

## Chapitre 8

### Apprentissage et technologie

**Richard E. Mayer**

Université de Californie, Santa Barbara

*Richard Mayer fait valoir que nombre des affirmations relatives au potentiel de transformation des nouvelles technologies ne sont pas étayées par les données de la recherche. L'explication en est sans doute que la démarche est plus souvent axée sur la technologie que sur l'apprentissage. On peut construire une théorie solide des mécanismes d'apprentissage par la technologie sur trois grands principes : « le double canal » (traitement séparé des images et des sons), « la capacité limitée » (traitement d'un petit nombre d'images et de sons à la fois) et le « traitement actif » (l'apprentissage signifiant requiert la mise en œuvre des processus cognitifs appropriés). L'auteur analyse ces principes et postule qu'un enseignement par la technologie efficace facilite le traitement cognitif des apprenants sans surcharger leur système cognitif, cela en réduisant le traitement inutile, en contrôlant le traitement essentiel et en stimulant le traitement génératif. Il explique enfin comment atteindre cet objectif en appliquant différents principes et techniques et présente les données probantes afférentes.*

## Introduction : l'apprentissage par la technologie

Prenons les situations d'apprentissage suivantes : une étudiante s'intéresse au fonctionnement de l'appareil digestif chez l'homme. Elle allume son ordinateur portable et sélectionne l'entrée intitulée « Appareil digestif » dans une encyclopédie multimédia ; une animation commentée de 90 secondes lui permet de visualiser les différentes fonctions du système gastro-intestinal. Un deuxième étudiant se rend sur le site d'un organisme de santé publique et clique sur un article consacré à la digestion qui comporte cinq cadres de textes et d'illustrations. Enfin, un troisième étudiant trouve un jeu sur la digestion qui l'invite à se déplacer dans le monde virtuel du système digestif. Ces trois exemples illustrent l'apprentissage par la technologie – situations dans lesquelles les apprenants se servent de la technologie (cours multimédia ou jeu de simulation sur ordinateur) pour apprendre.

De nombreuses voix se font entendre pour affirmer que les nouvelles technologies pourraient transformer l'éducation et la formation, mais rares sont les affirmations qui ont été étayées par les données issues de recherches ou mises à l'épreuve dans le cadre de recherches scientifiques rigoureuses (Lowe et Schnotz, 2008 ; Mayer, 2009 ; O'Neil et Perez, 2003, 2006 ; Pyllick-Zillig, Bodvarsson et Bruning, 2005 ; Reiser et Dempsey, 2007 ; Rouet, Levonen et Biarreau, 2001 ; Spector *et al.*, 2008). Certains estiment qu'il est possible, par exemple, d'améliorer l'enseignement en mettant à la disposition des apprenants des appareils portables (du type assistants numériques personnels – PDA) ou en leur donnant accès à des jeux de réalité virtuelle ; en remplaçant l'enseignement présentiel par des cours en ligne ou même en proposant des ordinateurs portables à moindre coût à tous les enfants des pays en développement. Notre objectif, dans ce chapitre, est d'analyser les données scientifiques recueillies dans ce domaine : comment apprend-on à l'aide de la technologie (science de l'apprentissage) et comment exploiter la technologie pour faciliter l'apprentissage (science de l'enseignement).

### *Thèmes de l'apprentissage par la technologie*

Apprendre par la technologie signifie utiliser des moyens technologiques dans le but de favoriser l'apprentissage. L'intérêt actuel pour l'apprentissage par la technologie traduit ce que Lowyck (2008, p. xiii) appelle « un élan généralisé vers une (tentative d') utilisation de la technologie disponible aux fins de l'enseignement scolaire ». Dans ce domaine, les technologies d'apprentissage les plus répandues de nos jours font appel aux ordinateurs et aux technologies de l'information.

L'invention de la première automobile dotée d'un moteur à combustion interne par Karl Benz en 1885 a entraîné une révolution mondiale non seulement dans le domaine de la technologie, mais aussi

dans toutes les sphères de la vie humaine [...]. L'essor des ordinateurs personnels et des réseaux dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle a fini par [...] bouleverser la création et les échanges d'informations. Mais si le moteur à essence n'a eu aucune incidence particulière sur l'éducation, les technologies de l'information et de la communication (TIC) ont trouvé des applications dans l'apprentissage tout au long de la vie. (Lowyck, 2008, p. xiii)

Internet, en particulier, est aujourd'hui le support incontournable des cours en ligne proposés par les écoles, la formation professionnelle et l'apprentissage informel, toutes formes qu'il est convenu d'appeler « e-learning » ou apprentissage en ligne (Clark et Kwinn, 2007 ; Clark et Mayer, 2008 ; O'Neil, 2005). Le terme e-learning se réfère à l'enseignement dispensé par ordinateur.

Quelles sont aujourd'hui les formes les plus prometteuses d'apprentissage par la technologie ? Graesser *et al.* (Graesser, Chipman et King, 2008 ; Graesser et King, 2008) définissent dix types d'environnements d'apprentissage différents :

1. *Formation assistée par ordinateur* : cours, tests et feedback présentés sur un écran d'ordinateur, généralement sous un format critérié : l'apprenant ne peut passer à la section suivante que s'il a réussi le test de la section en cours.
2. *Multimédia* : cours présentés sous forme d'images (illustrations, photographies, animations ou vidéo) et de mots (textes imprimés ou prononcés).
3. *Simulation interactive* : simulations sur lesquelles l'apprenant a un certain contrôle ; il peut par exemple ralentir une animation ou entrer des paramètres, puis observer ce qui se passe.
4. *Hypertexte et hypermédia* : support pédagogique comportant des liens sur lesquels on peut cliquer, tels ceux utilisés par exemple dans les pages Web.
5. *Systèmes tutoriaux intelligents* : systèmes d'enseignement qui repèrent les connaissances de l'apprenant et font les adaptations nécessaires.
6. *Recherche documentaire par requêtes* : par exemple recherches sur le Web par l'intermédiaire de Google.
7. *Agents pédagogiques animés* : agents synthétiques à l'écran destinés à aider l'apprenant à assimiler un cours.
8. *Environnements virtuels avec agents pédagogiques* : environnements visuellement réalistes qui simulent des interactions avec des sujets réels et font souvent appel au langage naturel.

9. *Jeux sérieux* : jeux à visée pédagogique.
10. *Apprentissage collaboratif assisté par ordinateur* : des groupes d'apprenants travaillent ensemble sur une tâche commune en communiquant par ordinateur.

De même, *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (Mayer, 2005) analyse les présentations informatiques traditionnelles, ainsi que cinq environnements sophistiqués d'apprentissage assisté par ordinateur ayant fait l'objet de recherches : les agents pédagogiques animés (point 7 ci-dessus) ; la réalité virtuelle (point 8 ci-dessus) ; les jeux, les simulations et les micro-mondes (points 3 et 9 ci-dessus) ; l'hypermédia (point 4 ci-dessus) et les cours en ligne (points 1, 2 et 5 ci-dessus). Je m'intéresse plus particulièrement ici aux concepts fondamentaux et aux recherches exemplaires pertinents pour un large éventail d'environnements d'apprentissage fondés sur la technologie.

### *Deux approches de l'apprentissage par la technologie*

Le tableau 8.1 résume l'importante distinction entre la **démarche centrée sur la technologie** et la **démarche centrée sur l'apprenant**. La première met l'accent sur l'utilisation de la technologie dans l'enseignement en offrant un accès aux technologies de pointe. Le problème de cette démarche est qu'elle a produit au xx<sup>e</sup> siècle plusieurs cycles de grands projets prometteurs visant à introduire la technologie à l'école, quelques concrétisations dans les établissements scolaires et... des échecs.

**Tableau 8.1. Distinction entre démarche centrée sur la technologie et démarche centrée sur l'apprenant dans l'apprentissage par la technologie**

Démarche	Idée-force	Rôle de la technologie	Objectif
Centrée sur la technologie	Ce que la technologie peut faire	Offrir un accès à l'instruction	Utiliser la technologie pour enseigner
Centrée sur l'apprenant	Comment fonctionne l'esprit humain	Soutenir les apprentissages	Adapter la technologie pour favoriser l'apprentissage

Dans les années 20 par exemple, la technologie de pointe dans l'éducation était le cinématographe. À cette époque, Thomas Edison prévoyait que « le film allait révolutionner notre système éducatif » et que « les livres seraient bientôt dépassés dans nos écoles » (Cuban, 1986, p. 9-11). Pourtant le recours au film en classe reste rare. Dans les années 30 et 40, la technologie en vogue était la radio, dont les promoteurs prédisaient qu'elle ferait « entrer le monde

dans la classe » et prévoyaient que « le transistor serait aussi courant que le tableau noir dans la classe » (Cuban, 1986, p. 19). En dépit de valeureuses tentatives pour développer « l'école des ondes », la radio n'a jamais véritablement trouvé sa place à l'école. Les années 50 ont mis la télévision éducative au premier plan, un outil qui devait, paraît-il, révolutionner l'enseignement, en vain (Cuban, 1986). Dans les années 60, l'enseignement programmé par ordinateur était présenté comme une technologie révolutionnaire, mais là encore, malgré d'importants efforts de développement tels que les programmes PLATO et TICCIT, l'enseignement programmé n'a pas eu le retentissement espéré (Cuban, 1986 ; 2001). À la fin du xx<sup>e</sup> siècle, les projecteurs se sont tournés vers les technologies de l'information considérées comme le dernier cri de la technologie éducative et qui allaient apporter des changements majeurs dans l'éducation, mais Cuban (2001, p. 195) conclut : « l'introduction des technologies de l'information à l'école au cours de deux dernières décennies n'a pas transformé l'enseignement ou l'apprentissage, ni permis les gains de productivité que les dirigeants d'entreprise, les responsables publics, les parents, les universitaires et les éducateurs réclamaient de leurs vœux ».

En 1990, Saettler (1990/2004) donnait sa vision des technologies de pointe qui seraient mises en place à l'école ; il citait en particulier la télévision éducative, l'enseignement assisté par ordinateur, les systèmes multimédias interactifs et les systèmes tutoriaux intelligents. Il faisait toutefois observer qu'aucun de ces outils n'avait encore apporté de réelle amélioration dans l'enseignement. Quel est le défaut de la démarche centrée sur la technologie ? La réponse est qu'elle ne tient pas compte de l'apprenant et postule que les apprenants et les enseignants s'adapteront aux exigences des nouvelles technologies et non l'inverse (Norman, 1993).

En revanche, adopter une démarche centrée sur l'apprenant c'est s'intéresser d'abord aux mécanismes de l'apprentissage et considérer la technologie comme simple support. Il s'ensuit que la technologie doit s'adapter aux besoins de l'apprenant et de l'enseignant, une exigence souvent absente des esprits lorsque l'objectif est avant tout d'offrir aux apprenants un accès aux nouvelles technologies. À l'heure où nous cherchons comment introduire l'ordinateur et les technologies de l'information à l'école du XXI<sup>e</sup> siècle, il n'est pas inutile d'analyser cette observation de Saettler (1990/2004, p. 538) : « le défaut majeur des futurologues est de prédire l'avenir sans se référer au passé, ou si peu ». En résumé, la plupart des prévisions optimistes d'hier sur l'impact de la technologie pédagogique ne se sont jamais concrétisées. Cette histoire décevante me pousse à adopter une approche de l'apprentissage par la technologie centrée sur l'apprenant.

## Science de l'apprentissage : les mécanismes de l'apprentissage par la technologie

Il est indispensable de bien connaître les mécanismes de l'apprentissage pour asseoir sa pratique pédagogique et être ainsi en mesure d'exploiter la technologie avec la plus grande efficacité. Dans ce chapitre, j'étudie les apports de la science de l'apprentissage dans ce domaine.

### *Qu'est-ce que la science de l'apprentissage ?*

La science de l'apprentissage est l'étude scientifique des mécanismes par lesquels on apprend. La plupart des pratiques éducatives qui s'inscrivent dans une démarche d'apprentissage par la technologie se fondent sur l'avis d'experts ou ce qu'on considère comme les meilleures pratiques. La science de l'apprentissage ne repose pas sur des avis ou des modes, mais sur des bases scientifiques.

### *Qu'est-ce qu'apprendre ?*

L'apprentissage est une modification durable des connaissances de l'apprenant attribuable à l'expérience. Cette définition comporte trois volets : (a) l'apprentissage est une modification durable ; (b) ce qui est modifié ce sont les connaissances de l'apprenant et (c) c'est l'expérience vécue par l'apprenant qui opère la modification.

La connaissance est au cœur de l'apprentissage. Les chercheurs en sciences cognitives et en sciences de l'éducation (Anderson *et al.*, 2001 ; Mayer, 2008) ont isolé cinq types de savoirs indispensables à la réussite dans la plupart des disciplines :

- *Les faits* : énoncés de caractéristiques ou d'un état, par exemple « la Terre est la troisième planète du système solaire ».
- *Les concepts* : catégories, modèles, schémas ou principes, par exemple « dans le nombre 23, le chiffre 2 correspond aux dizaines ».
- *Les procédures* : étapes d'un processus menant à un résultat, par exemple connaître la procédure pour calculer  $22 \times 115 = \dots$ .
- *Les stratégies* : méthodes générales, par exemple « décomposer un problème en tâches plus petites ».
- *Les croyances* : représentations cognitives que l'individu a de son apprentissage, par exemple « je ne suis pas bon en statistiques ».

Dans ce domaine, les acquis de l'apprenant constituent sans doute la dimension la plus importante : Kalyuga (2005) a montré que des méthodes pédagogiques qui ont fait leurs preuves avec des apprenants en déficit de compétences peuvent s'avérer inefficaces avec les bons élèves, voire leur être préjudiciable.

### *Qu'est-ce qu'apprendre par la technologie ?*

L'apprentissage par la technologie implique des situations d'apprentissage dans lesquelles l'expérience pédagogique se construit avec le support d'un instrument tel que l'ordinateur ou Internet. En un sens, la quasi-totalité des apprentissages intègrent de la technologie. Dans un cours traditionnel par exemple, l'enseignant peut utiliser la craie et le tableau noir, une technologie certes ancienne mais fiable. De même, on peut considérer le cahier comme une sorte de technologie, même si son histoire remonte à plus de cinq cents ans. Dans ce chapitre, je m'intéresse plus particulièrement à la technologie informatique. L'une des caractéristiques importantes de l'informatique, et probablement l'un des ses avantages à condition de l'employer à bon escient, est de permettre de présenter les messages sous forme multimédia (Mayer, 2001, 2009) : les messages pédagogiques se composent de mots (prononcés ou écrits) et d'images (animations, vidéo, illustrations ou photographies). L'informatique offre également différents niveaux d'interactivité, une puissance de calcul, une possibilité de représentation graphique et de recherche d'informations qui n'auraient pas été possibles autrement.

### *Les mécanismes de l'apprentissage*

Au fil des cent dernières années, les psychologues et les pédagogues ont élaboré trois visions de l'apprentissage que j'appelle les trois « métaphores de l'apprentissage » (Mayer, 2001, 2009 ; voir également De Corte dans ce volume). Comme le montre la première ligne du tableau 8.2, la vision de *l'apprentissage par renforcement*, qui s'est développée dans la première moitié du xx<sup>e</sup> siècle, repose sur l'idée que l'apprentissage implique le renforcement ou l'affaiblissement d'associations. Lorsqu'une réponse est récompensée, son **association** avec la situation se renforce, alors que si elle est punie, elle s'affaiblit. On peut utiliser la technologie pour solliciter les réponses et récompenser ou punir l'apprenant, comme le font les exercices.

Tableau 8.2. **Trois métaphores du mécanisme d'apprentissage**

Métaphore	Apprenant	Enseignant	Rôle de la technologie
Renforcement	Réceptacle passif de récompenses et de punitions	Distributeur de récompenses et de punitions	Solliciter la réponse, donner un feedback
Acquisition d'informations	Réceptacle passif d'informations	Diffuseur d'informations	Donner accès aux informations
Construction des savoirs	Créateur de sens et constructeur de connaissances	Guide cognitif	Guider le traitement cognitif au cours de l'apprentissage

Par exemple, lorsque l'opération «  $2 + 5 = \_ \_$  » s'affiche, si l'apprenant saisit « 7 », des applaudissements retentissent en guise de récompense.

La conception de l'apprentissage comme *acquisition d'informations*, à la deuxième ligne du tableau 8.2, est apparue au milieu du  $xx^e$  siècle. Elle postule que l'apprentissage consiste à ajouter des connaissances dans la mémoire de l'apprenant. Lorsque l'enseignant présente une information, l'apprenant l'enregistre en mémoire. Ici, le rôle de la technologie est d'offrir à l'apprenant un accès aux informations, sous forme d'une encyclopédie multimédia ou d'une présentation PowerPoint par exemple.

Dans la conception de l'apprentissage comme *construction des savoirs* (en bas du tableau 8.2), qui s'est imposée dans les dernières décennies du  $xx^e$  siècle, il y a apprentissage lorsque l'apprenant construit une représentation cognitive des informations présentées à partir de son expérience. L'apprenant est un constructeur de sens qui s'efforce de comprendre le matériel présenté, tandis que l'enseignant guide le traitement cognitif de l'apprenant au cours de l'apprentissage. Dans ce cadre-là, la technologie ne sert pas uniquement à présenter des informations, mais aussi à guider le traitement cognitif pendant d'apprentissage.

Ces trois visions de l'apprentissage ont certes eu une forte influence sur le développement des technologies éducatives, mais je me concentre ici sur la construction des savoirs car mon objectif est bien de favoriser des apprentissages signifiants. Avec la révolution cognitive, comme Saettler le note dans son historique exhaustif des technologies éducatives : « l'apprenant devient acteur du processus d'acquisition et d'appropriation des savoirs » (1990/2004, p. 15). Le concept d'apprentissage actif a des implications importantes pour l'apprentissage par la technologie, comme nous le verrons ci-après.

### *Les mécanismes de l'apprentissage par la technologie*

La théorie sur les mécanismes d'apprentissage par la technologie s'inspire de trois grands principes issus de la recherche en sciences cognitives :

- **Double canal** : le cerveau humain dispose de deux canaux distincts pour traiter les informations verbales et visuelles (Paivio, 1986, 2007).
- **Capacité limitée** : le cerveau humain ne peut traiter qu'une petite quantité d'informations à la fois dans chaque canal (Baddeley, 1999 ; Sweller, 1999).
- **Traitement actif** : l'apprentissage est signifiant lorsque l'apprenant met en œuvre un processus cognitif approprié, par exemple se concentrer sur les informations utiles, les organiser en une représentation cohérente et les intégrer aux connaissances pertinentes déjà acquises (Mayer, 2008 ; Wittrock, 1989).

Ces trois principes s'inscrivent dans la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia illustrée à la figure 8.1 (Mayer, 2001, 2009), un modèle de traitement des informations applicable à l'apprentissage par la technologie. Le système de traitement de l'information met trois types de mémorisation en jeu :

- **Mémoire sensorielle** : retient toutes les informations visuelles qu'elle reçoit (« mémoire sensorielle visuelle ») et tous les sons entendus (« mémoire sensorielle auditive ») pendant une courte durée.
- **Mémoire de travail** : retient un nombre limité de mots et d'images sélectionnés pour traitement ultérieur.
- **Mémoire à long terme** : système de stockage illimité des connaissances.

Comme l'illustre la partie gauche de la figure 8.1, les images et les mots écrits pénètrent dans le système cognitif de l'apprenant par le canal visuel et sont brièvement retenus dans la mémoire sensorielle visuelle, alors que les mots prononcés pénètrent le système par le canal auditif et sont retenus brièvement dans la mémoire sensorielle auditive. Lorsque l'apprenant prête attention aux informations visuelles qu'il reçoit, certaines sont transférées dans la mémoire de travail pour être traitées ultérieurement, comme l'indique la flèche *sélection des images*, les informations auditives subissant le même traitement, comme indiqué par la flèche *sélection des mots*. Les mots présentés visuellement peuvent être convertis et placés dans le canal auditif de la mémoire de travail, d'où la flèche *images-sons* au niveau de la mémoire de travail de la figure 8.1. La flèche *organisation des images* illustre comment les apprenants peuvent construire un modèle imagé en organisant mentalement les images pour former une représentation cohérente et de même, comme l'indique la flèche *organisation des mots*, les apprenants peuvent construire un modèle verbal en organisant mentalement les mots en une représentation cohérente. Enfin, les apprenants peuvent établir des liens entre les modèles verbaux et imagés, mais aussi avec les connaissances utiles qu'ils détiennent dans leur mémoire à long terme, comme illustré par les flèches *intégration*. Le

Figure 8.1. Théorie cognitive de l'apprentissage multimédia

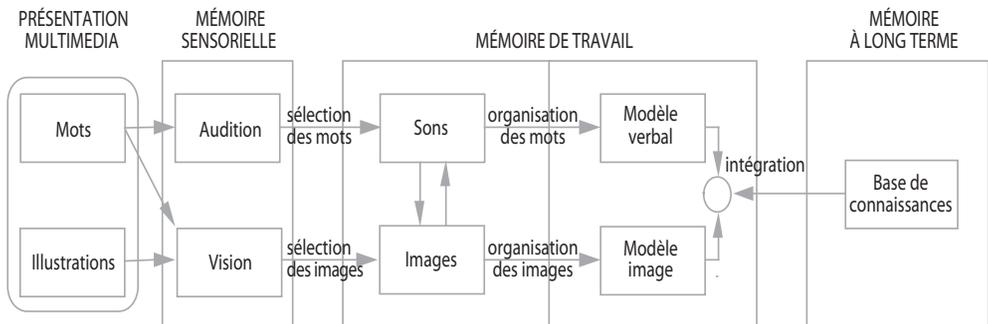


tableau 8.3 fait la synthèse des trois formes de traitement cognitif actif nécessaires à un apprentissage signifiant à l'aide des technologies multimédias : **sélection, organisation et intégration.**

**Tableau 8.3. Les trois processus cognitifs en jeu pour un apprentissage actif par la technologie**

Processus	Description	Localisation
Sélection	Attention portée aux mots et images pertinents	Transfert des informations de la mémoire sensorielle à la mémoire de travail
Organisation	Organisation des mots et images sélectionnés pour former des représentations mentales cohérentes	Manipulation des informations dans la mémoire de travail
Intégration	Mise en lien des représentations verbales et graphiques avec les connaissances antérieures	Transfert des informations de la mémoire à long terme à la mémoire de travail

## Science de l'enseignement : comment favoriser l'apprentissage par la technologie

J'analyse ici l'apport de la science de l'enseignement à la compréhension des mécanismes susceptibles de favoriser l'apprentissage par la technologie.

### *Qu'est-ce que la science de l'enseignement ?*

La science de l'enseignement est l'étude scientifique des processus conduisant à une modification cognitive chez l'apprenant. L'une de ses visées essentielles est de définir des principes basés sur des données probantes afin d'adapter l'enseignement à des catégories particulières d'apprenants et à des objectifs pédagogiques particuliers. Dans le même esprit, la pratique scientifiquement fondée se réfère aux pratiques ancrées dans des recherches empiriques.

### *Qu'est-ce que l'enseignement ?*

L'enseignement est la manipulation, par l'enseignant, de l'environnement de l'apprenant en vue de favoriser l'apprentissage. Il met en jeu : (1) une manipulation des représentations mentales de l'apprenant et (2) une intention de provoquer l'apprentissage. Une « méthode pédagogique » est une technique destinée à favoriser l'apprentissage, par exemple en démontrant comment résoudre un problème (méthode d'apprentissage par les problèmes résolus) ou en demandant aux apprenants de résoudre les problèmes par eux-mêmes (méthode d'apprentissage par la découverte). Un objectif pédagogique énonce

le changement cognitif visé chez l'apprenant, par exemple être capable d'additionner ou de soustraire des nombres algébriques à un chiffre, c'est-à-dire qu'il décrit ce que l'on attend de l'apprenant.

On mesure généralement l'efficacité de l'enseignement par des tests de mémorisation dans lesquels l'apprenant doit restituer ou reconnaître ce qui a été présenté, et par des tests de transfert dans lesquels l'apprenant est amené à résoudre des problèmes en utilisant les informations de manière nouvelle. Le tableau 8.4 présente trois types de résultats obtenus : aucun apprentissage, faibles capacités de mémorisation et de transfert ; apprentissage par cœur, bonne mémorisation et faible capacité de transfert ; et apprentissage signifiant, bonnes capacités de mémorisation et de transfert. Je m'intéresse dans ce chapitre à l'apprentissage signifiant et donc aux tests de transfert.

Tableau 8.4. **Trois types de résultats d'apprentissage**

Résultat de l'apprentissage	Description cognitive	Score au test de mémorisation	Score au test de transfert
Aucun apprentissage	Aucune connaissance	Faible	Faible
Apprentissage par cœur	Connaissances fragmentées	Bon	Faible
Apprentissage efficace	Connaissances assimilées	Bon	Bon

### *Qu'est-ce que l'enseignement par la technologie ?*

Ce type d'enseignement fait appel à la technologie, à savoir l'ordinateur et les technologies de l'information. Il recouvre à la fois les **supports, ou médias, pédagogiques**, dispositifs physiques utilisés pour l'enseignement, et les **méthodes pédagogiques**, façon de présenter les informations à l'apprenant. Comme le montre le tableau 8.5, les recherches sur les médias s'intéressent au support pédagogique le plus approprié à l'objectif visé pour une catégorie particulière d'apprenants ; elles cherchent à établir, par exemple, si l'ordinateur est plus efficace que le manuel pour enseigner l'arithmétique à

Tableau 8.5. **Distinction entre médias et méthodes dans l'apprentissage par la technologie**

Type de recherche	Orientation de la recherche	Question posée	Exemple
Recherche sur les médias	Axée sur les moyens physiques	Quel est le support pédagogique le plus adapté ?	Les ordinateurs sont-ils plus efficaces que les livres ?
Recherche sur les méthodes	Axée sur les méthodes pédagogiques	Quelle est la méthode pédagogique la plus adaptée ?	La découverte est-elle plus importante que l'enseignement direct ?

des débutants. En revanche, les recherches consacrées aux méthodes pédagogiques visent à déterminer le meilleur moyen de présenter des informations aux apprenants (Mayer, 2008).

La recherche sur les médias a déjà une longue histoire derrière elle (Saettler, 1990/2004) et les universitaires en sont arrivés à la conclusion que toute nouvelle recherche dans ce domaine serait vaine (Clark, 2001). En effet, ces recherches se heurtent au fait que l'apprentissage est le fruit d'une méthode pédagogique et non d'un support particulier : on peut concevoir une démarche efficace ou inefficace, que l'on utilise un ordinateur ou un manuel par exemple. Ainsi, Moreno et Mayer (2002) ont démontré que l'efficacité d'une méthode pédagogique peut être la même avec différents supports, par exemple simulation par ordinateur ou simulation immersive de scènes virtuelles. S'intéresser au support n'a véritablement de sens que si la méthode pédagogique envisagée ne peut être mise en œuvre autrement. En résumé, si les supports pédagogiques peuvent être la caractéristique la plus visible de l'apprentissage par la technologie, **c'est la méthode pédagogique utilisée qui permet l'apprentissage.**

### *Les mécanismes de l'enseignement par la technologie*

Le tableau 8.6 résume trois types de sollicitation des capacités cognitives de l'apprenant : *traitement inutile*, *traitement essentiel* et *traitement génératif*. Le traitement inutile, que Sweller (1999) appelle « charge cognitive inutile » (« *extraneous cognitive load* »), est le traitement cognitif en cours d'apprentissage qui ne soutient pas l'objectif pédagogique et qui résulte d'une mauvaise présentation ou d'informations étrangères à la tâche. Par exemple, lorsque le texte et le schéma correspondant ne figurent pas sur la même page, le fait de passer sans cesse d'une page à l'autre engendre un traitement inutile. Ainsi, le premier objectif d'un design pédagogique impliquant la technologie est de **réduire le traitement inutile en conservant un cadre d'apprentissage aussi simple que possible.**

Le traitement essentiel (que Sweller, 1999, appelle « charge cognitive intrinsèque », « *intrinsic cognitive load* ») est le traitement cognitif intervenant au cours de l'apprentissage, qui vise à se représenter mentalement les informations essentielles ; il résulte de la complexité inhérente aux informations présentées. Le deuxième objectif du design pédagogique est donc de **contrôler le traitement essentiel.**

Le traitement génératif (que Sweller, 1999, appelle « charge cognitive pertinente », « *germane cognitive load* ») est le processus cognitif visant à organiser mentalement les informations et à les intégrer aux autres connaissances utiles. Par exemple, une animation rapide présentant la formation des orages comporte de nombreux événements imbriqués qui risquent de surcharger le système cognitif de l'apprenant. Même lorsque ce dernier possède une

capacité cognitive suffisante, il risque de ne pas faire l'effort nécessaire pour en dégager le sens, peut-être tout simplement par manque d'intérêt. Ainsi, le troisième objectif du design pédagogique est **de favoriser le traitement génératif**.

La principale difficulté de l'enseignement par la technologie est de soutenir le traitement cognitif actif au cours de l'apprentissage (traitement essentiel et traitement génératif) sans surcharger les capacités cognitives de l'apprenant.

En résumé, ce modèle de traitement de la charge cognitive nous permet de définir trois grands objectifs de l'enseignement par la technologie : (a) réduire le traitement inutile, (b) contrôler le traitement essentiel et (c) favoriser le traitement génératif.

**Tableau 8.6. Les mécanismes de l'enseignement par la technologie**

Trois types de sollicitation des capacités cognitives de l'apprenant en cours d'apprentissage

Type de traitement	Description	Processus d'apprentissage
Inutile	Traitement cognitif ne contribuant pas à l'objectif du cours ; s'explique par un piètre design pédagogique	Aucun
Essentiel	Traitement cognitif de base nécessaire pour se représenter mentalement les informations présentées ; s'explique par la complexité inhérente aux informations	Sélection
Génératif	Traitement cognitif profond nécessaire pour dégager le sens des informations présentées ; s'explique par l'envie qu'a l'apprenant de faire l'effort d'apprendre	Organisation et intégration

## Le design pédagogique dans l'enseignement par la technologie

Examinons ce qui se passe lorsqu'on apprend à l'aide d'une animation narrative en ligne, une présentation multimédia ou un jeu éducatif sur ordinateur. Cette section présente une synthèse de douze principes de design pédagogique scientifiquement fondés pour ces trois environnements d'apprentissage. Chacun de ces principes s'appuie sur une série de comparaisons expérimentales (Mayer, 2009) dans lesquelles un groupe d'apprenants a suivi un cours basé sur le principe de design pédagogique analysé (groupe étudié) tandis qu'un autre groupe suivait un cours identique, mais non fondé sur ce principe (groupe témoin). Nous avons calculé l'ampleur de l'effet (*d*) en soustrayant le score moyen au test de transfert du groupe témoin au score moyen au test de transfert du groupe étudié puis en divisant le résultat obtenu par l'écart-type commun. Selon Cohen (1988), une valeur d'effet est importante

lorsqu'elle atteint 0,8, moyenne lorsqu'elle ressort à 0,5 et insignifiante lorsqu'elle est égale à 0,2. Je me suis donc plus particulièrement intéressé aux principes de design pédagogique susceptibles de produire des effets importants (à savoir supérieurs ou égaux à 0,8).

### *Techniques visant à réduire le traitement inutile*

Un important obstacle à l'apprentissage par la technologie apparaît lorsque l'intensité du traitement cognitif nécessaire excède la capacité cognitive de l'apprenant. Un message pédagogique mal conçu ou contenant des informations hors sujet en particulier oblige l'apprenant à mobiliser des ressources cognitives, ce qui diminue celles dont il dispose pour le traitement essentiel et génératif véritablement utile à l'apprentissage. Par exemple, une leçon sur la digestion peut s'accompagner d'anecdotes sur les avaleurs de sabre ou les sondes gastriques, certes intéressantes mais inutiles. Le tableau 8.7 présente cinq techniques visant à réduire le traitement inutile : le « principe de cohérence », le « principe de signalisation », le « principe de redondance », le « principe de contiguïté spatiale » et le « principe de contiguïté temporelle ».

On illustre le « principe de cohérence » en comparant les performances des apprenants ayant suivi, pour les uns, un cours comportant des informations hors sujet, par exemple des anecdotes intéressantes, des photos qui accrochent le regard, une musique de fond ou des détails de calcul et, pour les autres, un cours ne contenant que les mots et les images essentiels. Comme l'indique la première ligne du tableau 8.7, dans 13 comparaisons sur 14 portant sur un cours consacré à la formation de la foudre, au fonctionnement des freins ou aux vagues, les élèves obtiennent de meilleurs résultats aux tests de transfert lorsque la séance ne comporte pas d'informations inutiles, l'effet médian relevé étant important. Lorsqu'il n'est pas possible de supprimer les

**Tableau 8.7. Cinq principes fondés sur la théorie et l'expérience pour réduire le traitement inutile**

Principe	Définition	Ampleur de l'effet	Nombre de tests
Cohérence	Les informations non pertinentes doivent être limitées.	0,97	13 sur 14
Signalisation	Les informations essentielles sont mises en évidence.	0,52	6 sur 6
Redondance	Aucun texte ne doit être ajouté à l'écran sur une animation narrative.	0,72	5 sur 5
Contiguïté spatiale	Le texte est placé à proximité des graphiques correspondants.	1,12	5 sur 5
Contiguïté temporelle	La narration et l'animation correspondante sont présentées simultanément.	1,31	8 sur 8

informations parasites, la solution est de mettre l'information essentielle en évidence (titres, soulignement, caractères gras), suivant le « principe de signalisation ». La deuxième ligne du tableau 8.7 fait apparaître que, dans les six comparaisons consacrées à la portance d'un avion, à la foudre ou à la biologie, les élèves réussissent mieux les tests de transfert lorsque les informations essentielles sont mises en évidence (signalées) que lorsqu'elles ne le sont pas, l'effet relevé étant moyen.

Les autres lignes du tableau 8.7 montrent que les élèves ont de meilleurs résultats aux tests de transfert lorsque l'animation et la narration correspondante sont présentées seules, que lorsqu'elles sont associées et doublées d'un texte reprenant les informations (« principe de redondance »); lorsque le texte explicatif se situe en regard du graphique plutôt que sous forme de légende placée en dessous ou sur une autre page (« principe de contiguïté spatiale ») et lorsque la narration et l'animation sont présentées simultanément plutôt que séparément (« principe de contiguïté temporelle »).

Bref, une visée pédagogique importante est de limiter la nécessité de traitement inutile en situation d'apprentissage pour que l'apprenant puisse mettre en œuvre ses capacités cognitives au service d'un traitement essentiel et génératif.

### ***Techniques visant à contrôler le traitement essentiel***

Même si nous parvenons à éliminer le traitement inutile, un autre obstacle à l'apprentissage par la technologie se fait jour lorsque le traitement cognitif essentiel nécessaire excède la capacité cognitive de l'apprenant. Cette situation de « surcharge essentielle » (« *essential overload* ») se rencontre lorsque les informations à absorber sont complexes et que l'apprenant ne dispose pas des connaissances préalables suffisantes pour les organiser. Contrairement aux exemples superflus, il est impossible de supprimer les informations essentielles; l'apprenant a besoin d'être guidé pour construire une représentation mentale à partir d'un document complexe. Le tableau 8.8 résume trois techniques de contrôle du traitement essentiel : le « principe de segmentation », le « principe de préformation » et le « principe de modalité ».

On peut comprendre le « principe de segmentation » en comparant les acquisitions résultant d'un cours mettant en œuvre une animation avec narration présentée sans interruption (groupe témoin) et un autre segmenté en petites unités où l'apprenant a la possibilité de contrôler le rythme de la présentation (groupe étudié), comme illustré à la première ligne du tableau 8.8. Dans trois comparaisons expérimentales sur trois portant sur des cours consacrés au phénomène de la foudre ou au fonctionnement d'un moteur électrique, les résultats aux tests de transfert sont meilleurs lorsque les animations commentées sont segmentées; l'effet observé est important.

**Tableau 8.8. Trois principes applicables au traitement essentiel fondés sur la théorie et les données**

Principe	Définition	Valeur de l'effet	Nombre de tests
Segmentation	Présentation d'animation en segments adaptés au rythme de l'apprenant	0,98	3 sur 3
Préformation	Formation préalable à la désignation, à la localisation et aux caractéristiques des principales composantes	0,85	5 sur 5
Modalité	Texte présenté sous forme verbale plutôt qu'écrite	1,02	17 sur 17

Lorsque les données essentielles d'un cours ne peuvent pas être segmentées, l'alternative est de donner à l'apprenant des informations préalables destinées à nommer les principaux concepts ou éléments du cours et à en préciser les caractéristiques, ce que l'appelle le « principe de préformation ». La deuxième ligne du tableau montre que dans cinq comparaisons expérimentales sur cinq portant sur le fonctionnement des freins, d'une pompe ou sur des questions de géologie, les élèves ayant suivi une formation préalable réussissent mieux que les autres ; dans ce cas aussi, l'effet enregistré est important.

Enfin, le canal visuel peut être surchargé par le traitement essentiel lorsqu'une animation rapide est associée à des sous-titres concomitants à l'écran. Le « principe de modalité » implique de présenter le texte verbalement afin de décharger une partie du traitement essentiel du canal visuel sur le canal auditif (3<sup>e</sup> ligne du tableau 8.8). Dans les 17 comparaisons expérimentales réalisées portant sur des thèmes liés à la foudre, au fonctionnement des freins, d'une pompe, d'un moteur électrique, aux avions, à des questions de biologie ou d'écologie, les élèves obtiennent de meilleurs résultats aux tests de transfert lorsque l'animation est associée à une narration que lorsque l'animation s'accompagne d'un texte à l'écran. La valeur de l'effet obtenue est ici encore élevée. En bref, un des buts pédagogiques importants est de guider le traitement essentiel de l'élève afin de minimiser les sollicitations de ses capacités cognitives.

### ***Techniques favorisant le traitement génératif***

Les techniques précédentes visent à faire en sorte que le traitement cognitif nécessaire à un apprentissage signifiant ne vienne pas surcharger la capacité cognitive de l'apprenant. Il peut néanmoins arriver que l'apprenant, tout en disposant de la capacité cognitive requise, ne soit pas disposé à faire les efforts de « traitement génératif » nécessaires à un apprentissage approfondi. Les concepteurs d'outils pédagogiques sont donc confrontés à une troisième difficulté : encourager les apprenants à se livrer à un traitement génératif. Le tableau 8.9 présente deux techniques destinées à favoriser ce

traitement génératif : le « principe du multimédia » et le « principe de personnalisation ». Le « principe du multimédia » part de l'idée que l'on apprend plus en profondeur lorsqu'on est encouragé à construire des liens entre les mots et les images (par exemple faire correspondre une animation à une narration). Comme illustré à la première ligne du tableau 8.9, dans les onze comparaisons expérimentales réalisées, les élèves obtiennent de meilleurs résultats aux tests de transfert lorsque les mots sont associés à des images que lorsque le texte est seul ; la valeur de l'effet observé est élevée.

Le « principe de personnalisation » se fonde sur l'idée que l'apprenant intensifie son effort pour donner un sens aux messages pédagogiques reçus s'il a l'impression d'être engagé dans une interaction sociale, par exemple lorsqu'on s'adresse à lui à la première ou la deuxième personne. Comme on peut le constater à la deuxième ligne du tableau 8.9, dans les 11 comparaisons expérimentales réalisées portant sur des thèmes tels que la foudre, la botanique, les poumons et l'ingénierie, les apprenants obtiennent de meilleurs résultats aux tests de transfert lorsque le narrateur adopte le mode conversationnel de préférence à la troisième personne, plus formelle. La valeur d'effet obtenue est là encore élevée. D'autres techniques permettent de motiver les apprenants et de les encourager à traiter les informations présentées plus en profondeur, par exemple les jeux éducatifs (O'Neil et Perez, 2008) et les agents pédagogiques animés (Moreno, 2005). D'autres recherches devront néanmoins être menées sur les mécanismes susceptibles de faciliter des traitements plus profonds chez l'apprenant.

D'autres questions ont fait l'objet de recherches, en particulier le rôle de l'animation (Lowe et Schnotz, 2008), l'interactivité (Betracourt, 2005), la collaboration (Jonassen, Lee, Yang et Laffey, 2005), les exemples résolus (Renkl, 2005), la découverte (de Jong, 2005), et la motivation (Moreno et Mayer, 2007).

**Tableau 8.9. Deux principes applicables au traitement génératif fondés sur la théorie et les données**

Principe	Définition	Valeur de l'effet	Nombre de tests
Multimédia	Présentation de mots et d'images de préférence à des mots seuls	1,39	11 sur 11
Personnalisation	Présentation de mots en mode conversationnel de préférence à un style formel	1,11	11 sur 11

## Résumé

L'apprentissage par la technologie comprend l'apprentissage à partir d'une encyclopédie en ligne, d'une présentation multimédia ou d'un jeu informatique. Les formes les plus répandues sont la formation assistée par ordinateur, le multimédia, la simulation interactive, l'hypermédia, les systèmes tutoriaux intelligents, la recherche documentaire par requêtes, les jeux, l'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur, les agents pédagogiques animés, les environnements virtuels et les cours en ligne. Les méthodes centrées sur la technologie mettent l'accent sur la technologie dans l'enseignement, alors que les méthodes centrées sur l'apprenant visent à adapter la technologie pour en faire un outil cognitif à la disposition de l'apprenant.

Comment apprend-on ? Pour que l'apprentissage soit signifiant, l'apprenant doit activer des stratégies cognitives appropriées au cours de l'apprentissage. Il doit notamment sélectionner les informations pertinentes dans le document qui lui est présenté, organiser les informations reçues en une représentation mentale cohérente et intégrer ces dernières aux connaissances précédemment acquises. Ce traitement intervient au niveau de la mémoire de travail, mémoire de capacité limitée dotée de deux canaux distincts pour traiter les informations visuelles et verbales. L'apprentissage est une modification durable des connaissances d'un individu acquises par l'expérience.

Comment favoriser l'apprentissage à l'aide de la technologie ? Un enseignement par la technologie efficace vise à aider l'apprenant à engager un traitement cognitif approprié sans pour autant surcharger son système cognitif. Ce but essentiel peut être atteint en réduisant le traitement inutile, en contrôlant le traitement essentiel et en favorisant le traitement génératif. L'enseignement est la manipulation de l'environnement de l'apprenant en vue de stimuler l'apprentissage. Ce sont les méthodes pédagogiques, et non les supports, qui permettent l'apprentissage.

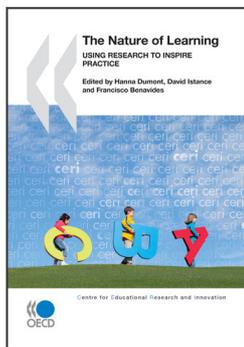
Les techniques pédagogiques efficaces pour réduire le traitement inutile s'inspirent de l'un ou l'autre des principes suivants : principes de cohérence, de signalisation, de redondance, de contiguïté spatiale et temporelle. Les techniques efficaces mettent en œuvre les principes de « segmentation », de « préformation » et de « modalité » pour contrôler le traitement essentiel, et les principes de « multimédias » et « personnalisation » pour favoriser le traitement génératif.

## *Bibliographie*

- Anderson, L.W., et D. Krathwohl (2001), *A Taxonomy of Learning for Teaching : A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*, Longman, New York.
- Baddeley, A. (1999), *Human Memory*, Allyn and Bacon, Boston.
- Betracourt, M. (2005), « The Animation and Interactivity Principles in Multimedia Learning », R.E. Mayer (éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, pp. 287-296.
- Clark, R.C. et A. Kwinn (2007), *The New Virtual Classroom*, Pfeiffer, San Francisco.
- Clark, R.C. et R.E. Mayer (2008), *E-Learning and the Science of Instruction* (2<sup>e</sup> édition), Pfeiffer, San Francisco.
- Clark, R.E. (2001), *Learning from Media*, Information, Greenwich, CT.
- Cohen, J. (1988), *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Cuban, L. (1986), *Teachers and Machines : The Classroom Use of Technology Since 1920*, Teachers College Press, New York.
- Cuban, L. (2001), *Oversold and Underused : Computers in the Classroom*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- De Jong, T. (2005), « The Guided Discovery Principle in Multimedia Learning », R.E. Mayer (éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, pp. 215-228.
- Graesser, A.C., P. Chipman et B.G. King (2008), « Computer-Mediated Technologies », J.M. Spector, *et al.* (éd.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (3<sup>e</sup> édition), Erlbaum, New York, pp. 211-224.

- Graesser, A.C. et B. King (2008), « Technology-Based Training », J.J. Blascovich et C.R. Hartel, *Human Behavior in Military Contexts*, National Academies Press, Washington, DC, pp. 127-149
- Jonassen, D. H., C.B. Lee, C.C. Yang et J. Laffey (2005), « The Collaboration Principle in Multimedia Learning », R.E. Mayer (éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, pp. 247-270.
- Kalyuga, S. (2005), « The Prior Knowledge Principle in Multimedia Learning », R.E. Mayer (éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, pp. 325-228.
- Lowe, R. et W. Schnotz (2008), *Learning with Animation : Research Implications for Design*, Cambridge University Press, New York.
- Lowyck, J. (2008), « Foreword », J.M. Spector *et al.* (éd.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (3<sup>e</sup> édition), Erlbaum, New York, pp. xiii-xv.
- Mayer, R.E. (2001), *Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York.
- Mayer, R.E. (éd.) (2005), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York.
- Mayer, R.E. (2008), *Learning and Instruction* (2<sup>e</sup> édition), Merrill Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Mayer, R.E. (2009), *Multimedia Learning* (2<sup>e</sup> édition), Cambridge University Press, New York.
- Moreno, R. (2005), « Multimedia Learning with Animated Pedagogical Agents », R.E. Mayer (éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, pp. 507-524.
- Moreno, R.E. et R.E. Mayer (2002), « Learning Science in Virtual Reality Environments : Role of Methods and Media », *Journal of Educational Psychology*, vol. 94, n° 3, pp. 598-610.
- Moreno, R. et R.E. Mayer (2007), « Interactive Multimodal Learning Environments », *Educational Psychology Review*, vol. 19, n° 3, pp. 309-326.
- Norman, D.A. (1993), *Things that Make us Smart*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- O'Neil, H.F. (éd.) (2005), *What Works in Distance Education : Guidelines*, Information Age Publishing, Greenwich, CT.

- O'Neil, H.F et R.S. Perez (éd.) (2003), *Technology Applications in Education : A Learning View*, Erlbaum, Mahwah, NJ.
- O'Neil, H.F. et R.S. Perez (éd.) (2006), *Web-Based Learning : Theory, Research, and Practice*, Erlbaum, Mahwah, NJ.
- O'Neil, H.F. et R.S. Perez (2008), *Computer Games and Team and Individual Learning*, Elsevier, Amsterdam.
- Paivio, A. (1986), *Mental Representations : A Dual Coding Approach*, Oxford University Press, Oxford.
- Paivio, A. (2007), *Mind and Its Evolution*, Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Pytllick-Zillig, L.M., M. Bodvarsson et R. Bruning (éd.) (2005), *Technology-Based Education*, Information Age Publishing, Greenwich, CT.
- Reiser, R.A. et J.V. Dempsey (éd.) (2007), *Trends and Issues in Instructional Design and Technology*, Pearson Merrill Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Renkl, A. (2005), « The Worked-Out Example Principle in Multimedia Learning », R.E. Mayer (éd.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, pp. 229-246.
- Rouet, J-F., J.J. Levenonand et A. Biardeau (éd.) (2001), *Multimedia Learning : Cognitive and Instructional Issues*, Pergamon, Oxford, RU.
- Saettler, P. (2004), *The Evolution of American Educational Technology*, Information Age Publishing. Greenwich, CT [1<sup>ère</sup> publication en 1990].
- Spector, J. M., *et al.* (2008), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (3<sup>e</sup> édition), Erlbaum, New York.
- Sweller, J. (1999), *Instructional Design in Technical Areas*, ACER Press, Camberwell, Australie.
- Wittrock, M.C. (1989), « Generative Processes of Comprehension », *Educational Psychologist*, vol. 24, n° 4, pp. 345-376.



Extrait de :  
**The Nature of Learning**  
Using Research to Inspire Practice

Accéder à cette publication :  
<https://doi.org/10.1787/9789264086487-en>

**Merci de citer ce chapitre comme suit :**

Mayer, Richard E. (2010), « Apprentissage et technologie », dans Hanna Dumont, David Istance et Francisco Benavides (dir. pub.), *The Nature of Learning : Using Research to Inspire Practice*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264086944-10-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à [rights@oecd.org](mailto:rights@oecd.org). Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) [info@copyright.com](mailto:info@copyright.com) ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) [contact@cfcopies.com](mailto:contact@cfcopies.com).