

# LA FORMATION EN RÉPONSE AUX NOUVEAUX DÉFIS ÉCONOMIQUES POSÉS PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.

par **Claudia Borrelly** et **Claudio Sfreddo**

*Étude réalisée sur mandat des six banques cantonales des cantons romands dans le cadre de l'étude sur le PIB romand publiée en collaboration avec le Forum des 100 du quotidien Le Temps.*



Ce rapport n'aurait pas pu être rédigé sans la contribution de toutes les personnes qui ont pris le temps de partager leur expertise avec nous. Nous aimerions ainsi remercier Jérôme Amez-Droz (Département de l'Éducation et de la Famille, canton de Neuchâtel), Laurent Bagnoud (Délégué à la digitalisation, HES-SO), Hervé Bourlard (Directeur de l'institut de recherche Idiap, Martigny), Maurizio Caon (Responsable du Digital Business Center, Haute École de Gestion, Fribourg), Christophe Darbellay (Chef du Département de l'économie et de la formation, canton du Valais), Antoine Geissbuhler (Responsable du Bureau de la Transformation Numérique, Université de Genève), Gaëtan Cherix (Directeur de la Haute École d'Ingénierie du Valais), Isabelle Gindrat (Professeure, HE-Arc), Vincent Jacquier (Responsable du programme Bachelor *Media & Interaction*, ECAL), Alexandre Luyet (Responsable pour la Suisse romande, Académie Suisse des Sciences Techniques), Toni Messner (Chef de l'unité Formation professionnelle initiale, Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation), Thierry Maire (Directeur du Gymnase intercantonal de la Broye), Francesco Mondada (Directeur académique du Centre LEARN, EPFL), François Piccand (Chef du Service de l'enseignement du secondaire II, canton de Fribourg), Sylvain Rudaz (Directeur général de l'enseignement II, canton de Genève) Sébastien Kulling (Directeur pour la Suisse romande, Digitalswitzerland) et David Sander (Directeur du groupe de recherche Émergence et expression de l'émotion, Faculté de Psychologie et Sciences de l'Éducation, Université de Genève).

Nos plus vifs remerciements vont également aux banques cantonales romandes (Banque Cantonale de Fribourg, Banque Cantonale de Genève, Banque Cantonale du Jura, Banque Cantonale Neuchâteloise, Banque Cantonale du Valais, Banque Cantonale Vaudoise) et en particulier à Jean-Pascal Baechler, coordinateur du projet PIB romand pour les banques cantonales romandes, pour ses conseils avisés.

Nous souhaitons aussi exprimer notre gratitude à Marc-Antoine Ollivier, Lena Boisard Le Coat, Louis Flamery pour la relecture du document et leur soutien, ainsi qu'à celles et ceux qui, tout en ayant contribué à la réalisation de ce travail, ont souhaité rester anonymes.

Claudia Borrelly  
Claudio Sfreddo

# LA FORMATION EN RÉPONSE AUX NOUVEAUX DÉFIS ÉCONOMIQUES POSÉS PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Par Claudia Borrelly et Claudio Sfreddo, chercheurs à l'École hôtelière de Lausanne de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO)

Cette étude a été réalisée entre le deuxième semestre 2019 et le premier semestre 2020 sur mandat des six banques cantonales des cantons romands (Banque Cantonale de Fribourg, Banque Cantonale de Genève, Banque Cantonale du Jura, Banque Cantonale Neuchâteloise, Banque Cantonale du Valais, Banque Cantonale Vaudoise). Ses conclusions sont destinées à être reprises dans un chapitre de l'édition 2020 de l'étude sur le PIB romand, publiée par les banques cantonales romandes en collaboration avec le Forum des 100 du quotidien Le Temps et l'Institut CREA de la Faculté des HEC de l'Université de Lausanne.

Introduction .....	5
I. Cadre théorique .....	8
1. Qu'est-ce que l'IA, comment fonctionne-t-elle et quels sont les enjeux? ..8	
1. Intelligence artificielle .....	8
2. Types d'apprentissage automatique, Machine learning.....	9
Apprentissage supervisé.....	9
Apprentissage non supervisé.....	10
Apprentissage par renforcement.....	10
3. Modèle d'apprentissage, deep learning .....	11
Neurones artificiels (ANN) .....	11
Limites.....	12
Pourquoi et comment l'IA transforme les compétences ? .....	13
1. La théorie de l'activité humaine .....	13
2. L'intervention de l'IA sur l'activité humaine.....	16
3. La transformation des compétences face à l'IA .....	18
Comment l'éducation se positionne-t-elle face aux compétences exigées par l'IA? .....	19
1. Perspectives des compétences nécessaires à l'ère de l'IA .....	20
2. Perspectives de l'IA sur les outils pédagogiques et d'apprentissage...21	
3. Perspectives de l'IA dans la cyberadministration .....	22
II. L'IA et l'éducation en Suisse .....	24
1. Contexte de la recherche .....	24
2. Méthodologie .....	24
3. Analyse et synthèse .....	26
4. Le système éducatif suisse.....	27
5. Les directives dans l'éducation en Suisse.....	29
6. État des lieux en Suisse romande.....	34
Secondaire II .....	34
Tertiaire (HES-SO et HEU).....	36
Branche professionnelle.....	38
III. ANALYSE DES RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENTS .....	40
1. Analyse des données .....	40

Les méthodes d'analyse.....	40
SWOT .....	40
2. Discussion des résultats.....	44
Secondaire II .....	45
Hautes écoles.....	46
Écoles professionnelles.....	47
3. Enseignements pratiques .....	48
Constat d'une disparité notable entre les degrés scolaires et les cantons ..	48
Un flou sémantique général .....	58
Compétences, mais lesquelles?.....	59
4. Préconisations et leviers en faveur du développement des compé- tences dans l'ère de l'IA .....	60
Conclusion .....	62
Liste des références.....	64

# TABLE DES ACRONYMES

- CCN: Comité de coordination de la numérisation de l'éducation
- CDIP: Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique
- CIIP: Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin
- DEFR: Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche
- EPFL: École polytechnique fédérale de Lausanne
- EPFZ: École polytechnique fédérale de Zurich
- HEP: Hautes écoles pédagogiques
- HES-SO: Haute école spécialisée de Suisse occidentale
- HEU: Hautes écoles universitaires
- IA: Intelligence artificielle
- IFFP: L'Institut fédéral des hautes études en formation professionnelle
- OrTra: Organisations du monde du travail
- SEFRI: Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation
- WEF: World Economic Forum

# Introduction

L'intelligence artificielle (IA) est de plus en plus présente dans la société. Les exemples récents de maisons connectées ou d'assistance à la conduite sont des éléments visibles de cette dynamique. Ils ne concernent cependant que la partie émergée de l'iceberg, car l'intelligence artificielle est déjà utilisée dans les entreprises et influence le monde du travail depuis de nombreuses années, et ce, dans des proportions de plus en plus importantes. Ainsi, grâce aux progrès de la rédaction automatique de textes, des robots prennent la plume et de nombreux articles produits par des algorithmes sont crédibles. Mais attention, ces «robots écrivains» ne sont pas (encore?) capables de faire la différence entre information et fake news.

Cette tendance à la généralisation de l'utilisation d'outils informatiques crée des problématiques et des questionnements nouveaux. En effet, l'intelligence artificielle est un concept relativement récent qui, s'il promet beaucoup, est dans les faits assez flou et souvent mal compris. Le concept d'«intelligence artificielle» est souvent associé à des fantasmes ou des craintes, mais c'est principalement parce qu'il n'est pas facile à l'appréhender concrètement. Le terme est souvent utilisé «à toutes les sauces», sans connaissance de ce qu'il recouvre. Bien souvent, seuls des spécialistes comprennent ce qu'est l'IA et comment elle fonctionne. Pourtant, celle-ci désormais un acteur majeur de l'économie; les défis nouveaux qu'elle pose et va poser, nécessitent une population compétente, capable de se servir des outils reposant sur l'IA et consciente des enjeux que cela implique.

La réponse s'articule selon deux axes. Il y a d'abord des mesures visant à approfondir la connaissance et la maîtrise des outils reposant sur l'IA, et plus généralement des outils numériques. Ensuite, il y a le développement de compétences non techniques, éthiques en lien avec l'IA ou générales, allant des mathématiques aux sciences humaines, l'Être humain gardant le monopole dans des domaines pluridisciplinaires ou riches en relations humaines.

L'accent sur de telles compétences et la formation aux métiers futurs sont des enjeux pour le système de formation. Nous avons été mandatés par les banques cantonales romandes (Fribourg, Genève, Jura, Neuchâtel, Valais, Vaud) dans le cadre de l'étude sur le PIB romand, dans le cadre Forum des 100 du quotidien Le Temps et en collaboration avec l'Institut CREA de la Faculté des HEC de l'Université de Lausanne, nous nous sommes intéressés à la manière dont le système éducatif envisage la problématique de l'IA. Au travers d'un sondage auprès d'un certain nombre d'acteurs clé, nous avons cherché à faire un état des lieux en Suisse romande.

Le point de départ a été la question: **comment l'éducation prépare-t-elle aux défis économiques posés par l'IA?** Notre objectif premier a été de déterminer quels volets du système éducatif romand abordent la thématique de l'IA et quels contenus ils proposent.

Lors de ce sondage, nous avons rapidement réalisé que la notion d'IA n'est pas évidente. Les acteurs de l'éducation intègrent souvent sous ce terme l'ensemble des outils numériques. Nous avons fait des recherches complémentaires pour comprendre la raison de cette confusion et élargi notre champ de recherche pour y inclure la transition numérique dans l'éducation. Les directives sur la numérisation préconisent, en effet, de développer des compétences pertinentes pour la transformation numérique, de mieux utiliser la technologie numérique pour l'enseignement et l'apprentissage, et d'améliorer l'éducation grâce à de meilleures analyses des données. L'IA n'est en effet pas uniquement une compétence, elle est également un outil pour l'éducation, à savoir un outil de cyberadministration.

La Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique (CDIP) a publié, le 21 juin 2018, en coordination avec la Confédération, un plan d'action pour la gestion de la transition numérique dans le domaine de l'éducation. Notre recherche ciblant en priorité les niveaux d'éducation secondaire II, tertiaire et professionnel, nous avons constaté que des disparités qui existaient non seulement entre les différents degrés, entre acteurs d'un même degré et entre les cantons.

Nous avons également observé que la confusion entre outil, compétences et cyberadministration desservait l'objectif principal de l'intégration de l'IA dans l'éducation: développer les compétences pour une utilisation efficace de l'IA. D'où deux questions fondamentales. Quelles sont les compétences à développer? Et comment y parvenir? En effet, définir les compétences nécessaires n'est pas suffisant: pour assurer leur développement ou leur acquisition, il est nécessaire de mettre en place des formations adaptées et d'impliquer les parties prenantes, qui sont parfois réticentes. Pour ce travail de recherche, nous nous sommes appuyés sur des entretiens semi-directifs réalisés auprès d'acteurs clé de l'éducation en Suisse romande, de chercheurs en intelligence artificielle et intelligence émotionnelle, ainsi qu'auprès de responsables cantonaux. Notre participation au colloque sur «L'Éducation à l'ère du numérique», organisé par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en février 2020, nous a permis de connaître les projets et recherches en cours sur l'éducation et le numérique en Suisse. Les recherches documentaires menées en complément nous ont offert une meilleure compréhension des opportunités, enjeux et avancements technologiques de la transition numérique dans l'éducation.

Certains directeurs de gymnases du Secondaire II ont préféré ne pas échanger sur le sujet et laisser les responsables de l'éducation du Secondaire II des cantons concernés prendre position. Les entretiens se sont tenus avant la crise du Covid-19. Les expériences d'enseignement à distance ont probablement fait avancer la réflexion sur la transition numérique.

Nous avons organisé la restitution dans ce rapport des éléments récoltés en trois temps. Tout d'abord, il s'agira de définir ce qu'est l'intelligence artificielle, son fonctionnement et ses limites. Nous nous intéresserons aussi aux transformations des compétences liées à l'IA, notamment en matière de



formation et d'intégration de cette nouvelle technologie dans le système éducatif.

Ensuite, nous ferons le point sur le cadre qui conditionne l'intégration de l'IA dans l'éducation suisse, pour poursuivre sur l'état des lieux de l'ensemble des initiatives mises en place visant à permettre la transition numérique, en lien notamment avec la Stratégie numérique de la Confédération. On obtiendra ainsi un tableau de la situation de l'enseignement de l'IA dans les différents cantons romands et par degré.

Enfin, nous tenterons de dégager les grandes tendances ressortant de ces résultats. Il s'agira de trouver des explications aux disparités entre cantons et niveaux, de repenser le concept d'IA dans un cadre plus large que simplement numérique et de déterminer les compétences nécessaires à une bonne compréhension de la notion. Nous terminerons par des propositions de pistes de travail à explorer pour l'avenir.

# I. Cadre théorique

## 1. Qu'est-ce que l'IA, comment fonctionne-t-elle et quels sont les enjeux?

### 1. Intelligence artificielle

D'après Russel et Norvig (2016), il existe quatre définitions de l'IA qui s'ordonnent selon deux dimensions : une a trait aux processus de la pensée et du raisonnement, et l'autre a trait au comportement.

- **Des systèmes qui pensent comme les humains:** est ici évoquée la capacité de la machine à penser, résoudre des problèmes, prendre des décisions comme le ferait un humain. «Si le comportement d'entrée-sortie du programme correspond au comportement humain correspondant, cela prouve que certains des mécanismes du programme pourraient également fonctionner chez l'homme» (Russell et Norvig, 2016, p. 3). Les comportements humains peuvent être utilisés comme «guides» de performance d'un algorithme.
- **Des systèmes qui pensent rationnellement:** ces systèmes suivent les «lois de la pensée» d'Aristote, qui codifient le processus de raisonnement humain en réalisant des syllogismes, c'est-à-dire des raisonnements logiques. Citons l'exemple d'un de ces modèles de raisonnement: «Socrate est un homme, tous les hommes sont mortels, donc Socrate est mortel» (Russel & Norvig, 2016, p. 4).
- **Des systèmes qui agissent comme des humains:** cette catégorie est basée sur le test de Turing<sup>1</sup> qui permet de mesurer l'intelligence d'une machine et sa capacité à penser comme un humain. Ce test est fondé sur l'imitation par une machine d'une conversation humaine. En conséquence, il est réalisé par un interrogateur humain posant des questions afin de cerner l'intelligence du répondant (Russell et Norvig, 2016, p. 2). La machine sera considérée comme intelligente si l'interrogateur humain n'est pas en mesure de dire si les réponses proviennent d'un humain ou d'une machine.



Figure 1.1 : Les dimensions de l'IA

Repris de : University of Oxford, Saïd Business School, (2019).

<sup>1</sup> Test imaginé en 1950 par l'Anglais Alan M. Turing, précurseur de l'IA.

- **Des systèmes qui agissent rationnellement:** il s'agit ici de machines capables d'agir et de se comporter de manière rationnelle. Un agent rationnel est celui qui tentera d'obtenir le meilleur résultat possible ou le meilleur résultat escompté, dans n'importe quel scénario (Russel et Norvig, 2016, p. 4).

En résumé, en se basant sur les définitions de Russel et Norvig, on peut déterminer que l'IA peut avoir la capacité de penser et d'agir en partie comme un Être humain ou celle de penser et d'agir parfaitement rationnellement.

## 2. Types d'apprentissage automatique, Machine learning

Ces dernières années, l'une des branches l'IA a fait des progrès considérables: les réseaux de neurones artificiels et les techniques d'apprentissage automatisé (aussi appelé *machine learning*). Il s'agit d'une évolution importante: au lieu de formuler et de programmer des règles qui permettent à un système de «penser et agir», il est possible de lui «apprendre» à répondre. On distingue communément trois types d'apprentissages automatiques: supervisé, non supervisé et par renforcement.

### Apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé est un apprentissage automatique qui entraîne à classer selon un modèle prédéterminé, ayant une variable d'entrée et une variable de sortie. Un algorithme apprend à cartographier l'entrée et la sortie sur la base d'exemples ( University of Oxford, 2019).

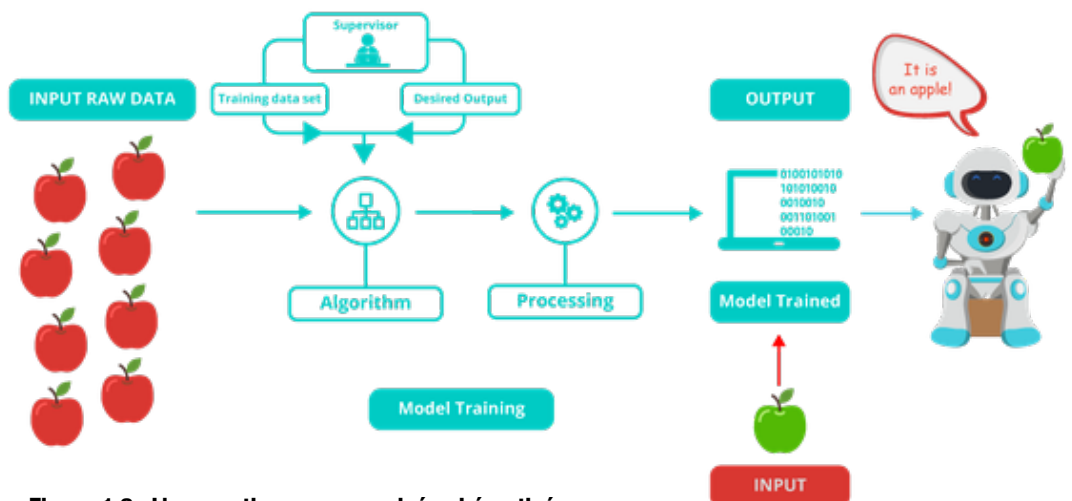


Figure 1.2 : L'apprentissage supervisé schématisé

Repris de : Vaseekaran (2018).

## Apprentissage non supervisé

L'apprentissage non supervisé est celui qui permet d'assimiler sans annotation des données. Aucun exemple n'est requis, la machine apprend seule en procédant à une sorte de classification (University of Oxford, 2019).

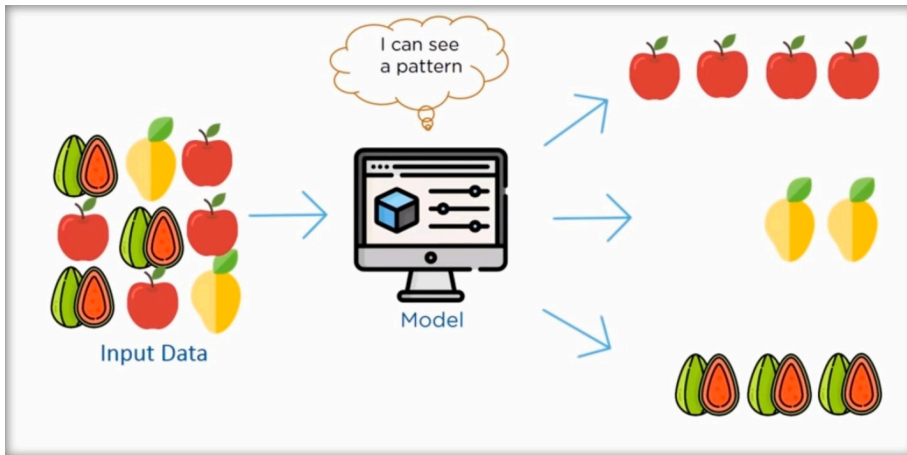
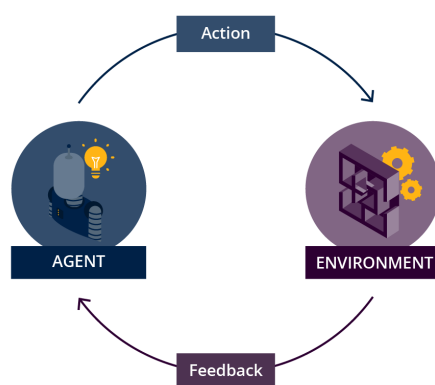


Figure 1.3 : L'apprentissage non supervisé schématisé

Repris de : Kallenborn (2019).

## Apprentissage par renforcement

Cet apprentissage se base sur un cycle d'expériences/récompenses. L'apprentissage s'accomplit en interaction avec son environnement. C'est un fonctionnement par stimuli: un agent qui agit de façon autonome reçoit des récompenses ou punitions en fonction des actions qu'il exécute. Une fois que le nombre d'actions ou de décisions observées est suffisant, la machine déterminera le comportement idéal dans un contexte spécifique (Sutton et Barto, 2018).



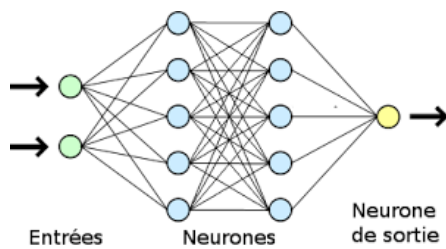
Repris de : University of Oxford, Saïd Business School, (2019).

Figure 1.4 : L'apprentissage par renforcement

### 3. Modèle d'apprentissage, *deep learning*

Le *deep learning* ou **apprentissage profond** est un domaine transversal de l'apprentissage automatique. Il peut à la fois intégrer l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé ou l'apprentissage par renforcement.

Ce modèle d'apprentissage est celui qui a vu le plus d'avancées ces dernières années. Ses évolutions spectaculaires ne sont pas sans poser quelques enjeux éthiques. Pour mieux les comprendre, il est nécessaire d'aborder ses caractéristiques techniques.



**Figure 1.5 a: Structure de base d'un réseau de neurones.**

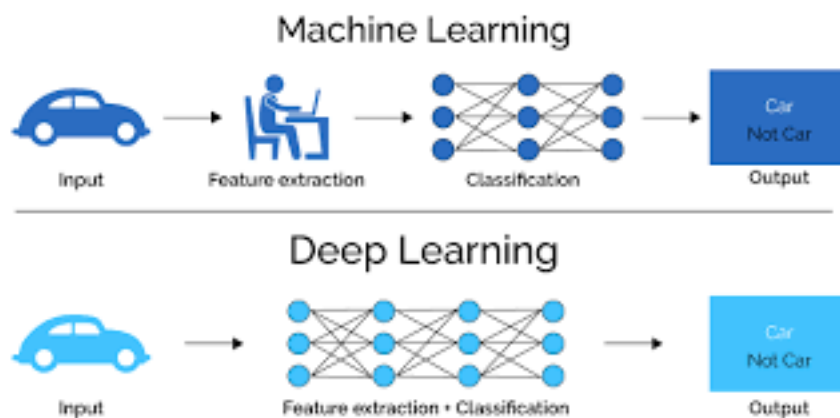
*Repris de Capet et Diaferia (2010)*

#### Neurones artificiels (ANN)<sup>2</sup>

Le *deep learning* fonctionne sur la base de réseaux de neurones artificiels. Il utilise le cerveau comme inspiration et essaie de reproduire la façon dont les neurones du cerveau reçoivent des entrées, traitent les entrées, puis produisent une sortie (c'est-à-dire l'activation d'une synapse).

Ce réseau de neurones artificiels comporte plusieurs couches, connectées entre elles. À chaque couche du réseau neuronal correspond un aspect particulier d'une entrée (images, lettres, mots...) et chaque neurone a une mission bien précise liée à la reconnaissance d'un ou plusieurs aspects de cette même entrée. Les «mauvaises» réponses sont renvoyées vers le niveau en amont afin que le système puisse ajuster le modèle mathématique.

Les données de départ sont essentielles dans l'apprentissage de la machine; c'est d'ailleurs un facteur de réussite. Ce modèle est communément appelé «datavore». En effet, le système devient plus performant avec l'expérience: plus il y a de données et plus cela contribue à son succès.



*Repris de :  
MC.AI (2018)*

**Figure 1.5 b : L'apprentissage automatique et l'apprentissage profond**

<sup>2</sup> En anglais *Artificial neural networks* ou ANN

À la différence du *machine learning*, le *deep learning* est autonome dans le traitement de l'information, car il ne requiert pas de données structurées en amont. Ce dernier, plus performant, construit sa connaissance grâce à un système de couches de neurones superposées. La couche d'entrée intègre les données, la couche de sortie produit les résultats, les couches intermédiaires traitent les données de manière autonome. Cela permet une rapidité et une puissance sans commune mesure, la contrepartie étant l'opacité dans le cheminement décisionnel de la machine (d'où le terme «couches de neurones cachées»), qui, aujourd'hui, n'est pas expliqué. Pour résumer, on sait que cela fonctionne, mais on ne sait pas exactement comment. C'est ce qu'on appelle une «boîte noire».

## Limites

L'IA (*machine learning* et *deep learning*) présente des limites légales et éthiques qui doivent être considérées afin de comprendre les conséquences potentielles des prises de décision de la machine. Ces limites sont la confidentialité, la réplique et les préjugés (Hao, 2018).

**La confidentialité:** un des facteurs clés du succès de certains systèmes d'apprentissage est l'accès aux données personnelles (comme la collecte de données en ligne). En Suisse, la loi fédérale sur la protection des données est en vigueur depuis le 19 juin 1992. L'Union européenne a instauré un nouveau cadre juridique pour la protection des données personnelles le 25 mai 2018: le Règlement général sur la protection des données (RGPD).

**La réplique:** l'Être humain est à ce jour incapable de reproduire le cheminement décisionnel de la machine, ce qui pose des problèmes en cas d'accident décisionnel (du point de vue de l'humain).

**Les préjugés:** la machine apprend à partir de données humaines liées à des événements qui se sont déjà produits. Elle appréhende donc le monde comme une répétition d'événements passés. Elle s'appuie sur des processus d'emblée biaisés, impliquant les erreurs de jugement, les préjugés personnels et les biais culturels des hommes.

## Pourquoi et comment l'IA transforme les compétences?

Afin de mieux comprendre les fondements sur lesquels l'IA transforme l'activité humaine et donc les compétences humaines mobilisées pour déployer cette activité, nous déterminerons dans un premier temps le fonctionnement de l'activité humaine. Nous verrons ensuite comment les compétences humaines elles-mêmes sont redéfinies à l'aune de ces évolutions techniques majeures.

### 1. La théorie de l'activité humaine

Nous allons ici nous appuyer sur la théorie de l'activité initiée par Vygotsky, et aujourd'hui développée par plusieurs chercheurs en sciences cognitives, sciences de l'éducation et sciences de l'organisation. Cette théorie de l'activité distingue trois niveaux hiérarchiques: l'**activité**, les **actions**, les **opérations** (Leontiev, 1978). Chaque niveau est hiérarchisé selon sa complexité, l'**activité** est associée à un motif, l'**action** à un but et l'**opération** à des conditions nécessaires à l'exécution de l'action (Clauzard, 2016).

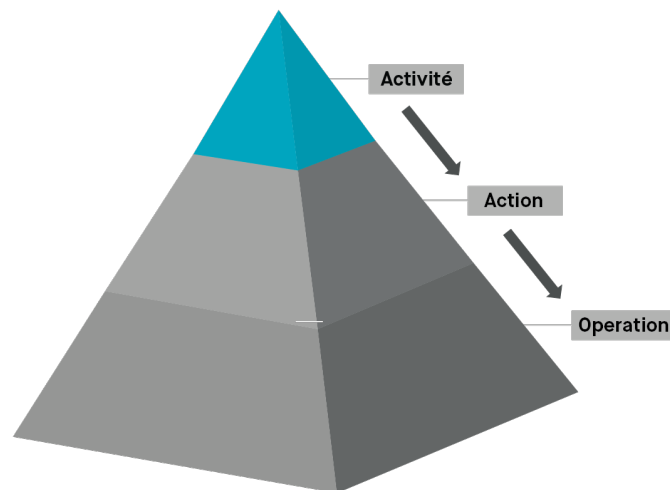
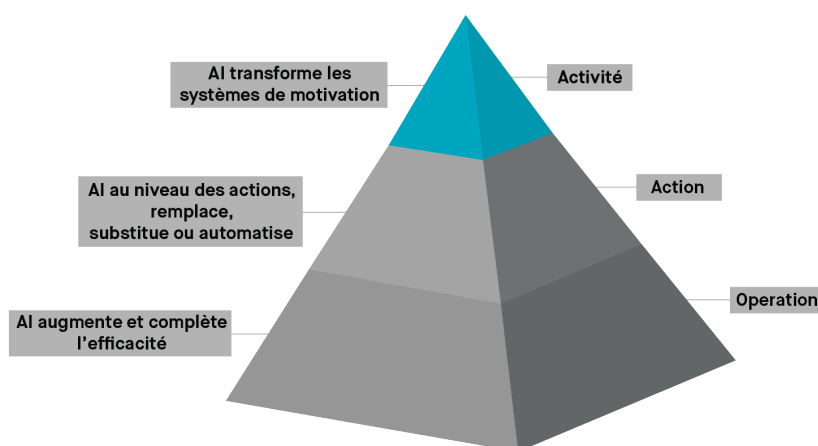


Figure 2.1 Les niveaux hiérarchiques de l'activité et de l'apprentissage

**L'opération** répond à la question «Comment». C'est le niveau d'activité humaine le moins complexe, il exécute les **actions** de façon spécifique et routinière. L'attribution hebdomadaire du temps de travail aux membres d'une équipe en est un exemple.

**L'action** répond à la question «Quoi». Elle a pour but d'accomplir l'aspect cognitif de l'activité (le processus d'acquisition des connaissances). Les compétences telles que l'organisation, la planification, le jugement, la critique, mais aussi le langage, la mémoire et le traitement de l'information, sont ici employées. La planification et l'optimisation du temps de travail illustrent, par exemple, ce niveau.

**L'activité** répond à la question socialement, culturellement et historiquement significative «Pourquoi». C'est le niveau hiérarchique le plus complexe, celui auquel le sens se crée, les raisons s'expliquent et duquel la vision des **actions** et des **opérations** découle. Cela implique inévitablement l'intégration de normes sociales, culturelles et historiques. Selon Ilkka Tuomi, c'est à ce degré que se jettent les bases de l'éthique de l'activité, qui n'ont pas de sens au niveau de l'action et des opérations. En d'autres termes, le sens de l'activité humaine ne peut être modelé à partir des actes ou des opérations. Tuomi insiste sur le fait que nous sommes rarement explicitement conscients de tous les facteurs sociaux qui façonnent nos activités. Pour reprendre l'exemple cité, c'est là que se décidera le motif: l'optimisation du temps de travail dans le but d'améliorer la productivité et les conditions de travail.



**Figure 2.2 : L' intervention de l'IA sur l'activité**



Selon Tuomi (2019), les avancées de l'IA permettent de compléter et parfois remplacer l'humain sur la hiérarchie des opérations **et** des actions.

Si la machine remplace ou complète les deux niveaux hiérarchiques les moins complexes de l'activité (opérations et actions), nous pouvons supposer que l'interaction humain-machine peut potentiellement et non seulement transformer ces niveaux d'activité et d'apprentissage, mais surtout les élever à une dimension plus réflexive et transformer les systèmes de motivation (Tuomi, 2019). Par son efficacité, la machine peut libérer du temps et de l'énergie pour développer des qualités plus complexes comme le sont les questionnements philosophiques et éthiques (et donc le sens général de nos actions).

En se référant à la théorie de l'activité, il devient clair que les divers systèmes d'apprentissage de la machine interviennent à différents niveaux de cette hiérarchie de l'activité humaine. Tuomi associe le *deep learning* à la hiérarchie des opérations, et le *machine learning* à la hiérarchie des actions. Il est aussi évident que le degré le plus complexe de l'activité, celui qui confère le sens à l'activité, demande des formes complexes et abstraites d'intelligence qui sont loin d'être à la portée de l'IA. Ces niveaux complexes restent l'apanage de l'Être humain. Les transformations sont néanmoins profondes et touchent toutes les sphères de la société et de l'activité humaine.

En effet, la machine est désormais partie prenante des opérations et des actions de la pyramide de l'apprentissage et de l'activité. L'homme doit donc y reconfigurer son espace dans une interaction avec la machine de plus en plus poussée.

**Ces quelques lignes ont permis de comprendre de façon générale ce qu'est l'IA et son fonctionnement, notamment: les différents types d'apprentissage (supervisé, non supervisé et par renforcement) et son modèle d'apprentissage (l'apprentissage profond) afin de comprendre ses limites. Il était nécessaire d'avoir des bases de compréhension de l'IA afin d'appréhender les enjeux éthiques inhérents à son fonctionnement.**

## 2. L'intervention de l'IA sur l'activité humaine

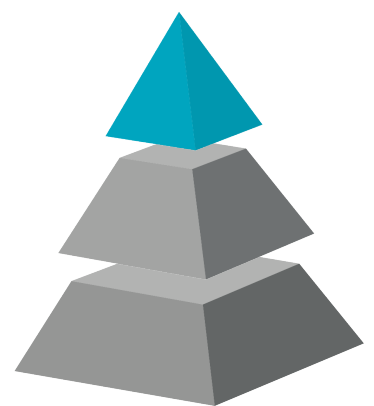
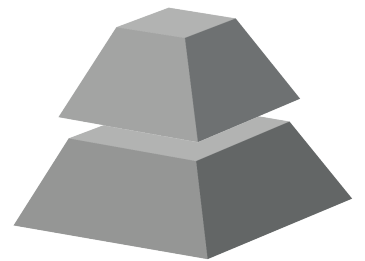
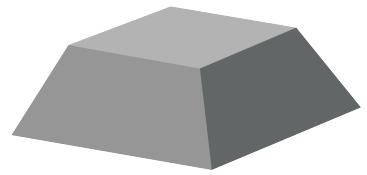
Par leur efficacité, les dernières évolutions technologiques viennent soutenir le travail et le quotidien de l'Être humain dans des domaines qui, jusque là, lui étaient exclusifs. C'est le cas du domaine des actions et des opérations, comme nous l'avons vu précédemment. Il y a là une formidable opportunité pour l'humain de s'élever sur la hiérarchie des activités et d'investir plus pleinement le champ de ses activités riches en sens (le niveau du **pourquoi**).

Gerbert (2018) décrit trois formes possibles d'interaction humain-machine telles qu'on les rencontre aujourd'hui: l'augmentation, la collaboration et l'*hyperlearning*.

**Augmentation:** l'IA augmente les capacités humaines. Il s'agit actuellement de son utilisation la plus populaire; par exemple, dans la prise de décision commerciale. En récupérant des informations pertinentes, la machine cherche à obtenir le meilleur résultat possible ou le résultat escompté; fournir de meilleures prévisions financières, commerciales ou autres; optimiser les flux logistiques ; etc.

**Collaboration:** bon nombre des programmes les plus ambitieux pour utiliser l'IA dans les entreprises repensent les processus collaboratifs humain-machine de manière plus radicale. Dans le diagnostic radiologique, par exemple, l'IA peut agir comme un assistant «d'augmentation». Cependant, certains acteurs de l'industrie souhaitent la promouvoir au rang de «seconde opinion» de bonne foi acceptée par les régulateurs; à terme, cette opinion pourrait éventuellement devenir la «première opinion», avec un «humain dans la boucle» pour corriger des erreurs potentielles. Bien entendu, les médecins joueront toujours un rôle important dans le traitement, l'accompagnement des patients et des familles, etc.

**Hyperlearning:** l'*hyperlearning* peut permettre aux systèmes de production de s'adapter à la vitesse de la machine et de développer de nouvelles solutions dans des contextes spécifiques, impliquant fréquemment des algorithmes d'apprentissage non supervisés et d'apprentissage par renforcement. Souvent, ces systèmes utilisent des moteurs d'IA contradictoires ou complémentaires qui se développent mutuellement, générant ainsi des données d'entraînement virtuelles. Des applications professionnelles réelles de l'*hyperlearning* font déjà leur apparition. Les systèmes informatiques peuvent être formés aux modèles virtuels d'un environnement donné. Ces jumeaux numériques sont capables de produire des «produits virtuels» dans des «usines virtuelles». C'est un terrain d'entraînement idéal pour les futurs systèmes d'IA, avec des implications radicales pour le développement et la conception de produits physiques et d'usines. Par exemple, Siemens crée des copies numériques de systèmes physiques connectés en permanence dans une «usine numérique» et utilise ces jumeaux numériques pour améliorer les rendements et la qualité dans les scieries.



C'est le niveau d'interaction le plus radical, car la place de l'Être humain y est minime, voire insignifiante.

Compte tenu de la variété des interactions entre les humains et les machines, Philipp Gerbert remet en question «*[the] simplistic claims – often based on current performance – of the future role of AI, and the “obvious” divide between what humans and machines do. They need to push their teams not to limit their imagination about AI's uses to the augmentation of current processes, but to consider more radical scenarios.*» (Gerbert, 2018). D'après lui, les cadres de demain doivent faire émerger l'intelligence collective, l'imagination. Ils ne doivent pas se limiter à l'utilisation de l'IA sur les processus actuels, mais créer des scénarios plus radicaux. Par exemple, dans un scénario de travail avec des systèmes d'hyperapprentissage, le rôle direct de l'Être humain dans de tels processus peut largement disparaître. Les cadres et institutions doivent préparer leur personnel à adopter un regard à 360 degrés: «*The direct role of humans in such processes may largely disappear. Executives need to prepare their people to “go meta”, leaving the constraints of the environment and moving to a higher abstraction or complementary level.*» Ce qui correspond au niveau hiérarchique de l'activité (le pourquoi).

Ceci peut engendrer une évolution des compétences humaines associées à tous les champs ayant trait au sens, à la créativité, à la réflexivité, etc. Plus que des compétences techniques, ce sont des **compétences transversales** intégrant toutes les dimensions du savoir qui seront sollicitées par le déploiement de l'IA.

**Au-delà des compétences numériques, ou des questionnements éthiques, en redéfinissant les interactions homme-machine, l'IA exige des compétences transversales telles que le leadership, l'intelligence collective, la créativité et bien d'autres domaines.**

### 3. La transformation des compétences face à l'IA

D'après le rapport *The Future of Jobs* publié par le World Economic Forum (WEF) en 2018, 50% des entreprises vivraient une mutation dans un futur proche. **Ces frontières changeantes entre l'homme et la machine nécessiteraient évidemment une adaptation des compétences.**

Par exemple, en 2018, dans les 12 industries couvertes par le rapport, en moyenne 71% du total des heures de travail sont effectuées par des humains, contre 29% par des machines. En 2022, cette moyenne pourrait passer à 58% pour les humains et 42% pour les machines. Face à ces changements, le WEF a dressé deux pronostics sur la transformation du marché du travail:

- un déclin à grande échelle de certains rôles, à mesure que les tâches associées deviennent automatisées ou redondantes;
- une croissance à grande échelle de nouveaux produits et services, et de nouvelles tâches, générés par l'adoption de ces technologies modernes, par l'élargissement de la classe moyenne (augmentation du pouvoir d'achat) et les changements démographiques (plus de consommateurs).

Face à ces transformations qui évoluent de pair et sont interconnectées, le WEF a établi une liste des dix compétences qui seraient les plus demandées à l'horizon 2022:

- Pensée analytique et capacité d'innovation.
- Techniques d'apprentissage actif.
- Créativité, originalité et prise d'initiative.
- Capacité à concevoir des technologies et à programmer.
- Capacité d'analyse et pensée critique.
- Capacité à résoudre des problèmes complexes.
- Leadership et influence sociale.
- Intelligence émotionnelle.
- Raisonnement, capacité d'idéation et capacité à résoudre des problèmes.
- Capacités d'analyse de systèmes et d'évaluation.

**NB: 1/10<sup>e</sup> de ces compétences concernent les compétences numériques et techniques et 9/10<sup>e</sup> sont des compétences transversales («soft skills»).**

## Comment l'éducation se positionne-t-elle face aux compétences exigées par l'IA?

En Suisse et à l'étranger, l'importance de l'IA et de ses nouveaux défis dans le domaine de l'éducation sont de plus en plus reconnus. De nombreux rapports récents en témoignent et prouvent une préoccupation croissante pour ce domaine:

- UNESCO: «*Planifier l'éducation à l'ère de l'IA: un bond en avant*» (Unesco, 2019).
- Commission européenne: «*Coordinated Plan on Artificial Intelligence*» (European Commission, 2018), Cadre de compétences numériques pour les citoyens (DigComp), Cadre de compétences numériques éducateur (DigCompEdu), Cadre de compétences pour les organisations éducatives (DigCompOrg).
- En Suisse, le Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) a publié un rapport sur «*L'IA dans la formation*» (Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation, 2019).

Dans la littérature scientifique, l'IA n'est pas seulement considérée comme requérant une adaptation ou un complément des compétences déjà assises (notamment numériques). Il s'agit en réalité d'une modification structurelle du système d'éducation et d'une redéfinition même du socle des compétences.

Différents rapports s'accordent aujourd'hui autour d'une volonté de développer l'IA dans l'éducation selon 3 axes :

1. Développer des compétences et des compétences numériques pertinentes pour la transformation numérique.
2. Mieux utiliser la technologie numérique pour l'enseignement et l'apprentissage.
3. Améliorer l'éducation grâce à de meilleures analyses et prospectives des données.

## 1. Perspectives des compétences nécessaires à l'ère de l'IA

Dans son rapport «L'IA dans la formation» (SEFRI, 2019), le secrétaire d'État à la formation à la recherche et à l'innovation catégorise les compétences nécessaires face à l'IA en deux domaines de compétences:

- **Des compétences numériques (expertes et de base)**

Il faut distinguer les métiers qui **produisent l'IA** et les compétences numériques de base des métiers qui **exploitent l'IA**, notamment dans le but de permettre l'interaction humain-machine. Il s'agit plutôt d'une compréhension intuitive des algorithmes afin d'en comprendre les possibilités et les limites (SEFRI, 2019).

- **Des compétences transversales**

Ce sont les compétences sociales et affectives (c'est-à-dire le **leadership**), ainsi que des **compétences intellectuelles élevées** (surtout celles qui permettent de créer et de gérer des projets complexes). D'après le SEFRI, les *soft skills* ou compétences transversales (curiosité, créativité, collaboration, empathie, résolution de problèmes, etc.), seront de plus en plus demandées, car exclues aujourd'hui du champ de compétences des machines (SEFRI, 2019). L'UNESCO parle aussi et surtout de culture d'intelligence émotionnelle et d'intelligence collective chez l'humain et dans l'éducation (UNESCO, 2019).

Comme nous l'avons vu, l'IA nécessite des compétences spécifiques (numériques et transversales) et son intégration dans l'activité humaine restructure en profondeur l'organisation des activités. Bien évidemment, les répercussions sont et continueront à être ressenties en amont, dans les lieux d'acquisition des savoirs et des compétences. D'ailleurs, tous les rapports cités précédemment couvrent non seulement l'IA dans le domaine des compétences, mais aussi au niveau des outils pédagogiques et d'apprentissage. L'IA permettrait de faire évoluer les compétences, ainsi que les pratiques pédagogiques.

*Educa.ch mentionne que, en 2020, quelque 1,8 mégaoctets de données seront générées chaque seconde pour chaque personne dans le monde (IDC 2014) et que l'étendue des données mémorisées, qui est de 33 zettabytes aujourd'hui, passera à 175 zettaoctets d'ici à 2025 (IDC 2018). Les possibilités qui résultent de l'interaction entre ces flux de données grâce à une performance de calcul des ordinateurs en constante amélioration sont considérables.*

**Notons que ces outils pédagogiques utilisent des algorithmes afin d'apprendre à partir des données des élèves. L' « intelligence de la machine se renforce au fur et à mesure qu'elle développe son expérience ». Plus elle accumulera de données, plus elle sera performante et apte à individualiser l'apprentissage. Le tout en développant un large panel de compétences (numériques et transversales) chez l'étudiant.**

## 2. Perspectives de l'IA sur les outils pédagogiques et d'apprentissage

L'IA offre de nombreuses perspectives d'évolution des outils pédagogiques. D'après le rapport du SEFRI (2019), les pratiques éducatives peuvent s'améliorer, entre autres, grâce à la numérisation de l'évaluation, l'analyse des traces, l'apprentissage individualisé et les tuteurs virtuels:

- **L'automatisation de l'évaluation (a):**  
Cela consiste en l'automatisation des exercices d'évaluation. De tels outils existent déjà et bien qu'ils se limitaient jusqu'à présent à des questions à choix multiples, l'IA permet d'élargir ces possibilités. Des essais rédigés (méthodes de text mining) ou encore des exercices à raisonnement logique comme la résolution d'équations peuvent être évalués. En outre, la machine peut ajuster la complexité des exercices, ainsi que le détail des commentaires, selon les besoins de l'élève.
- **L'analyse de traces (b):**  
Grâce aux données extraites de l'automatisation de l'évaluation (a), les traces du comportement de l'étudiant, comme le taux d'erreurs, sont analysées et deviennent des pistes d'amélioration des cours. L'agrégation de données permet d'établir des tableaux de bord pour les enseignants, ainsi que l'analyse de traces fines. Le système d'apprentissage automatique permet l'analyse de l'apprentissage et de sa dynamique, pour prédire les futurs échecs ou abandons. Cette IA peut également diagnostiquer l'attention, les émotions et la dynamique de conversation dans les environnements d'apprentissage assistés par l'ordinateur.
- **Apprentissage individualisé (c):**  
L'automatisation de l'évaluation (a) et l'analyse de traces (b) de l'étudiant permettent d'adapter les techniques d'apprentissage selon les besoins individuels. En adaptant le rythme, la difficulté, le contenu ou l'activité en elle-même, le système adapte donc son style pédagogique. De tels outils existent déjà, mais les progrès actuels d'apprentissage automatique permettent au système d'améliorer ses capacités d'adaptation en analysant son historique.
- **Tuteurs virtuels (d):**  
Les agents conversationnels permettent de maintenir une interaction textuelle ou orale avec les apprenants. Leurs algorithmes reposent sur l'automatisation de l'évaluation (a), l'analyse de traces (b) et l'apprentissage individualisé (c). Enrichi de capacités d'analyse, de langage naturel et d'algorithmes de vision (afin de percevoir l'attention ou les émotions de l'apprenant en temps réel), l'agent peut s'adapter aux dimensions non cognitives. Ce sont ici des pistes d'utilisation d'agents humanoïdes dans l'éducation.

### 3. Perspectives de l'IA dans la cyberadministration

Comme expliqué en amont, certains outils d'apprentissage ont besoin de données, d'une part **pour devenir plus performants** et, d'autre part, pour procéder à une analyse de traces. Pour cela, un système de **cyberadministration**, consistant à enregistrer, rassembler et préparer les données, est nécessaire.

La Confédération (Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche, DEFR) et les cantons (Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique, CDIP) ont conjointement mis sur pied le comité de coordination de la numérisation de l'éducation (CCN). Par le biais du CCN, l'agence spécialisée educa.ch a été mandatée pour préparer les bases destinées à l'élaboration d'une future politique en matière d'utilisation des données dans le système éducatif suisse.

La cyberadministration dans le domaine de l'éducation compte les transferts et la saisie de données analogiques sous forme électronique, mais aussi les données tirées d'applications numériques utilisées par les institutions telles que les systèmes d'encouragement à l'apprentissage ou les plateformes d'apprentissage (Educa.ch, 2019). L'utilisation de ces données promet:

- de nouvelles chances de monitoring et de pilotage du système d'éducation et de ses institutions (Wolter et al. 2018; Williamson 2016);
- des possibilités d'adaptation de contenus et méthodes d'apprentissage qui, jusqu'à présent, n'étaient pas réalisables.

Le monde des données est un champ complexe qui ne peut être résumé en quelques lignes. En effet, il existe différents types de données destinées à des fins multiples et variables. Les données administratives de l'éducation constituent le canal le plus important de génération de données dans le système de formation en Suisse. Leur rapport avec le champ de la vie privée reste encore flou. Ceci dit, une approche globale de l'agrégation des données, outre l'instauration de la sécurité et de la confiance, pourrait aussi laisser place à l'innovation en termes de développement d'outils.

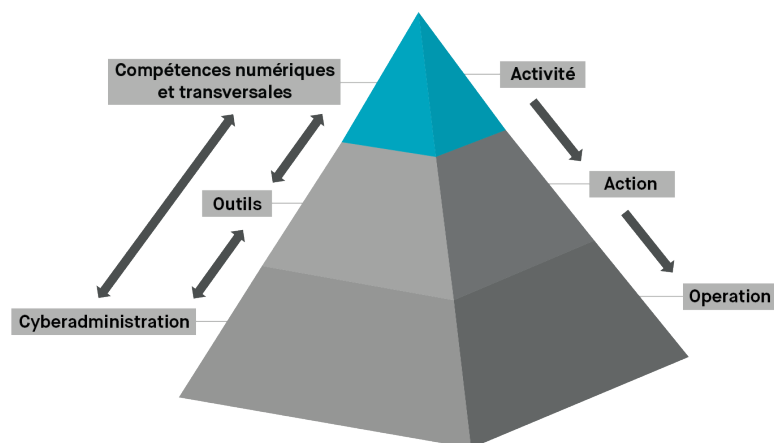


L'IA bouleverse l'éducation, toutes fonctions confondues. Elle est un contenu de cours pour l'élève, de nouvelles **compétences** sont nécessaires pour l'appréhender, la maîtriser, la comprendre, mais son système d'apprentissage permet aussi de développer des **outils** supports pour l'enseignant et une aide dans la **cyberadministration** des institutions. Elle est donc comprise comme «**compétences, outils et cyberadministration**».

**Les droits d'accès aux données dans le domaine de l'éducation restent encore flous. Aujourd'hui, une limite de la cyberadministration dans l'éducation reste la confidentialité selon la Loi sur la protection des données.**

En outre, le fonctionnement de son système d'apprentissage, qui développe ses connaissances grâce aux expériences passées, montre une interdépendance très claire entre les trois volets «**compétences, outils et cyberadministration**» par un processus d'influence réciproque, chacun des volets contribuant au développement des deux autres.

L'IA fait donc partie intégrante de la transition numérique et nous la traiterons en tant que telle dans notre recherche, tout en gardant un œil attentif sur les compétences.



**Figure 3 : Interdépendance entre les « compétences, les outils et la cyberadministration »**

## II. L'IA et l'éducation en Suisse

### 1. Contexte de la recherche

L'étude sur le **PIB romand 2020**, publiée par les banques cantonales romandes (Fribourg, Genève, Jura, Neuchâtel, Valais, Vaud) en collaboration avec l'institut CREA de la faculté des HEC de l'Université de Lausanne et le *Forum des 100* du quotidien *Le Temps*, contient un chapitre sur les défis posés par le développement de l'IA pour le système de formation. Dans ce cadre, Claudia Borrelly et Claudio Sfreddo, chercheurs à l'École hôtelière de Lausanne de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) ont été mandatés par les banques cantonales romandes pour mener une recherche sur le thème suivant: «*la formation en réponse aux nouveaux défis économiques posés par l'IA*». Le but est d'apprécier les réponses de notre système de formation à ces enjeux. En matière, notamment, de **transmission des compétences** permettant aux individus de s'adapter et d'utiliser dans leur métier des outils intégrant des techniques d'IA.

### 2. Méthodologie

Les données pour cette recherche ont été récoltées par le biais d'entretiens semi-directifs et de lectures complémentaires des directives.

#### Les entretiens semi-directifs

25 entretiens, durant de 15 à 60 minutes chacun, ont été menés de janvier à mars 2020.

L'objet de l'étude démarre au secondaire II, l'école obligatoire ne sera que brièvement mentionnée dans le cadre du projet pilote de transition numérique du canton de Vaud.

Les personnes interrogées sont des experts dans l'éducation, des enseignants, des professeurs, des chercheurs, des niveaux secondaire II, tertiaire et professionnel, ou des responsables de la transition numérique, ainsi que quelques conseillers d'État et responsables du secondaire II.

	GE	VS	VD	FR	BE-JU-NE	Institutions suisses	Total
<b>Secondaire II</b>	1	2	3	1	1		8
<b>Tertiaire</b>	4	3	1	2	2		12
<b>Formation professionnelle</b>						2	2
<b>Autres</b>		1	1			1	3
							25

- **Secondaire II:**  
Directeurs de gymnase.

Dans les cantons de Fribourg, du Valais, de Neuchâtel ou de Genève, certains directeurs ont préféré laisser des représentants de l'instruction publique de leur canton de s'exprimer. Conseillers d'État en charge de l'éducation et chefs de service interrogés:

- M. Christophe Darbellay, chef du Département de l'économie et de la formation, canton du Valais;
  - M. Jérôme Amez-Droz, Secrétaire général du Département de l'Éducation et de la Famille, canton de Neuchâtel;
  - M. Sylvain Rudaz, Directeur général de l'enseignement II, canton de Genève;
  - M. François Piccand, Chef de service, Service de l'enseignement du secondaire II, canton de Fribourg.
- **Tertiaire:**  
Professeurs, directeurs d'instituts ou responsables de la transition numérique.
  - **Formation professionnelle:**  
Chef d'unité de la formation professionnelle, secrétaire d'État à la Formation, à la Recherche et à l'Innovation (SEFRI) et responsable de la transition numérique (IFFB).
  - **Entrevues menées avec des experts du sujet (IA, Intelligence émotionnelle)**
    - Professeur Hervé Bourlard, directeur du centre de recherche IDIAP et créateur du Master en IA Unidistance;
    - Professeur Maurizio Caon, responsable du Digital Business Center, Haute École de gestion de Fribourg;
    - Professeur Francesco Mondada EPFL, Directeur académique du centre LEARN (EPFL), pionnier de la robotique éducative, créateur du robot Thymio;
    - Professeur David Sander, Directeur du Laboratoire pour l'étude de l'émergence et expression de l'émotion (E3 Lab), Faculté de Psychologie et Sciences de l'Éducation, Université de Genève.

## Lectures complémentaires, directives relatives à l'IA et l'éducation

- **Suisse:**
  - Stratégie Suisse numérique, (Office fédéral de la communication, 2018)
  - The Future of Jobs Report, (World Economic forum, 2018)
  - Mesures relatives à la stratégie numérique , (CDIP, 2018)
  - Adoption d'un plan d'action et lancement des travaux de coopération en faveur de l'éducation numérique dans l'espace latin de la formation : décision de l'assemblée plénière de la CIIP, (CIIP, 2018)
  - Stratégie numérique de l'UNIL, (Université de Lausanne, 2019)
  - L'IA dans la formation (Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation, SEFRI, 2019)
  - Rapport du Conseil d'État au Grand Conseil à l'appui d'un projet pour le programme Éducation numérique, 2019
  - Données dans l'éducation-pour l'éducation, ([educa.ch](http://educa.ch), 2019)
  - Système d'éducation Suisse, (CDIP, 2019)
- **Monde et Europe:**
  - Consensus de Beijing sur l'IA et l'Éducation, (Unesco, 2019)
  - Coordinated Plan on Artificial Intelligence, (European Commission, 2018)
  - European Digital Competence Framework (DigComp) (European Commission, s.d.)

### 3. Analyse et synthèse

Les comptes-rendus des interviews, avec les acteurs du système de formation et les experts, enrichis par les lectures complémentaires ont été analysés en deux temps, pour:

- formuler des constats généraux;
- synthétiser les observations sous forme de graphiques résumant l'évaluation de l'avancement des projets visant à intégrer l'IA et la numérisation aux niveaux secondaire II (généraliste et professionnel) et tertiaire. Le découpage thématique en cinq axes de la CIIP (plan d'étude, équipements, formation des professionnels, collaboration avec les hautes écoles, concertation et veille technologique et pédagogique) a adopté pour cette synthèse.

Cette étude est la première du genre et elle donne une vue d'ensemble du sujet à l'échelle romande. Cependant, tous les acteurs du système de formation n'ayant pas pu être interrogés, les résultats doivent être compris pour ce qu'ils sont: une évaluation et une vue d'ensemble — et non une appréciation définitive — de la prise en compte de la numérisation et du développement de l'intelligence artificielle par différents acteurs du système de formation.

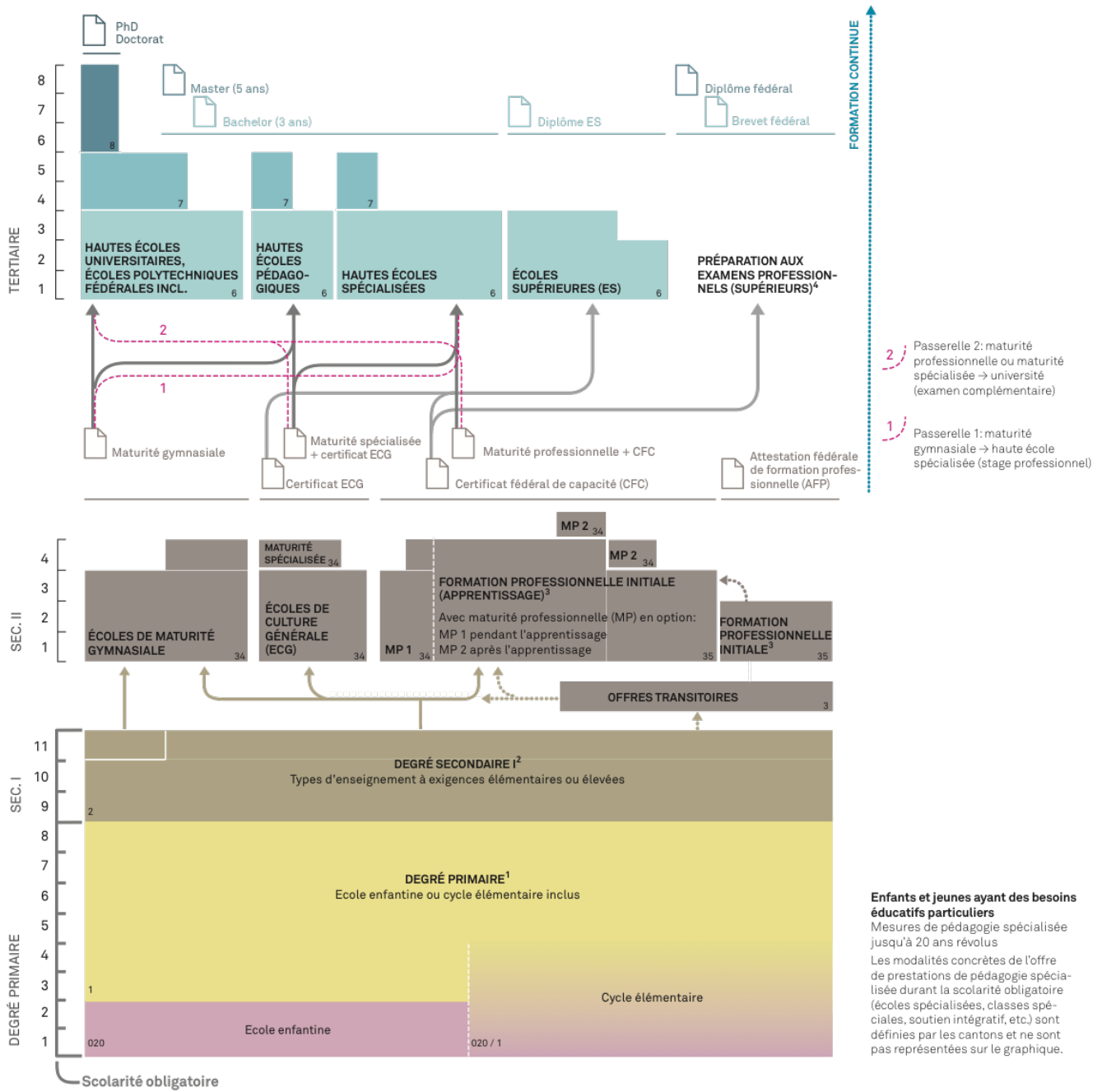
#### **4. Le système éducatif suisse**

À la différence de pays comme la France ayant un système d'éducation régi de manière centralisée, la Suisse n'a pas de structure qui chapeaute l'ensemble du système scolaire. L'organisation du système éducatif suisse se rapproche plus du système finlandais qui décentralise les initiatives, procédés et évaluations, mais opte pour la responsabilisation des établissements.

En Suisse, les compétences sont réparties entre les cantons et la Confédération et cette répartition diffère entre niveaux de formation. Concernant l'école obligatoire (degrés primaire et secondaire I), les cantons sont seuls responsables: ils décident de l'organisation et des lois scolaires, qui sont donc différentes d'un canton à l'autre. Pour le secondaire II et le tertiaire, les cantons sont responsables de l'enseignement général et des universités, tandis que la Confédération est responsable de la formation professionnelle, dirige les deux écoles polytechniques de Zurich et Lausanne et subventionne les universités.

Le territoire helvétique est divisé en 26 cantons avec 4 langues nationales. Des organisations fédérale et intercantonale permettent d'aligner les initiatives dans le pays. Sur le plan suisse, la principale organisation est la conférence suisse des directeurs cantonaux de l'Instruction publique, la CDIP, qui réunit 26 conseillères et conseillers d'État responsables de l'éducation. La CDIP est également organisée en quatre conférences régionales, assurant les réalisations et la coordination de proximité et se concertant dans des zones culturelles distinctes sur les dossiers et propositions qui lui sont soumises. Pour les cantons latins, il s'agit de la Conférence intercantonale de l'instruction publique de la Suisse romande et du Tessin (CIIP).

# LE SYSTÈME ÉDUCATIF SUISSE



© EDK CDIP CDEP CDPE, août 2019

ISCED | International Standard Classification of Education 2011

- ISCED 8
- ISCED 7
- ISCED 6
- ISCED 4
- ISCED 34 + 35
- ISCED 2
- ISCED 1
- ISCED 020

<sup>1</sup> Deux ans d'école enfantine ou les deux premières années d'un cycle élémentaire: ces années sont obligatoires dans la majorité des cantons

<sup>2</sup> Degré secondaire I: régime d'exception dans le canton du Tessin, quatre années de scuola media (selon art. 6 concordat HarmoS). Passage possible à l'enseignement gymnasial après la 10<sup>e</sup> année

<sup>3</sup> Formation professionnelle initiale (apprentissage): formation en entreprise formatrice + enseignement à l'école professionnelle + fréquentation des cours interentreprises. Pour certaines professions, le diplôme de formation professionnelle initiale peut être obtenu en fréquentant une école à plein temps (par ex. écoles de métiers, de commerce ou d'informatique).

<sup>4</sup> Examen professionnel fédéral / brevet fédéral = ISCED 6; examen professionnel fédéral supérieur / diplôme fédéral = ISCED 7

## 5. Les directives dans l'éducation en Suisse

Dans le cadre de la stratégie «Suisse numérique» (Office fédéral de la communication, 2019), la Confédération insiste sur le développement de la transmission des compétences nécessaires à la société dans la transition numérique, notamment la sensibilisation à l'IA, qui s'apprête à bouleverser de nombreuses activités.

Le système éducatif suisse planifie d'intégrer ces compétences dans une perspective plus globale de transformation digitale. D'ailleurs, les initiatives lancées dans l'éducation parlent plutôt de «transition numérique». Et bien que celle-ci ne soit pas synonyme de sensibilisation à l'IA, elle reste une ressource et un point de départ visant à la préparation à cette dernière.

La CDIP, en coordination avec la Confédération, a publié le 21 juin 2018 une stratégie de transition numérique. Les cantons prennent les mesures nécessaires dans leur contexte respectif pour réaliser les objectifs de la stratégie numérique de 2018. Ils se mettent ainsi d'accord sur les mesures à prendre au niveau de la coordination nationale dans le cadre de la CDIP.

Le plan d'action ci-dessous sera revu et mis à jour périodiquement.

- 1) Utilisation des données numériques.  
**Objectif stratégique:** clarifier la gestion des données du système éducatif, leur utilisation et les conditions requises pour garantir la sécurité de l'information (confidentialité, disponibilité et intégrité).
- 2) Organisation des écoles et responsables d'établissement scolaire.  
**Objectif stratégique:** doter les écoles et les responsables d'établissement des compétences et ressources nécessaires pour s'organiser dans le monde numérique en exploitant le potentiel offert par les technologies numériques.
- 3) Élèves et personnes en formation.  
**Objectif stratégique:** s'assurer que les élèves et les personnes en formation acquièrent les compétences nécessaires pour gérer la numérisation et les aider à devenir des citoyennes et citoyens autonomes et responsables dans un monde numérique.
- 4) Enseignantes et enseignants.  
**Objectif stratégique:** maintenir les enseignantes et enseignants au centre de l'enseignement et de l'apprentissage au sein du système éducatif, également dans le contexte de la numérisation, en les renforçant dans ce rôle lors de leur formation initiale et à travers des cours réguliers de formation continue.
- 5) Recherche et innovation.

**Objectif stratégique:** faire explorer par la recherche le potentiel offert par la numérisation à l'éducation et le valoriser à des fins d'innovation (pédagogique).

6) Nouveaux acteurs.

**Objectif stratégique:** institutionnaliser le dialogue avec les nouveaux acteurs, en particulier du secteur privé.

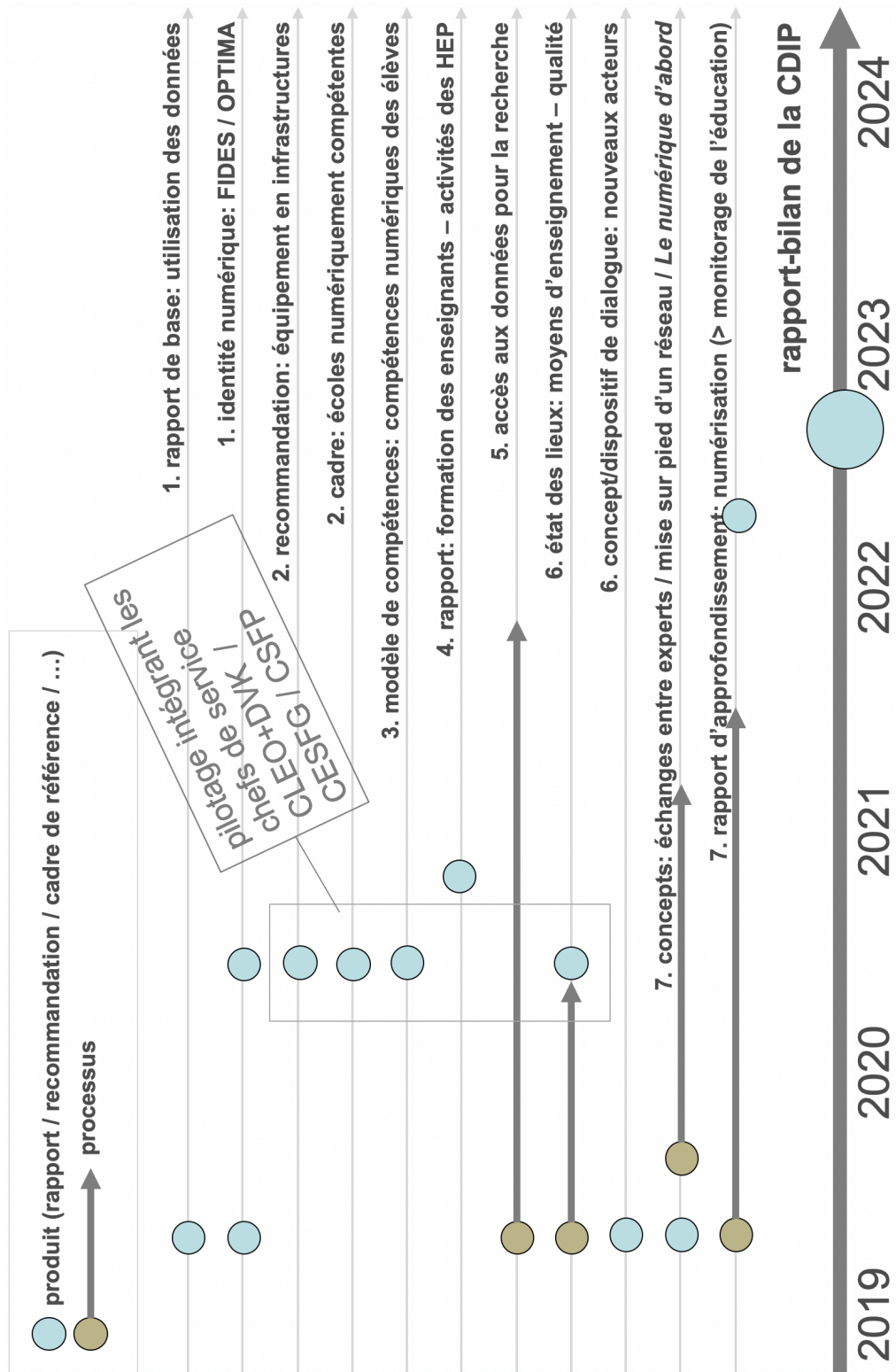
7) Réseau des autorités de l'éducation et de la formation.

**Objectif stratégique:** rendre les autorités de l'éducation et de la formation conscientes du potentiel offert par la numérisation de façon à ce qu'elles l'exploitent dans leur réseau pour s'améliorer.

Parmi les sept champs thématiques de la stratégie numérique, qui seront développés jusqu'en 2024, nous notons que en particulier les points 3, 6 et 7 sous-entendent les compétences nécessaires à la compréhension IA, mais ceci de manière implicite.



## Vue d'ensemble des produits prévus, de leurs horizons temporels et de leurs liens avec les sept champs thématiques de la stratégie numérique de la CDIP:



## **Plan d'action de la Conférence intercantonale de l'Instruction publique de Suisse romande et du Tessin (CIIP)**

Une fois ces initiatives communiquées, la CIIP a adopté, le 22 novembre 2018, un plan d'action et de lancement de travaux de coopération. Ce plan d'action destiné à tous les degrés et filières de formation inclut:

1. **Les plans d'études** incluant la science informatique, le développement des compétences d'utilisateur actif des outils numériques, ainsi que l'éducation aux médias; ceci pour tous les élèves, apprenants et étudiants, dans la scolarité obligatoire comme dans toutes les filières du degré post-obligatoire.
2. **Les équipements** tels que des solutions mobiles permettant la transmission du signal d'une tablette ou d'un ordinateur portable vers un écran collectif, l'écriture interactive, une connexion internet à haut débit, sécurisée et performante grâce à des bornes wifi de qualité professionnelle et à faible rayonnement électromagnétique, ainsi qu'un espace de stockage sécurisé de type *cloud*.
3. **Les formations des professionnels**, des directions d'établissement, des formatrices et formateurs, ainsi que des enseignantes et enseignants.
4. **La collaboration avec les hautes écoles**, des collaborations durables et concertées entre les hautes écoles, les organisations du monde du travail, les fondations actives dans l'essor de l'éducation numérique et l'instruction publique.
5. **Concertation et veille technologique et pédagogique.**

Ce découpage en cinq axes a été adopté pour la synthèse du Chapitre III des observations sous forme de graphiques résumant l'évaluation de l'avancement des projets visant à intégrer l'IA et la numérisation aux niveaux secondaire II (généraliste et professionnel) et tertiaire.



## 6. *État des lieux en Suisse romande*

### Secondaire II

#### **Numérisation de l'éducation :**

En école obligatoire et secondaire II, l'apprentissage de l'informatique sera obligatoire au plus tard à partir de l'année scolaire 2022/2023. Le nouveau plan d'action intercantonal de **numérisation de l'éducation** couvre le contenu de ce domaine avec:

- **la science informatique:** l'informatique en tant que matière d'un apprentissage disciplinaire, progressivement structuré et évalué au fil de la scolarité, qui porte sur les «science et technique du traitement de l'information»;
- **l'usage du numérique:** le numérique en tant que composante et instrument omniprésents dans la vie quotidienne et sociale comme dans la vie des apprenants de tout âge, et en tant qu'outil performant de la gestion scolaire – pour l'administration des données – et pédagogique – pour la médiation des savoirs et le soutien aux apprentissages –, ainsi que comme technologie d'aide face à des besoins éducatifs ou des troubles particuliers;
- **l'éducation aux médias:** les médias, traditionnels et numériques, en tant qu'objet transversal de la formation générale qui prépare à leur usage efficace, critique, esthétique, sécurisé et respectueux de la protection des données, de la personnalité et du droit d'auteur.

Chaque canton est responsable du choix du nombre de périodes affectées à la matière, de la stratégie de formation des collaborateurs et de la possibilité de donner ou prendre la responsabilité quant aux équipements nécessaires.

SECONDAIRE	Plan d'action Transition Numérique Echéance 2022	Compétences Numériques	Compétences Transversales	Implications	Parties prenantes concernées	Parties prenantes impliquées	Enjeux	Collaboration
	<b>PLAN D'ETUDE:</b> -l'apprentissage de l'approche algorithmique, -l'approche information des données. -l'approche informatique réseau. <b>Branche informatique obligatoire</b>	OK	Pensée critique	Ajouts de périodes de cours. Equipements WIFI, clouds Outils : BYOD Formation des collaborateurs	- Enseignants - Collaborateurs - Elèves - Cantons - HEP - Parents	- Cantons - HEP - Formation HEP	-Santé publique -Environnement -Résistance Parents professeurs	EPFL ou autre HEP
VD	<b>PROJET PILOTE EN COURS durée - 4 ans</b> <b>ECOLE OBLIGATOIRE</b> - 350 enseignants formés à la sciences informatique et pensée computationnelle	OK	N/A	- Prémisse pour le plan d'étude du secondaire II - Compréhension des enjeux éthiques et techniques	- Parents - Enseignants - Elèves - Cantons - HEP - EPFL	- Cheffe DFJC - Union enseignants - UNIL - HEP - EPFL	- Analyse de l'impact sociologique de la numérisation	EPFL UNIL HEP
FR	- Cyberadministration école obligatoire et secondaire II - Collecte des données programme 365 - Analyse ds données prédiction & individualisation de l'apprentissage - développer des outils permettant d'acquérir des compétences transversales	NO	Pensée critique	- WIFI - Cloud dans toutes les écoles - BYOD	- Parents - Enseignants - Elèves - Cantons - HEP - HEF	- UNIFR - Canton - Canton alémanique	-Santé publique -Environnement -Résistance Parents professeurs	HEP UNIF
NE	Projet en discussion	NO	NO	- Ajout de Période - Equipements - Budget 25 millions de CHF	- Parents - Enseignants - Elèves - Cantons - HEP - HEF		- Enjeux économiques	HEP
GV	Aucun pour l'insatnt	NO	NO	- Changement du positionnement des professeurs=> Forte culture académique	- Parents - Enseignants - Elèves - Cantons - IUF - HEF	- L'Institut Universitaire de Formation des enseignants, L'IUFE	- Vision court terme du conseil d'Etat - Age des conseillers d'états - Forte culture académique	

## Tertiaire (HES-SO et HEU)

Nous avons relevé les résultats pour la HES-SO et quelques hautes écoles universitaires, mais nous n'avons pas traité des hautes écoles pédagogiques (HEP), responsables de la formation des enseignants du degré obligatoire et du degré post-obligatoire. En effet, les changements au sein des HEP sont corrélés aux changements dans les plans d'études pour chaque degré de formation. Nous les avons couvertes de façon sporadique lors des entretiens avec les responsables du secondaire II.

La HES-SO est une institution couvrant les 7 cantons de Suisse occidentale et réunissant 28 écoles qui dispensent un enseignement dans 6 domaines d'activité : design et arts visuels, économie et services, ingénierie et architecture, musique et arts de la scène, santé et travail social. La HES-SO compte 70 filières d'études Bachelor et Master, 21 000 étudiants et 10 000 collaborateurs.

Les hautes écoles universitaires (HEU) fonctionnent par canton. Cela dit, des systèmes d'échanges permettent la complémentarité des savoirs d'une université cantonale à l'autre. Par exemple, un étudiant qui suit des cours de psychologie à l'université de Neuchâtel (UNINE) peut suivre des options de la filière psychologie à l'université de Lausanne (UNIL) ou de Genève (UNIGE), si cette option n'est pas offerte au sein de sa propre université.

### P-8 Renforcement des digital skills

Bien que les hautes écoles (HES-SO & HEU) soient sous la responsabilité des cantons, elles reçoivent aussi des **subventions de la Confédération**. Les hautes écoles ont d'ailleurs identifié l'importance de l'IA comme étant l'un des défis majeurs dans le développement de l'enseignement. La Confédération soutient les hautes écoles à travers le programme d'impulsion « P-8 Renforcement des *digital skills* dans l'enseignement ». Le programme P-8 est doté de 30 millions de francs suisses pour la période 2019-2024. Les mesures sont financées par des contributions du gouvernement fédéral liées aux projets. Ainsi, depuis début 2019, les hautes écoles peuvent mener des projets dans trois champs thématiques :

- renforcement des compétences numériques des étudiants,
- renforcement des compétences numériques des enseignants,
- renforcement des compétences numériques des institutions.

TERTIAIRE	Plan d'action P-8 Digital Skills 2021-2024		Compétences Numériques		Compétences Transversales		Implications		Parties prenantes Concernées		Parties prenantes Impliquées		Enjeux		Collaboration		
<b>HES-SO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Création d'un Comité de Compétence Numérique</li> <li>- 13 Module de Formation pour les collaborateurs</li> <li>- Réflexion et analyse du comité pour cibler et définir les compétences numériques et non numériques des 70 filières face à l'IA</li> <li>- Réflexion sur des nouvelles pratiques d'enseignement</li> <li>- Appel à projets pour toutes les HES</li> </ul>	ok	en cours	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vision Long Terme</li> <li>- Temps</li> <li>- Restructuration de l'enseignement</li> <li>- Mixité des disciplines d'enseignement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elèves</li> <li>- Enseignants</li> <li>- Collaborateurs</li> <li>- HES_SO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elèves collaborateurs</li> <li>- Enseignants</li> <li>- Collaborateurs</li> <li>- HES_SO</li> <li>- Toutes les HES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rigidité des structures</li> <li>- Apprendre le numérique par le numérique</li> </ul>	HES-SO	<b>UNIL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Master en humanité numériques</li> </ul>	ok	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collaboration entre disciplines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elèves</li> <li>- UNIL</li> <li>- EPFL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elèves</li> <li>- UNIL</li> <li>- EPFL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Généraliser les sujets dans d'autres disciplines</li> </ul>	HEP UNIL
<b>UNIGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recrutement responsable de la transition numérique</li> <li>- Recrut Docteur en Humanité Numérique</li> <li>- Interdisciplinarité des disciplines</li> <li>- Réévaluation des formes et objectifs des examens</li> <li>- Aménagements des espaces</li> </ul>	OK	OK	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interdisciplinarité</li> <li>- Restructuration de l'enseignement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elèves</li> <li>- Enseignants</li> <li>- UNIGE</li> <li>- Toutes les facultés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elèves</li> <li>- Enseignants</li> <li>- UNIGE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformation des espaces</li> <li>- Repositionnement des enseignants en coach</li> <li>- Compétences transversales sont vues comme une priorité</li> </ul>	UNIGE: -droit -Informatique -Medecine -Education -Sciences sociales ...									

## Branche professionnelle

La formation professionnelle est composée d'une multitude d'instituts offrant des programmes de formation dans tous les domaines de l'économie: l'administration, la vente, le service à la clientèle, la santé, les services sociaux, la construction, la rénovation, le tourisme, la restauration, etc. (SEFRI, 2016). Les élèves alternent entre des périodes de formation à l'école professionnelle et en entreprise. Le SEFRI est responsable de la création des plans de formation.

Les organisations du monde du travail (OrTra), qui sont par nature porteuses de changement, examinent tous les cinq ans les contenus des formations, afin de s'assurer que ceux-ci répondent bien aux besoins du marché.

Finalement, l'Institut fédéral des hautes études en formation professionnelle (IFFP) est le centre de formation continue responsable de la formation des enseignants du professionnel. En Suisse romande, l'IFFP a le monopole.

### **Programme *trans:formation***

Les défis de la numérisation ont été discutés dans le cadre du programme d'action «Vision 2030» lancé en 2018. Mandaté par la Confédération, l'IFFP, propose le programme *trans:formation* pour accompagner les instituts et formateurs dans la transition numérique.

Ce programme consiste à soutenir les écoles professionnelles, les directions d'école et le corps enseignant en matière de transformation numérique afin de favoriser l'intégration du numérique dans les approches pédagogiques. Pour l'instant, ce programme:

- fait un état des lieux sur le niveau de développement numérique de chaque école (Digicheck);
- met en lumière les besoins et attentes en termes de formation, ou d'équipement;
- propose des formations continues selon les besoins.



PROFESIONNEL	Plan d'action Trans:Formation 2021-2024	Compétences Numériques	Compétences Transversales	Implications	Parties prenantes Concernées	Parties prenantes Impliquées	Enjeux	Collaboration
IFFP pour les enseignants	<p>Le Digi-Check est un état des lieux dans le sens d'une auto-évaluation des forces et du potentiel de développement, axé sur le niveau de développement numérique individuel de l'école</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase 1 : Digi-check permet de faire dans un état des lieux des pratiques liées au numérique dans les différents centres de formations ; et de relever les bonnes pratiques,</li> <li>- Phase 2 : l'IFFP accompagne les écoles en matière de numérisation selon les besoins organisationnelle stratégique et de l'enseignement,</li> <li>- Phase 3 : En fonction des résultats du Digi-check une réflexion en matière de formation sera faite.</li> </ul>	NO	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matérielles</li> <li>- Financières</li> <li>- Infrastructures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elèves</li> <li>- Instituts de formation</li> <li>- Cantons</li> <li>- Enseignants</li> <li>- IFFP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IFFP</li> <li>- Instituts de formation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Connaissance des chefs de projets</li> <li>- Ecart entre la perception des compétences et ce que cela implique,</li> <li>- Compréhension commune : Il y a des compréhensions différentes de la numérisation entre les directeurs d'écoles, les enseignants et les élèves,</li> <li>- Ecart entre cantons. Certains ont des budgets pour mettre en place des moyens de développement du numérique et d'autres non.</li> <li>- Les lacunes au niveau des infrastructures, comme le WIFI dans les écoles, limite les initiatives pour l'instant.</li> </ul>	IFFP
SEFRI	N/A						La commission en charge facilite les règles et cadres afin que le plan d'étude puisse s'adapter facilement aux besoins du marché	
ORTA	N/A						70% du marché suisse est constitué de PME qui ne sont pas concernées par les évolutions face à l'IA.	

# III. ANALYSE DES RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENTS

## 1. Analyse des données

### Les méthodes d'analyse

L'analyse des données de la présente étude est qualitative et se base sur des données primaires (les réponses des questionnaires semi-structurés) et secondaires (littérature scientifique, rapports de conseil d'État, rapports stratégiques des institutions, etc.). Elle s'organise en allant du général au spécifique.

En premier, les différentes données collectées sont croisées grâce à une matrice SWOT. Ensuite, les résultats sont discutés selon les spécificités de chaque degré scolaire. Finalement, nous partagerons les grandes tendances observées lors de l'interprétation de ces résultats notamment la disparité entre les différents degrés scolaires et cantons.

### SWOT

L'analyse a été faite à l'aide d'une matrice SWOT, un diagramme visuel qui permet d'étudier d'une part les forces et les faiblesses relatives à l'environnement interne (micro) et d'autre part les risques et opportunités inhérents à l'environnement externe (macro). Nous avons utilisé cet outil d'analyse afin de croiser les données primaires et secondaires, avec les environnements macro et micro.

L'analyse débute par l'environnement macro, à savoir les risques et opportunités liés aux caractéristiques de l'environnement externe limitant ou favorisant la transformation potentielle des systèmes éducatifs pour développer les compétences liées à l'IA. Elle se poursuit ensuite avec les forces et les faiblesses spécifiques à chaque degré (secondaire II, professionnel et tertiaire).

<b>OPPORTUNITÉS</b> <b>tous degrés confondus</b>	<b>RISQUES</b> <b>tous degrés confondus</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système Suisse non centralisé</li> <li>• Stratégie «Suisse numérique»</li> <li>• Restructuration de l'éducation pour passer du savoir-faire au savoir-être</li> <li>• Élévation des compétences humaines et de l'activité humaine - Repenser les activités</li> <li>• AI sciences de base (Mathématique, informatique statistique algorithmique)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Domaine de compétences nouveau, donc peu de culture générale de l'IA</li> <li>• Manque de compréhension de la part de décideurs cantonaux</li> <li>• Manque de compréhension de la part d'institutions</li> <li>• Peu de lien entre les volets cyberadministration- outils - compétences</li> <li>• Loi sur la protection des données</li> <li>• Risques d'atteintes à la vie privée</li> <li>• Éthique: algorithmes de prévision «reproduisent» le passé</li> <li>• Disparités socio-économiques entre cantons</li> </ul>
<b>FORCES SECONDAIRE II</b>	<b>FAIBLESSES SECONDAIRE II</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veilles Technologiques (EPFL, IDIAP)</li> <li>• Sensibilisation aux métiers MINT (mathématiques, informatique, sciences naturelles et technique)</li> <li>• Projet pilote du canton de Vaud à l'école obligatoire</li> <li>• Directives transition numérique</li> <li>• Collaboration entre instituts (HEP - EPFL/Autres)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Focus principalement sur les outils, peu sur les compétences ou la cyberadministration</li> <li>• Compétences partiellement couvertes</li> <li>• Enjeux de santé jeune public -environnement</li> <li>• Résistances de parents et enseignants</li> <li>• Disparité socio-économiques (Wifi-Cloud-Matériel)</li> <li>• Vision court-terme certains décideurs</li> <li>• Écart entre les souhaits des responsables et les possibilités du terrain.</li> <li>• Education compartimentée</li> <li>• Parties prenantes non ou peu impliquées</li> </ul>

FORCES TERTIAIRE Hautes écoles	FAIBLESSES TERTIAIRE Hautes écoles
<p><b>HES-SO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Programme P-8 Digital skills</b></li> <li>• Centre de Compétences numériques HES-SO, membres représentant de tous les domaines</li> <li>• Appel à projet intégration des parties prenantes</li> <li>• Temps donné à la réflexion pour formuler une vision du futur</li> <li>• Réflexion pour développer les 3 domaines de compétences vision 360</li> <li>• Formation de tous les collaborateurs</li> </ul>	<p><b>HES-SO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Former au numérique par le numérique</li> <li>• <i>Soft skills</i> non couvertes, comme l'intelligence émotionnelle, la créativité, la résolution de problème complexe</li> <li>• Rigidité des institutions</li> <li>• Étanchéité des disciplines</li> <li>• Pas encore d'initiatives Cyberadministration -Outils - Compétences</li> </ul>
<p><b>UNIGE-UNIL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>UNIL</b></li> <li>• Programme Interdisciplinaire Sciences Sociales- Numérique</li> <li>• Collaboration EPFL-UNIL</li> <li>• <b>Programme P-8 Digital skills UNIGE</b></li> <li>• Recrutement ciblé <ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsable de la transition numérique</li> <li>• Docteur en humanité numérique</li> </ul> </li> <li>• <b>Programme Interdisciplinaires</b></li> <li>• Re-positionnement du professeur en coach</li> <li>• Réévaluation des examens</li> </ul>	<p><b>UNIGE-UNIL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manque de formation pour les collaborateurs</li> <li>• <i>Soft skills</i></li> <li>• Moins d'outils et Cyberadministration que dans les HES-SO</li> <li>• Disparités socio-économiques d'un canton à l'autre</li> </ul>
Master en IA IDIAP	Très peu d'étudiant 20/an professionnels uniquement

FORCES PROFESSIONNELLE	FAIBLESSES PROFESSIONNELLE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agilité du système face aux besoins du marché</li> <li>• Cf. Valais: 2% des entreprises sont à la pointe de la tech</li> <li>• Acquisition des compétences numériques en entreprise</li> </ul> <p>EPFL- IDIAP</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 70% de petites PME parmi les entreprises</li> <li>• Les personnes mandatées sur le programme transformation sont internes à l'IFFP - pas de connaissances en IA</li> <li>• Uniquement le volet numérisation des outils et de l'enseignements sans prise de vue globale</li> <li>• Pas de vision long terme</li> <li>• Pas d'analyse sur la transformation des filières</li> <li>• Certains métiers encore enseignés pourtant en fort déclin</li> <li>• Ecart entre la vision de la Confédération et possibilités du terrain</li> </ul>

## 2. Discussion des résultats

Un premier constat au terme de ces 25 entretiens est l'emploi sans distinction de sens des termes «IA» et «numérique». C'est sous le vocable générique de «numérique» que seront d'ailleurs abordées les thématiques par une grande partie des interviewés. Il s'agit d'un signe de la méconnaissance associée à l'IA.

Toutefois, un projet pilote très structuré a été initié à l'école obligatoire dans le canton de Vaud (depuis 2019). Ce projet pilote est mené en étroite collaboration avec l'EPFL, la HEP et l'UNIL, sous la direction du Département de la formation, de la jeunesse et de la culture (DFJC) du canton de Vaud. À l'issue de ce projet d'une durée de 4 ans, les objectifs sont:

- **De sensibiliser le corps enseignant** : plus de 350 enseignantes et enseignants seront formés à la science informatique et à la pensée computationnelle plus précisément, à la découverte et l'application de concepts de base comme l'algorithmique, la programmation, l'initiation à la robotique éducative (École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2019).
- **De créer une suite cohérente entre les différents niveaux de formation**: en mettant la priorité sur l'école obligatoire (primaire et secondaire I), une trame logique pourra être dessinée pour le plan d'étude du secondaire II. D'après Francesco Mondada, professeur à l'EPFL, cette étape est nécessaire pour comprendre les différents enjeux techniques et éthiques. Parallèlement, des initiatives pour intégrer l'IA en secondaire II sont en cours et prendront effet vraisemblablement d'ici deux à trois ans.
- **D'analyser l'impact sociologique et éthique** de l'intégration de ces nouvelles technologies dans le développement de l'enfant.

Peu d'initiatives concrètes ont abouti en secondaire II. Cependant, les résultats du projet pilote mené en école obligatoire serviront de base pour l'articulation du plan d'étude et des initiatives du secondaire II.

*Les activités débranchées et de robotique ont particulièrement conquis le personnel enseignant [...] La première est la «machine à trier» qui permet aux élèves «de vivre de façon incarnée le tri de données dans le respect d'un algorithme connu de tous».*

*Actu EPFL*

*«Au niveau maternel, les enfants projettent des émotions sur les robots ; nous voyons les premiers brins de problèmes avec des confusions entre machine et vivant. La question de comment traiter la machine: un robot qui bouge cela fait penser à un animal et on touche l'autre aspect. D'un côté, nous voulons comprendre comment fonctionne le robot et, deuxième aspect, il y a une question de vocabulaire de base à changer qui couvre plutôt l'aspect éthique, social qui, ensuite, peut devenir assez complexe. Le rapport aux machines est une question intéressante.»*

*Francesco Mondada, directeur du Center for Learning Sciences (LEARN) de l'EPFL*

## Secondaire II

D'après les directives de la CDIP, l'objectif principal du secondaire II dans cette transition numérique est de développer les compétences numériques par le numérique. La branche informatique sera obligatoire et les cours seront suivis à l'aide de supports numériques. D'après certains chefs d'établissement, rendre la branche informatique obligatoire est un vrai défi, tant organisationnel que financier.

Pour l'heure, peu de projets ont vu le jour en secondaire II. Les résistances aux outils numériques des parties prenantes (parents et enseignants) expliquent ce retard dans la mise en place. Cependant, les résultats du projet pilote mené en école obligatoire dans le canton de Vaud pourraient enrichir la base pour l'articulation du plan d'étude et des initiatives du secondaire II.

*«Les cours d'informatique sont obligatoires depuis 2005 et intègrent la compréhension algorithmique, les différents langages de programmation et la pensée algorithmique. Les élèves développent des programmes seuls: par exemple, un arroseur de plante qui s'auto-régule selon les conditions externes, ou encore un programme de comparaison de performances entre joueurs de jeux vidéo humains contre machine.» (VD)*

Le gymnase intercantonal de la Broye (Canton de Vaud et de Fribourg) est une exception parmi tous les gymnases de Suisse romande. Ce gymnase propose, d'une part, un renforcement des compétences numériques avec des cours d'informatique obligatoires depuis 2005, auxquels sont affiliés la compréhension algorithmique, les différents langages de programmation et la pensée computationnelle. D'autre part, 94% des élèves du gymnase de la Broye ont leur propre matériel numérique. L'intégration des ordinateurs s'est faite de manière progressive sans obligation. D'après le directeur du gymnase, cette liberté d'innovation au sein du programme vient de la structure juridique du gymnase. En effet, le gymnase étant partagé entre deux cantons, il se structure comme une PME avec un conseil d'administration qui lui permet d'avoir une plus grande marge de manœuvre.

*«Il y a un impact sur les ressources matérielles et temporelles: pour acheter du nouveau matériel ou pour ajouter des périodes.» (NE)*

## Hautes écoles

Mis à part le programme P-8 *Digital skills* sur lequel nous reviendrons plus tard, l'IA est abordée de façon sporadique selon les universités, l'expertise des interlocuteurs et soulève des questionnements relatifs à chaque domaine d'activité.

Dans la filière social et santé, l'IA est abordée surtout avec des questionnements sur l'impact éthique et sociétal. Par exemple, dans les soins, l'IA est utilisée comme cyberadministration avec le dossier patient. Le dossier électronique du patient centralise toutes les données médicales individuelles (bilan, historique médical). Il permet de gérer tous les aspects des soins, mais aussi les finances du système de santé global.

En médecine, ces outils technologiques sont intégrés comme support en chirurgie pour des actes spécifiques. Dans ces cas, la place du médecin dans la gestion de la relation avec le patient est soulevée.

Les écoles de gestion s'intéressent à l'IA au niveau des contenus de cours avec l'utilisation de certains outils manipulant les données dans le développement d'offres spécifiques (par exemple les services bancaires).

Certaines écoles d'art proposent des projets artistiques prenant en compte l'IA. Ou encore, elles utilisent l'IA comme outil de production de contenus média (ECAL).

Dans l'ingénierie (HEI Wallis), l'IA est utilisée dans les systèmes industriels, dans la technologie du vivant (chimie analytique, technologie alimentaire) depuis quelques années déjà.

Les divers exemples d'intégration ou utilisation de l'IA dans de nombreuses disciplines étudiées en tertiaire (hautes écoles) témoignent de la gouvernance de l'IA et de l'acquisition de compétences nouvelles qu'elle requiert. Bien qu'encore peu de programmes au sein du tertiaire existent, des veilles technologiques voient le jour au sein de certaines universités comme l'ECAL. Et des recrutements stratégiques sont actionnés par certaines hautes écoles afin de coordonner l'interdisciplinarité.

*«Cela fait 6 mois que l'on a mis un centre des technologies en place, dans lequel on accueille toutes les technologies avec des outils de pratique et d'enseignement. L'IA est un outil parmi tous les autres. L'idée était de favoriser un espace gagnant en rapidité au niveau de la technologie; c'est une bibliothèque des technologies. Cet outil, ce n'est pas un programme, le fait de vulgariser les technologies permet de comprendre les enjeux des technologies et de pouvoir les introduire dans la pratique.»*

(ECAL, VD)



## Écoles professionnelles

«Nous avons entre 20 et 2 jours pour mettre en place cette formation dans les établissements dans le cadre du programme "trans:formation". En 2019, nous avons fait une vingtaine de digi-check. Je n'ai pas du tout de connaissance sur l'IA en particulier. J'ai fait un petit tour de table avec mes collègues des autres secteurs pour savoir ce qu'il y avait en cours et je n'ai pas eu de retour, donc il est difficile de voir ce qui est en route.»

IFFP

«Être mécanicien automobile, il y a vingt ans, c'était mettre les mains dans le moteur. Aujourd'hui, c'est de l'automécatronique; il y a d'autres compétences telle que savoir utiliser un ordinateur et analyser des signaux.»

SEFRI

Au travers de son programme **trans:formation**, la branche professionnelle se focalise sur la numérisation de l'enseignement. L'IFFP a nommé un membre interne responsable de cette transition numérique. Bien que l'IA soit mentionnée lors de notre échange, le contenu du programme semble plutôt du domaine de la numérisation de l'éducation. D'ailleurs le responsable de la transition mentionne avoir très peu de connaissances sur l'IA.

Le représentant du SEFRI, chef d'unité de la formation professionnelle, perçoit bien une automatisation des outils de travail (par exemple, l'informatisation des procédés), mais celle-ci ne représente qu'une évolution progressive et ne transformerait pas le marché de façon structurelle et profonde. Pour lui, ces changements sont du domaine de la technologie et non des compétences.

De plus, les plans de formation sont revus tous les cinq ans par les associations d'entreprises. Ces associations représentent les métiers et sont responsables du maintien des métiers selon les besoins du marché. Néanmoins, le représentant du SEFRI mentionne que seules 2% des entreprises suisses sont à la pointe de la technologie. Le marché est composé à 70% de PME qui ne sont pas directement concernées par l'IA. Ces associations n'anticipent pas les transformations du marché qui seront liées à l'IA et possiblement sous-estiment des implications et évolutions «silencieuses» dans tous les secteurs d'activité.

«Pour moi, c'est difficile de dire que l'IA est intégrée; je pense que c'est quelque chose de progressif. Les programmes changent au fur et à mesure. Nous nous sommes liés aux compétences, pas à la technologie, et ce n'est pas ce que nous voulons. Si la technologie change, ceci se fait au sein de l'entreprise. Au niveau des compétences, on peut dire qu'il y a des situations de travail qui changent imposant peut-être des nouvelles technologies, mais nous restons surtout sur les situations de travail.»

SEFRI

«Les apprentis continuent à suivre des branches comme le commerce alors que la vente fait partie des métiers qui disparaissent.» (GE)

### 3. Enseignements pratiques

Nous l'avons vu, l'IA est présente dans toutes les sphères de l'éducation: elle questionne les **compétences** qu'elle requiert et, parallèlement, elle peut être utilisée au travers d'**outils** pour améliorer la pédagogie, ceci grâce à des systèmes de **cyberadministration**.

Selon les degrés d'éducation, les priorités sont différentes:

- Dans le secondaire, la numérisation de l'éducation prime; c'est la première étape nécessaire au développement des compétences numériques.
- Dans le tertiaire, des plateformes d'apprentissage (cyberadministration) sont déjà en place; c'est le volet «compétences» qui prime.
- Le degré professionnel en est à l'étape initiale d'état des lieux pour, ensuite, développer un plan d'action sur la numérisation de l'enseignement.

### Constat d'une disparité notable entre les degrés scolaires et les cantons

Un des premiers éléments qui émerge de cette étude est la disparité des initiatives liées à la transition selon les degrés scolaires et les cantons.

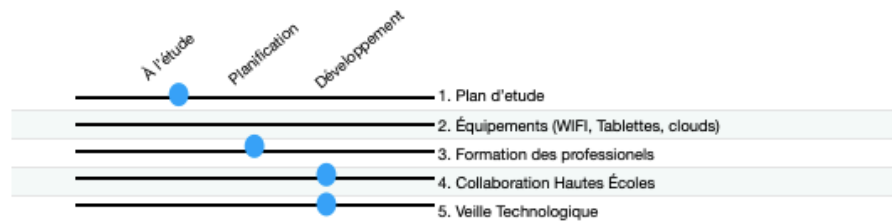
#### A. Degrés

##### Secondaire II

Nous avons vu les possibilités d'utiliser l'IA pour améliorer l'éducation (Chap. I, Section 2), grâce à la combinaison de l'agrégation des données des élèves issues par exemple de plateformes d'évaluations numérisées et des capacités d'apprentissage de l'IA.

Ces données sont, pour l'instant, presque inexistantes en secondaire II. La création de ce **lac** de données n'est possible qu'avec l'intégration d'outils numériques. C'est probablement l'une des raisons pour lesquelles le secondaire II donne la priorité au volet **outils** afin de développer les **compétences**. Cela nécessite des investissements dans les infrastructures (wifi, *cloud*), ainsi que l'intégration d'outils numériques.

Alors que la formation des collaboratrices et collaborateurs au numérique est déjà en cours grâce aux collaborations entre les HEP et les gymnases



**Figure 3.1: Évaluation de l'avancée de la transition numérique dans le secondaire II (généraliste) en Suisse romande**

(propres à chaque canton), les limites auxquelles la transition numérique fait face sont les équipements qui représentent de lourds investissements.

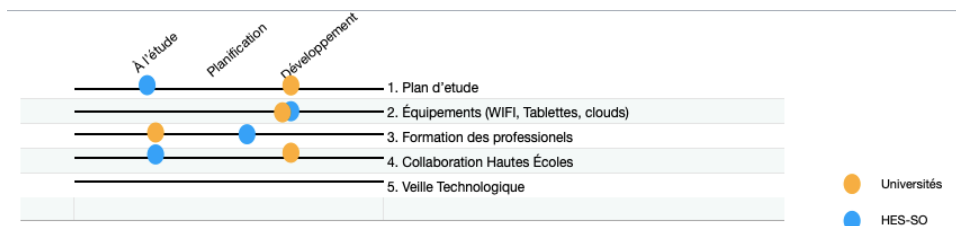
Une des solutions proposées par [educa.ch](http://educa.ch) dans le cadre de la numérisation de l'éducation est l'initiative *Bring Your Own Device* (BYOD), qui consiste à utiliser son matériel informatique personnel dans le cadre de l'école. Chaque élève doit se munir de son propre ordinateur ou d'une tablette.

Le canton de Fribourg a fait œuvre de pionnier en Suisse romande avec une initiative BYOD dans les gymnases. Néanmoins, compte tenu de l'âge des élèves, cette initiative a rencontré des résistances. Elle a été interrompue du fait de craintes en termes de santé publique (concentration, attention, exposition prolongée...). Des réticences concernent aussi le corps enseignant, en partie liées à des craintes quant à la pérennité des postes.

«Il y a une vague de technophobie qui nous prend beaucoup de temps - pas mal de craintes venant des parents avec des questions de santé publique: écrans, ondes, capacité d'attention, difficulté de concentration, qui ne sont pas toujours fondées.» (VD)

Au vu des tranches d'âge des élèves des degrés obligatoire et post-obligatoire, le niveau d'implication des parties prenantes dans cette transition peut être autant un frein qu'un facteur de réussite. Dans le cas du secondaire II, accompagner la transition implique d'activer différents leviers. Un exemple de réussite est le projet pilote mené en école obligatoire dans le canton de Vaud destiné à **mesurer les implications** techniques et sociologiques de la numérisation afin, d'une part, de répondre aux questionnements des parents et, d'autre part, de repenser la position de l'enseignant. Parmi les facteurs de succès, **les parties prenantes ont été impliquées** dans le projet de recherche, comme par exemple le responsable du syndicat des enseignants du canton de Vaud qui joue un rôle de relais de communication entre les enseignants, les chercheurs et les politiques. La **formation et la sensibilisation des enseignants par des formations continues** (formation en salle et non pas en ligne) sont d'autres éléments clé — d'après Francesco Mondada, directeur du Center for Learning Sciences (LEARN) de l'EPFL, après un an de formation, les enseignants n'ont plus «peur» de l'IA et comprennent ses potentiels. Finalement, l'avancement du projet est communiqué lors de **colloques** (École Polytechnique Fédérale de Lausanne, s.d.) ouverts à toutes les personnes intéressées.

## Tertiaire (hautes écoles)



**Figure 3.2: Évaluation de l'avancée de la transition numérique dans le tertiaire (HES-SO et HEU) en Suisse romande**

«Si un étudiant en ingénierie veut faire une étude dans le social, il n'a pas la possibilité de le faire. Ce travail ne serait et l'étudiant ne peut pas sortir du secteur dans lequel il est spécialisé.» (FR)

La HES-SO et les hautes universités n'ont pas adopté les mêmes stratégies dans cette transition numérique. Alors que certaines universités ont déjà organisé des collaborations entre hautes écoles, la HES-SO a donné la priorité à la formation de ses collaborateurs. Ainsi, les deux filières n'avancent pas exactement de la même manière.

### Universités

Dans le cadre du programme P-8, les hautes universités fonctionnent de manière individuelle. Parmi toutes les hautes universités de Suisse romande, l'UNIGE et l'UNIL sont les seules à avoir déjà déployé des actions. Ces hautes écoles se focalisent sur le volet **Compétences** que requiert l'IA.

Pour rappel (Chapitre 1, SEFRI, 2019):

- **Les compétences numériques de base** (pour les métiers qui exploitent l'IA) qui nécessitent une compréhension intuitive des algorithmes afin d'en saisir les possibilités et les limites.
- **Les compétences transversales sociales et affectives** (leadership, intelligence collective, intelligence émotionnelle), et intellectuellement élevées (surtout celles qui permettent de créer et de gérer des projets complexes).

Ces domaines de compétences appartiennent à des registres différents et nécessitent une distinction dans leur analyse.

En effet, les compétences numériques nécessitent des collaborations entre hautes écoles pour élaborer des programmes interdisciplinaires. Par exemple, l'UNIL, en collaboration avec l'EPFL, propose un Master en Humanité numérique; ce master interdisciplinaire en sciences humaines et numériques couvre des sujets tels que la pensée computationnelle, l'éthique de

numérique et aussi la programmation. Ce type de programme est encore rare, car les disciplines d'enseignement sont compartimentées et demandent des changements institutionnels.

Les compétences transversales, quant à elles, sont d'un autre registre. Comme vu dans le chapitre 1, l'IA peut compléter, et parfois remplacer, l'humain à certains étages de la hiérarchie des opérations et des actions (Tuomi, 2018). Cette évolution exige de l'humain une réactivité croissante et des capacités d'adaptation développée; elle rend aussi plus importants les aspects relationnels ainsi qu'une vision large et dépassant les frontières entre disciplines, dans l'optique de faire émerger une intelligence collective. Pour atteindre ce but, l'acquisition de *soft-skills* est donc nécessaire.

L'UNIGE travaille dans ce sens dans son nouveau programme interfacultaire. Dès 2020, un cours permettra aux étudiants de différentes disciplines et facultés de travailler ensemble sur un projet impliquant l'IA afin de repenser les processus (huit facultés au total travailleront ensemble, dans des disciplines telles que la médecine, les sciences naturelles, les lettres, la psychologie et les sciences de l'éducation, etc.). Dernier point, ces cours seront encadrés non pas par des enseignants, mais par des coaches.

Bien que ce type de cours soit novateur, d'après le responsable de la transition numérique à l'UNIGE, les compétences transversales à développer sont encore nombreuses et restent en questionnement.

*«Au-delà de la technologie, des compétences interdisciplinaires sont nécessaires pour ne pas perdre le sens. Il y a un manque d'intelligence collective. Par exemple, des élèves d'ingénierie ont conçu une machine dédiée aux pays en développement pour mesurer les rythmes cardiaques. [...] La machine en soi est certes performante, mais ce projet ne s'insère pas bien dans le contexte global, qui n'est pas bien compris. Dans les faits, ce sont les ravages de la malaria qui sont prioritaires dans ces régions et une telle machine n'est pas très utile.» (Arc-Santé, JU)*

*«UNIGE est une université polyvalente qui a la capacité de confronter et combiner différents savoirs, comme les sciences sociales, l'IA ou encore les enjeux sociaux de la révolution numérique. Au final, quels sont les enjeux éthiques d'une boîte noire?» (GE)*

Compétences Numériques	Compétences Transversales	Interdisciplinarité	Formation collaborateurs	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	HES-SO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	UNIGE
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	UNIL
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Other (UNINE-UNIFR-UNIBE)

**Figure 3.3: Évaluation de l'avancée de la transition numérique dans le tertiaire (HES-SO et HEU) dans les cantons romands**

## HES-SO

Dans le cadre du programme P-8, la HES-SO a créé le Centre de compétences numériques (CCN) constitué de son responsable et de 18 experts de l'enseignement ayant une expérience dans la gestion de projets numériques et provenant de divers domaines (musique, santé, ingénierie, social, etc.). Le CCN cherche à cibler et définir les compétences numériques et transversales nécessaires face à l'IA et réfléchit à de nouvelles pratiques d'enseignement qui intègrent le numérique. Enfin, il cherche à adopter l'IA comme outil d'amélioration et d'encadrement des étudiants.

Ses missions:

- Devenir un acteur reconnu au niveau de la digitalisation du numérique avec des formations et formations continues.
- Concourir au *life-long learning*.
- Servir la société.

La HES-SO imbrique les 3 volets dans sa transition numérique «compétences», «outils» et cyberadministration». D'ailleurs, Laurent Bagnoud met un point d'honneur à la formation de tous les collaborateurs.

En général, les HES utilisent déjà des systèmes de cyberadministration et les outils numériques en place pourront probablement être optimisés grâce à l'IA. Par exemple, la plateforme Moodle est utilisée par de nombreuses universités et HES comme outil de gestion du processus d'apprentissage. L'agrégation des données collectées par ce système permet l'analyse de traces fines pour suivre les dynamiques d'apprentissage des étudiants (comme les fréquences de connexion à la plateforme, ou la vision des sup-

«Nous avons un rôle de convoyeur de cadres moyens et aussi de centre de recherche pour les PME, en collaboration avec les grandes entreprises pour jouer un rôle au niveau du tertiaire industriel.»

(HES-SO)

«Comment peut-on changer les mentalités, une façon de penser qui a été établie pendant plusieurs décennies? Avant, nous étions habitués à rester dans des disciplines et les changements institutionnels sont très lourds; nous avons de petites initiatives qui sont prises, mais elles ne sont pas au niveau institutionnel. [...] Les directeurs donnent la vision, mais les institutions sont figées. Les réglementations sont des limites à la progression, elles ne sont pas adaptées à la rapidité du changement.» (FR)

ports de cours proposés). L'un des buts de cette cyberadministration peut être d'être un système préventif d'échecs ou potentiels abandons.

Quant au volet «outils», les hautes écoles de Santé intègrent de plus en plus les *serious game* pour les mises en situation pratiques. Ces jeux permettent de simuler, par exemple, des situations médicales durant lesquelles l'étudiant élabore une stratégie clinique auprès d'un patient virtuel qui peut réagir «virtuellement» en temps réel à la prise en charge et aux soins administrés, via une interface numérique. Grâce à cet outil, l'enseignant peut suivre le raisonnement de l'étudiant et comprendre l'origine de ses erreurs afin de l'accompagner. Cet outil n'a pas réellement recours à l'IA aujourd'hui, mais il le pourrait dans le futur.

En effet, bien que la cyberadministration et les outils soient des supports pédagogiques fiables, ils ne sont pas encore optimisés avec des systèmes d'apprentissage profond (chapitre 1), ce qui permettrait d'adapter le rythme, la difficulté, le contenu ou l'activité en elle-même. Cependant, la HES-SO a intégré ces points dans ses objectifs de transition numérique.

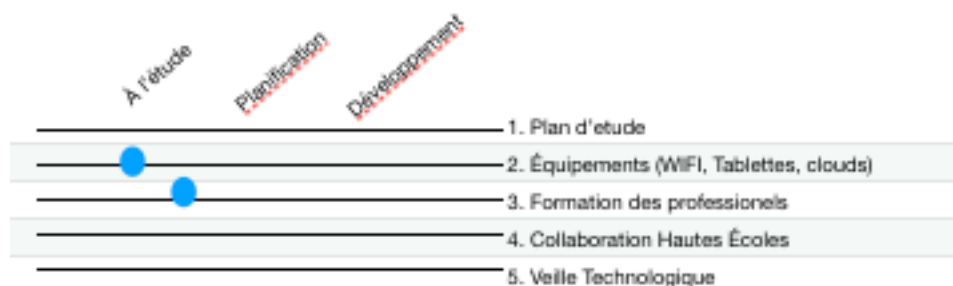
À propos du volet «compétences», la HES-SO adopte une stratégie descendante et ascendante :

- Descendante, car il y a une réflexion de fond au sein du CCN sur les transformations que vont subir les 70 filières face à l'IA. Le CCN a notamment mis en place un système de qualité dans lequel existe une réflexion pour adapter les formations.
- Ascendante, car un appel à projets a été lancé cette année au sein de toutes les HES. Un exemple de projet qui pourrait être soumis est le nouveau cours créé par le professeur Maurizio Caon, responsable de l'Institut de digitalisation et chercheur en interaction humain-machine à la Haute École de gestion de Fribourg. Cet exemple a une orientation business avec un volet sur le concept, l'évolution et les implications sociales de l'IA, et un autre permettant l'utilisation d'outils de *machine learning* qui ne nécessitent pas de connaissance du langage informatique.

Gageons que, d'ici 2024, nombreux seront les projets novateurs en la matière qui répondront à l'appel à projets dans le cadre du programme P-8 *Digital skills*.

## Formation professionnelle

Le secteur professionnel est encore en phase d'état des lieux. L'objectif principal du programme *trans:formation* est d'intégrer le numérique dans les instituts professionnels.

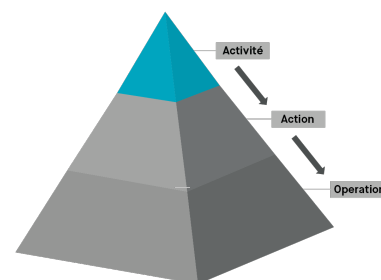


**Figure 3:4 Évaluation de l'avancée de la transition numérique dans la filiale professionnelle en Suisse romande**

Sa stratégie s'intéresse surtout au volet **outils** de l'IA dans l'éducation pour, probablement, mettre en place un système de **cyberadministration** à moyen terme.

À part au travers de l'utilisation d'outils numériques, les compétences numériques et transversales, comme définies dans le Chapitre 1, ne sont pas couvertes.

Notons que la formation professionnelle reste axée sur un développement numérique quasi exclusivement ciblé sur le volet **outils** (tablettes tactiles, wifi). Il y a une intégration du numérique sans questionner la finalité ni les enjeux qui lui sont associés. Si l'on revient à la pyramide de l'activité, on reste sur le niveau de l'action — la numérisation (le quoi).



Parmi les trois degrés de la formation, il ressort ainsi que les hautes écoles universitaires sont les plus avancées en termes de réflexion sur les compétences nécessaires aux défis économiques posés par l'IA. Bien que la rigidité des structures institutionnelles soit un frein, un travail de fond a été entamé pour y remédier.

## B. Cantons

Enfin, les caractéristiques de chaque canton et les enveloppes budgétaires disponibles créent forcément des conditions plus ou moins avantageuses pour défendre la politique en matière de transition numérique. Ceci concerne notamment le degré secondaire II. En effet, le degré professionnel



est sous la responsabilité de la Confédération et le degré tertiaire reçoit des subventions de celle-ci.

	VD	VS	GE	FR	NE	BEJU	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Plan d'étude
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Équipements (WIFI, Tablettes, clouds)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. Formation des professionnels
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Collaboration Hautes Écoles
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Veille Technologique

**Figure 3.5: Évaluation de l'avancée de la transition numérique par canton en secondaire II (filières généralistes) dans les cantons romands**

Pour certains cantons, mettre en place les différentes recommandations de la CIIP, comme l'ajout de périodes, l'adaptation des infrastructures ou encore l'accès au wifi, peut s'avérer contraignant financièrement. D'un canton à l'autre, les collaboratrices et collaborateurs du système éducatif ne bénéficient pas des mêmes systèmes de formation.

«Nous sommes en train de travailler avec les HEP et EPFL pour intégrer la science informatique ; nous sommes en train de construire tout cela. Pour l'instant, nous sommes au début car, fédéralisme oblige, nous devons avant tout nous mettre d'accord sur une ligne d'objectifs communs et, une fois définis, nous pouvons former les enseignants. Les limites peuvent aussi être financières et logistiques.» (NE)

### Canton du Jura<sup>3</sup>:

Un calendrier avec une estimation financière doit être proposé pour une décision au Parlement en 2020. Un référentiel de compétences MITIC (médias, images, technologies de l'information et de la communication) est en cours d'écriture, en s'inspirant de ce qui se fait dans les autres cantons. Il sera suivi par un concept de formation des enseignantes et enseignants qui devrait en partie s'appuyer sur du e-learning.

### Canton de Berne:

Depuis la rentrée scolaire 2019-2020, la partie francophone du canton de Berne a introduit une période MITIC en école obligatoire. Pour l'instant, aucune initiative n'est prise pour le secondaire.

### Canton de Neuchâtel:

D'après le secrétaire général de l'Éducation et de la Famille de Neuchâtel, l'intégration de la branche informatique sera faite en 2021. En secondaire II, seul un tiers des salles de classe est équipé de matériel multimédia. Celui-ci comprend entre autres (et tenant compte des technologies disponibles aujourd'hui) un ordinateur avec dispositif de projection ou d'affichage, des haut-parleurs pour la restitution du son, un écran tactile pour l'interactivité, ainsi qu'une connexion au réseau filaire du secondaire II et à internet.

<sup>3</sup> Rapport du 20 novembre 2019, du Conseil d'État au Grand Conseil, à l'appui d'un projet de décret portant octroi d'un crédit d'engagement de 24 716 600 de francs suisses pour le programme Éducation numérique s'appliquant aux écoles obligatoires et postobligatoires.

Les autres salles disposent d'un niveau d'équipement très variable selon les écoles et les bâtiments. Dans les salles d'informatique, les postes de travail des élèves sont équipés d'ordinateurs fixes connectés au réseau filaire interne. L'investissement pour mettre en place ce nouveau programme s'élèverait à 25 millions de francs.

#### **Canton de Genève:**

D'après le rapport du Conseil d'État, le secondaire II a réalisé une estimation des coûts et des équipements. Depuis la rentrée 2019-2020, des programmes ont été déployés à titre expérimental, en vue d'une mise en place à la rentrée 2020-2021. Et pourtant, Sylvain Rudaz, responsable du secondaire II du canton de Genève, relève que ce n'est pas une priorité pour les autorités cantonales. D'après lui, deux éléments sont en cause: une culture académique ancrée dans le système de formation et un déficit de vision à long terme.

Le canton de Genève est le seul canton romand qui forme les enseignants dans un institut universitaire (l'Institut universitaire de formation des enseignants, l'IUFE) et non dans une HEP. Cet institut met la priorité sur les savoirs théoriques plutôt que sur les pratiques d'enseignement, «ce qui renforce l'image de l'enseignant comme figure d'autorité physique et morale».

Or, c'est cette figure d'autorité et de maintien du savoir qui est aujourd'hui questionnée, en tout cas dans sa forme actuelle. Les outils numériques modifient les paramètres et les pratiques de l'enseignement comme de la matière enseignée. Dans cette optique, le rôle de l'enseignant peut évoluer en direction de celui d'un accompagnant vers le savoir plutôt que de figure d'autorité délivrant un savoir de manière descendante.

Ces freins liés à la structure même et aux fondements académiques ne sont pas les seuls facteurs limitants à Genève pour la transition numérique du secondaire II. À cela s'ajoute un manque de vision à long terme. Par exemple, les budgets pour intégrer des laboratoires de biologie au gymnase ont été approuvés, alors que les normes de sécurité augmentent, que la place diminue et qu'il existe des alternatives comme la dématérialisation des expériences biologiques. Il faudrait éviter qu'un changement dans la vision décisionnelle n'interviendra pas avant qu'il soit rendu nécessaire par des forces externes, par exemple, un manque de place dans les établissements ou encore des normes d'hygiène et sécurité plus élevées.

#### **Canton de Fribourg:**

Le canton de Fribourg a opté pour un changement au niveau cantonal avec l'initiative BYOD appliquée à tous les gymnases. En collaboration avec l'Université de Fribourg, il a conçu une stratégie privilégiant le déploiement d'une administration numérisée pour les écoles obligatoire et secondaire II, afin d'accéder à la collecte de données des élèves (programme Microsoft 365). Une collaboration avec HEP Fribourg permettait de suivre des formations continues. Le projet est aujourd'hui suspendu.

*«Genève étant le seul canton qui charge un institut universitaire de former les enseignants, il y a une nature académique et donc pas d'interaction.»*

*(GE)*

### **Canton du Valais:**

D'après le Chef du Département de l'économie du canton du Valais, le niveau secondaire II est en train de se préparer à l'intégration de la branche informatique en 2021. Le profil géographique du canton du Valais a été un terrain favorable aux premières installations industrielles. Aujourd'hui, le canton se positionne comme innovateur technologique, et cette image est renforcée par la présence du centre de recherche IDIAP (centre de recherche affilié à l'EPFL). Cela permet de lancer des initiatives de sensibilisation dans les établissements du secondaire II («Métiers en tous genres» ou «Hérisson sous gazon»), de donner l'opportunité à des apprentis de travailler dans ces entreprises à la pointe de la technologie ou encore de faire avancer la recherche dans le domaine de l'IA. Cependant, d'après le recteur du Lycée-collège Spiritus Sanctus, la présence de ce pôle d'industries à la pointe de la technologie n'est pas favorable à tous les établissements au sein du canton. En effet, d'après lui, il y a peu de sensibilisation à l'IA au sein des établissements valaisans du secondaire II, surtout dans les écoles les moins proches des centres urbains.

### **Canton de Vaud:**

Le canton a mis en place de nombreux groupes de travail sur la thématique de l'éducation numérique. Depuis l'année scolaire 2018-2019, dix projets pilotes à l'école «ordinaire» sont suivis par l'EPFL, la HEP et l'UNIL, et soutenus par des personnes-ressources locales. Sur l'ensemble du canton, l'utilisation du carnet de suivi MITIC, permettant à chaque élève de faire état de l'évolution de ses apprentissages, est encouragée. Les disparités en matière d'équipements dans les établissements devront être corrigées. Les projets sont soutenus et des demandes exceptionnelles de financements sont faites au niveau politique.

Plusieurs paramètres contribuent à cette effervescence et à ces avancées importantes. Cette situation est un atout pour favoriser la transition numérique. Les ressources sont déjà sur place, les autorités politiques soutiennent la recherche sur les potentiels et enjeux liés à l'IA. La présence de l'EPFL est une donnée essentielle à cette transition numérique, et explique largement l'avance prise par le canton dans le domaine.

Alors que certains cantons sont moins avancés dans leur transition numérique, les cantons de Vaud et du Valais sont clairement favorisés par respectivement un soutien politique, la présence de l'EPFL, ainsi que les centres industriels de leur canton.

## Un flou sémantique général

Les échanges que nous avons eus avec des experts de l'éducation sur les enjeux liés à l'IA ont révélé un flou sémantique autour de la notion.

La définition de l'IA paraît obscure pour les non-initiés qui la confondent fréquemment avec le concept général d'outils numériques. Lors des entretiens, la plupart des personnes interrogées ne faisaient pas vraiment de différence entre l'IA, la numérisation, les *serious game*, les jeux virtuels, la cyberadministration, etc. Tout ce qui relève de la culture générale liée à l'IA, telle que son histoire, son fonctionnement, ses limites et ses enjeux, est encore peu maîtrisé dans les milieux non experts. Même des spécialistes de la question de l'éducation ne maîtrisent pas totalement la notion. Les experts interrogés s'accordent à dire que ce manque de connaissances peut:

- générer des prises de décision erronées;
- éveiller des réticences et de la peur concernant les enjeux non maîtrisés;
- limiter les perspectives et le potentiel à long terme de l'utilisation de l'IA dans notre région.

Lors de son état des lieux dans le milieu de l'éducation, le responsable de la transition numérique dans la formation professionnelle, a noté que la majorité des directeurs, professeurs ou autres parties prenantes des centres de formation professionnelle ont peu de connaissances, ou aucune, en la matière. Il semblerait que beaucoup parlent de numérisation et cherchent des solutions pour intégrer des outils mais sans en comprendre les raisons, les implications, les avantages et les enjeux. Cette intégration devient alors contre-productive. En effet, si l'on reprend des éléments de la théorie de l'activité, l'intégration d'outils technologiques est censée permettre l'élévation des compétences. Pour cela, il faut adopter une vision au plus haut niveau de l'activité et questionner le «pourquoi» de l'intégration du numérique (cf. figure 2.2). Cette dimension est pourtant souvent oubliée lors d'une intégration à tout prix.

Dans le corps enseignant, c'est chez les professeurs d'informatique que l'engouement en la matière est le plus prononcé, «*mais sans que ces derniers ne prennent toujours en compte l'impact social*», nous confie Francesco Mondada. À l'inverse, dans d'autres disciplines, les professeurs ont davantage tendance à montrer des réticences à cette intégration, sans bien comprendre le fonctionnement de l'IA. Par exemple, les professeurs de langue ont tendance à minimiser les potentiels des traducteurs automatiques et s'arrêtent aux erreurs de la machine sans comprendre ses biais ou sa capacité d'apprentissage.

*«En général, je pense que le problème principal est le manque de connaissances. Les gens ne se sentent pas directement touchés par ces avancées sans comprendre ou voir les potentiels. [...] Quand on parle technique avec des personnes qui n'ont pas une formation dans ce domaine, il y a souvent un effet de répulsion, qu'il s'agisse de collègues ou d'étudiants. La direction a compris la valeur de la connaissance, elle doit faciliter l'accès à celle-ci et son rôle est central. En ce qui concerne les compétences de la direction, une stratégie qui doit être mise en place. Il y a, à mon avis, une complexité du sujet; cela peut être difficile dans les grandes universités de tout organiser et guider.» (FR)*

Ce manque de connaissance limite les perspectives et les potentiels de l'utilisation de l'IA dans notre région. Le terme même étant flou, la compréhension des tenants et aboutissants l'est aussi. Le manque de distinction entre les différents volets de l'IA, la «cyberadministration», les «outils» et les «compétences», est responsable de nombreux malentendus, que ce soit une utilisation systématique sans questionnement, ou au contraire une confusion entre savoir utiliser des outils numériques et les compétences que les avancées de l'IA requièrent.

Les trois volets de l'IA sont en réalité interdépendants et interconnectés, de sorte que les comprendre peut avantager une intégration pertinente dans le développement des compétences, et donc des potentiels humains, tout en limitant l'impact social.

### Compétences, mais lesquelles?

Rappelons que, d'après le World Economic Forum, neuf dixièmes des compétences requises, notamment dans l'interaction humain-machine, sont des compétences transversales (créativité, intelligence collective, intelligence émotionnelle, esprit critique, résolution de problèmes complexes, etc.). Et pourtant, en règle générale, l'éducation se focalise sur les compétences numériques (notamment le secondaire II et la filière professionnelle).

La difficulté réside dans le fait que ces compétences transversales qui «servent» l'IA ne sont pas développées dans un programme spécifique et ne font pas non plus partie des compétences ou grilles d'évaluation des enseignants. Cependant, de récents développements sont prometteurs. Par exemple, le Département de psychologie à l'université de Genève, a créé un système d'intervention qui augmente les compétences émotionnelles dans les écoles et entreprises, plus communément appelées intelligence émotionnelle (IE). D'après David Sander, professeur à l'Université de Genève, les compétences émotionnelles développées dans ces modules recouvrent une pluralité d'aptitudes et de savoir-faire nommés différemment selon le contexte: **soft-skills**, compétences psycho-sociales, compétences transverses ou sensibilité interpersonnelle. L'intelligence émotionnelle est clé dans l'acquisition d'autres compétences transversales telles que le leadership, le jugement et le sens critique (Research Center, Yale University). Elle renvoie, *in fine*, à la capacité de mobiliser son expertise (**hard skills**) dans une diversité de contextes professionnels qui croît en complexité (par exemple, la transformation numérique). L'École hôtelière de Lausanne a décidé d'implémenter ce programme dans une de ses branches à Passüg.

## 4. Préconisations et leviers en faveur du développement des compétences dans l'ère de l'IA

Lors des échanges et de l'analyse des entretiens, quatre préconisations ont été identifiées pour favoriser, sensibiliser et faciliter la transition numérique, notamment l'acquisition des compétences nécessaires face au numérique.

1. **Sensibiliser toutes les parties prenantes** (décisionnaires inclus) avec des contenus tels que:
  - une vulgarisation de l'IA: sa définition, ses fonctionnements et potentiels, ses enjeux et ses limites;
  - les changements de compétences liés à l'interaction humain-machine;
  - une explication de l'interdépendance des volets de l'IA: dans la cyberadministration, les outils et les compétences dans l'éducation;
  - les potentiels d'évolution des activités humaines (théorie de l'activité Vygotsky) grâce à l'IA.

Préférentiellement en personne et sur les lieux de travail des concernés.

Les objectifs étant:

- ✓ d'aligner les visions, les compréhensions et les implications de cette transition au sein des institutions;
- ✓ de rassurer sur l'utilisation des outils numériques;
- ✓ de limiter les résistances au changement;
- ✓ d'intégrer les publics dans ces avancées.

2. **Définir des moyens d'acquérir des compétences transversales** selon les degrés de l'éducation en gardant à l'esprit les interactions humain-machine futures et non présentes dans l'IA.

Les objectifs étant de:

- ✓ développer les compétences transversales qui ne font pas partie du champ de compétences des machines, mais qui la «servent»;
- ✓ développer des compétences transversales qui seront nécessaires pour repenser les activités et des interactions humain-machine (Chapitre 1).

3. **Accorder un espace et du temps au sein même des écoles**, durant lequel enseignants de discipline générale selon les degrés (français, histoire, mathématiques, marketing, éthique, etc.) et chercheurs de disciplines spécialisées (technologie, psychologie, éducation, etc.) adoptent une réflexion collective et une approche transversale.

L'objectif étant:

- ✓ d'appliquer au sein même des cours enseignés l'interdisciplinarité que requiert l'IA.

*«Aujourd'hui, à la vitesse où les choses vont et au vu du nombre d'initiatives mises en place, nous n'avons pas le temps de participer à tout, faire des journées sans avoir un cadre réseau est trop difficile. Par contre, ce qui serait intéressant, c'est d'avoir des personnes plus mobiles qui peuvent aller dans des institutions avec des conférences et des niveaux de vulgarisations.» (ECAL, VD)*

4. **Optimiser la cyberadministration** en utilisant les données déjà collectées dans les hautes écoles afin d'extraire des pistes d'amélioration des cours, remédier aux potentiels décrochages, difficultés ou abandons et accompagner les élèves dans le besoin.  
Ces mêmes données pourraient être utilisées dans la recherche pour développer des outils numériques performants.

L'objectif étant:

- ✓ de diminuer les échecs ou abandons de la scolarité;
- ✓ développer des outils numériques pour un apprentissage individualisé;
- ✓ d'adopter les liens entre les trois volets: cyberadministration, outils et compétences.

Pour ce faire, trois leviers semblent particulièrement structurants pour faciliter cette transition :

- le programme *P-8 Digital skills* qui soutient les projets universitaires dans le domaine de l'enseignement. Ce programme P-8 est doté de 30 millions de francs suisses pour la période 2019-2024;
- l'*Académie suisse des sciences techniques (SATW)*, l'une des quatre académies technologiques mandatées par la Confédération (SEFRI) pour la veille technologique dans les populations et la promotion de la relève dans les métiers techniques;
- *Digital Switzerland*, qui a pour mission de faire de la Suisse un pôle d'innovation numérique de premier plan à l'échelle mondiale. Coordonne le gouvernement, les entreprises, le monde universitaire et le public, en créant une plateforme d'échange.

# Conclusion

En conclusion, les progrès de l'IA constituent un enjeu social partagé. L'IA demande non seulement d'acquérir des compétences pour l'appréhender, mais elle demande aussi de repenser nos activités et fonctionnements. Nous en sommes encore aux prémices de ses potentiels et de son intégration dans notre société, dans notre économie et dans nos institutions. L'une des réponses relève, notamment, de choix en partie politiques: comment l'éducation prépare-t-elle aux défis économiques posés par l'IA? Quelles sont les compétences nécessaires à sa compréhension? Comment peut-on l'intégrer afin d'améliorer le système éducatif? Comment peut-on s'approprié cet outil encore peu maîtrisé, afin de, non pas subir son intégration, mais de la mettre au **service** de notre société?

Les implications systémiques de l'IA, sa capacité d'apprentissage (automatique) bouleverse les activités humaines et celles-ci doivent en partie être repensées. Ce constat est aussi valable dans le domaine de l'éducation et questionne les **compétences** qu'elle requiert, que ce soit dans son utilisation ou dans son intégration. Parallèlement, on peut l'utiliser au travers d'**outils** pour individualiser l'apprentissage; ceci notamment grâce à son potentiel dans la **cyberadministration**. De nouvelles compétences sont mobilisées par l'IA et celle-ci a le potentiel de développer des **compétences** (en améliorant l'apprentissage). Il y a une relation de réciprocité.

Différents constats viennent éclairer les avancées de la transition numérique dans l'éducation en Suisse romande. En premier lieu, les cantons et les degrés scolaires montrent des disparités avec des limites et des enjeux propres à chacun. En effet, si certains cantons manquent de moyens (humains, techniques, financiers), d'autres font face à des résistances d'ordre social.

Ensuite, on observe un flou sémantique général autour de la notion d'IA qui a trait à un manque de compréhension de son fonctionnement, de ses potentiels et de ses limites, à un manque de vision à long terme et une transition numérique partielle. L'interdépendance des volets **compétences**, **outils** et **cyberadministration** nécessite d'être saisie afin de maximiser les potentiels de l'IA.

Dernier constat, l'IA demande de nouvelles compétences: des compétences dites **numériques** et des compétences dites **transversales** qui ne font pas partie du champ de la machine. Les programmes et initiatives pour acquérir ces dernières sont encore peu développés, du fait que ces compétences transversales n'appartiennent pas à un domaine spécifique et qu'elles se développent, non pas au travers d'un savoir-faire, mais d'un savoir-être.

Suite aux échanges avec des experts de l'IA et de l'éducation, et au travers de leurs suggestions, nous avons identifié quatre préconisations pour fa-



valoriser cette transition numérique, valoriser les potentiels de l'IA et limiter les enjeux de cette transition numérique:

1. **Sensibiliser toutes les parties prenantes** (décisionnaires inclus).
2. **Redéfinir les compétences transversales à acquérir** selon les degrés de l'éducation, en gardant à l'esprit les interactions humain-machine futures et non présentes de l'IA.
3. **Accorder un espace et du temps au sein même des écoles** afin de proposer des cours interdisciplinaires et une approche transversale.
4. **Optimiser la cyberadministration** déjà en place dans les hautes écoles pour développer des outils performants facilitant l'individualisation de l'apprentissage.

Trois leviers semblent particulièrement structurants pour faciliter cette transition:

- Le Programme P-8 Digital skills.
- L'Académie suisse des sciences techniques (SATW), mandatée pour la veille technologique dans les populations et la promotion de la relève dans les métiers techniques.
- Digital Switzerland, qui est acteur dans la création d'une plateforme d'échange.

L'IA n'est pas encore vulgarisée en l'état actuel des choses ; elle garde un potentiel d'évolution très important, surtout si l'on se fie à la loi dite «d'Amara». Roy Amara, co-fondateur de l'*Institute For The Future* (ITF), remarque que «nous avons tendance à surestimer l'incidence d'une nouvelle technologie à court terme et à la sous-estimer à long terme». Selon lui, l'évolution lente de la technologie peut être inversement proportionnelle à son potentiel de développement futur. Les applications actuelles de l'IA dans l'éducation peuvent aujourd'hui paraître limitées. Cependant, les perspectives de l'IA dans l'éducation, ainsi que ses bouleversements au sein de notre société restent encore inconnus. L'IA transforme les activités humaines, les interactions humaines, mute les compétences et demande d'adopter une vision plus transversale des activités pour les redéfinir.

# Liste des références

- Chamorro-Premuzic, T. & Frankiewicz, B. (2019, 7<sup>th</sup> January). Does Higher Education Still Prepare People for Jobs?. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2019/01/does-higher-education-still-prepare-people-for-jobs>
- Clauzard P. (2016). *La théorie de l'activité*. Institut universitaire de formation des maîtres. <https://archives.philippeclauzard.com/spip.php?article360#:~:text=En%20R%C3%A9sum%C3%A9%20%3A%20une%20a%20ctivit%C3%A9%20est,%20ex%C3%A9cution%20de%20l'action>.
- Coulet, J. C. (2016). Les notions de compétence et de compétences clés : l'éclairage d'un modèle théorique fondé sur l'analyse de l'activité. *Activités*, 13(1). <https://doi.org/10.4000/activites.2745>
- Educa.ch. (2019). *Données dans l'éducation – Données pour l'éducation : bases et pistes de réflexion en vue de l'élaboration d'une politique d'utilisation des données pour l'espace suisse de formation*. Educa.ch. [https://www.educa.ch/sites/default/files/uploads/2019/09/donnees\\_dans\\_leducation\\_high.pdf](https://www.educa.ch/sites/default/files/uploads/2019/09/donnees_dans_leducation_high.pdf)
- Gerbert, P. (2018). AI and the “Augmentation Fallacy”: the fundamental disruption introduced by AlphaZero's hyperlearning in the chess world can teach business executives about AI. *MIT Sloan Management Review*, 2018. <https://sloanreview.mit.edu/article/ai-and-the-augmentation-fallacy/>
- Hao, K. (2018). Establishing an AI code of ethics will be harder than people think : ethics are too subjective to guide the use of AI, argue some legal scholars. *MIT Technology Review*. <https://www.technologyreview.com/2018/10/21/139647/establishing-an-ai-code-of-ethics-will-be-harder-than-people-think/>
- Norros, L. & Savioja, P. (2007). Vers une théorie et une méthode d'évaluation de l'utilisabilité des systèmes complexes homme-technologie. *Activités*, 4(2). <https://doi.org/10.4000/activites.1738>
- Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation SEFRI. (2019). *L'intelligence artificielle dans la formation*. Confédération suisse. [file:///C:/Users/SAHAME~1/AppData/Local/Temp/k-i\\_bildung\\_f.pdf](file:///C:/Users/SAHAME~1/AppData/Local/Temp/k-i_bildung_f.pdf)
- Rouhianien, L. (2019, 14th October). How AI and Data could personalize higher education. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2019/10/how-ai-and-data-could-personalize-higher-education>

Russell, S. & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence : a modern approach* (3rd ed., global ed.). Pearson.

Figure 3 - EDK CDIP CDEP CDPE, (2019, août). Le système éducatif suisse. EDK CDIP CDPE CDEP : Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique. [https://edudoc.educa.ch/static/web/bildungssystem/grafik\\_bildung\\_f.pdf](https://edudoc.educa.ch/static/web/bildungssystem/grafik_bildung_f.pdf)

Sutton, R. S. & Barto, A.G. (2018). *Reinforcement learning : an introduction*. (2nd ed.). The MIT Press.

Tuomi, I. (2018). *The Impact of Artificial Intelligence on Learning, Teaching, and Education. Policies for the future*. Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5cb8eee3-e888-11e8-b690-01aa75ed71a1>

Williamson, B. (2016). Digital education governance: Data visualisation, predictive analytics, and real-time policy instruments. *Journal of Education policy* 31(2) , 123-141.

Wolter, S. C. (2018). *L'éducation en Suisse: Rapport 2018*. Centre suisse de coordination pour la recherche en éducation CSRE. Edudoc.ch <https://edudoc.ch/record/131616?ln=en>

World Economic Forum. (2018). *The Future of Jobs Report: centre for the new economy and society*. World Economic Forum. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs\\_2018.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf)

Figure 1.1 - Les dimensions de l'IA. Reproduit à partir de Artificial Intelligence Program, Oxford University, Saïd Business School, 2019. The history and development of AI, Module 1 Unit 1, p.5.

Figure 1.2 – Kallenborn, G. (2019, 10 mars). Intelligence artificielle : le machine learning, comment ça marche ?. 01net.com. <https://www.01net.com/actualites/intelligence-artificielle-le-machine-learning-comment-ca-marche-1648269.html>

Figure 1.3 – Kallenborn, G. (2019, 10 mars). Intelligence artificielle : le machine learning, comment ça marche ?. 01net.com. <https://www.01net.com/actualites/intelligence-artificielle-le-machine-learning-comment-ca-marche-1648269.html>

Figure 1.4 – Les dimensions de l'IA. Reproduit à partir de Artificial Intelligence Program, Oxford University, Saïd Business School, 2019. The history and development of AI, Module 1 Unit 1, p.4.

Figure 1.5 a- Deep Learning on Medium. MC.AI. (2018, 13th August). la Structure de base d'un réseau de neurones (Source : <http://tpe-ia.lescigales.org/math.php>)

Figure 1.5 b- Deep Learning on Medium. MC.AI. (2018, 13th August).  
CNN application on structured data-automated feature extraction.  
MC.AI. <https://mc.ai/cnn-application-on-structured-data-automated-feature-extraction/>