



ACADÉMIE  
DES TECHNOLOGIES

POUR UN PROGRÈS RAISONNÉ, CHOISI ET PARTAGÉ

# APPROCHE DES PROCESSUS FONDAMENTAUX DE L'APPRENTISSAGE

Commission « Société et technologies »



Rapport de l'Académie des technologies

septembre 2017

Académie des technologies  
Grand Palais des Champs-Élysées - Porte C  
Avenue Franklin D. Roosevelt - 75008 Paris  
+33(0)1 53 85 44 44  
[secretariat@academie-technologies.fr](mailto:secretariat@academie-technologies.fr)  
[www.academie-technologies.fr](http://www.academie-technologies.fr)

© Académie des technologies 2017

ISBN: 979-10-97579-02-9



ACADÉMIE  
DES TECHNOLOGIES

POUR UN PROGRÈS RAISONNÉ, CHOISI ET PARTAGÉ

# APPROCHE DES PROCESSUS FONDAMENTAUX DE L'APPRENTISSAGE



# SOMMAIRE

Synthèse	7
Avant-propos	13
Pourquoi ce sujet ?	14
Les objectifs de ce travail	15
La méthode de travail	17
Les processus d'apprentissage seraient les mêmes quels que soient l'apprentissage concerné	18
Les limites de ce travail	18
INTRODUCTION	19
Les principaux aspects des processus d'apprentissage	21
Les processus observables dès la petite enfance seraient à l'œuvre durant toute la vie	21
L'apprentissage : une création, une re-création, une co-création	23
L'apprentissage, c'est tout au long de la vie	24
L'apprentissage et les différentes intelligences portées par les humains	25
Le corps incontournable	28
Apprentissage, mémorisation et automatisme	30
Apprentissage, émotions et sentiments	31

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

Apprentissage par le collectif	
apprentissage du collectif	33
L'apprentissage dans et par la société	33
« L'individu – Apprenti »	35
« Le Groupe – Apprenti »	37
Les formidables avancées des sciences cognitives	39
Mécanismes cérébraux pour l'apprentissage.	41
Apprentissage et plasticité du cerveau	46
Au-delà des processus fondamentaux, les évolutions actuelles	49
Un changement « copernicien » : l'homme au centre	49
6 Une formidable évolution de l'interface « homme-machine » dont les conséquences sont importantes dans l'apprentissage	50
Le numérique prend une part de plus en plus grande et va se développer encore	51
L'apprentissage des changements culturels et sociaux associés aux changements techniques.	53
L'importance de réflexions nouvelles sur l'apprentissage	54
En guise de conclusion, quelques commentaires sur la formation initiale	57
Recommandations	61
Les cibles de ce rapport et les messages à leur faire passer	66
Membres de la Commission Société et technologies	67
Personnes auditionnées	69

## SYNTHÈSE

Cette communication sur les processus fondamentaux de l'apprentissage est le fruit de nombreuses auditions de personnes très variées, depuis un vendeur de téléphones mobiles jusqu'à des grands spécialistes du fonctionnement du cerveau. Il en a émergé un fil conducteur colonne vertébrale de ce texte. Les outils de l'apprentissage, si nombreux, comme les livres, les simulateurs ou encore les didacticiels n'y sont pas traités ; ce sujet, en tant que tel, devrait faire l'objet d'un travail complémentaire.

7

---

Ce fil conducteur est le suivant : les processus d'apprentissage si facilement observables chez l'enfant vont être les mêmes tout au long d'une vie et les mêmes quel que soit l'apprentissage avec, évidemment, des pondérations différentes en fonction de chacun, dont l'objet de cet apprentissage, l'âge de la personne, etc.

Les objets fabriqués par l'homme, tant physiques qu'immatériels (parfois appelés artefacts ou objets techniques dans ce rapport), la façon de les utiliser, et de les fabriquer, les technologies au sens général du terme, sont des marqueurs de l'humain au même titre que le langage ; de nombreux indices portent à penser que développement technologique et du langage auraient évolué simultanément au cours de la Préhistoire. Parallèlement, l'enfant apprend à utiliser les objets en même temps que le langage. Il y a donc de fortes similarités dans ces deux apprentissages.

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

L'apprentissage est un acte de création ou de re-création et de co-création. L'enfant qui fait l'apprentissage d'un objet le crée dans son cerveau puis va en chercher de nombreux usages. Dans la vie quotidienne ou dans la vie de travail, les humains procèdent de la même façon et l'on peut observer que les créateurs d'artefacts sont de plus en plus soucieux d'ouvrir de nombreuses possibilités d'usage.

L'apprentissage des artefacts, tout comme celui du langage, est à la fois individuel et social. Cette interaction est essentielle dans les processus d'apprentissage et constitue une partie de la culture d'une société. Ainsi, l'enfant est en permanence sollicité par la société et, en même temps, il va en chercher l'approbation dans ce qu'il découvre au fur et à mesure qu'il apprend. Apprentissage et transmission sont donc étroitement liés.

### 8

---

Les principaux aspects de ces processus paraissent être les suivants : la curiosité, la motivation, la stimulation, les essais-erreurs, la bienveillance et l'empathie de l'entourage, le plaisir de la réussite reconnue ouvrant le désir d'aller vers d'autres apprentissages, la mémorisation qui devient automatisme, la transgression afin d'ouvrir de nouvelles voies mais, également, inhiber ou désapprendre pour apprendre des choses nouvelles.

Il ne peut y avoir d'apprentissage sans autonomie ; cette liberté est indispensable tant pour l'enfant que pour l'adulte afin d'intégrer et de réinventer ce qu'il a appris. Il se distingue donc du « dressage » dans lequel la manière d'utiliser un objet est imposée à l'individu. Les outils, les machines les artefacts constituent des instruments d'échanges dans une société, au même titre que le langage ; la liberté constitue un prérequis pour échanger.

Si le cerveau est le chef d'orchestre de l'apprentissage, le corps est incontournable alors que les émotions et les sentiments le facilitent ou le freinent.



## Synthèse

C'est toute la personne humaine qui se trouve engagée, en particulier ses différentes intelligences identifiées ici par Howard Gardner.

Les sciences cognitives font des progrès spectaculaires depuis quelques années en explorant les mécanismes cérébraux sollicités par nos activités. Elles visent ainsi à dégager des relations entre apprentissage, structure et fonctionnement du cerveau ; elles conduisent à une meilleure compréhension des différentes réactions des individus dans les situations d'apprentissage. Elles permettent d'aborder la question du rôle et de la nature des mécanismes cérébraux dont la plupart, comme ceux des activités manuelles (mais pas seulement) intellectuelles, créatives en donnent des exemples. Ces mécanismes peuvent être inconscients, conscients mais non verbalisés ou encore conscients et verbalisés. Limiter l'apprentissage au conscient verbalisé serait comme de ne voir que la partie émergée d'un iceberg. L'apprentissage forme et transforme le cerveau, plasticité maintenant bien connue grâce aux observations par IRM fonctionnelle.

9

---

Si les processus fondamentaux de l'apprentissage des objets semblent constituer des invariants, il y a néanmoins des évolutions profondes de leurs mises en œuvre qui justifient l'importance de réflexions nouvelles sur ce sujet. En premier lieu, un changement « copernicien » dans lequel l'utilisateur est mis au centre et non l'objet ; telle la révolution induite, en particulier par Steve Jobs, où l'objet devient si flexible que son utilisateur peut non seulement le mettre à « sa main » mais aussi y exercer sa créativité. Cette liberté donnée aux usages (aux antipodes du « dressage ») est indissociable du renouvellement permanent et rapide des objets qui nous entourent. Bien entendu, le numérique prend une part de plus en plus importante dans cette évolution et cette flexibilité.

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

L'apprentissage individuel s'accompagne d'un apprentissage collectif et du collectif. L'école, comme de nombreuses institutions, s'attache en bonne partie à un apprentissage collectif. D'autres activités procèdent de l'apprentissage du collectif comme, par exemple, un orchestre qui répète une œuvre ; dans ce cas, il y a également re-création et co-création. L'apprentissage étant l'affaire, non pas d'un individu seul, mais aussi de son entourage, des groupes avec lesquels il interagit, de l'entreprise éventuellement, de la communauté sociale, etc. finalement de toute la société, il est la clef de tout l'avenir au sens le plus global imaginable. On ne saurait en cette période d'accélération technologique y prêter trop d'attention.

10

Les outils et méthodes de l'apprentissage se trouvent donc, simultanément, dans une évolution et des développements rapides allant bien au-delà de la relation maître-élève mise en œuvre de façon efficace par les Compagnons du Devoir. La commission n'a fait qu'effleurer ce sujet, en particulier pour ce qui concerne la formation initiale. Les outils de l'apprentissage sont inséparables des technologies et se développent avec elles. L'invention de l'écriture a permis une mémorisation stable des savoir-faire ; celle de l'imprimerie leur large diffusion. La radio et la télévision ont et jouent encore un rôle important ; sous nos yeux, des outils nouveaux et nombreux émergent avec les TIC : simulateurs<sup>1</sup>, didacticiels ... La commission n'a pas abordé ce sujet sur le fond ; il devrait faire l'objet d'un travail spécifique, en les identifiant, en évaluant leur pertinence au vu des processus identifiés dans ce rapport, leurs bons et mauvais usages, etc.

À l'évidence, la répétition constitue un élément fondamental de l'apprentissage ; il ne saurait se confondre avec le dressage dans lequel la personne, en tant que telle, n'existe pas, sa vicariance ne pouvant pas se mettre en

---

1 Par exemple, un bracelet Wii, couplé à un PC, permet d'améliorer des gestes, celui du joueur de tennis ou de golf, ou encore celui de l'artisan qui va talocher un enduit sur un mur.

## Synthèse

mouvement car son comportement lui est imposé de l'extérieur. L'autonomie de la personne, dans l'apprentissage, constitue un facteur de réussite et d'optimisation. Les « normes » lorsqu'elles deviennent trop nombreuses constituent alors un frein à l'apprentissage.



## AVANT-PROPOS

La commission « société et technologie » de l'Académie des technologies avait travaillé sur l'appropriation des technologies pendant les années 2013 et 2014. Ce sujet avait été retenu pour le séminaire annuel de l'Académie de 2014 dont les principaux éléments sont disponibles sur le site de l'Académie ([www.academie-technologies.fr](http://www.academie-technologies.fr)). Il importe de rappeler que l'intitulé du thème, appropriation des technologies, constituait une volonté de la prise en compte de l'interférence permanente entre la société et les créateurs de technologies ; l'Académie tournait ainsi résolument le dos à l'idée trop répandue suivant laquelle une technologie, dans une démarche séquentielle, après avoir été mise au point par des « technologues », doit être adoptée par la société.

Suite à ce travail, la commission « société et technologies » a décidé de travailler sur l'apprentissage des technologies, à savoir celui des objets techniques eux-mêmes, mais aussi celui des savoir-faire pour les fabriquer ; en effet, ils n'existent que par leurs usages dans la société et les services qu'ils y rendent.

Très volontairement, la commission a décidé de sortir du champ « pédagogique » habituel de la formation initiale ou permanente, partant du constat qu'une très large majorité de technologies font l'objet d'un apprentissage de facto, comme par exemple le téléphone mobile ou un automate pour acheter des timbres dans un bureau de poste. Toutefois, les observations et recommandations issues de

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

ces travaux pourraient être prises en compte dans les dispositifs officiels de formation et d'apprentissage.

### POURQUOI CE SUJET ?

14 « Homo sapiens technologicus<sup>2</sup> » : la technologie, comme la parole, est un marqueur majeur de l'humain. Les premiers outils apparaissent au-delà d'un million d'années et les préhistoriens utilisent ceux qu'ils découvrent pour caractériser les hominidés puis les humains. D'ailleurs ne parle-t-on pas de l'âge de pierre, de celui du bronze, etc. Tout au long de l'histoire humaine, les technologies n'ont cessé d'émerger et, bien entendu, d'abord les technologies de tous les jours : avant-hier la hache de pierre, hier les techniques agricoles, aujourd'hui l'informatique domestique, le téléphone portable ou encore internet. Les technologies sont en mouvement permanent ; appropriées par les sociétés et les individus, elles font l'objet d'un apprentissage. L'humain ne cesse d'apprendre, avant même sa naissance, juste qu'à la mort.

Dans ce travail, la commission s'est limitée à l'usage des objets techniques, tant physiques qu'immatériels (ou artefacts) et la façon dont les humains apprennent à s'en servir (savoir-faire), en mémorisent l'usage, ou peuvent l'oublier lorsqu'un nouvel objet vient remplacer l'ancien. Il s'agit, certes, des objets du quotidien, ceux que nous utilisons tous les jours le plus souvent sans y prêter attention, mais aussi ceux de la vie économique et sociale commune, machines, logiciels comptables etc. Ou encore ceux de la vie culturelle, comme un instrument de musique par exemple Ce sujet déborde largement l'apprentissage de l'enfant, initial et à l'école, et, plus tard, dans les différents niveaux de formation. En effet, de nouveaux objets et de nouveaux usages ne cessent d'apparaître de plus en plus rapidement et sont utilisés tout aussi rapidement par la société.

---

2 Michel Puech, Homo sapiens technologicus, ed. Le Pommier. 2008

## Avant-propos

Ce sujet concerne également les technologies de l'apprentissage qui évoluent très rapidement, en particulier, également, grâce aux TIC, didacticiels, représentations 2D et 3D de plus en plus courantes etc. Toutefois, la commission n'a volontairement fait qu'effleurer cette question qui constitue un sujet à elle toute seule. Elle s'est focalisée sur les « processus » de l'apprentissage par un individu, un groupe social ou la société. Les processus mis en œuvre pour apprendre à faire du vélo, du ski ou conduire une voiture apparaissent très similaires et « invariants » alors que ces objets sont si différents.

### LES OBJECTIFS DE CE TRAVAIL

La commission voulait mettre le projecteur sur un aspect peu connu de l'apprentissage : celui de tous les jours dont, fort heureusement, nous ne sommes que très peu conscients, tout comme Monsieur Jourdain faisant de la prose sans le savoir.

15

---

Elle souhaitait également ouvrir une « controverse positive » en mettant en cause la prédominance donnée par notre culture à l'intelligence logico-déductive et son obsession de la compétence analytique. À titre d'exemple, le slogan habituel « apprendre à apprendre » n'a de sens que s'il est assorti de conditions attachées à la pratique ; il n'y a pas d'apprentissage sans action, essais-erreurs. L'appétence et la capacité d'apprendre ne sont que la suite logique de la réussite des apprentissages précédents. Apprendre à apprendre par l'action est au cœur de « La main à la pâte », de tout l'enseignement de Bertrand Schwartz ou encore de l'Exploradôme de Vitry-sur-Seine. C'est bien en apprenant que l'on apprend à apprendre. Beaucoup des connaissances actuelles seront inutiles ou remises en cause et il faut surtout permettre aux jeunes d'apprendre à apprendre et non les gaver de faits.

L'approche « logico-déductive » a priori de l'apprentissage montre de ce fait ses limites. Ainsi, le cerveau humain, et donc chacun d'entre nous, fonctionne

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

à 95 % en autarcie à partir de ce qu'il a appris et stocké dans sa mémoire ; plus important sans doute, la même proportion de ce qu'il a mémorisé n'a jamais été verbalisée. À titre d'exemple, qui, aujourd'hui, prend la peine de lire en détail le mode d'emploi du téléphone portable qu'il vient d'acheter (sauf peut-être les générations les plus anciennes !) ; Nous procédons le plus souvent par essais-erreurs jusqu'à trouver la bonne solution faisant confiance à une logique implicite que nous n'avons pas envie de connaître.

C'est ce que disent explicitement des adolescents auxquels on demande comment ils ont appris à se servir des outils numériques. Ils répondent : « On n'a pas appris, on a essayé, c'est tout. » Cette attitude relève de ce qu'on pourrait appeler une curiosité décomplexée (décomplexée parce qu'elle accepte de se tromper) qui préside largement nos rencontres avec toutes les technologies émergentes ; la rencontre des robots, si populaire aujourd'hui en constitue une illustration. Et c'est donc une qualité que les apprentissages doivent encourager.

16

---

La commission a cherché à mettre en évidence, dans les processus d'apprentissage, les invariants, les évolutions et les pistes de progrès. Au-delà, elle a constaté que l'apprentissage mettait en œuvre l'ensemble de l'humain : son corps et tous ses sens, son cerveau et toutes les intelligences qu'il porte, son être indissociable de sa socialisation, être de chair, d'émotions et de sentiments. Un objet technique est un concept qui a pris forme, une réalité physique accompagnée d'usages, même si nos cerveaux ne nous en donnent que des images mentales, loin d'être verbales ou verbalisables pour la plupart.

Face à l'évolution formidable des techniques et technologies faisant appel à un apprentissage, la commission souhaitait être en mesure de partager des recommandations avec des producteurs et vendeurs de biens et de services, des entreprises, mais aussi des organismes en charge de la formation initiale et permanente, y compris, bien entendu, l'éducation nationale.



### LA MÉTHODE DE TRAVAIL

Nous avons choisi d'aborder le sujet de façon aussi large que possible tant sont nombreux les objets techniques utilisés dans la vie courante ou dans la vie professionnelle. Pour ce faire, nous avons procédé à des auditions de personnes très différentes – sans que nous-mêmes n'ayons d'idées ou théories a priori –, depuis des usagers, des prestataires de services ou encore des spécialistes du fonctionnement du cerveau et des sciences cognitives. Par exemple, Fabrice Abitbol, responsable d'une boutique vendant des téléphones mobiles, Didier Malatray, expert-conseiller en informatique auprès de particuliers, de PME et d'institutions, notre consœur Claudie Haigneré et son apprentissage de cosmonaute, notre confrère Louis Dubertret et l'apprentissage des « malades » par le médecin ; Olivier Houdé, nos confrères Alain Berthoz et Serge Tisseron sur le fonctionnement du cerveau, Pascal Gallois, bassoniste, sur le très long apprentissage de son instrument et de ses nouvelles possibilités au service de la musique, Michel Guisembert responsable pendant dix ans des « Compagnons du Devoir » et bien d'autres, portant par exemple sur les dimensions « collectives » de l'apprentissage. La liste complète figure en annexe.

Le « tableau » s'est construit au fur et à mesure dans le pragmatisme et le respect de ce que nous avons entendu. Bien évidemment, beaucoup d'autres auditions auraient été utiles. Par exemple, l'apprentissage du chirurgien qui ne cesse de se perfectionner au fur et à mesure qu'il exerce son métier ; ou encore celui d'un artisan dont le métier ne cesse de changer.

La nouveauté de ce travail vient en grande partie de l'assemblage que la commission a tenté de faire des apports les plus variés, en particulier venant des sciences humaines et sociales, mais aussi d'acteurs des technologies. Aussi, avons-nous pris pour principe d'intégrer au fur et à mesure dans le texte les apports des sciences cognitives. En progrès spectaculaire depuis quelques années, elles mettent au jour les mécanismes cérébraux sollicités par nos activités. Elles visent ainsi à dégager

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

des relations entre apprentissage des technologies, structure et fonctionnement du cerveau ; elles fournissent progressivement la base de la compréhension des différentes réactions d'individus dans les situations d'apprentissage « conscients », « inconscients » comme ceux des activités manuelles, créatives ou autres.

LES PROCESSUS D'APPRENTISSAGE SERAIENT LES  
MÊMES QUELS QUE SOIENT L'APPRENTISSAGE CONCERNÉ

Les missions de l'Académie des technologies, à l'évidence, concernent les technologies, les artefacts, leurs usages et leurs apprentissages. Et pourtant, les auditions montrent que les processus décrits à partir de l'enfance seraient en grande partie les mêmes, que l'enfant apprenne à marcher, parler, prenne connaissance de son corps, puis à lire et à écrire. Aussi, dans ce rapport, nous nous sommes permis d'aller parfois au-delà des technologies.

18

Une fois de plus, ce qui est observé chez l'enfant se retrouve chez l'adulte. Ici se trouve l'intuition géniale de Steve Jobs qui a basé toute sa stratégie sur l'identité de l'apprentissage des adultes avec celui de l'enfant : curiosité, désir, plaisir, essais-erreurs, beauté de l'objet (design) communautés d'utilisateurs dans l'empathie.

LES LIMITES DE CE TRAVAIL

Ce sujet est extrêmement vaste et la commission n'en a couvert qu'une infime partie. Ce rapport ne saurait à l'évidence constituer une « somme » dans ce domaine qui évolue si rapidement. Nous l'avons parcouru par des chemins de traverse ; ils nous ont révélé un paysage qui, sans aucun doute, reste fragmentaire.

# INTRODUCTION

L'apprentissage ? Une notion ancienne, ancestrale même, qui décrit une étape essentielle pour chaque individu et pour chaque groupe.

Soudain, l'évolution de la société s'est emballée – par la science, par la technologie, par l'ensemble de l'économie. Et l'apprentissage se retrouve valeur centrale comme jamais imaginé auparavant : il est pour tous et tout au long de la vie. Il faut en revisiter les fondements

Ce rapport sur les processus de l'apprentissage veut en montrer les dimensions les principaux aspects. Il a aussi l'ambition de ne pas se limiter aux spécialistes mais de sensibiliser le monde professionnel comme les citoyens et comme les « simples » particuliers, sur ses nouvelles dimensions.



## LES PRINCIPAUX ASPECTS DES PROCESSUS D'APPRENTISSAGE

LES PROCESSUS OBSERVABLES DÈS LA PETITE ENFANCE  
SERAIENT À L'ŒUVRE DURANT TOUTE LA VIE

21

---

Le nourrisson, le bébé et l'enfant sont en apprentissage permanent. Les processus principaux en seraient les suivants :

- la curiosité : si évidente chez les enfants mais aussi chez les adultes ;
- la motivation : innée, extrêmement puissante dès la naissance ;
- la stimulation : indissociable de la motivation et de la dimension éminemment sociale de l'être humain. A titre d'exemple, l'acquisition du langage ;
- l'imitation : le vélo, parmi des milliers, en est un parfait exemple ;
- la pratique « Essais-erreurs » : l'enfant va recommencer jusqu'à ce qu'il ait réussi. Les jouets sont les premiers artefacts (objets techniques) que l'enfant va apprendre à utiliser en faisant l'apprentissage de ses mains, de ses mouvements, de sa vue etc. Cet entraînement est incon-

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

turnable et, pour certains objets ou certaines activités, peut prendre des années. Il apprend largement par ses erreurs car si tout marche bien, il n'est pas nécessaire de modifier quoi que ce soit ;

- l'interaction avec un entourage. La bienveillance et l'empathie de son entourage : l'enfant a besoin d'être félicité dans ses progrès. Elles nourrissent son champ émotionnel, la joie d'avoir réussi ou le « désespoir » de ne pas encore y être arrivé. La reconnaissance acquise, le savoir-faire ainsi validé puis mémorisé parce que approprié, va devenir un automatisme. Son apprentissage est à la fois individuel et collectif. L'enfant ne peut apprendre sans le regard bienveillant de l'entourage de la société et de la famille. Il apprend d'elles, les apprend en quelque sorte. Cette dualité est essentielle dans l'enfance, avec plus tard, l'acquisition de l'autonomie ;

22

---

- le plaisir de l'enfant procède de sa réussite reconnue et active le désir d'aller vers d'autres apprentissages pour ressentir à nouveau ce plaisir de progresser ;
- la transgression accompagne souvent l'apprentissage. L'enfant doit faire lui-même ses propres expériences et ce serait pour cela qu'il s'efforce de se donner la permission de faire autrement. Dans le monde adulte, une société sans transgression serait immobile, aujourd'hui identique à hier et avant-hier. Transgresser ne concernerait pas que la pensée mais tous les automatismes acquis par l'apprentissage. Elle se manifesterait à partir du moment où la personne ressent l'inadéquation d'un automatisme avec le monde extérieur ;
- le besoin d'autonomie est indispensable pour que l'enfant, en toute liberté, intègre en profondeur ce qu'il a appris ;

## Les principaux aspects des processus d'apprentissage

- la capacité d'inhiber ou désapprendre. L'enfant va quitter progressivement la marche à quatre pattes dès qu'il aura le désir de marcher debout. De même, le nourrisson a la capacité d'apprendre toutes les langues cependant, dès qu'il commence à apprendre sa langue maternelle, il inhibe souvent cette fantastique capacité (Dans le monde adulte, on observe la même chose ; quel dessinateur industriel ayant fait l'apprentissage de Catia<sup>3</sup> aurait le désir de revenir à la planche à dessin et l'encre de Chine ?).

### L'APPRENTISSAGE : UNE CRÉATION, UNE RE-CRÉATION, UNE CO-CRÉATION

Lors de son audition, Yves Clot, spécialiste de psychologie du travail au CNAM, a insisté sur la dimension sociale de la technologie. Comme le langage, elle équipe les processus humains ; de ce point de vue, le PC a le même statut que la pierre taillée, procédant du même processus. Tout comme le langage, les artefacts sont des ressources, des instruments d'échange entre les humains. Ils équipent les processus, mais ne les inventent pas, et sont les instruments de l'activité humaine, mais non son origine.

Aussi, chaque individu, comme chaque groupe, se crée son propre usage d'un objet, d'un outil ou d'une technologie, jusqu'à, éventuellement, le détourner complètement. Ceci est facilement observable chez l'enfant qui, au fur et à mesure qu'il découvre un objet, en cherche de nouveaux usages au-delà de son utilisation standard. Il existe donc un lien fort entre appropriation et création, un lien fort également entre apprentissage et exploration. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) en constituent un bon exemple avec la disparition des modes d'emploi et la « création des

---

<sup>3</sup> Logiciel de conception et d'ingénierie le plus utilisé dans le monde pour la conception de produits en CAO 3D, conçu et commercialisé par Dassault Systèmes.

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

utilisations » par les usagers, par exemple, d'un PC ou d'un téléphone mobile. Un autre exemple, mentionné par Yves Clot : deux machines identiques, installées dans deux sites industriels distincts, sont rapidement utilisées de façons différentes par les opérateurs en fonction de leurs besoins, de leur curiosité, apportant ainsi leur créativité.

Mais, plus encore, la vitalité des outils, des machines, des artefacts est un marqueur de la vitalité d'une société dont, avec le langage, ils sont des instruments d'échange. Dans l'apprentissage, il importe donc de laisser vivre la créativité tant individuelle que collective. Le psychologue du travail observe d'ailleurs un lien fort entre cette liberté créatrice et la santé des individus et du collectif, en particulier dans les bureaux, les ateliers ou les usines. L'intensité des dialogues, voire des controverses serait un indicateur de bonne santé du milieu. Yves Clot nous a rappelé la définition de la santé par Canguilhem : « je me porte bien, dans la mesure où je me sens capable de porter la responsabilité de mes actes, de porter les choses à l'existence et de créer entre les choses des rapports qui ne leur viendraient pas sans moi. »

24

### L'APPRENTISSAGE, C'EST TOUT AU LONG DE LA VIE

L'apprentissage est permanent tout au long de la vie dans un monde où tout change sans cesse et chacun en fait l'expérience quotidienne.

De nouveaux objets émergent sans cesse dont il faut faire un apprentissage pendant que de plus anciens évoluent et demandent à être réappris. D'autres disparaissent purement et simplement. Selon les estimations, 20% à 50% des métiers actuels auront disparu dans 20 ans, et personne n'a idée aujourd'hui de ceux qui, demain, seront les plus demandés ou inventés. L'enseignement doit moins préparer les élèves à des métiers connus que



## Les principaux aspects des processus d'apprentissage

les inviter à imaginer leur métier de demain et développer les qualités qui leur seront toujours nécessaires : l'autonomie et la plasticité du cerveau.

Une personne née en 1890, ayant vécu jusqu'en 1980 aura vu apparaître un nombre impressionnant d'objets et de technologies dont elle aura dû faire l'apprentissage : l'eau courante au robinet, l'électricité, l'automobile, la radio, le téléphone, la télévision, le magnétophone et le magnétoscope, le transport aérien de masse et bien d'autres encore dans le domaine de l'agriculture ou de la médecine par exemple. Une personne encore en vie aura dû faire en plus l'apprentissage de la micro-informatique, d'Internet, des réseaux sociaux.

### Exemple de la conduite automobile

L'apprentissage de la conduite automobile, accessible à pratiquement tous les humains, parfois d'un âge avancé est un exemple significatif : il constitue un cas où il est nécessaire de mobiliser à la fois l'appréciation des distances, du ou des temps relatifs, de se servir de ses mains et de ses pieds et jambes de façon simultanée pour réaliser différentes actions. Pourtant tous ou presque y parviennent.

25

---

## L'APPRENTISSAGE ET LES DIFFÉRENTES INTELLIGENCES

### PORTÉES PAR LES HUMAINS

Claudie Haigneré, lors de son audition concernant son apprentissage de cosmonaute, a organisé son exposé à partir des différentes intelligences proposées par Howard Gardner, professeur de psychologie à Harvard, dont la « réalité » a été vérifiée par I.R.M. fonctionnelle comme l'a confirmé Olivier Houdé.

### La variété des intelligences

Dans *Les formes de l'intelligence* (1983, traduction française 1997) Howard Gardner, professeur de psychologie cognitive à Harvard a émis l'hypothèse que plusieurs types d'intelligence coexistaient chez chaque être humain. Selon lui, chaque individu se sert de toutes ces intelligences, mais il y en a une qui domine les autres et c'est par elle qu'on apprend le mieux. Il en distingue neuf :

- 1) L'intelligence logico-mathématique : la capacité de penser de façon abstraite et logique ; elle détermine la vitesse à laquelle on résout un problème numérique ou logique. (mathématiciens, joueurs d'échecs, informaticiens, ou agriculteurs dans la planification de leur travail).
- 2) L'intelligence linguistique (ou verbale) : la capacité d'utiliser la langue au mieux pour construire des phrases, écrire et raconter des histoires, convaincre et persuader les autres (joueurs de scrabble, écrivains, politiciens...);
- 3) L'intelligence visio-spatiale : permet de se construire une représentation mentale spatiale du monde et de manipuler mentalement des objets bi- ou tridimensionnels. (architectes, géographes, artisans, dessinateurs, pilotes, artistes...);
- 4) L'intelligence kinesthésique : nous donne la perception consciente de notre corps. Elle permet d'utiliser le geste pour exprimer une idée ou un sentiment et réaliser une activité physique (artisans, ouvriers, sportifs, danseurs, mimes, chirurgiens...). Elle montre en particulier le lien indissoluble entre le corps et l'esprit ;
- 5) L'intelligence intrapersonnelle : désigne la capacité liée à l'introspection qui permet d'avoir une représentation de soi-même, de connaître ses possibilités, de juger de ses limites, de comprendre ses émotions et ses réactions. (sportifs, chercheurs, écrivains...);
- 6) L'intelligence interpersonnelle : capacité d'interagir utilement avec les autres. Utile pour détecter les intentions d'autrui, elle permet la communication efficace, l'empathie, la coopération, la tolérance. (politicien, commerçant, enseignant, responsable d'équipe...);
- 7) L'intelligence musicale : capacité d'évaluer (comparativement ou absolument) la hauteur, la tonalité des sons, le rythme et la mélodie d'une musique (musiciens, compositeurs...);

## Les principaux aspects des processus d'apprentissage

8) L'intelligence naturaliste : permet de classer les objets, et de les différencier en catégories. Utile pour comprendre l'environnement et s'y adapter (agriculteurs, zoologistes, botanistes, archéologues...)

9) Éventuellement l'intelligence existentialiste : capacité de réfléchir sur les valeurs morales, sur les règles de vie et d'adapter nos comportements en conséquence.

Notons qu'Howard Gardner ne définit celle-ci que comme la « huitième et demi », et non comme une intelligence à part entière.

Claudie Haigneré a expliqué qu'il lui avait fallu utiliser et affiner nombre de ses intelligences : l'intelligence linguistique avec l'apprentissage du russe ; l'intelligence de soi ou intrapersonnelle afin de bien se connaître et maîtriser des situations potentiellement difficiles à gérer ; l'intelligence des autres ou interpersonnelle pour un travail en équipe le plus efficace possible ; l'intelligence kinesthésique pour une bonne perception de son corps en apesanteur ; l'intelligence logico-mathématique pour bien intérioriser la logique technique et opérationnelle du vol.

Sa contribution a mis en évidence toute l'importance de la mise en œuvre de ces intelligences, chacune à des degrés divers, dans tous les apprentissages. Bien entendu, comme le soulignait Olivier Houdé lors de son audition, ces intelligences interfèrent en permanence les unes avec les autres.

Soulignons, au passage, que les systèmes scolaires ne font pratiquement appel qu'aux deux premières de ces intelligences et sont donc inadaptés tant aux personnes portées plutôt vers les autres types d'intelligence tout autant qu'à un grand nombre d'apprentissages. La culture de notre pays est formidablement dominée par ces deux formes d'intelligence, conduisant de ce fait au mépris de nombreux métiers ou activités dans lesquelles elles ne jouent pas le rôle premier, ou encore à ignorer certaines réalités.

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

Sans doute est-ce un des moteurs de l'élitisme excessif de notre pays. Par exemple, l'absence d'écoles en France pour enfants autistes pendant que se développent des écoles le long de la frontière franco-belge pour accueillir des enfants français.

### LE CORPS INCONTOURNABLE

28

---

Si le cerveau est le chef d'orchestre, le corps constitue un élément incontournable, une courroie de transmission ; les objets techniques sont perçus et conduits par le corps (y compris dans les développements des actions par la pensée). Ce passage par le corps se fait par ses « capteurs » et ses « actionneurs » : le visuel, l'auditif (l'ouïe + la voix), le kinesthésique, l'olfactif, le gustatif. Une approche purement intellectuelle, logico-déductive, des objets techniques et de leur apprentissage ne peut être l'unique source de l'apprentissage. Elle doit être complétée par le corps en action ; elle permet l'abstraction des concepts qui eux même permettent la généralisation et, en même temps, de passer de la théorie à la pratique, car c'est cette dernière qui rend vivant.

L'audition de Pascal Gallois, bassoniste de grand talent, associé à un niveau d'exigence élevé, a été particulièrement éclairante. Très reconnu, il a travaillé entre autres avec Stockhausen et Pierre Boulez ; Luciano Berio a d'ailleurs composé une œuvre à son attention car il était le seul bassoniste capable de l'exécuter. Il a expliqué que l'apprentissage de son instrument lui avait demandé 15 années de travail obstiné et répétitif, jusqu'au moment où son instrument, complètement uni à son corps, produisait sans difficulté la musique qu'il avait en tête. Comme la plupart des instruments de musique, le basson est actionné par le corps animé par le cerveau dont il ne saurait être séparé mettant en œuvre différentes intelligences dont, évidemment, l'intelligence musicale. Dans ce cas, l'apprentissage de l'artefact (le basson)

## Les principaux aspects des processus d'apprentissage

a été très long, comme il l'est pour la plupart des instruments de musique. Ne dit-on pas qu'un bon violoniste doit commencer à travailler son instrument dès l'âge de quatre à cinq ans. Fort heureusement, l'apprentissage de nombreux artefacts ne demande pas autant de temps ; à titre d'exemple, le marteau, le vélo ou l'automobile.

Serge Tisseron, psychiatre, dans son audition, a ainsi rappelé que le corps avait aussi son langage propre dont l'apprentissage commence dès l'enfance avec les premiers sourires, les premiers gestes dont les processus sont les mêmes que pour toutes les autres formes d'apprentissage, en symbiose avec le cerveau selon des lois exposées par Alain Berthoz dans son livre sur « La simplicité ». Il aurait été intéressant que la commission auditionne des danseurs ou des artistes dont les corps constituent leur moyen privilégié de communiquer. Sans doute, aurait-elle entendu les mêmes messages que ceux de Pascal Gallois, à savoir le temps long et le travail acharné pour l'apprentissage de leur art. La mise en évidence et l'étude des intelligences multiples montrent que l'on néglige trop la puissance du langage corporel : on pourrait aussi donner l'exemple de la transmission d'informations pour lesquelles les mots ne représentent qu'un faible pourcentage alors que celles transmises par le langage du corps sont beaucoup plus importantes. Ce qui passe par « l'attitude » s'imprime profondément et fournit une communication efficace. Les pratiques bien intégrées souvent passent par le corps (Alain Berthoz, exemple de la pratique du vélo). L'expérience des musiciens en la matière est particulièrement flagrante (Pascal Gallois – contrôle de la respiration – et Claire Gibault – lâcher le geste).

L'apprentissage d'appareillages qui assistent le corps a été abordé avec l'audition de Briac Colobert, responsable « recherche et innovation » de la société Protéor fabriquant des prothèses de membres inférieurs. Dans ce cas particulier, il y a remplacement d'une partie du corps et l'apprentissage se révèle plus long et plus compliqué que pour de simples prothèses

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

per exemple auditives ou visuelles (lunettes ou lentilles de contact). Le cerveau, maître d'œuvre, doit « oublier » le membre perdu et « apprendre » le membre artificiel dont le fonctionnement est plus élaboré qu'un simple pilon. La durée de la période de rééducation est plus ou moins longue selon les individus ; certains refusent le nouvel appareillage et reviennent vers une prothèse non articulée. Chez cette minorité, la difficulté serait bien plus psychique que physique, à savoir l'attachement au membre perdu que la personne ne se résoudrait pas à remplacer. On retrouve ici le concept de « Vicariance » développé par Alain Berthoz (et présenté plus loin).

### APPRENTISSAGE, MÉMORISATION ET AUTOMATISME

---

**30** Apprentissage, mémorisation et automatismes se trouvent étroitement liés. Durant l'apprentissage, le cerveau se trouve sollicité ; il va mémoriser ce qui a été appris pour l'utiliser ensuite de façon automatique

Tous les apprentissages obéissent à ce schéma. La mémorisation implique la répétition jusqu'au moment où le cerveau sait qu'il n'a plus rien à apprendre. Cette phase peut être particulièrement longue. De ce fait, comme l'a expliqué Alain Berthoz, l'être humain fonctionne beaucoup avec ces automatismes, en autarcie en quelque sorte, sans se poser de questions : les mots, les gestes, les attitudes viennent spontanément sans qu'il ait besoin de les « penser ».

Les sciences cognitives expliquent cette propriété : 5% seulement des informations enregistrées par le cerveau arrivent de l'extérieur par processus conscients ; 95 % sont le résultat de processus spontanés internes cerveau.

## Les principaux aspects des processus d'apprentissage

### APPRENTISSAGE, ÉMOTIONS ET SENTIMENTS

Une approche purement logique de l'apprentissage est réductrice de l'humain car elle ne prend pas en considération les émotions et les sentiments si importants. Pour certains spécialistes, dont Serge Tisseron, les émotions de base seraient au nombre de cinq : la joie, la tristesse (ou le chagrin), la peur, la colère, le dégoût. Cette dimension, fait partie de tout apprentissage. À titre d'exemple, l'apprentissage d'un nouveau logiciel. La joie d'y être arrivé après de nombreux essais/erreurs ; la tristesse de ne pas y arriver ; la peur de faire une fausse manœuvre et de « casser » l'ordinateur ; la colère devant sa complexité à l'encontre de ceux qui l'ont mis au point. Les émotions sont passagères comme le montrent les exemples précédents.

Les sentiments jouent aussi un rôle important dans l'apprentissage. Leur nombre est très important. Ce sont eux, par exemple, qui motivent une personne âgée à apprendre à se servir d'un ordinateur et de Skype pour des échanges « visualisées » avec les siens.

31

---

« Objets inanimés, avez-vous donc une âme  
Qui s'attache à notre âme et la force d'aimer ? »

Lamartine





# APPRENTISSAGE PAR LE COLLECTIF

## APPRENTISSAGE DU COLLECTIF

### L'APPRENTISSAGE DANS ET PAR LA SOCIÉTÉ

Les humains sont des êtres sociaux puisqu'ils communiquent. L'individu nourrit le collectif et inversement. Les objets, les technologies sont des constructions à la fois collectives et individuelles. Leur apprentissage individuel s'opère par des allers et retours permanents entre l'individuel et le collectif. La société crée un objet et en indique les usages. L'individu, par l'expérience, va les faire siens, les réinventer en quelque sorte tout en les modifiant, et la société va s'en enrichir dans un mouvement sans fin. Dans ce processus, il se crée un espace entre l'individu et la société. Il est essentiel comme espace de « jeu », de liberté et de créativité, essentiel pour qu'il y ait du « jeu », de la liberté et de la créativité. A l'inverse, le dressage réduit la personne en la limitant à n'être qu'un robot sans liberté de créer.

Si les processus de base de l'apprentissage sont les mêmes chez tous les humains, sa concrétisation est très fortement culturelle puisqu'il n'y a pas d'apprentissage sans société.

Dans le processus d'apprentissage, le « pourquoi » joue un rôle important, espace d'analyse et degré de liberté de l'individu par rapport à la société.

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

Les questions liées aux pourquoi font partie du processus et il est important de les laisser venir, de les reconnaître.

L'apprentissage individuel démarre dans les groupes : la famille, l'école, activités extrascolaires et se poursuit dans d'autres organisations. Celui-ci se développe en fonction de la personnalité individuelle, du milieu qui l'accepte ou le refuse et de sa capacité de faire avec. Celui qui accompagne l'apprenti a une responsabilité de clairvoyance ; c'est sa participation. Nous reviendrons plus loin sur le modèle de l'école qui a remplacé le modèle ancien de l'élève avec son précepteur.

La qualité de l'apprentissage peut être rattachée à la qualité des interactions au sein de ces groupes ; l'existence d'un climat de questionnements y est un signe de bonne santé.

34

---

Si les personnes construisent des apprentissages individuels, les groupes sont également amenés à le faire pour l'apprentissage d'actions collectives. De ce point de vue, l'audition de Claire Gibault qui a créé et dirige son propre orchestre a été d'une grande richesse. Un orchestre est en effet un collectif à l'intérieur duquel chaque musicien a sa place. Il doit se fondre progressivement dans le projet commun, celui de l'interprétation d'une œuvre. Dans sa façon de travailler, il s'agit bien de projet commun car, au fur et à mesure des répétitions, même si elle a un schéma dans la tête, elle laisse les musiciens faire des propositions qui sont alors discutées avec l'orchestre. Au-delà de la répétition, essentielle à l'apprentissage, cette façon de travailler est enrichissante pour chacun, mais plus encore introduit le plaisir individuel et collectif de la création, et l'émotion partagée entre les musiciens puis avec le public lors des concerts. Bien entendu, la décision finale lui revient. Claire Gibault a insisté sur la richesse de cette façon de travailler qu'elle avait apprise avec Riccardo Muti dont elle fut l'assistante. Comme dans beaucoup d'autres domaines, le chef d'orchestre « tyrannique »

se prive de l'intelligence de ses musiciens. La commission aurait sans doute entendu les mêmes messages de Thomas Coville et de son équipage qui ont pulvérisé le record du tour du monde à la voile en 2016 : apprentissage individuel et collectif du bateau par chacun, objet particulièrement technique, apprentissage par chacun du collectif. On peut voir que l'apprentissage, comme le souligne Marithé Couchevellou, psychothérapeute et coach en relations humaines au niveau des dirigeants d'entreprises, a un lien intime de la personne à elle-même, un lien relationnel de la personne au groupe et à l'environnement. Cet apprentissage d'un projet collectif a été également bien développé par Maurice Manceau dans le cadre de la société Point P dont il a assumé la direction pendant plusieurs années. On retrouverait les mêmes schémas dynamiques dans le fonctionnement des équipes chez Leroy Merlin.

Il existe un nombre incalculable d'objets dont les usages sont collectifs nécessitant chacun un apprentissage individuel et collectif ; à titre d'exemple le métro, les distributeurs de billets de banque... Imaginons La Fayette transporté immédiatement de son XVIII<sup>e</sup> siècle à aujourd'hui, gare des Invalides pour aller à Versailles par le RER ! Ce sujet extrêmement vaste n'a pas été abordé par la commission.

Le désir des humains à apprendre à utiliser des objets induit le désir de transmettre savoirs et savoir-faire, les deux indissociables de l'apprentissage lui-même. Il ne peut y avoir d'apprentissage sans transmission.

« L'INDIVIDU – APPRENTI »

L'audition de Michel Guisembert, ancien responsable des « Compagnons du devoir », en a constitué une riche introduction, bien en phase avec les principaux points de cette communication.

### Les Compagnons du Devoir

Né en 1941 en reprenant un concept daté du temps des cathédrales, le compagnonnage encadre environ 12 000 apprentis en formation. La démarche d'apprentissage, dans ce modèle remarquable, repose sur les fondamentaux suivants :

- mettre l'accent sur la motivation initiale des apprentis. Celle-ci ne va pas de soi. Elle peut être ancrée dans l'expérience familiale précoce (situation répandue chez les musiciens ; Pascal Gallois, Claire Gibault). Elle doit être passée au crible de la personnalité du candidat ;
- entretenir la motivation au cours du travail par un suivi rapproché des difficultés et des progrès. Cela met en jeu des « boucles-retour » qui comparent les attentes aux réalisations et entraînent des corrections dans le programme de travail. Ces étapes sont essentielles au succès de l'apprentissage. L'évaluation collective des résultats est un facteur primordial pour maintenir et stimuler les motivations ;
- permettre l'adaptation de chacun selon sa personnalité et ses particularités dans le déroulement du travail. Pour cela, l'apprenti bénéficie d'un encadrement qui lui est totalement consacré – disponibilité, suivi.

36

Les Compagnons du Devoir ont profité des découvertes de la psychologie et des sciences cognitives tout en montrant que leur modèle pourrait s'appliquer à une grande variété de personnalités, s'adaptant à chacune d'elle. Ainsi, l'appréciation des personnalités des candidats, attache-t-elle aujourd'hui une plus grande attention à la diversité des types d'intelligence décrite précédemment. Ils savent mieux tenir compte de la singularité des individus dans la construction des méthodes d'enseignement, et donc l'approche « normative » doit rester limitée. Dans l'idéal, l'apprentissage devrait coller à la personnalité de l'apprenti. Lui assurer un espace pour qu'il autonome est un impératif pour que les matières et les compétences apprises s'impriment en lui. Les auditions ont largement confirmé ce point de vue concernant ses activités individuelles mais aussi collectives.

En conclusion, on pourrait dire que la sagesse, intuitive et ancienne, qui met l'accent sur le suivi de la progression de l'apprenti est renforcée par les travaux des sciences cognitives qui pointent la « plasticité » du cerveau, son besoin de feedbacks très réguliers et d'une pédagogie individualisée qui éveille la curiosité de l'élève, tout en graduant bien la difficulté de la tâche afin de garantir une conscience exacte (mise à jour) du progrès.

## Apprentissage par le collectif – apprentissage du collectif

Il est dommage que le « modèle » des Compagnons du Devoir ne puisse être généralisé – ne serait-ce que pour des raisons pratiques. La société n'a pas les moyens d'avoir un précepteur par élève.

### « LE GROUPE – APPRENTI »

Le modèle de référence de l'apprentissage chez les Compagnons du Devoir ne peut être simplement transposé aux situations collectives où les objectifs sont fixés par l'organisation et non plus par l'individu apprenant. Les changements dans les entreprises, ou dans d'autres groupes, leur sont nécessaires : citons l'adoption de nouvelles méthodes organisationnelles (l'avènement du taylorisme puis du fordisme au début du xx<sup>e</sup> siècle) ou actuellement la « numérisation » en plein développement.

37

---

La première phase de l'apprentissage, la construction de la motivation, dans des apprentissages collectifs se présente ici bien différemment de celle des activités individuelles. Elle n'est pas spontanée pour chaque individu, mais requiert des efforts majeurs en matière de communication. C'est par la création d'une opinion collective -à l'initiative du management - que chacun va trouver sa motivation et l'accompagnement de son travail d'adaptation. On a compris que la « communication » dont il s'agit ne s'apparente pas à une campagne de publicité, mais qu'elle repose sur l'analyse psychologique et sociologique des populations à faire évoluer. La transformation de la compagnie Point P, mise en œuvre par Maurice Manceau, illustre parfaitement cette situation, avec l'organisation de stages et la création d'un journal « les Cahiers de Chantier » adapté aux demandes des parties prenantes exprimées par la conduite d'une opération CRM (Customer Relationship Management). L'outil de communication qu'a été le journal « les cahiers de chantier » a été mis au point avec tout le travail nécessaire entre la direction, le personnel et les futurs utilisateurs. Il en est de même de la mise au numérique de l'entre-

prise Bouygues comme l'a expliqué Alain Pouyat avec la mise en place de cercles de qualité et de stages spécifiques pour le management. Les phases ultérieures de l'apprentissage, l'accompagnement de chacun ou de chaque division, l'évaluation des résultats, l'analyse des retours d'expériences etc. restent tout aussi indispensables que pour l'apprentissage d'activités individuelles. La complexité de leur mise en œuvre est élevée ; elle demande des approches nouvelles et innovantes dans le domaine des ressources humaines, qui requièrent également un apprentissage.

Les situations d'apprentissage de pratiques collectives ont une caractéristique : le « vrai » résultat auquel on parviendra ne peut être précisé au démarrage des opérations. L'apprenti menuisier veut devenir menuisier mais l'entreprise qui passe d'une organisation par métiers à une organisation par projets doit pouvoir ajuster la réalité de ses réformes aux réponses des personnels et des situations. L'introduction de nouvelles technologies dans les entreprises illustre cette situation. Pierre Falzon, professeur au CNAM spécialiste d'ergonomie, souligne que le changement technologique modifie en profondeur l'organisation de l'entreprise qui doit « apprendre » son nouvel état. L'impératif, en la matière, renvoie aux compétences en « ressources humaines » : il convient de sélectionner les compétences pour les nouvelles tâches. Ce *The right man in the right place* n'est pas nouveau, mais les progrès de la psychologie (il est peut-être trop tôt pour déjà parler ici de sciences cognitives) des individus et des collectivités doivent être sollicités.

## LES FORMIDABLES AVANCÉES DES SCIENCES COGNITIVES

Les sciences cognitives progressent rapidement depuis quelques années. Elles explorent les mécanismes cérébraux sollicités par nos activités. Elles font émerger les liens entre apprentissage, structure et fonctionnement du cerveau ; elles conduisent à une meilleure compréhension des différentes réactions des individus dans les situations d'apprentissage comme l'ont expliqué Alain Berthoz et Olivier Houdé. Elles permettent d'aborder la question du rôle et de la nature des mécanismes cérébraux dans les apprentissages de toute nature. Ils peuvent d'ailleurs être inconscients, conscients mais non verbalisés ou encore conscients et verbalisés ; encore une fois, d'ailleurs, limiter l'apprentissage au conscient verbalisé serait comme ne voir que la partie émergée d'un iceberg.

### Apprentissages chez l'enfant

Déjà chez le bébé, avant même l'apparition du langage (2 ans), des mécanismes intenses d'apprentissage cognitif et social sont en marche. Après quelques minutes de vie, le bébé est capable d'imiter certains mouvements du visage (protrusion de la langue, ouverture/fermeture de la bouche) d'un adulte face à lui, à condition qu'il soit suffisamment proche. Cela montre, sur le plan cognitif, qu'il existe déjà un mécanisme cérébral d'appariement intermodal entre la vision et la kinesthésie. Du point de vue social et affectif, cela montre que les bébés sont d'emblée « pro-

grammés pour apprendre » (par imitation dans ce cas) et qu'ils sont gourmands d'intersubjectivité, c'est-à-dire de découvrir l'humain. Les neurosciences sociales ont démontré par imagerie cérébrale que ce sont les mêmes réseaux de neurones qui s'activent selon qu'on imite ou qu'on est imité. C'est un phénomène dit de « résonance motrice ». Il est à la base de tous les apprentissages scolaires et culturels ultérieurs, mais aussi de l'empathie qui se développera plus tard chez l'enfant et l'adulte. Par ailleurs, le bébé développe déjà, en parallèle (0-2 ans), d'étonnantes capacités cognitives que l'on peut tester par ses surprises visuelles face à des transgressions d'attentes construites par l'expérimentateur (puisqu'il ne parle pas encore et ne peut répondre via le langage). Des systèmes vidéo reliés à des ordinateurs permettent ce type d'expériences de sciences cognitives avec des bébés. On a découvert ainsi qu'il existe chez les bébés des formes de protomathématiques (processus arithmétiques, statistiques, etc.), de protophysique (unité et permanence des objets, causalité, etc.) et même de raisonnement (inférences). Il s'agit d'algorithmes cognitifs, même s'ils sont encore implicites et non-verbalisés.

40

Après, chez l'enfant et l'adolescent, c'est toute l'architecture cognitive du cerveau qui doit se mettre en place et se consolider dans les multiples situations rencontrées réellement ou sur écrans, à la maison ou à l'école : les objets physiques ou humains, les nombres ou traitements quantitatifs (jusqu'aux mathématiques), les catégorisations ou traitements qualitatifs (jusqu'aux taxonomies) et les raisonnements plus abstraits (sur des idées, des hypothèses, des propositions logiques, etc.). Dans cette construction (de l'objet au raisonnement), le cerveau de l'enfant doit à la fois apprendre l'automatisation d'heuristiques par la pratique, la répétition et, inversement, la résistance à ces automatismes surappris grâce au contrôle inhibiteur du cortex préfrontal. C'est ce qui permet d'activer les bons algorithmes au cas par cas ou d'en découvrir de nouveaux, comme le faisait déjà le bébé, moins exposé à des pièges perceptifs et sémantiques que ne le seront l'enfant plus grand et même l'adulte. Cette inhibition positive, ou intelligence de sélection, donnera de la robustesse au système d'apprentissage et de mémoire, ainsi que de la flexibilité, parfois de la créativité. L'enfant peut apprendre tant l'automatisation que l'inhibition (résistance) par trois facteurs : (a) l'expérience par essais-erreurs lors d'un autoapprentissage ou d'une interaction sociale de co-construction (deux ou plusieurs individus de même niveau au départ), (b) l'imitation d'autrui et/ou (c) l'instruction dans une interaction de tutelle (parents, professeurs, experts).

Aujourd'hui, on commence à tester des jeux éducatifs sur tablettes qui exercent ces formes d'apprentissage à la maison et à l'école. Cela peut aussi aider à apprendre à lire, écrire, compter et penser. L'objectif est une pédagogie à la fois collective et



## Les formidables avancées des sciences cognitives

individualisée motivée par un défi. Il s'agit d'éveiller l'émotion et le désir d'apprendre par le jeu, plus ou moins sérieux, à tous les âges.

Pour en savoir plus : Olivier Houdé, *La psychologie de l'enfant*, Paris, PUF, 2004 (nouvelle édition revue et corrigée, 2017).

### MÉCANISMES CÉRÉBRAUX POUR L'APPRENTISSAGE.

L'autonomie est indispensable pour que le cerveau optimise les réactions personnelles et mette en œuvre la vicariance mise en évidence par Alain Berthoz.

#### La vicariance – le cerveau créateur de mondes

Lorsqu'un de nos sens en remplace un autre qui fait défaut (lorsque nous tâtonnons dans le noir, ou lorsque nous devons, suite à un accident, suppléer un organe défaillant), lorsque nous utilisons plusieurs stratégies pour parvenir à un même but, lorsque nous multiplions nos identités pour naviguer dans le monde virtuel d'Internet ou des jeux vidéo, nous nous en remettons à des processus vicariants mis en place au cours de l'évolution. Cette vicariance, possibilité de remplacer une fonction par une autre ou de déléguer une fonction ou une action à un avatar virtuel, est bien une stratégie essentielle qui permet à notre cerveau d'appréhender le monde extérieur et de nous y adapter en permanence.

Car tout acte créatif implique un changement de point de vue offrant une perspective nouvelle sur les choses, un décentrement que seule la vicariance est à même de provoquer. D'où son importance cruciale pour la pédagogie et l'enseignement, le management des entreprises, la psychologie et les sciences humaines et sociales, et la rééducation des troubles pathologiques du système nerveux. Mieux comprendre la vicariance, c'est remettre l'homme au centre de la scène, dans toute sa diversité, et lui restituer sa capacité d'inventer des solutions nouvelles.

Alain Berthoz, *La Vicariance Le cerveau créateur de Mondes*. Quatrième de couverture, Odile Jacob, 2013. Trad Anglaise! *The vicarious Brain* Harvard Univ Press 2016. Trad Ital. : *La vicarianza*. Codice 2015.

Mais, comment fait le cerveau pour prendre conscience de l'inutilité d'une routine dans une situation particulière ? La question a émergé, en particulier, avec les accidents d'avion dont près de 80 % proviennent d'erreurs de pilotage comme l'expliquait devant la commission Bruno Revellin-Falcoz. Face à une situation imprévue, n'ayant pas fait l'objet d'un apprentissage préalable lors de la formation tant initiale que continue, le cerveau du pilote peut se trouver piégé par des automatismes inadéquats, conduisant à des décisions absurdes. Elles sont aggravées par le fait que, sans intervention extérieure, le cerveau va refaire les mêmes erreurs. S'il est bien une machine biologique et culturelle à apprendre, le cerveau est aussi une « machine à se tromper » ! C'est au niveau de la psychologie des pilotes qu'il a fallu travailler pour obtenir qu'ils abandonnent des comportements trop personnels et acceptent d'être guidés par des instances externes.

### 42

---

Chacun d'entre nous, avec des conséquences fort heureusement moins graves, a l'expérience de ce type d'erreurs d'automatismes que l'on retrouve dans de si nombreuses situations. Olivier Houdé à partir de ses travaux de recherche utilisant en particulier l'IRM fonctionnelle et les signaux électriques émis par le cerveau (EEG haute densité), propose le modèle suivant qui s'applique aux enfants comme aux adultes : les automatismes (ce qu'il appelle l'heuristique) sont, pour la plupart, stockés dans la partie postérieure ou sous-corticale du cerveau et mis en œuvre « instinctivement » de façon très rapide, 2/10 ème de seconde. Mais, dans le cas d'une situation nouvelle où les automatismes préactivés ne fonctionnent pas, le cerveau, grâce à sa partie préfrontale, doit apprendre à inhiber la réaction instinctive trop facile, résister, pour utiliser ce qu'il appelle la phase « algorithmique » (comme dans un ordinateur) ; ce temps de résistance cognitive (environ 8/10 ème de seconde) est essentiel aux apprentissages humains. A ce moment-là, la personne peut construire une réaction adaptée à une situation nouvelle. En outre, comme il l'a souligné, notre cerveau d'Homo sapiens est bâti avec cette capacité de résistance cognitive aux automatismes. En effet, notre cortex préfrontal est doté, dès la

première année de la vie du bébé, de neurones qui s'activent pour envoyer, via leurs axones longs (ou prolongements), des signaux à tout le reste du cortex afin que d'autres neurones, dits « inhibiteurs », prennent le relais localement et fassent taire des groupes entiers ou populations de neurones préactivés (tels les automatismes moteurs ou cognitifs). C'est ce type de câblage neurobiologique inhibiteur qu'il faut exercer, sur l'ensemble du cerveau, pour apprendre à résister aux automatismes trompeurs. Une pédagogie du cortex préfrontal et de la résistance cognitive serait à inventer tant pour l'école que pour l'entreprise. Des premiers tests expérimentaux d'efficacité pédagogique sont réalisés dans le laboratoire CNRS d'Olivier Houdé.

Cette dimension est sans doute importante tant dans la création que dans l'usage nouveau des technologies. La conception classique de l'apprentissage par répétition et automatisation n'est donc plus suffisante aujourd'hui, à la lumière des découvertes en neurosciences. L'inhibition positive décrite par Olivier Houdé ouvre à la « vicariance » du cerveau créateur décrite par Alain Berthoz.

### Olivier Houdé ou la résistance cognitive.

Rien n'est plus amusant que d'observer un enfant qui s'interroge. Que se passe-t-il dans son cerveau à l'instant qui précède une bonne réponse ou une erreur ?

Après Piaget, Olivier Houdé a élaboré une théorie révolutionnaire pour décrire l'apprentissage. A l'aide de l'apport conjugué de la psychologie et de l'imagerie cérébrale, il a isolé une fonction essentielle du cerveau : la résistance cognitive ! C'est la capacité de notre cerveau à inhiber les automatismes de pensée pour nous permettre de réfléchir.

Olivier Houdé nous s'explique la genèse de cette découverte au travers de nombreux exemples chez les bébés, les enfants et les adolescents. Et nous montre comment la mettre en œuvre pour améliorer l'apprentissage, à tout âge.

Quatrième de couverture de son livre : Apprendre à résister.

Les commentaires précédents conduisent naturellement à l'hypothèse que l'apprentissage est lié à une interaction avec le monde extérieur et que, dans de nombreux cas, il faut désapprendre pour apprendre, inhiber les automatismes pour les déborder. Les TIC en constituent un bon exemple lorsque, qu'il s'agisse du téléphone portable ou de l'ordinateur personnel, des mises à jour importantes obligent à oublier certaines routines pour en créer d'autres.

44

---

Ce sont bien les sciences cognitives qui ont mis en évidence les intelligences multiples mentionnées précédemment. L'IRM fonctionnelle a confirmé la proposition d'Howard Gardner avec une localisation différente de chacune d'entre elles dans le cerveau. Les capacités innées de chacune d'elles sont différentes mais peuvent évoluer. La carte de l'intelligence individuelle est en fait une carte des « intelligences » : les uns seront plus facilement accessibles aux mathématiques, les autres à la relation interpersonnelle, etc. « L'oreille absolue » des grands musiciens en est un parfait exemple. Il n'y a donc pas d'individu moyen auquel s'appliquerait un apprentissage standardisé. Le chemin par lequel l'apprentissage se conduit est donc différencié en fonction des caractéristiques de l'individu ; le visuel ou l'ouïe peut être préféré par certains, le langage et l'abstraction par d'autres. L'apprentissage d'une langue étrangère sera plus aisé pour qui a « l'intelligence musicale »... et d'autres exemples sans fin. Cela renvoie de nouveau à la nécessaire autonomie à assurer à l'apprenant : chacun construit sa voie d'accès en fonction de la nature de ses capacités. Cependant, l'apprenant ne peut être conscient des profondeurs de sa réalité cérébrale et du meilleur chemin qui doit le conduire au succès.

Une question, pourtant intéressante, n'a pas été posée : avons-nous des mémoires différentes correspondant à chaque intelligence ? La mémoire du corps ou la mémoire linguistique, au moins pour la langue maternelle, semblerait plus fortement ancrée que la mémoire logico-déductive.

Nous avons déjà mentionné le rôle des émotions et des sentiments dans l'apprentissage – à tous ses stades – motivation, perception, suivi. De quelle façon, percevoir, évaluer et tenir compte de l'état des affects de l'apprenti est un problème en soi : la psychologie d'aujourd'hui est-elle en mesure d'apporter des réponses opérationnelles à cette question ? Comment l'apprenant s'approprie-t-il l'apprentissage ? Celui-ci pourrait apparaître comme une aventure exclusivement individuelle puisqu'il va dépendre de la manière dont l'individu va pouvoir accéder à ses potentialités en puisant dans ses capacités et ressources pour passer de l'état présent avant d'apprendre, à l'état désiré auquel il aspire. La motivation qui sous-tend l'acte d'apprentissage est liée à l'objectif que l'apprenant désire atteindre. Il y a un mouvement. L'envie et la motivation liées aux valeurs de l'individu, aux critères correspondant à ce qui est important pour lui, aux croyances que celui-ci pense de lui et de la vie, de son entourage - où parfois les injonctions sont des obstacles et les encouragements des accélérateurs d'estime de soi -, et de l'environnement, en sont les critères essentiels. Le processus résultera de l'âge et du degré d'autonomie de l'individu. A qui appartient le projet ? Dialoguer dans l'empathie pour clarifier les objectifs poursuivis favorisera le résultat souhaité. Cela permettra à l'apprenti de prendre conscience de son positionnement face à lui-même, aux autres et à l'objet de son désir s'il s'agit de son projet personnel ou à l'objet qu'il n'aura pas désiré mais qu'il devra s'approprier pour en faire sien s'il s'agit d'un projet collectif (Marithé Couchevellou). Les sciences cognitives, montrent comment l'environnement influence l'apprenti. Le succès de l'apprentissage apparaît ainsi comme inséparable de la culture de l'empathie (Serge Tisseron) ; les échanges qu'elle permet assurent globalement une efficacité bien supérieure. Ainsi, l'enfant qui a besoin d'un regard extérieur (les parents le plus souvent) pour valider ce qu'il a appris à faire ; il en est de même tout au long de la vie.

Le champ des émotions et des sentiments associé à l'apprentissage est vaste : le désir, le plaisir, la motivation, l'action mais également la surprise,

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

l'ennui qui nourrissent le projet et l'action. Le temps est fondamental : temps forts, temps faibles, alternances. Ressentir et exprimer ses émotions est partie prenante de l'apprentissage pour mûrir et agir.

Sans doute, ne faut-il pas oublier le plaisir de la transgression ; elle jouerait un rôle important dans l'individuation de chacun.

### APPRENTISSAGE ET PLASTICITÉ DU CERVEAU

46

---

L'apprentissage forme et transforme le cerveau. Cette plasticité est maintenant connue grâce aux observations par IRM fonctionnelle. S'il existe des aires cérébrales et des neurones très spécialisés pour la vision, l'audition, etc., cela n'empêche pas notre cerveau d'être plastique. Deux découvertes faites grâce à l'IRM fonctionnelle l'illustrent, de façon symétrique. Des chercheurs ont montré que les aveugles utilisent leur cortex visuel pour lire le braille – s'agissant d'une perception pourtant tactile – alors que les sourds activent des aires auditives pour percevoir (visuellement) la langue des signes. Comme le souligne Olivier Houdé (*Les 100 mots de la psychologie*, PUF, 2008) cela démontre que des neurones réputés aussi spécialisés que ceux de la vision ou de l'audition ne restent cependant pas « au chômage » en cas de handicap sensoriel, mais peuvent au contraire être reconvertis, recyclés, à une fonction adaptative nouvelle. Cette fonction de plasticité et de recyclage neuronal est aussi décrite par Stanislas Dehaene ; l'émergence de l'écriture et de la lecture, il y a 5000 ans environ, a été possible grâce au recyclage des neurones de la perception visuelle des objets et des visages pour discriminer les symboles des lettres et des mots. Ils le sont chez aussi chez chaque enfant faisant l'apprentissage de la lecture. Selon Olivier Houdé, ce recyclage entraîne aussi des automatismes inadéquats

## Les formidables avancées des sciences cognitives

de lecture, telle la confusion des lettres en miroir (b/d par exemple), qu'il faudra apprendre à inhiber. On retrouve ici la notion de résistance cognitive, facteur de robustesse dans l'apprentissage.

La plasticité du cerveau diminuerait avec l'âge ; l'apprentissage serait plus laborieux au fur et à mesure que la personne vieillit. Ce ralentissement des capacités d'apprentissage a été également mentionné par Didier Malatray, dans son métier d'expert d'assistance individuelle aux outils de l'informatique, tout comme par Fabrice Abitbol au travers de son expérience de vente de téléphone mobile. L'un comme l'autre ont mis l'accent sur l'obstacle que représente pour leurs clients les plus âgés les différentes mises à jour, qu'il s'agisse des PC ou des smartphones ; elles conduisent, en général, à un nouvel apprentissage, à savoir l'abandon de certaines routines pour en acquérir de nouvelles. L'exemple peut paraître un peu banal par rapport à l'importance du thème évoqué, mais il est issu des auditions ; néanmoins, la plupart de leurs clients font l'effort nécessaire pour les fonctions qui leur sont les plus indispensables, en particulier la communication avec leurs proches. Les neurosciences ont toutefois démontré la création à tout âge de neurones nouveaux (même au-delà de 70 ans), phénomène appelé la neurogenèse, tout comme peuvent toujours se mettre en place des connexions nouvelles, ce qui confirme l'intérêt d'éveiller l'apprentissage tout au long de la vie. Et ce sont souvent les nouvelles technologies, ou un loisir nouveau, qui le favorise. Ainsi, on a montré chez des personnes âgées que de nouvelles aires du cerveau peuvent être mises en œuvre pour apprendre.





## AU-DELÀ DES PROCESSUS FONDAMENTAUX, LES ÉVOLUTIONS ACTUELLES

Les apprentissages, tant individuels que collectifs s'opèrent dans un temps et une société donnés. Si les processus de base restent inchangés, les objets « à apprendre », comme mentionné plus haut, évoluent en permanence, et de plus en plus nouveaux. Cette évolution entraîne simultanément des changements corrélés pour l'individu, la société. Quelques aspects importants :

49

---

### UN CHANGEMENT « COPERNICIEN » : L'HOMME AU CENTRE

Lors de son audition, notre confrère Louis Dubertret a focalisé son propos sur l'apprentissage des malades par le médecin. Il s'agit là d'un profond renversement mettant le malade au centre de la relation et non plus le médecin ; le malade se prend en charge, assisté par le médecin et ne se décharge pas sur le médecin. De la même façon, Steve Jobs a mis l'utilisateur au centre de ses préoccupations.

Ce changement « copernicien » a des conséquences majeures : le malade n'est plus réduit à son seul corps, livré au pouvoir médical, mais il est une personne active qui se fait assister par son médecin quand ce dernier le respecte. La plupart des logiciels, et tous les logiciels libres, mettent à

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

profit leurs utilisateurs pour les faire évoluer en fonction de leurs besoins. Ce changement ouvre des champs de liberté nouveaux pour la créativité individuelle et collective.

Louis Dubertret a abordé les principaux outils pour cet apprentissage spécifique qui ressortent davantage de processus sociaux que techniques : le questionnement du malade par le médecin ; les explications que celui-ci lui apporte ; la négociation pour un protocole thérapeutique et, enfin, un contrat de soin ayant essentiellement une valeur pédagogique.

Cette évolution peut se résumer de la façon suivante : Passer du subir à l'agir.

---

### 50 UNE FORMIDABLE ÉVOLUTION DE L'INTERFACE

« HOMME-MACHINE » DONT LES CONSÉQUENCES SONT IMPORTANTES DANS L'APPRENTISSAGE

- de la main tenant directement l'outil (de la hache de pierre ou du marteau) à la télécommande permettant au conducteur d'ouvrir sa voiture à distance ;
- de l'ouvrier qui déplace la terre avec une pelle à l'engin de terrassement commandé par son opérateur, du paysan travaillant avec la force musculaire des bêtes de trait ou des bras humains à l'agriculteur conduisant des machines de plus en plus sophistiquées ;
- toute la chaîne actuelle entre le pilote dans son avion et les commandes de manœuvre ;
- jusqu'aux engins automatiques pilotés à distance comme les drones ;

Au-delà des processus fondamentaux, les évolutions actuelles Il se développe donc une chaîne entre les actions de l'objet technique et le cerveau en lien avec le corps de l'homme. L'utilisation de cet objet n'est possible que si la chaîne se fait oublier, qu'elle devienne transparente et qu'il existe une causalité de fait, intuitive, entre les commandes exercées par l'utilisateur et les actions réalisées par l'objet.

### Activités artistiques numériques

Dans le champ de l'art numérique, la relation de l'amateur à l'œuvre est considérée comme une des formes de l'œuvre. En design d'« artefacts numériques », la relation à l'objet est considérée comme une des parties de l'objet, c'est une forme qui, elle aussi, est « désignée » avec l'objectif de la rendre la plus fluide et simple comme le sont en général les formes physiques, sensorielles des artefacts numériques.

Alain Cadix

LE NUMÉRIQUE PREND UNE PART DE PLUS EN PLUS  
GRANDE ET VA SE DÉVELOPPER ENCORE

L'ordinateur, le courriel, Internet, les réseaux sociaux, le téléphone portable, le smartphone, les objets connectés etc. tous ces termes inconnus il y a encore peu sont devenus des objets indispensables. Leur découverte intervient dès le plus jeune âge (parfois même avant même la maîtrise du langage, telles les tablettes tactiles pour bébés) et leur usage est prégnant dès l'adolescence et pour la vie. Il s'agit d'un bouleversement de la société et probablement de l'individu, de l'avènement d'un nouvel âge que certains ont comparé à celui de l'invention et la diffusion du livre imprimé au <sup>xvi</sup><sup>e</sup> siècle (Michel Serres, *Petite Poucette, Le Pommier*, 2012). Les individus aujourd'hui baignent dans le numérique et s'adaptent à cet environnement. Bernard Stiegler, lors de son audition, a souligné avec force que ces évolutions sollicitent l'apprentissage tous azimuts. Ils nous mettent en face d'enjeux

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

extraordinaires – sur notre culture, mais même sur la civilisation telle que nous la connaissons – enjeux qu'il nous faut relever en adaptant nos compétences. Ces bouleversements, évidemment, se font de façon beaucoup plus rapide que l'invention et l'apprentissage d'outils du néolithique.

Citons quelques conséquences mises en avant par Serge Tisseron de cet état de fait – de cette transformation - sur l'apprentissage et analysées par rapport au numérique :

- l'une des conséquences du numérique est de déplacer l'équilibre de la culture du livre vers la culture de l'écran et plus précisément, de l'image animée. L'élaboration d'un schéma abstrait est plus facilement intégrée par une visualisation que par des descriptions analytiques ;
- l'acquisition des concepts et des méthodes du numérique conduit les praticiens (techniciens) à avoir davantage recours aux « images mentales » proposées par les écrans. Ainsi, un exemple donné par Maurice Manceau, ancien directeur général de Point P : l'intervenant appelé pour une intervention, autrefois, posait d'abord son expertise concrètement, à partir de son expérience personnelle, en analysant d'emblée les opérations qui seraient nécessaires. Aujourd'hui, son « réflexe » est de sortir sa tablette et de consulter aussi les cas de références, avant de rendre son verdict. Il en est de même dans de nombreux métiers, comme les garagistes par exemple ;
- l'apprentissage du geste est également modifié par ces technologies : cas de la chirurgie, des simulateurs de vol ou plus prosaïquement du talochage d'un produit contre un mur ; dans ce dernier cas, il est fait appel à la technologie Wii développée initialement pour jouer. La simulation, l'accès à la pratique qu'elle permet, même s'il est indirect, permet une

Au-delà des processus fondamentaux, les évolutions actuelles mobilisation rapide du cerveau (les zones activées par l'observation ou par l'usage d'une pratique sont les mêmes). Le retour d'expérience, cela dit, doit être travaillé : une erreur sur simulateur n'est pas identique à une erreur dans la « réalité vraie ». ;

- l'apprentissage lui-même de l'utilisation du numérique et des nouveaux dispositifs qui ne cessent de voir le jour ne fait guère l'objet de didacticiels. Il se fait beaucoup plus par le « bouche à oreille », par essais/erreurs ; les constructeurs d'appareils et les promoteurs d'applications nouvelles ont intégré cette réalité. On retrouve ici la méthode qui a fait la fortune d'Apple, qui n'est autre que le mode d'apprentissage du petit enfant qui n'a pas besoin de verbaliser pour trouver comment ça marche ; quel gain de temps psychique !

#### L'APPRENTISSAGE DES CHANGEMENTS CULTURELS ET SOCIAUX ASSOCIÉS AUX CHANGEMENTS TECHNIQUES.

Bien entendu, parallèlement, la culture accompagnant ces changements techniques ne cesse d'évoluer, tout comme la société. L'apprentissage de ces artefacts nouveaux est donc inséparable de l'apprentissage des changements culturels et sociaux d' Homo sapiens technologicus. Les exemples sont innombrables. Quelques commentaires succincts suivent.

Ces évolutions favorisent la dimension collective de l'apprentissage : le travail en réseau s'impose aujourd'hui bien davantage qu'avant le numérique. C'est évidemment une donnée fondamentale pour construire les méthodes de l'apprentissage. L'aspect collectif ne doit pas conduire au conformisme cognitif, aux erreurs collectives (les ondes des foules dont parlait déjà Montaigne), renforcées aujourd'hui par les réseaux sociaux (rumeurs, confusion entre ce que l'on aime et ce qui est valide, etc.)

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

Un apprentissage nouveau de l'esprit critique et créatif, face à un monde numérique conduisant parfois au panurgisme est absolument vital. La survie du « penser par soi-même » dans un monde technologique où l'on pense tous très (trop) vite et ensemble est un vrai défi du nouveau siècle. Penser, c'est aussi penser contre les autres et parfois contre soi.

Si le développement des techniques numériques est incontestablement l'aspect le plus spectaculaire des évolutions actuelles dans les sociétés humaines, il n'est pas le seul. Pour beaucoup d'autres raisons (mondialisation par exemple, les lois du travail, l'économie...) les métiers changent et sont appelés à changer. Si les processus de base de l'apprentissage sont toujours là, ils seront aussi entraînés, voire augmentés, par ces changements ; les conséquences sur les méthodes sont déjà et restent potentiellement considérables.

54

---

### L'IMPORTANCE DE RÉFLEXIONS NOUVELLES SUR L'APPRENTISSAGE

Toutes nos activités, corporelles, mentales affectives, relationnelles... résultent d'un apprentissage. Bien entendu, tout au long de l'histoire, les activités humaines ont beaucoup changé depuis la préhistoire jusqu'à l'ère numérique. Les sociétés connaissent actuellement (et pour la longue durée) des changements profonds et rapides sollicitant les capacités d'apprentissage des humains. Des réflexions nouvelles sont également la conséquence des connaissances acquises, sur le cerveau notamment (grâce aux technologies d'imagerie), qui conduisent à revisiter nos « méthodes » d'apprentissage. Ainsi, au siècle dernier, les connaissances acquises concernant le psychisme humain (révolution freudienne, psychologie comportementale...) ont permis de prendre conscience que l'enfant était un individu singulier dès avant sa naissance et que le « dressage » ne prenait pas en compte sa

Au-delà des processus fondamentaux, les évolutions actuelles singularité ; on a donc vu apparaître de nouvelles pédagogies comme, par exemple, dans les écoles Montessori ou Freinet. Ce fut ensuite la pédagogie de l'action inspirée de la théorie de Jean Piaget, revisitée aujourd'hui par les découvertes de neurosciences cognitives d'Olivier Houdé.





## EN GUISE DE CONCLUSION

### QUELQUES COMMENTAIRES SUR LA FORMATION INITIALE

Si la commission a tenu délibérément à se pencher sur les apprentissages de tous les jours et de tout un chacun, l'école, au-delà de la famille, joue un rôle important dans la formation initiale et différents apprentissages. Aussi, la commission a procédé à quelques auditions sur ce sujet. Elles ont montré l'existence de nombreuses réflexions, expérimentations et réalisations en particulier, mais pas uniquement, dans l'Éducation nationale. Se met en place une meilleure coopération entre le savoir universitaire, la didactique à savoir la définition d'un savoir scolaire (programmes) et la pédagogie, l'art de faire la classe.

57

---

Dans la ligne de « La main à la pâte » qui s'implante progressivement dans de nombreux établissements, les principaux aspects des processus d'apprentissage sont progressivement pris en compte : la stimulation des « pourquoi », la démarche d'essais-erreurs où l'évaluation devient un outil de progrès et non de jugement ou de classement, le travail en équipe des élèves et des enseignants, leur bienveillance mais aussi l'apprentissage de cette bienveillance par les élèves (accueil de l'autre ; acceptation de ce qu'il est...).

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

Deux niveaux d'apprentissage sont à analyser ; celui des élèves, bien entendu, mais aussi celui des enseignants. Dans une machine encore très lourde où domine le « top-down », il convient d'accélérer le renversement copernicien mentionné plus haut en mettant simultanément au centre l'élève et l'enseignant.

Pour les enseignants, il serait sans doute judicieux de parler d'apprentissage permanent plutôt que de formation permanente. La formation se réfère en partie à l'acquisition d'un savoir et de pratiques formatées auxquels la personne doit se plier. L'apprentissage, dans un échange permanent entre l'enseignant et l'organisation, va libérer la créativité de chacun. Dans cette nouvelle perspective, l'institution aurait à veiller d'abord sur le suivi optimum des processus de l'apprentissage bien avant le respect de ses instructions.

**58** Le film *Demain* produit par Mélanie Laurent, en restitue un remarquable exemple finlandais.

De même, et sans aucun doute c'est difficile, mettre l'élève au centre favorise son apprentissage. Il n'a plus à rentrer dans un moule unique ; ses caractéristiques personnelles sont alors prises en compte (ses formes d'intelligence, son champ émotionnel ...) et ainsi son apprentissage devient créativité. Le film cité plus haut en apporte aussi un bel exemple.

Le monde dans lequel vit aujourd'hui l'élève n'a plus grand-chose à voir avec celui dans lequel se sont formés les enseignants, comme le disait lors de son audition Michel Berçot qui a longtemps enseigné dans les lycées techniques, puis a été le promoteur et le coordonnateur du « PlastiCampus » d'Oyonnax. La génération Y des élèves nés dans les années 80, avec internet, a déjà posé des problèmes aux enseignants. Ceux-ci ont pu se trouver dépossédés d'une partie de leur pouvoir, internet apparaissant aux élèves comme une

## En guise de conclusion, quelques commentaires sur la formation initiale

source d'information alternative souvent, à tort, jugée comme indiscutable. Aujourd'hui, les 15-25 ans – la génération Z – oblige les enseignants à se remettre à nouveau en question. Cette génération est décrite comme sûre d'elle et faisant confiance aux façons de faire et de penser par internet. Elle serait peu encline à faire confiance à un enseignant ou un manager car sa valeur absolue est « le réseau ». D'où la nécessité du travail collaboratif des élèves avec les enseignants.

Ceci a conduit Michel Berçot à revoir en profondeur les principes même de l'enseignement. Un enseignant unique se trouve rapidement limité dans sa capacité de répondre aux demandes des élèves et des méthodes nouvelles ont été adoptées :

- des équipes d'enseignants simultanément disponibles pour encadrer les élèves donnent de meilleurs résultats. Les éclairages complémentaires des différents enseignants se révèlent extrêmement enrichissants. Cette façon de fonctionner a, de plus, la vertu d'enseigner, par l'exemple de sa pratique chez les enseignants, le travail collaboratif chez les élèves ;
- d'un autre côté, le but général des cours n'est plus restreint, comme naguère, à l'acquisition de connaissances. Il s'agit maintenant tout autant d'acquérir des compétences et l'objectif n'est pas d'abord d'obtenir un diplôme (par exemple le bac) mais de créer la motivation qui va faire tendre l'élève vers le choix d'une orientation réfléchie et active pour construire son projet de poursuite d'étude. L'autonomie de l'élève, futur étudiant, est en filigrane.

Il s'agit bien de l'apprentissage des élèves mais aussi, nouveauté importante, de celui, permanent, des enseignants. En effet, ces derniers ne cessent d'apprendre de leurs élèves, mais aussi les uns des autres avec un apport des compétences de chacun. Cette démarche conduit naturellement à la

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

créativité suivant laquelle  $1 + 1$  est toujours supérieur à 2 !

Les processus fondamentaux de l'apprentissage mis en évidence dans ce rapport sont bien en phase avec les nombreuses réflexions et rapports actuels sur l'apprentissage initial. Notre rapport n'a abordé que bien partiellement ce sujet.

## RECOMMANDATIONS

Ces recommandations sont à destination du monde économique et social, en particulier des entreprises qui élaborent et diffusent des artefacts, mais aussi des organismes qui font de l'apprentissage, de l'Éducation nationale, du monde académique et des membres de notre Académie.

61

---

1. Avoir une claire conscience que les objets tant physiques qu'immatériels, la façon de les utiliser et les technologies sont des marqueurs de l'humain au même titre que le langage. La santé d'une société va de pair avec leur vitalité.
2. Bien comprendre que l'apprentissage va bien au-delà de la seule formation, puisque sa vocation première se trouve dans les usages. En particulier, de par les liens des objets (ou artefacts) avec le corps et les affects, il déborde largement d'une approche purement mentale. Il ne saurait non plus être confondu avec le « formatage ».
3. Fabriquer des objets qui, au-delà de leur simple ergonomie qu'il convient toujours d'améliorer, donnent de plus en plus de liberté d'usage dans leur apprentissage.
4. Renforcer les relations entre la recherche cognitive, les concepteurs et fabricants d'artefacts et les organisations faisant de l'apprentissage. Les

développer au mieux pour prendre en compte toutes ses dimensions, individuelles, collectives, psychologiques etc. dans une approche « système ».

#### 5. Concernant les acteurs de l'apprentissage :

- mettre au centre l'apprenti ;
- l'aider à mieux se connaître lui-même en particulier sur ses différentes intelligences ;
- concevoir cet apprentissage autour de la créativité, au-delà des seuls usages habituels ;
- développer chez ceux qui enseignent l'empathie et la bienveillance à l'égard des apprenants mais, également chez ceux-ci tant sont importantes les interactions positives entre les apprenants eux-mêmes ;
- veiller à la motivation initiale et continue de l'apprenant, en particulier sur les perspectives qui lui sont ouvertes.

#### 6. Concernant plus précisément la formation initiale et l'Éducation nationale, en plus des recommandations précédentes, l'importance du travail en équipe, équipes de professeurs mais aussi d'élèves :

- dans ces équipes, les élèves s'entraînent et se forment les uns les autres et, simultanément, les enseignants répondent de façons multiples à leurs questionnements ;
- les enseignants apprennent alors de leurs élèves, de leurs collègues et peuvent afficher sans problème les limites de leurs savoirs dans des domaines qui ne sont pas les leurs, démarche formatrice pour les élèves !

## Recommandations

- Dans ce travail en équipe, l'utilisation contrôlée d'internet doit être favorisé car cet outil permet l'accès à d'immenses réservoirs de connaissances. Les élèves le maîtrisent parfaitement et l'enseignant doit les aider à développer l'approche critique vis-à-vis de leurs contenus.

7. Enfin, l'apprentissage d'une nouvelle façon de fonctionner par une collectivité ne se réduit pas à celui de chacun des individus la constituant. L'attention doit d'emblée se porter sur l'organisation générale de cette société (management, chaîne de pouvoirs, prises de décisions) d'une part et sur la communication au sein de cette collectivité d'autre part.





## LES CIBLES DE CE RAPPORT ET LES MESSAGES À LEUR FAIRE PASSER

L'Académie des technologies adresse via ce rapport :

- Des recommandations sur la formation initiale et continue et sur l'apprentissage, en particulier en direction de l'Éducation nationale, mais aussi des différents ministères concernés.
- Des recommandations aux responsables politiques et aux institutions publiques (Assemblée nationale, Sénat, CESE par exemple) en mettant l'accent sur les processus les plus importants des apprentissages.
- Des recommandations en direction des entreprises faisant de la formation et de l'apprentissage interne.
- Des recommandations aux entreprises fabriquant des objets et l'attention qu'elles doivent porter à leur ergonomie et à l'apprentissage qui en sera fait.
- Des recommandations en direction des syndicats impliqués dans la formation continue.
- Le grand public avec l'ouverture d'un site YouTube pour ouvrir un large débat, projet présenté en séance plénière de l'Académie le 28 juin 2017.



## MEMBRES DE LA COMMISSION SOCIÉTÉ ET TECHNOLOGIES

ayant participé aux auditions et contribué à ce rapport

67

---

Alain Berthoz, membre de l'Académie des technologies

Pierre-Étienne Bost, membre de l'Académie des technologies

Alain Cadix, membre de l'Académie des technologies

Jean-Pierre Chevallier, professeur au CNAM

Bernard Chevassus-au-Louis, membre de l'Académie des technologies

Louis Dubertret, membre de l'Académie des technologies

Yves Farge, membre de l'Académie des technologies, président de la commission

Marc Giget, membre de l'Académie des technologies

Olivier Houdé, professeur à la Sorbonne.

Jacqueline Lecourtier, membre de l'Académie des technologies

Muriel Le Roux, historienne, chercheuse au CNRS, ENS

Hélène Ploix, membre de l'Académie des technologies

Émile Quinet, membre de l'Académie des technologies

Paul Rigny, ancien directeur de la chimie au CNRS, secrétaire de la commission

Gérard Sabah, membre de l'Académie des technologies



## PERSONNES AUDITIONNÉES

Fabrice Abitbol, responsable d'une boutique parisienne de téléphone mobile  
Michel Berçot, professeur, fondateur du Plastic campus d'Oyonnax  
Alain Berthoz, professeur (hon) au Collège de France, membre de l'Académie  
des technologies

69

---

Briac Colobert, directeur de la recherche, PROTEOR (fabricant de prothèses),  
Dijon

Yves Caseau, directeur de la Digital Agency, membre de l'Académie des  
technologies

Yves Clot, psychologue du travail et Professeur à la chaire de psychologie  
du travail du CNAM.

Marithé Couchevellou, psychothérapeute, coach en relations humaines  
auprès des dirigeants - Lorient.

Goëry Delacôte, président de l'Exploradôme de Vitry-sur-Seine, membre de  
l'Académie des technologies

Louis Dubertret, directeur honoraire de l'Institut de recherche sur la peau,  
membre de l'Académie des technologies

Pierre Falzon, professeur au Conservatoire national des arts et métiers,  
titulaire de la chaire d'Ergonomie et neurosciences du travail.

Alain Frugière, directeur de l'ESPE de Paris

## Approche des processus fondamentaux de l'apprentissage

Pascal Gallois, bassoniste, directeur du Conservatoire Municipal W. A. Mozart de Paris

Claire Gibault, fondatrice et directrice du Paris Mozart Orchestra

Michel Guisembert, ancien président des Compagnons du Devoir

Claudie Haigneré, astronaute, ancien ministre, ancienne présidente d'Université, conseiller auprès du DG de l'ESA, membre de l'Académie des technologies

Olivier Houdé, professeur de psychologie du développement à l'université Paris Descartes

Didier Malatray, directeur de la société 1Formatique Service-Lorient, conseiller auprès des institutions, PME et particuliers

Maurice Manceau, directeur habitat France à Saint-Gobain, ancien directeur de Point P

**70** Alain Pouyat, président DIGINOTECH, membre de l'Académie des technologies

Bruno Revellin-Falcoz, ancien vice-président-directeur général de Dassault Aviation, membre de l'Académie des technologies

Bernard Stiegler, philosophe, directeur de l'Institut de recherche et d'innovation (IRI) et président de l'association Ars Industrialis

Serge Tisseron, psychiatre, docteur en psychologie, professeur à l'université Paris-Diderot, membre de l'Académie des technologies

## PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE

### Avertissement

Les travaux de l'Académie des technologies sont l'objet de publications réparties en quatre collections<sup>1</sup> :

- ▶ Les rapports de l'Académie : ce sont des textes rédigés par un groupe de l'Académie dans le cadre du programme décidé par l'Académie et suivi par le Comité des travaux. Ces textes sont soumis au Comité de la qualité, votés par l'Assemblée, puis rendus publics. On trouve dans la même collection les avis de l'Académie, également votés en Assemblée, et dont le conseil académique a décidé de la publication sous forme d'ouvrage papier. Cette collection est sous couverture bleue.
- ▶ Les communications à l'Académie sont rédigées par un ou plusieurs Académiciens. Elles sont soumises au Comité de la qualité et débattues en Assemblée. Non soumises à son vote elles n'engagent pas l'Académie. Elles sont rendues publiques comme telles, sur décision du Conseil académique. Cette collection est publiée sous couverture rouge.
- ▶ Les « Dix questions à... et dix questions sur... » : un auteur spécialiste d'un sujet est sélectionné par le Comité des travaux et propose dix à quinze pages au maximum, sous forme de réponses à dix questions qu'il a élaborées lui-même ou après discussion avec un journaliste de ses

---

<sup>1</sup> - Les ouvrages de l'Académie des technologies publiés entre 2008 et 2012 peuvent être commandés aux Éditions Le Manuscrit (<http://www.manuscrit.com>). La plupart existent tant sous forme matérielle que sous forme électronique.  
- Les titres publiés à partir de janvier 2013 sont disponibles en librairie et sous forme de ebook payant sur le site de EDP sciences (<http://laboutique.edpsciences.fr/>). À échéance de six mois ils sont téléchargeables directement et gratuitement sur le site de l'Académie.  
- Les publications plus anciennes n'ont pas fait l'objet d'une diffusion commerciale, elles sont consultables et téléchargeables sur le site public de l'Académie [www.academie-technologies.fr](http://www.academie-technologies.fr), dans la rubrique « Publications ». De plus, l'Académie dispose encore pour certaines d'entre elles d'exemplaires imprimés.

connaissances ou des collègues (Dix questions à...). Ce type de document peut aussi être rédigé sur un thème défini par l'Académie par un académicien ou un groupe d'académiciens (Dix questions sur...). Dans les deux cas ces textes sont écrits de manière à être accessibles à un public non-spécialisé. Cette collection est publiée sous une couverture verte.

- ▶ Les grandes aventures technologiques françaises : témoignages d'un membre de l'Académie ayant contribué à l'histoire industrielle. Cette collection est publiée sous couverture jaune.

Par ailleurs, concernant les Avis, l'Académie des technologies est amenée, comme cela est spécifié dans ses missions, à remettre des Avis suite à la saisine d'une collectivité publique ou par auto saisine en réaction à l'actualité. Lorsqu'un avis ne fait pas l'objet d'une publication matérielle, il est, après accord de l'organisme demandeur, mis en ligne sur le site public de l'Académie.

Enfin, l'Académie participe aussi à des co-études avec ses partenaires, notamment les Académies des sciences, de médecine, d'agriculture, de pharmacie...

Tous les documents émis par l'Académie des technologies depuis sa création sont répertoriés sur le site [www.academie-technologies.fr](http://www.academie-technologies.fr). La plupart sont peuvent être consultés sur ce site et ils sont pour beaucoup téléchargeables.

Dans la liste ci-dessous, les documents édités sous forme d'ouvrage imprimé commercialisé sont signalés par une astérisque. Les publications les plus récentes sont signalées sur le site des éditions. Toutes les publications existent aussi sous forme électronique au format pdf et pour les plus récentes au format ebook.

## Liste des publications

### AVIS DE L'ACADÉMIE

1. Brevetabilité des inventions mises en oeuvre par ordinateurs : avis au Premier ministre – juin 2001
2. Note complémentaire au premier avis transmis au Premier ministre – juin 2003
3. Quelles méthodologies doit-on mettre en oeuvre pour définir les grandes orientations de la recherche française et comment, à partir de cette approche, donner plus de lisibilité à la politique engagée ? – décembre 2003
4. Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment les États-Unis – décembre 2003
5. Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie – décembre 2003
6. Commentaires sur le Livre Blanc sur les énergies – janvier 2004
7. Premières remarques à propos de la réflexion et de la concertation sur l'avenir de la recherche lancée par le ministère de la Recherche – mars 2004
8. Le système français de recherche et d'innovation (SFRI). Vue d'ensemble du système français de recherche et d'innovation – juin 2004
  - Annexe 1 – La gouvernance du système de recherche



- Annexe 2 – Causes structurelles du déficit d'innovation technologique. Constat, analyse et proposition.
- 9. L'enseignement des technologies de l'école primaire aux lycées – septembre 2004
- 10. L'évaluation de la recherche – mars 2007
- 11. L'enseignement supérieur – juillet 2007
- 12. La structuration du CNRS – novembre 2008
- 13. La réforme du recrutement et de la formation des enseignants des lycées professionnels – Recommandation de l'Académie des technologies – avril 2009
- 14. La stratégie nationale de recherche et l'innovation (SNRI) – octobre 2009
- 15. Les crédits carbone – novembre 2009
- 16. Réduire l'exposition aux ondes des antennes-relais n'est pas justifié scientifiquement : mise au point de l'Académie nationale de médecine, de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies – décembre 2009
- 17. Les biotechnologies demain – juillet 2010
- 18. Les bons usages du Principe de précaution – octobre 2010
- 19. La validation de l'Acquis de l'expérience (VAE) – janvier 2012
- 20. Mise en oeuvre de la directive des quotas pour la période 2013–2020 – mars 2011
- 21. Le devenir des IUT – mai 2011
- 22. Le financement des start-up de biotechnologies pharmaceutiques – septembre 2011
- 23. Recherche et innovation : Quelles politiques pour les régions ? – juillet 2012
- 24. La biologie de synthèse et les biotechnologies industrielles (blanches) – octobre 2012
- 25. Les produits chimiques dans notre environnement quotidien – octobre 2012
- 26. L'introduction de la technologie au lycée dans les filières d'enseignement général – décembre 2012
- 27. Évaluation de la recherche technologique publique – février 2013
- 28. L'usage de la langue anglaise dans l'enseignement supérieur – mai 2013
- 29. Les Académies d'agriculture, des sciences et des technologies demandent de restaurer la liberté de recherche sur les plantes génétiquement modifiées – mars 2014
- 30. La réglementation thermique 2012, la réglementation bâtiment responsable 2020 et le climat – novembre 2014
- 31. Les réseaux de chaleur – décembre 2014
- 32. Les enjeux stratégiques de la fabrication additive – juin 2015
- 33. Sur la loi relative à la "transition énergétique pour une croissance verte" – juin 2015
- 34. Les technologies et le changement climatique. Des solutions pour l'atténuation et l'adaptation – novembre 2015
- 35. Biodiversité et aménagement des territoires – décembre 2015
- 38. Aliments-santé. Implications pour l'industrie – mai 2016
- 39. Avis des Académies d'agriculture de France et des technologies sur la réglementation des mutagénèses ciblées en amélioration des plantes – juillet 2016
- 40. La détermination d'un prix de référence du carbone – janvier 2017

41. Modifier la réglementation thermique des bâtiments neufs afin de baisser les émissions de gaz à effet de serre au moindre coût – juillet 2017
42. Une stratégie robotique pour réindustrialiser la France – juillet 2017

## RAPPORTS DE L'ACADÉMIE

1. Analyse des cycles de vie – octobre 2002
2. Le gaz naturel – octobre 2002
3. Les nanotechnologies : enjeux et conditions de réussite d'un projet national de recherche – décembre 2002
4. Les progrès technologiques au sein des industries alimentaires – Impact sur la qualité des aliments / La filière lait – mai 2003
5. \*Métrologie du futur – mai 2004
6. \*Interaction Homme-Machine – octobre 2004
7. \*Enquête sur les frontières de la simulation numérique – juin 2005
8. Progrès technologiques au sein des industries alimentaires – la filière laitière, rapport en commun avec l'Académie d'agriculture de France – 2006
9. \*Le patient, les technologies et la médecine ambulatoire – avril 2008
10. \*Le transport de marchandises – janvier 2009 (version anglaise au numéro 15)
11. \*Efficacité énergétique dans l'habitat et les bâtiments – avril 2009 (version anglaise au numéro 17)
12. \*L'enseignement professionnel – décembre 2010 Appropriation des technologies.indd 50 26/05/2015
13. \*Vecteurs d'énergie – décembre 2011 (version anglaise au numéro 16)
14. \*Le véhicule du futur – septembre 2012 (publication juin 2013)
15. \*Freight systems (version anglaise du rapport 10 le transport de marchandises) – novembre 2012
16. \*Energy vectors – novembre 2012 (version anglaise du numéro 13)
17. \*Energy Efficiency in Buildings and Housing – novembre 2012 (version anglaise du numéro 11)
18. \*Les grands systèmes socio-techniques / Large Socio-Technical Systems – ouvrage bilingue, juillet 2013
19. \* Première contribution de l'Académie des technologies au débat national sur l'énergie / First contribution of the national academy of technologies of France to the national debate on the Future of energies supply – ouvrage bilingue, juillet 2013
20. Renaissance de l'industrie : construire des écosystèmes compétitifs fondés sur la confiance et favorisant l'innovation - juillet 2014
21. Le Méthane : d'où vient-il et quel est son impact sur le climat ? – novembre 2014
22. Impact des TIC sur la consommation d'Énergie à travers le monde – 2015)
23. Big data : un changement de paradigme peut en cacher un autre — décembre 2015
24. Le biogaz — mars 2016
25. Les technologies du changement climatique : des solutions pour l'atténuation et l'adaptation — Avril 2016
26. L'enseignement professionnel — mai 2016
27. La perception des risques — juin 2016

28. Les aliments santé : avancées scientifiques et implications industrielles — octobre 2016
29. Quel prix de référence du CO<sub>2</sub> ? — mars 2017
30. Les technologies du changement climatique – des solutions pour l'atténuation et l'adaptation (addendum) — avril 2017
31. Innovation ouverte et PME — juin 2017
32. Innovation – Croissance – Emploi. Rapport du séminaire 2016 de l'Académie des technologies septembre 2017

## COMMUNICATIONS À L'ACADÉMIE

1. \*Prospective sur l'énergie au xxie siècle, synthèse de la Commission énergie et environnement – avril 2004, MàJ décembre 2004
2. Rapports sectoriels dans le cadre de la Commission énergie et environnement et changement climatique :
  - Les émissions humaines – août 2003
  - Économies d'énergie dans l'habitat – août 2003
  - Le changement climatique et la lutte contre l'effet de serre – août 2003
  - Le cycle du carbone – août 2003
  - Charbon, quel avenir ? – décembre 2003
  - Gaz naturel – décembre 2003
  - Facteur 4 sur les émissions de CO<sub>2</sub> – mars 2005
  - Les filières nucléaires aujourd'hui et demain – mars 2005
  - Énergie hydraulique et énergie éolienne – novembre 2005
  - La séquestration du CO<sub>2</sub> – décembre 2005
  - Que penser de l'épuisement des réserves pétrolières et de l'évolution du prix du brut ? – mars 2007
3. Pour une politique audacieuse de recherche, développement et d'innovation de la France – juillet 2004
4. \*Les TIC : un enjeu économique et sociétal pour la France – juillet 2005
5. \*Perspectives de l'énergie solaire en France – juillet 2008
6. \*Des relations entre entreprise et recherche extérieure – octobre 2008
7. \*Prospective sur l'énergie au xxie siècle, synthèse de la Commission énergie et environnement, version française et anglaise, réactualisation – octobre 2008
8. \*L'énergie hydro-électrique et l'énergie éolienne – janvier 2009
9. \*Les Biocarburants – février 2010
10. \*PME, technologies et développement – mars 2010.
11. \*Biotechnologies et environnement – avril 2010
12. \*Des bons usages du Principe de précaution – février 2011
13. L'exploration des réserves françaises d'hydrocarbures de roche mère (gaz et huile de schiste) – mai 2011
14. \*Les ruptures technologiques et l'innovation – février 2012
15. \*Risques liés aux nanoparticules manufacturées – février 2012
16. \*Alimentation, innovation et consommateurs – juin 2012

## PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES

17. Vers une technologie de la conscience – juin 2012
18. Les produits chimiques au quotidien – septembre 2012
19. Profiter des ruptures technologiques pour gagner en compétitivité et en capacité d'innovation – novembre 2012 (à paraître)
20. Dynamiser l'innovation par la recherche et la technologie – novembre 2012
21. La technologie, école d'intelligence innovante. Pour une introduction au lycée dans les filières de l'enseignement général – octobre 2012 (à paraître)
22. Renaissance de l'industrie : recueil d'analyses spécifiques – juillet 2014
23. Réflexions sur la robotique militaire – février 2015
24. Le rôle de la technologie et de la pratique dans l'enseignement de l'informatique – novembre 2015
25. Le pétrole, quelles réserves, quelles productions et à quels prix ? - janvier 2017
26. L'incidence sur la santé humaine des différentes sources de production d'énergie électrique: évaluation sur les cinquante dernières années — juin 2017

### DIX QUESTIONS POSÉES À...

1. \*Les déchets nucléaires – 10 questions posées à Robert Guillaumont – décembre 2004
2. \*L'avenir du charbon – 10 questions posées à Gilbert Ruelle – janvier 2005
3. \*L'hydrogène – 10 questions posées à Jean Dhers – janvier 2005
4. \*Relations entre la technologie, la croissance et l'emploi – 10 questions à Jacques Lesourne – mars 2007
5. \*Stockage de l'énergie électrique – 10 questions posées à Jean Dhers – décembre 2007
6. \*L'éolien, une énergie du <sup>xxi</sup> siècle – 10 questions posées à Gilbert Ruelle – octobre 2008
7. \*La robotique – 10 questions posées à Philippe Coiffet, version franco-anglaise – septembre 2009
8. \*L'intelligence artificielle – 10 questions posées à Gérard Sabah – septembre 2009
9. \*La validation des acquis de l'expérience – 10 questions posées à Bernard Decomps – juillet 2012
10. Les OGM - 10 questions posées à Bernard Le Buanec - avril 2014
11. \*Comment bien se nourrir en respectant la planète et notre santé ? - 10 questions posées à Pierre Feillet - juin 2016

### GRANDES AVENTURES TECHNOLOGIQUES

1. \*Le Rilsan – par Pierre Castillon – octobre 2006
2. \*Un siècle d'énergie nucléaire – par Michel Hug – novembre 2009

### HORS COLLECTION

1. Actes de la journée en mémoire de Pierre Faure et Jacques-Louis Lions, membres fondateurs de l'Académie des technologies, sur les thèmes de l'informatique et de l'automatique – 9 avril 2002 avec le concours du CNES

2. Actes de la séance sur "Les technologies spatiales aujourd'hui et demain" en hommage à Hubert Curien, membre fondateur de l'Académie des technologies – 15 septembre 2005
3. Libérer Prométhée – mai 2011

## CO-ÉTUDES

1. Progrès technologiques au sein des industries alimentaires – La filière laitière. Rapport en commun avec l'Académie d'agriculture de France – mai 2004
2. Influence de l'évolution des technologies de production et de transformation des grains et des graines sur la qualité des aliments. Rapport commun avec l'Académie d'agriculture de France – février 2006
3. \*Longévité de l'information numérique – Jean-Charles Hourcade, Franck Laloë et Erich Spitz. Rapport commun avec l'Académie des sciences – mars 2010, EDP Sciences
4. \*Créativité et Innovation dans les territoires – Michel Godet, Jean-Michel Charpin, Yves Farge et François Guinot. Rapport commun du Conseil d'analyse économique, de la Datar et de l'Académie des technologies – août 2010, la Documentation française
5. \*Libérer l'innovation dans les territoires. Synthèse du Rapport commun du Conseil d'analyse économique, de la Datar et de l'Académie des technologies. Créativité et Innovation dans les territoires Édition de poche – septembre 2010 – réédition novembre 2010 à la Documentation française
6. \*La Métallurgie, science et ingénierie – André Pineau et Yves Quéré. Rapport commun avec l'Académie des sciences (RST) – décembre 2010, EDP Sciences.
7. Les cahiers de la ville décarbonée en liaison avec le pôle de compétitivité Advancity
8. Le brevet, outil de l'innovation et de la valorisation – Son devenir dans une économie mondialisée – Actes du colloque organisé conjointement avec l'Académie des sciences le 5 juillet 2012 éditions Tec & doc – Lavoisier
9. Quel avenir pour les biocarburants aéronautiques ? – Rapport commun avec l'Académie de l'Air et de l'Espace – juillet 2015
10. La mise en œuvre en France des techniques de séquençage de nouvelle génération. Rapport commun avec l'Académie de médecine – février 2016

