques se sont elles aussi saisies du thème de la numérisation à travers diverses initiatives et plusieurs projets de coopération. La Haute école spécialisée bernoise (BFH), par exemple, a fondé un Centre BFH Digital Society dédié aux chances et aux risques liés à la numérisation, à l'élaboration de stratégies durables pour l'avenir et à la conception et la mise en œuvre technique de projets dans ce contexte. Enfin, la Haute école technique de Rapperswil (HSR) et l'Université de Saint-Gall ont créé le DigitalLab@HSR avec un partenaire privé. Ce projet vise à encourager et accélérer la transition de projets numériques à l'interface entre la recherche et la pratique. Les entreprises industrielles profiteront des compétences du DigitalLab@HSR dans les domaines de la technologie, de la stratégie, du *business model* et du *change management*.

1.4 De nouvelles formes d'enseignement et d'apprentissage

La numérisation a également fait son entrée dans le développement de l'enseignement et de l'apprentissage dans les hautes écoles suisses, où elle apporte des changements durables. L'enseignement et l'apprentissage vont se trouver fortement modifiés par les nouvelles possibilités technologiques telles que les MOOC (Massive Open Online Courses), le big data et les possibilités offertes par les nouvelles technologies de l'information («educational technology»), par exemple. Dans le cas des MOOC, qui sont gratuits et ouverts à un large public, la transmission du savoir se fait entièrement en ligne. Ils complètent les formes classiques de transmission du savoir avec des vidéos, du matériel de lecture et

des forums qui permettent aux apprenants et aux enseignants de communiquer entre eux et de former des communautés. L'importance des MOOC pour chaque haute école est étroitement liée à la stratégie internationale de cette dernière: les MOOC favorisent une visibilité au niveau international de chaque haute école et de son offre, ainsi que les échanges généraux entre les étudiants et les chercheurs. Ils soutiennent également un enseignement créatif dans la haute école. Les MOOC ne vont pas mettre fin aux hautes écoles, ils montrent en revanche comment les nouvelles possibilités, du fait d'une indépendance spatio-temporelle accrue, peuvent fondamentalement modifier la transmission du savoir dans les hautes écoles. Dans ce domaine, l'EPFL occupe une place de pointe en Suisse. Elle dispose, avec la MOOC Factory, d'une structure exemplaire qui soutient les enseignants dans l'élaboration de cours en ligne ouverts à tous.

Autre exemple d'évolution numérique répandue dans toutes les hautes écoles: l'intégration d'éléments de formation en ligne dans l'enseignement, c'est-à-dire des formes d'apprentissage telles que des supports numériques ou électroniques qui sont utilisées pour présenter et distribuer du matériel de lecture et/ou pour faciliter la communication. Il s'agit par exemple de la visualisation des cours magistraux en streaming ou des supports de cours et d'exercices déposés sur des plateformes d'apprentissage. Le «blended learning» désigne l'enrichissement du cours présentiel classique par des formes d'enseignement numérique. À la différence des MOOC, ces offres ne sont disponibles que pour les étudiants immatriculés. En lien avec l'apprentissage en ligne, la majorité des hautes écoles propose également aux enseignants des prestations de service dans le domaine du développement et des innovations dans la formation: le service pour le développement de la formation et de la technologie (Abteilung für Lehrentwicklung und Technologie, LET) de l'École polytechnique fédérale de Zurich soutient et finance par exemple l'introduction de nouvelles formes de cours. L'EPFZ soutient en outre les initiatives en faveur du développement de l'enseignement par le biais de son fonds dédié Innovedum. Ce fonds met l'accent notamment sur une conception interactive de l'enseignement, par exemple par la mise à disposition de documents didactiques sous forme électronique dans le but de consacrer davantage de temps durant l'enseignement présentiel aux interactions personnelles, à la réflexion et à l'échange. La faculté de philosophie de l'Université de Zurich propose différentes prestations de service aux enseignants pour qu'ils complètent leurs cours magistraux et interventions par des supports numériques tels que des évaluations, des examens, des offres de formations mobiles ou la création d'un MOOC. La Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW a également mis en place un centre pour l'enseignement et l'apprentissage numérique dans la haute école, une structure de promotion des technologies numériques destinée aux enseignants. La HES-SO propose une offre similaire pour ses enseignants, avec son Centre E-Learning créé en 2004 déjà. Enfin, on peut citer le laboratoire de l'éducation (EdLab) de la Haute école pédagogique de Zoug, dans le cadre duquel de nombreux projets sont menés sur l'utilisation des technologies numériques dans l'enseignement et la recherche.

1.5 Exemples de nouvelles filières de formation et de formation continue dans les hautes écoles

L'évolution des nouvelles filières de formation et de formation continue est exposée ci-après à l'aide de quelques exemples.

La Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) de Coire propose une filière bachelor en Digital Business Management. Celle-ci combine des contenus relatifs à la gestion d'entreprise et de projet, en mettant particulièrement l'accent sur l'utilisation de technologies numériques. D'autres hautes écoles spécialisées proposent des filières ayant une orientation similaire au niveau de la formation continue (MAS). L'Université de Saint-Gall vérifie actuellement également la faisabilité d'une nouvelle filière d'études qui combinerait la gestion et l'informatique. Il est prévu de créer une filière d'informatique de gestion avec une orientation technique. L'Extension School de l'EPFL peut être citée en exemple pour la formation continue. Conçue en coopération avec le secteur privé, cette offre s'adresse à des personnes qui exercent déjà une activité professionnelle. Les cours en ligne permettent de s'approprier

des compétences numériques pertinentes (par ex. la programmation). À partir du semestre d'automne 2017, la haute école spécialisée à distance de Suisse (HESD) proposera une filière MAS en industrie 4.0. Il s'agit d'une filière de formation continue interdisciplinaire au carrefour entre l'ingénierie, l'informatique et l'économie d'entreprise.

1.6 Centro Svizzero di Calcolo Scientifico (CSCS): High Performance Computing and Networking (HPCN-20)

Dans le cadre de l'initiative «High-performance Computing and Networking» (HPCN), arrêtée par le Parlement en 2009, l'EPFZ a mis en place au CSCS une infrastructure de calcul à haute performance, compétitive à l'échelle internationale, pour la recherche suisse. Ces ordinateurs puissants permettent de traiter de très gros volumes de données et de gérer des simulations. La progression exponentielle des capacités de calcul et de l'efficacité énergétique des superordinateurs nécessite un renouvellement constant de l'infrastructure de calcul du HPCN. L'EPFZ, par l'intermédiaire du CSCS, dont les services sont complétés par le Swiss Data Science Center SDSC (v. plus loin) planifie d'ores et déjà ses ressources en vue du renouvellement de l'infrastructure de calcul HPCN en faveur de la communauté scientifique suisse à l'horizon 2020.

1.7 Centre national de la science des données

Début 2017, les deux EPF ont fondé un centre national de la science des données (SDSC)¹³¹ afin d'offrir une infrastructure qui promeuve la recherche multidisciplinaire dans les domaines de la science des données et de l'informatique. Ce centre doit contribuer à combler le fossé existant entre les fournisseurs de données, les informaticiens et les scientifiques des différentes disciplines. En outre, les chercheurs veulent développer une plateforme inédite, hébergée dans le cloud, pour mener les analyses les plus variées. Celle-ci permettra de conserver, d'explorer et d'analyser des données anonymisées, calibrées et organisées. Sur les sites de Zurich et Lausanne, les chercheurs du SDSC portent une attention particulière aux domaines de la médecine personnalisée, des sciences environnementales et des technologies de production.

Des investissements à hauteur de 30 millions de francs sont prévus au total pour ce centre au cours des quatre prochaines années. Il accueillera dans ses bureaux de Lausanne et Zurich une équipe multidisciplinaire de 30 à 40 informaticiens, spécialistes des données et autres experts de domaines scientifiques spécifiques. Des filières de master en science des données seront proposées à partir de septembre 2017 à l'EPFL et à l'EPF de Zurich.

2. Initiatives à l'extérieur de la Suisse

Comme le montre la vue d'ensemble suivante, la croissance fulgurante de la numérisation dans l'économie s'accompagne à l'étranger d'une multitude d'initiatives nationales visant à améliorer les conditions-cadre, qui recouvrent essentiellement la recherche et l'enseignement dans les hautes écoles.

2.1 Agenda numérique (UE)

En 2010 a été lancée la Stratégie numérique pour l'Europe, qui fixe la stratégie de l'Union Européenne dans le secteur du numérique jusqu'en 2020.¹³² Étant donné que la création d'un marché unique numérique fait partie des dix priorités de la Commission européenne pour 2015-2019, en avril 2015 a été présentée la nouvelle Stratégie pour un marché unique numérique dans l'UE. L'UE souhaite supprimer les obstacles réglementaires et réunir les 28 marchés nationaux en un seul. Ainsi, la population et les

¹³¹ <https://datascience.ch/>

¹³² Commission européenne (2014): « Stratégie numérique pour l'Europe », Bruxelles.

entreprises bénéficieront d'un accès homogène et équitable aux biens et aux services en ligne, quel que soit leur lieu de résidence. La comprend les éléments clés suivants:

- Améliorer l'accès aux biens et services numériques: le premier pilier vise à supprimer les obstacles aux activités en ligne transfrontières. L'UE a prévu huit mesures afin d'atteindre cet objectif. Elle souhaite, par exemple, faciliter le commerce électronique transfrontière, en particulier pour les petites et moyennes entreprises (PME), en harmonisant les droits des consommateurs et les règles contractuelles, et en améliorant les services de livraison transfrontalière des colis. L'UE veut aussi faciliter l'accès au contenu et aux services en ligne. À cette fin il est prévu d'harmoniser les règles relatives au droit d'auteur.
- Créer des conditions-cadre propices au développement des réseaux et des services numériques : la mise en œuvre de cette priorité nécessite des infrastructures à haut débit qui soient rapides, sécurisées et fiables. À cette fin, en 2016 la Commission européenne a proposé une révision de la réglementation sur les télécommunications. L'UE souhaite aussi une approche plus harmonisée entre les États membres concernant les règles sur la protection des données personnelles ainsi que la sécurité des réseaux et de l'information (cybersécurité). Enfin, l'UE analysera aussi le rôle des plateformes en ligne.
- Economie numérique comme moteur de la croissance : le troisième pilier vise à maximiser le potentiel de croissance de l'économie numérique. L'UE veut créer une économie des données compétitive et innovante en favorisant la circulation des données ainsi que l'utilisation de l'informatique en nuage (« cloud »), des mégadonnées (« big data ») et de l'Internet des objets (« Internet of things »). L'adoption de normes homogènes et l'amélioration de l'interopérabilité dans des domaines cruciaux, tels que la santé, les transports ou l'énergie, est aussi une priorité. Afin d'assurer une société numérique inclusive l'UE a fait des compétences numériques un élément essentiel de ses futures initiatives en matière de formation. Enfin, elle a présenté en 2016 le nouveau plan d'action pour l'administration en ligne.

En matière de recherche, développement et innovation, l'agenda numérique est combiné au programme d'encouragement Horizon 2020 dans les domaines suivants:

- Innovation: les activités sont organisées le long de 3 axes. Il s'agit de la hausse de la demande (demande publique de TIC innovantes, Horizon Prize), des risques de l'entreprenariat (accès aux Business Angels et aux capitaux-risques, soutien pour les potentielles innovations de rupture) et des écosystèmes des TIC (mise en réseau et formation des entreprises et futures entreprises).
- Technologies émergentes: l'avenir du marché unique du numérique doit être rendu possible avec le soutien des projets de recherche qui, malgré un risque élevé, présentent une grande utilité. Il s'agit en particulier des programmes Future and Emerging Technologies (FET), Future Networks et Future Internet Research and Experimentation Initiative (FIRE).
- Science ouverte: avec l'European Open Science Cloud, le cloud ouvert européen au service de la science, une infrastructure a été créée afin de permettre l'échange de données et l'accès ouvert à la recherche scientifique.
- Infrastructure numérique: la promotion de l'infrastructure numérique assure une connexion rapide au réseau, la sauvegarde des données et des superordinateurs performants.
- Composants et systèmes: des axes de recherche sont également soutenus dans des disciplines comme l'électronique, l'électronique organique et à grande échelle, la photonique, les systèmes cyber-physiques, l'Advanced Computing, le Smart Manufacturing, entre autres.
- Robotique: au total, 120 projets de recherche et activités de coordination sont soutenus afin d'instaurer de solides bases de coopération et d'échange des connaissances pour les acteurs du domaine de la robotique.

2.2 Agenda numérique (Allemagne)

Dans le cadre de l'«Agenda numérique 2014 – 2017», le gouvernement fédéral allemand veut soutenir et accélérer le passage à l'économie numérique, tout en tirant profit du potentiel d'innovation de la numérisation. Il a pour cela mis l'accent sur la recherche fondamentale sans toutefois perdre de vue la chaîne de valeur générale qui va de la recherche fondamentale au transfert et à l'exploitation des innovations¹³³.

Des mesures en lien avec la formation universitaire et le développement des compétences dans les hautes écoles et les instituts de recherche sont au centre de cette initiative:

- consolidation de l'encouragement à l'innovation en matière de big data, afin d'en dégager l'important potentiel pour l'économie (par ex. Industrie 4.0) et la science (par ex. sciences de la vie). Deux centres de compétences en big data ont ouvert à Berlin et Dresde;
- amélioration du calcul haute performance («High Performance Computing») en tant que base de l'excellence scientifique, pour créer de la valeur dans l'économie et tendre à une position de leader;
- instauration et consolidation de programmes de recherche et de technologie présentant un transfert élevé dans l'économie, avec l'autonomique, la 3D, le big data, le services cloud et la microélectronique;
- création de centres de compétences visant à informer et présenter des exemples de bonnes pratiques pour l'industrie 4.0 et de Smart Services pour les TPE/PME et l'artisanat, mais également à promouvoir des applications et des services ergonomiques («usability»);
- création de postes professoraux supplémentaires et consolidation des instituts de pointe en MINT existants, en particulier dans le domaine de l'informatique, avec par exemple l'analyse du big data, la science des données, les logiciels industriels et la sécurité informatique ainsi que, dans le même temps, une coopération renforcée avec l'économie;
- encouragement de l'insertion de l'informatique et l'analyse de données dans d'autres branches, en tant qu'éléments interdisciplinaires;
- intensification du transfert des connaissances des hautes écoles vers la pratique au sein de l'entreprise, dans le cadre des programmes d'encouragement à la création d'entreprise des hautes écoles;
- la création d'un institut de recherche sur l'Internet, qui doit étudier de manière interdisciplinaire «les aspects éthique, légal, économique et participatif d'Internet et de la numérisation» a en outre été décidée (frais d'établissement pour les cinq prochaines années: 50 millions d'euros). L'étude de la numérisation dans toute sa complexité constitue une mission importante pour cet institut. Les conclusions de ces recherches devraient rapidement trouver leur chemin dans la société, l'économie et la politique, de sorte que le transfert de connaissances joue également un rôle crucial.

2.3 Smart Nation (Singapour)

Singapour a développé le concept de *Smart Nation* en vue de se préparer à un avenir numérique. Smart Nation comprend cinq domaines clés: les transports, l'habitat et l'environnement, la productivité, la santé et une vieillesse facilitée, ainsi que les prestations de service public¹³⁴. Les citoyens doivent être en mesure de trouver des solutions efficaces aux problèmes de ces domaines clés, en collaboration avec le monde de l'économie. Le gouvernement veille pour cela à offrir une infrastructure et des conditions-

¹³³ Ministère fédéral allemand de l'économie et de la technologie (2016): «The Digital Agenda 2014 – 2017».

¹³⁴ <https://www.smartnation.sg/about-smart-nation>

cadre favorables. Les activités suivantes sont prévues dans les domaines de la numérisation, de la recherche et de l'innovation:

- simplification des Smart Solutions: de nouvelles solutions seront testées dans les domaines clés (par ex. transports en commun, hôpitaux, quartiers d'habitation) qui seront ensuite améliorés sur ces bases;
- Open Data et mise en réseau: une plateforme d'Open Data met à disposition des données exploitables par ordinateur. La plateforme Smart Nation permet de mieux relier différents paquets de données;
- recherche et développement: les priorités suivantes sont soutenues dans le cadre du plan Research, Innovation and Enterprise (RIE2020): ingénierie et fabrication de pointe, santé et sciences biomédicales, solutions urbaines et développement durable, services et économie numérique;
- laboratoire vivant: certaines zones de la ville sont à la disposition des organismes de tests et de conception. Il existe par exemple un tronçon de test pour les véhicules autonomes et les concepts de mobilité dans le quartier One-North;
- écosystème industriel et de startups: certaines zones de la ville se caractérisent par la présence de fonds de capital risque ou leur proximité avec la recherche, le développement et des entreprises établies dans des branches spécifiques. Elles offrent ainsi un terrain favorable à l'innovation et à la création de startups;
- formation et formation continue: différents programmes soutiennent l'instauration et la consolidation de connaissances en matière de TIC.

2.4 Stratégie numérique (France)

La stratégie numérique de la France se décline en quatre axes principaux: Liberté d'innover, Égalité des droits, Fraternité d'un numérique accessible à tous, et Exemplarité d'un État qui se modernise. La stratégie inclut les mesures suivantes dans les domaines de la formation, la recherche et l'innovation:

- Initiative «French Tech»: initiative organisée autour de trois axes: fédérer un réseau national, accélérer un financement d'amorçage (Bourse French Tech) et une offre d'accompagnement pour les entreprises en hyper-croissance (Pass French Tech), et rayonner à l'étranger grâce à une plateforme d'attractivité (French Tech Hubs) et un dispositif d'accueil des talents entrepreneuriaux étrangers (French Tech Ticket).
- Données d'intérêt général: promouvoir une économie de la donnée par une politique volontariste d'ouverture des données publiques et en désignant des données d'intérêt général.
- Alliance de l'innovation ouverte: créer une atmosphère qui facilite des approches collaboratives de développement.
- Transition numérique des TPE-PME: développement, proposition et déploiement des produits numériques adaptés aux besoins des TPE et PME.
- Science ouverte: soutien spécifique au développement de plateformes et d'infrastructures de dépôt et d'archives ouvertes, de nouveaux modes d'évaluation des chercheurs en intégrant un critère de publications en accès ouvert.
- Maquette numérique dans le bâtiment: recenser et promouvoir les bonnes pratiques et les initiatives locales dans un portail national du numérique dans le bâtiment. Diffusion des outils pédagogiques et développement d'outils numériques simples. Fonds de compensation des assurances construction pour la transition numérique du bâtiment.

- Protection des utilisateurs: adaptation de la législation de protection des consommateurs, plan d'action pour améliorer les conditions générales d'utilisation des plateformes, réflexion sur le rôle des algorithmes.
- Plan numérique pour l'éducation: améliorer l'efficacité et l'équité du système éducatif en apportant, dans le cadre de la réforme du collège, à tous les élèves les compétences et les savoirs nécessaires pour développer leur créativité et leur citoyenneté. Transformation des pratiques pédagogiques par un plan exceptionnel de formation des enseignants, des cadres et des personnels de l'éducation. Création d'un grand portail national de référencement. Projets d'équipement des établissements.
- «Startups d'État»: faire entrer dans l'administration la méthodologie startup en créant des petites structures rattachées au Secrétariat général pour la Modernisation de l'action publique, accompagnant des groupes d'utilisateurs afin de répondre à une question précise.
- Médecine du futur: 3 plans «Santé» dans le cadre des 34 plans de la Nouvelle France industrielle. Introduire la médecine personnalisée et faire émerger un écosystème favorable au développement d'entreprises en assurant le décroisement entre l'ensemble des secteurs industriels concernés.
- «Grande École du Numérique»: offrir un cadre aux acteurs et aux apprenants des métiers du numérique, en s'appuyant sur un maillage et un réseau de structures réparties sur l'ensemble du territoire national. L'ensemble des formations labellisées sera accessible à un large public, sans distinction académique, économique ou sociale.

2.5 Digital Roadmap (Autriche)

La Digital Roadmap Austria¹³⁵ propose environ 150 mesures concrètes dans 12 champs d'action (la formation, l'infrastructure, la recherche et l'innovation, l'économie, le travail et l'emploi, la santé, le social, l'environnement, l'énergie ainsi que l'agriculture et la lutte contre le réchauffement climatique, la mobilité et les transports, les médias, le courage civique et la culture, l'intégration et l'inclusion, la sécurité ainsi que la protection et la confiance, et enfin la politique et l'administration) afin que la numérisation soit un succès pour l'Autriche. Les activités suivantes sont prévues dans les domaines de la formation, de la recherche et de l'innovation.

- Stratégie globale «formation numérique»: mesures pour la transmission de compétences numériques et de connaissances informatiques de base, consolidation des qualifications techniques et professionnelles dans les domaines fondamentaux du développement informatique, mesures particulières pour promouvoir la présence des femmes dans les domaines MINT, formations et formations continues à l'utilisation d'outils de formation en ligne dans l'enseignement, amélioration de l'infrastructure et nouveaux supports d'enseignement.
- Recherche et innovation: poursuite des initiatives thématiques de la stratégie recherche, technologie, innovation (FTI) «Produktion der Zukunft», «Mobilität der Zukunft» et «IKT der Zukunft», ainsi que la plateforme «Industrie 4.0». Les axes de recherche se trouvent dans la physique et la technologie quantiques, ainsi que dans le développement d'un démonstrateur d'ordinateur quantique et l'initiative d'encouragement «Silicon Austria». Poursuite de l'encouragement actuel de la recherche sur la sécurité, création de plateformes de connaissances numériques sécurisées, Open Innovation avec la participation de la population civile, diffusion des publications scientifiques en Open Access, stratégie sur l'Open Data, infrastructures électroniques et gestion des données dans le domaine des sciences de la vie.

¹³⁵ Chancellerie fédérale autrichienne, Ministère fédéral de la science, de la recherche et de l'économie (2016): «Digital Roadmap Austria», Vienne.

- Économie: amélioration des conditions cadres pour les créateurs de startups, consolidation des réseaux pour les entreprises autrichiennes (Open Austria) et du réseau Global Incubator, guichet unique électronique pour les créations d'entreprises, renforcement de l'économie créative, mise en réseau (Digital Innovation Hubs), soutien de la transformation numérique des PME, simplification des permis de travail pour les programmeurs de pays tiers (inscription sur la liste des métiers en pénurie de main-d'œuvre), cadre juridique pour les modèles de gestion en ligne compétitifs, garantie de la transparence et de la protection des données. Les secteurs d'avenir stratégiques sont le big data, la science des données, les services cloud, la technologie quantique et la cybersécurité.
- Activités pertinentes pour la formation, la recherche et l'innovation dans d'autres champs d'action: plan d'action «Autonomes Fahren», mise en œuvre et poursuite du développement de la stratégie autrichienne de cybersécurité.

2.6 ICT Strategy (Japon)

Le chapitre 6 du White Paper 2016¹³⁶ du Ministère des affaires intérieures et des communications apporte des informations détaillées sur l'orientation de la politique japonaise en matière de TIC. La stratégie fixe les priorités suivantes pour la recherche et le développement:

- Internet des objets: instauration et démonstration de technologies de plateformes universelles pour l'Internet des objets, à l'aide notamment de projets pilotes et d'une intensification des efforts au niveau international en vue de normaliser ces technologies.
- Mobilité autonome: soutien de la recherche, du développement et de programmes pilotes pour des systèmes de mobilité autonome.
- Développement de la prochaine génération de technologies de réseau optique.
- Technologies de traduction vocale multilingue: soutien de la recherche, du développement et de programmes pilotes permettant une traduction automatique multilingue des mots prononcés. Cela comprend également le développement de technologies qui rendront possibles de tels appareils, par exemple dans les domaines de l'intelligence artificielle ou des technologies de filtration du bruit.
- Intelligence artificielle: l'étude et le développement d'une intelligence artificielle sont liés à différents domaines d'application. Il s'agit par exemple de la traduction vocale, de l'analyse du big data ou de la recherche cérébrale.
- Japan Gigabit Network (JGN): depuis 1999, le JGN offre un environnement de test qui accélère l'application des résultats de recherche dans le domaine des TIC.
- Encouragement compétitif de l'innovation dans les TIC: le Japon dirige plusieurs programmes qui servent à encourager l'innovation de manière compétitive dans le domaine des TIC. Ils recouvrent aussi bien la recherche et le développement (programmes SCOPE et ICT Creation Challenge) que le soutien de modèles de gestion ayant un potentiel disruptif (programme Innovation).
- Soutien de la coopération internationale dans le domaine des TIC, comme par exemple avec l'UE, pour la recherche sur la 5G et la robotique.
- Contribution à une infrastructure TIC résiliente: étude, développement et normalisation au niveau international de capteurs fiables et économes en énergie pour une détection précoce des séismes, mais également une préservation et une sécurisation efficaces de l'infrastructure publique en cas de catastrophe.

¹³⁶ Ministère japonais des affaires intérieures et des communications (2016): «White Paper 2016, Information and Communications in Japan».

- Autres programmes: technologies de communication dans l'espace (communications par satellites), ordinateur et communication quantiques.

Les autres priorités de la politique japonaise en matière de TIC regroupent les applications de ces technologies dans la médecine, pour soutenir la population vieillissante, ainsi que pour la protection contre les catastrophes. Elle détermine par ailleurs des TIC pour le développement régional.

2.7 Axes prioritaires en matière de technologie 2012-2016 (États-Unis)

Comparables à la stratégie numérique, les priorités thématiques stratégiques ont été regroupées sous le thème prioritaire «Technologie»¹³⁷ aux États-Unis. Il pose les priorités suivantes en matière de recherche et d'innovation:¹³⁸

- Cybersécurité et politique relative à l'Internet: soutien des normes internationales pour un Internet ouvert et stratégies visant à améliorer la sécurité dans le cyberspace.
- Modernisation du droit des brevets: en particulier l'accélération du processus d'attribution et d'autres possibilités visant à éviter de longues procédures judiciaires pour l'élucidation des litiges de brevets.
- Startup America: soutien de la commercialisation de nouvelles technologies, harmonisation des activités liées au transfert de savoir et de technologies, ainsi que consolidation des partenariats public-privé.
- Apprentissage numérique: diffusion de nouvelles méthodes d'enseignement et d'apprentissage.
- Advanced Manufacturing Partnership (AMP): initiative commune d'investissement entre l'industrie, les universités et les autorités fédérales afin d'encourager le développement et le déploiement de nouvelles technologies de production.
- National Robotics Initiative: des développements spécifiques à la robotique ont été encouragés dans le cadre de l'AMP, en vue d'améliorer la coexistence et la collaboration entre travailleurs humains et robots.
- Open Data Initiative: des données gouvernementales et des données communiquées volontairement par des entreprises seront rendues disponibles en tant que ressources pour la recherche et l'innovation.
- Presidential Innovation Fellows: une sélection de 18 innovateurs travaillent pendant six mois sur des projets dans des domaines choisis et significatifs sur les plans économique et social (Open Data Initiative, place de marché en ligne pour une collaboration simplifiée entre les PME à croissance rapide et les autorités politiques, accès à l'administration électronique pour les citoyens, «Last Mile Programm», paiement de l'aide au développement par voie électronique, dossier électronique du patient).
- Chief Technology Officer: personne en charge du déploiement et de l'utilisation des nouvelles technologies dans des domaines importants de la société, comme la santé ou les énergies renouvelables, entre autres.
- TechHire Initiative: soutien de la formation et de la formation continue afin d'améliorer les gestes techniques.

¹³⁷ <https://obamawhitehouse.archives.gov/issues/technology>

¹³⁸ A ce jour, la nouvelle administration des États-Unis n'a pas fixé de priorité thématique comparable et n'a pas rendu public de stratégie en matière de numérisation. On ignore si elle entend poursuivre la stratégie de l'administration précédente.

2.8 Digital Strategy (Royaume-Uni)

La nouvelle stratégie numérique du Royaume-Uni¹³⁹ fixe sept priorités: infrastructure numérique, aptitudes pour le numérique et inclusion, secteur économique numérique, cybersécurité, administration en ligne et utilisation des données. Les éléments suivants sont pertinents pour la formation, la recherche et l'innovation:

- Computing at School Network of Teaching Excellence in Computer Science: programme visant à améliorer la formation en informatique dans les écoles (primaires et secondaires).
- Apprentissage tout au long de la vie: formation gratuite des adultes afin de leur apprendre les aptitudes fondamentales pour le numérique.
- Des aptitudes pour le numérique, pour des emplois dans le numérique: création d'un institut qui doit améliorer la formation dans le numérique.
- Aptitudes en matière de cybersécurité: formation et formation continue à tous les niveaux, y compris pour les adultes, dans le domaine de la cybersécurité.
- Encouragement de l'innovation: vérification de la fiscalité des entreprises, Tech Nation Visa, régulation capable de suivre les évolutions technologiques (dans le domaine de l'attribution des brevets, entre autres), soutien de la technologie financière.
- Digital Catapult Centre: ce centre met à la disposition des technologues et personnes créatives issus de l'économie et du monde académique un espace dans lequel ils pourront développer de nouvelles idées et présenter des produits. Les priorités pour la première étape sont la production numérique, la santé et les soins numériques, ainsi que les industries créatives.
- Industrial Strategy Challenge Fund: soutien des technologies à tous les niveaux de développement. Les secteurs stratégiques sont: l'énergie propre, la robotique et l'intelligence artificielle, les satellites et la technologie spatiale, la médecine et la santé, les processus et matériaux de production du futur, les sciences de la vie et la biotechnologie, la technologie quantique, ainsi que les technologies numériques de transformation (superordinateur, modélisation avancée et technologies de réseau mobile 5G).
- Soutien des startups numériques à un stade précoce: programme de formation et liberté d'action pour l'activité entrepreneuriale à l'université.
- Soutien des technologies émergentes: véhicules connectés et autonomes, Internet des objets et infrastructure intelligente.
- Marchés publics: fourniture de prestations de services sur une place de marché numérique qui simplifie l'attribution des missions aux PME.
- Tech Nation UK: soutien de pôles d'activités numériques existants ou nouveaux dans toutes les régions de la Grande-Bretagne.
- Soutien des innovations sociales numériques et de la HealthTech (y compris des technologies pour une population vieillissante).
- Infrastructure des données: partage de l'infrastructure des biens, des technologies, des processus et des organisations qui rassemblent des données, pour des échanges et d'autres utilisations ultérieures.
- Protection des données et confiance du public quant à leur utilisation.
- Open Government Data.

¹³⁹ <https://www.gov.uk/government/publications/uk-digital-strategy>