

# **Formation aux nouvelles technologies en Suisse : « doing » ou « thinking » ?**

*entre intégration et assimilation*

mit deutscher Zusammenfassung

Juillet 2002

Laurent.Bardy@gmx.ch



## Table des matières

0	Avant-propos .....	4
	Introduction : devenir pilote d'ordinateur en Suisse .....	6
	L'analyse en 15 points.....	8
1	Le paradoxe de Solow.....	8
	1.1 Du paradoxe de Solow à l'observation de Gordon .....	8
	1.2 Sous-estimation des coûts des TIC .....	10
2	Les stratégies de formation aux TIC .....	13
	2.1 La stratégie de l'intégration : « learning by doing » .....	13
	2.2 La stratégie de l'assimilation : « learning by thinking » .....	14
	Réfléchir pour mieux agir .....	14
	Culture informatique et intégration socio-économique .....	15
	2.3 « Thinking » ou « Doing » ? Une fausse question .....	16
	Opérationnalité et motivation .....	16
	Procédure et renforcement .....	17
	Exemple comparatif : enregistrer un document .....	17
	Adaptation efficace au changement .....	18
	2.4 La stratégie du « learning by thinking and doing » .....	19
	Illustration et application de la théorie .....	19
	Tentation de l'exclusivité du « learning by doing » .....	19
	2.5 Intégration et assimilation : une complémentarité graduelle.....	20
	Ecole enfantine et primaire .....	20
	Cycle d'orientation .....	21
	Ecoles professionnelles .....	22
	Gymnase.....	22
3	Etat actuel des systèmes de formation .....	23
	3.1 L'exclusivité de la stratégie intégrative .....	24
	3.2 Les désenchantements de l'approche intégrative .....	26
	Le syndrome de la pomme ou l'illusion de la simplicité .....	26
	Le mythe du « petit génie » .....	26
	Dépendance à l'approche intégrative .....	27
	3.3 Résistances et retour de la stratégie de l'assimilation.....	28
	3.4 Situation actuelle : début de revirement vers le « learning by thinking » .....	29
4	Paradoxe de Solow et exclusivité des stratégies de formation.....	33
5	Passage à un système équilibré de formation aux TIC : mesures à prendre .....	35
6	Deutsche Zusammenfassung.....	38
A	Annexe 1 : Technologie et performance économique dans l'économie américaine.....	40

## Avant-propos

Le présent rapport est la suite d'un e-mail adressé au Conseiller fédéral Pascal Couchepin par le biais duquel son auteur s'étonnait d'avoir lu un jour dans la presse que notre Ministre de l'économie publique de l'époque se serait dit défavorable au renforcement des cours d'informatique dans nos collèges (actuellement exclus du cursus minimal de la nouvelle maturité fédérale) alors même que quelques mois plus tard celui-ci s'inquiétait du manque de croissance de l'économie suisse. S'en suivit un intéressant entretien avec un collaborateur de M. Couchepin qui précisa que tel n'était pas le point de vue de ce dernier qui s'est dit favorable à la formation aux nouvelles technologies dans les gymnases suisses pour autant que celle-ci ne se fasse pas au détriment de la « culture générale » de nos collégiens.

Si l'analyse qui suit a comme point de départ ces quelques échanges informels avec l'administration fédérale, elle repose également et surtout sur l'expérience d'une nouvelle génération de jeunes professeurs d'informatique dans le secondaire supérieur. Le profil de ces professeurs est celui de licenciés universitaires en divers domaines proches des nouvelles technologies (économistes, mathématiciens, physiciens, etc), ayant une expérience pratique et théorique de près d'une vingtaine d'années de l'informatique et enseignant cette discipline depuis plusieurs années déjà.

Notre expérience de formateur aux nouvelles technologies de l'information nous a convaincu du potentiel d'apprentissage remarquable de nos jeunes dans les domaines informatiques. En revanche, elle nous a également montré les importantes lacunes de notre système de formation contemporain. S'il est vrai qu'une observation superficielle tend à montrer que nos élèves se *débrouillent* avec leur ordinateur, un regard plus approfondi nous a fait prendre conscience que, généralement, cette débrouillardise est particulièrement laborieuse, peu productive et témoigne de tout sauf d'une véritable *maîtrise* de l'instrument de travail. Les élèves réellement handicapés par ce manque de maîtrise ne sont pas rares. Situation d'autant plus préoccupante que, trop souvent, ni ces élèves ni les personnes ayant la responsabilité de leur formation ne sont véritablement conscients de ces lacunes.

Comme des analphabètes de temps modernes, sans même s'en rendre compte ni le vouloir, ces jeunes font naître aux yeux des observateurs l'illusion d'une certaine maîtrise des TIC. Ceci étant d'autant plus aisé que ces derniers se débrouillent souvent encore moins bien que nos élèves dans ce domaine. Dès lors, là où le professeur d'informatique expérimenté ne verra que l'exercice d'une aptitude tout à fait ordinaire en rapport avec l'âge de l'utilisateur, ces mêmes observateurs seront impressionnés de voir un élève effectuer avec peine une opération anodine aboutissant approximativement au résultat escompté. Il n'est pas rare que l'on crie ici au génie.

D'après nos discussions et nos expériences respectives, il apparaît que les lacunes en matière de maîtrise de l'informatique chez nos élèves sont la résultante de deux causes fondamentales, la première résidant dans le manque de compréhension des principes élémentaires régissant le fonctionnement des nouvelles technologies. « Je vois comment mon fils travaille », me dit l'une de mes collègues : « Il clique n'importe comment, n'importe où jusqu'à ce que ça marche. Et dès que ça ne marche plus, il recommence. Mais il ne comprend rien du tout à ce qu'il fait ! » La question de ce père d'élève va dans le même sens : « Entre nous, franchement, vous avez l'impression qu'ils [les élèves] comprennent ce qu'ils font quand ils utilisent un ordinateur ? » Or la compréhension est une condition indissociable à la maîtrise d'un instrument complexe.

Mais la compréhension prend du temps, elle exige des efforts intellectuels que l'on n'est pas prêt à consentir dans un domaine où les adultes qui nous entourent nous admirent pour notre « expertise » : on n'en voit pas la nécessité puisqu'on « sait déjà ». C'est là la seconde cause des lacunes actuelles d'un certain nombre de nos jeunes souvent réfractaires à la simple idée d'apprendre ne serait-ce que le moindre mot de vocabulaire pour pouvoir communiquer au sujet des objets virtuels qu'ils manipulent et qu'ils sont appelés à désigner dans leurs discussions (les questions du genre « On fait comment pour prendre le truc et le mettre là où il y a le machin et que ça, fasse, vous savez, comme ça... » ne sont pas rares).

Il faut rajouter à tout cela la suppression systématique des cours d'informatique dans nos cycles d'orientation et dans nos collèges ou une dotation-horaire largement insuffisante d'une discipline

que l'on ne considère plus comme nécessaire en tant que telle compte tenu du fait que les adultes voient leurs enfants comme des experts en la matière.

Les réformes en cours vont-elles y changer quelque chose ? Ne parle-t-on pas de mettre des ordinateurs connectés à Internet dans chaque salle de classe ? Certes. Si ce ne sont pas les moyens techniques qui font défaut, tel n'est pas le cas de la formation de nos élèves. Selon nos réflexions, ces projets sont eux-mêmes victimes de l'« illusion informatique » et font fausse route s'ils ne sont pas rapidement rééquilibrés. Ils ne se préoccupent guère de la formation directe de nos élèves (mais avant tout de celle des professeurs à la bureautique) et ne s'émeuvent pas de la disparition des cours d'informatique dans nos collèges et nos cycles, ce qui est préoccupant.

Or, ce n'est pas de la sorte que nos jeunes vont comprendre ce qu'ils font tout en maîtrisant véritablement les nouvelles technologies. Il est urgent d'agir. Le présent rapport tire le signal d'alarme tout en proposant un catalogue de mesures à prendre afin de retrouver le chemin d'un système de formation plus efficace.

Laurent Bardy

Fribourg, le 3 mai 2003

## Introduction

### Devenir pilote d'ordinateur en Suisse...

Scène de la vie ordinaire à Unimail (Université de Genève) où une avocate stagiaire s'étonne d'y croiser en bibliothèque de droit un collègue aux alentours des 22 heures. Ce dernier bûche à la préparation de ses examens théoriques pour l'obtention du brevet de pilote d'hélicoptère. Qui serait surpris par la nécessité de la réussite de pareils épreuves comme l'une des conditions attestant de la maîtrise d'un instrument complexe ? Et pourtant, la cabine de pilotage ne ressemble-t-elle pas à l'interface d'un ordinateur contemporain : une multitude de boutons, d'interrupteurs et un manche à balai qu'il s'agit d'apprendre à manipuler dans le bon ordre, selon les bonnes procédures, pour obtenir les effets désirés ? Cependant, l'on considère qu'il ne suffit pas de mettre un élève-pilote dans un hélicoptère (ou même simplement dans un simulateur), de le laisser faire ses expériences par tâtonnement en appuyant au hasard sur une forêt de boutons afin d'apprendre à se débrouiller avec son engin... Une véritable maîtrise de l'appareil passera nécessairement par la compréhension des principes élémentaires régissant son fonctionnement et ses interactions avec son environnement. On n'exige pas de la part d'un pilote d'hélicoptère qu'il dispose d'un diplôme d'ingénieur en aéronautique mais tout de même qu'il ait assimilé les concepts fondamentaux à la base du fonctionnement de son appareil et des réactions de celui-ci dans son environnement physique et géographique. Le seul apprentissage par la pratique des procédures à suivre pour faire voler l'engin ne sera pas suffisant afin de permettre aux pilotes de faire face à la pluralité des situations – y compris les situations imprévues – auxquelles il aura à faire durant un vol. Comme l'a très bien mis en évidence le célèbre psychologue Jean Piaget, l'assimilation mentale des objets de notre environnement est une condition nécessaire à leur manipulation ainsi qu'à l'accommodation au changement du monde qui nous entoure.

Si de nos jours tout le monde ne pilote pas d'hélicoptère, la majorité des gens est cependant appelée à maîtriser l'usage d'un ordinateur dans la vie quotidienne. Dès lors se pose la question cruciale de savoir comment former tous ces utilisateurs aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC). Force est de constater que ces dix dernières années, nombre de pays de l'OCDE ont opté, dans leur cadre scolaire, en exclusivité pour la stratégie d'apprentissage dite du « learning by doing » : on apprend le mieux le pilotage d'un ordinateur en s'installant à ses commandes dans le cockpit pour s'atteler à différentes missions pratiques que l'on nous confie. L'ordinateur n'est qu'un outil d'une grande simplicité (à l'image d'un téléphone, d'une télévision, d'une machine à écrire ou d'une machine à calculer) dont l'usage pratique constitue l'unique et suffisante condition d'apprentissage de sa maîtrise. L'apparente aisance des jeunes face à ces nouveaux instruments l'attesterait.

Mettons donc des ordinateurs connectés à Internet dans toutes les salles de classes, demandons aux professeurs de les utiliser avec leurs élèves dans le cadre de leurs cours et le tour sera joué. L'intégration des ordinateurs dans les salles de classes est la panacée. Les cours spécifiques d'informatique deviennent ainsi inutiles : supprimons-les de nos cycles d'orientation et de nos collèges. Contrairement au futur pilote d'hélicoptère, il est inutile que nos usagers se fatiguent à assimiler les concepts fondamentaux régissant le fonctionnement de leur ordinateur et des réseaux auxquels ils se connectent. A quoi cela leur servirait-il d'ailleurs ? Nul besoin d'être garagiste pour savoir conduire une voiture, c'est bien connu. L'ordinateur ne doit pas être une finalité en soit, il doit être un moyen comme un autre au service de l'enseignement. Les cours d'informatique sont donc à proscrire de nos écoles. Disons le tout net à travers un beau slogan auquel tout le monde pourra adhérer : « use ICT<sup>1</sup> to learn » et non plus « learn to use ICT »<sup>2</sup>.

Et pourtant... Alors qu'en Suisse nous suivons avec retard nos voisins ayant déjà opté il y a bien des années corps et âme pour cette stratégie de l'apprentissage des TIC par l'intégration exclusive des ordinateurs dans les salles de classes, ces mêmes voisins en sont aujourd'hui à l'heure du bilan. Et le moins que l'on puisse dire est que ce dernier est plus que mitigé. En Allemagne, à l'image de la Bavière, il a été décidé de restaurer l'informatique en tant que discipline à part en-

<sup>1</sup> ICT : « Information and Communication Technologies » (technologies de l'information et de la communication, TIC en français)

<sup>2</sup> « Utiliser les TIC pour apprendre » par opposition à « apprendre à utiliser les TIC »

tière dans le cursus des cycles d'orientation et des collèges. En France, à en croire l'EPI (association française « Enseignement public et informatique »), on ne peut que faire un constat d'échec. Une institution certificative de renommée internationale telle que l'ECDL (European Computer Driving License) décernant chaque année des centaines de milliers de diplômes en bureautique, reconnue aussi bien par des nombreux gouvernements, entreprises et grandes organisations internationales (à l'exemple de l'Union européenne, de l'Unesco et de la Banque mondiale) le dit quant à elle clairement : l'approche par l'intégration à elle seule, en l'absence de cours spécifiques d'informatique, ne fonctionne tout simplement pas. En outre, cette même institution exige de la part du futur usager qu'il ait compris les principes élémentaires régissant le fonctionnement des instruments qu'il est appelé à manipuler. Aux Etats-Unis, les économistes s'étonnent d'un constat préoccupant démontrant que l'arrivée des ordinateurs dans les entreprises n'a pas fondamentalement accru leur productivité et n'est pas à l'origine d'une prétendue nouvelle révolution industrielle dont les TIC seraient la cause première...

Comment expliquer ces résultats décevants ? Sans doute par l'« illusion informatique » qui a prévalu ces dix dernières années sous nos latitudes. Celle-là même à l'origine de la bulle spéculative sur les marchés financiers des valeurs technologiques, bulle dont l'éclatement continue aujourd'hui encore de déstabiliser la sphère économique. Combien de décideurs n'ont-ils pas cru naïvement qu'il suffisait de mettre des ordinateurs partout dans les entreprises pour que des résultats mirobolants ne se fassent pas attendre ? Combien aujourd'hui encore pensent qu'il suffit de mettre des ordinateurs partout dans nos écoles pour que l'éducation publique en soit révolutionnée et que la question de la formation de nos jeunes aux TIC soit résolue à bon marché ?

D'aucuns ont voulu montrer au public uniquement le visage souriant de l'usage des nouvelles technologies : « Déballez, connectez, cliquez et c'est gagné ! L'informatique, c'est simple et c'est fun ! »

Il n'empêche. Même si en apparence les interfaces deviennent conviviales, sous le capot nos ordinateurs et nos logiciels ne cessent de se complexifier, leurs fonctionnalités de s'étendre. Et comme le pilote d'hélicoptère bûchant à la préparation de ses examens théoriques, le pilote d'ordinateur se doit également de laisser un moment son engin de côté pour faire l'effort – par moment pénible il est vrai, comme dans les premiers pas de n'importe quel apprentissage – d'assimiler à travers le suivi de cours, la lecture et la réflexion les concepts élémentaires régissant le fonctionnement de son instrument de travail. C'est là la condition nécessaire pour passer du stade d'une difficile, maladroite et peu productive débrouillardise à celui d'une véritable maîtrise.

Cultiver l'« illusion informatique » en laissant croire à nos jeunes qu'aucun effort intellectuel n'est nécessaire à l'apprentissage des TIC, qu'il suffit de savoir cliquer n'importe où, n'importe comment à l'aide d'une souris, sans rien y comprendre, jusqu'à ce que l'on obtienne l'effet désiré ou en apprenant sans réfléchir par coeur de simples procédures à suivre, plutôt que de leur transmettre une véritable « culture informatique », c'est prendre le risque d'hypothéquer leurs perspectives d'avenir dans la nouvelle société de l'information. Le manque de formation aux TIC constitue sûrement l'une des causes de l'accroissement des inégalités socioéconomiques que connaissent nos sociétés alors même que cette formation est une condition nécessaire au développement de ces dernières.

Les projets de formation aux TIC exclusivement fondés sur l'approche intégrative (« learning by doing ») ou uniquement sur l'approche de l'assimilation de concepts (« learning by thinking ») sont tous voués à l'échec. Dans les objectifs des actuels projets d'intégration, il n'est pas rare qu'un volet théorique y soit inclus. Mais c'est là souvent par acquis de conscience des auteurs du projet. Dans les faits cependant, on constate que pratiquement aucun effort significatif n'est consenti à cette fin. La preuve en est la disparition systématique des cours d'informatique de nos cycles d'orientation et de nos collèges.

Pratique et théorie sont complémentaires dans le domaine des TIC, l'une ne va pas sans l'autre, elles sont les deux facettes d'une même réalité. De fait, ces deux approches sont condamnées à s'épouser, à s'appuyer l'une sur l'autre. Il ne tient qu'à nous de prendre rapidement les mesures nécessaires pour rééquilibrer les projets en cours si nous souhaitons faire bénéficier nos jeunes d'un système efficient de formation à l'informatique.

# Stratégies de formation aux nouvelles technologies en Suisse : « doing » ou « thinking » ?

entre assimilation et intégration

L'argumentation en 15 points<sup>1</sup> :

1. En 1987, l'économiste américain Robert Solow mit en évidence le paradoxe selon lequel les nouvelles technologies de l'information (TIC) ne contribuent pas autant que l'on pourrait s'y attendre à la croissance économique. En 2001, une étude empirique de Gordon confirma et précisa le paradoxe de Solow.
2. La plupart des hypothèses avancées pour expliquer le paradoxe de Solow pointent du doigt une sous-estimation du coût des investissements dans les TIC (coûts de complexité, de sécurité, d'obsolescence, de formation, coûts latents). La qualité de la formation aux TIC joue ici un rôle prépondérant.
3. Les systèmes de formation aux TIC peuvent faire appel à deux types de stratégies : l'intégration (« learning by doing ») et l'assimilation (« learning by thinking »)
4. La stratégie de l'intégration repose sur un apprentissage par la pratique : l'utilisateur apprend à manipuler son ordinateur au sein de son environnement de travail quotidien (bureau, salle de classe) en résolvant des problèmes concrets ou en s'attelant à des projets. Cette approche vise l'acquisition d'un savoir-faire procédural et ne nécessite pas le suivi de cours spécifique d'informatique.
5. La stratégie de l'assimilation considère qu'afin de maîtriser un instrument complexe il est nécessaire d'en comprendre les principes élémentaires le régissant. La formation aux TIC passe dès lors par l'assimilation des fondements de l'informatique dans des cours d'informatique dédiés.

## 1 Le paradoxe de Solow

En juin 1987, dans une déclaration au journal *The Economist*, le célèbre économiste et prix nobel américain Robert Solow, spécialiste des questions de croissance économique, jetait un pavé dans la marre : « Les ordinateurs sont partout, sauf dans les statistiques de productivité de la comptabilité nationale »

### 1.1 Du paradoxe de Solow à l'observation de Gordon

Aux yeux de Solow, il était paradoxal que les entreprises investissent tant dans les nouvelles technologies sans pour autant que leur productivité s'en trouve véritablement accrue. « Péchés de jeunesse des nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) » rétorquent en coeur nombre de spécialistes enthousiastes dans le courant des années '90. « Les ordinateurs austères des années '80 n'ont plus rien à voir avec leurs descendants : ceux-ci sont devenus puissants et conviviaux, faciles d'utilisation et la situation à la fin des années '80 n'est plus comparable avec celle d'aujourd'hui ». On pensait dès lors avoir réglé son compte au paradoxe de Solow que l'on croyait enterré une fois pour toute.

A la fin des années '90, l'heure était même à l'euphorie : les nouvelles technologies de l'information était en train de révolutionner le monde économique et la société, leur offrant des perspectives de cocagne inespérées. Alan Greenspan, président de la Banque centrale américaine, louait les prouesses de l'informatique, le surplus de productivité et l'augmentation de la croissance économique qui devaient en résulter. Sur les marchés financiers, l'éclatement de la bulle spéculative des valeurs liées aux nouvelles technologies résonna comme une mise en garde. Les analyses d'un autre économiste américain, Robert Gordon, mirent à mal un engouement un tant soit peu naïf. Non, il ne suffit pas qu'une entreprise s'équipe d'ordinateurs pour qu'elle voit comme par miracle la productivité de ses employés s'envoler et par là contribuer à la croissance économique nationale.

<sup>3</sup> Deutsche Zusammenfassung : Seite 38 sehen

*Outside of durable manufacturing, the New Economy has been remarkably unfruitful as a creator of productivity growth.*

R. Gordon (mai 2001),  
"Does the 'New Economy'  
measure up the Great In-  
ventions of the Past"<sup>4</sup>

Pour Gordon, si croissance économique il y a eu aux Etats-Unis durant la fin des années '90, celle-ci doit être relativisée quant à la contribution des nouvelles technologies. Il y a lieu de disséquer la croissance de la productivité au sein d'une économie en fonction de ses différents secteurs de production. Qu'ont révélé les analyses de Gordon à ce sujet ? Qu'aux Etats-Unis il existe effectivement un taux de croissance impressionnant de la productivité dans le secteur technologique, et tout particulièrement dans celui des entreprises produisant du matériel informatique. Ce phénomène est notamment dû aux importants progrès réalisés en matière de miniaturisation et de puissance des composants électroniques des ordinateurs contemporains.

En quoi cela remet-il en question le rapport entre nouvelles technologies et croissance ? Jusque là, en rien. Cependant Gordon s'est bien gardé d'analyser uniquement la croissance de la productivité dans le secteur de production des TIC. Et il a pu constater que dans les autres secteurs, les TIC n'ont pas véritablement contribué à l'accroissement d'une productivité relativement stagnante (voir annexe 1 pour un résumé de l'article de Gordon). Dans certains secteurs ce serait même le contraire : la productivité aurait diminué. Ainsi, si dans la seconde partie des années '90 productivité et croissance ont bel et bien sensiblement progressé aux Etats-Unis, c'est grâce aux importants progrès enregistrés dans le secteur de la production de matériel informatique et non de par la diffusion des TIC dans les autres secteurs économiques. Quant à l'Europe, qui ne dispose de loin pas d'un secteur de production de matériel informatique aussi développé que celui des Etats-Unis, les effets de l'intégration des TIC dans son économie se font également d'autant plus attendre.

*Selon [Gordon], en dehors du secteur informatique, les ordinateurs n'ont pas amélioré la productivité des autres pans de l'économie. Même ceux qui se sont massivement équipés en nouvelles technologies. Pour une entreprise ordinaire, se doter de PC dernier cri serait presque une dépense inutile. Plus de vingt ans après celui de Solow, un nouveau paradoxe est né : l'informatique n'améliore*

6. Chacune de ces stratégies possède des avantages et des inconvénients. Celle de l'intégration est efficace pour l'acquisition rapide d'un savoir-faire procédural simple rattaché à un instrument particulier. Elle ne développe cependant pas d'aptitude particulière d'adaptation à l'évolution des TIC. L'assimilation transmet une culture informatique générale permettant de plus facilement s'adapter aux changements des TIC et aux situations imprévues. Elle exige plus d'efforts intellectuels et ne génère pas des savoir-faire immédiatement opérationnels.

7. De fait, ces deux stratégies se complètent. Leur efficacité dépend de la mise en application de leur complémentarité dans un système de formation scolaire et professionnel équilibré. L'importance respective du poids des deux approches varie de l'école enfantine au gymnase et à l'école professionnelle selon l'âge des élèves. Plus celui-ci est élevé, plus l'assimilation est appelée à prendre de l'importance, les aptitudes intellectuelles s'élargissant avec les années.

8. Au cours des années '80, de par le manque de convivialité et de puissance des ordinateurs d'alors, la formation aux TIC reposait essentiellement sur la stratégie de l'assimilation et ne bénéficiait qu'aux élèves du postobligatoire par le biais de cours spécifiques d'informatique. Les années '90 furent celles de la stratégie de l'intégration. De l'école enfantine au collège les élèves commencèrent à profiter de cette formation en utilisant l'ordinateur dans le cadre de leurs cours et de leur salle de classe.

9. L'avènement de la stratégie de l'intégration fut possible grâce à l'amélioration de la convivialité et à la simplification des interfaces permettant à l'utilisateur d'interagir avec les logiciels ou les ordinateurs utilisés. Cette simplification laissa penser à tort qu'il n'était plus du tout nécessaire d'assimiler les principes fondamentaux de l'informatique pour être à même d'en maîtriser ses instruments, qui pourtant ne cessaient de se complexifier. A l'exception des écoles professionnelles, les cours spécifiques d'informatique disparurent progressivement des cursus des cycles d'orientation et des gymnases et la stratégie de l'assimilation fut évincée.

<sup>4</sup> [http://faculty-web.at.nwu.edu/economics/gordon/351\\_text.pdf](http://faculty-web.at.nwu.edu/economics/gordon/351_text.pdf)  
/ 21.06.02

10. *En ce début de millénaire, les signes indiquant que l'éviction de la stratégie de l'assimilation constitue une erreur tendent à s'accumuler. A elle seule, la stratégie de l'intégration produit avant tout des utilisateurs se débrouillant péniblement et ne maîtrisant pas véritablement les TIC. Des voix se font entendre pour réclamer le rééquilibrage de l'actuel système de formation. Certaines régions ont déjà pris les devants en réintroduisant des cours spécifiques d'informatique dans leurs cycles et leurs collèges. Les années '00 seront vraisemblablement celles d'un système fondé sur une approche du « learning by thinking and doing ».*
11. *La pénurie chronique d'informaticiens qualifiés est la conséquence structurelle d'un système de formation déséquilibré générant une majorité d'utilisateurs ne maîtrisant pas les instruments informatiques et étant à l'origine d'une demande importante de services adressée à une minorité nécessairement insuffisante de spécialistes. Seul un rééquilibrage du système de formation permettra d'accroître l'offre d'informaticiens tout en en diminuant la demande relative.*
12. *En Suisse, les divers projets de formation aux TIC reposent de facto exclusivement sur la stratégie de l'intégration. Dans la plupart des cantons, avec l'entrée en vigueur de la nouvelle maturité, les cours d'informatique ont disparu des collèges. Ils sont également insuffisants ou inexistant dans les cycles d'orientation.*
13. *Il est urgent de prendre, tant au niveau cantonal que fédéral, des mesures visant à réintroduire et à renforcer les cours d'informatique dans les cycles d'orientation et les gymnases suisses. Ceci d'autant plus que la compréhension des principes fondamentaux de l'informatique ne met pas en péril la transmission d'une véritable culture générale aux élèves.*

*que la productivité... des sociétés qui produisent du matériel informatique. [...] Ces débats américains apparaissent bien éloignés des préoccupations de l'Europe, où l'on attend toujours que les premiers bienfaits de la nouvelle économie se manifestent. Comme le déplorait, dans Le Monde du 30 juin, le gouverneur de la Banque de France, Jean-Claude Trichet, « pour le moment, nous n'avons pas encore vu, en France et en Europe, le sursaut de productivité que nous appelons de nos vœux » et qui a été observé outre-Atlantique.*

P.-A. Delhommais,  
"Nouvelle économie : le défi de la productivité"  
in *Le Monde*, 11 août 2000

## 1.2 Sous-estimation des coûts des TIC

Ainsi, à l'heure où les ordinateurs n'ont a priori jamais été aussi conviviaux et aussi simples à manier, l'illusion informatique envolée, le paradoxe de Solow reste d'actualité. Ce d'autant plus dans un contexte où l'on constate que les économies des pays de l'OCDE tendent à s'essouffler en matière de croissance. Une question cruciale se pose dès lors : pourquoi le rapport de causalité entre nouvelles technologies et croissance ne fonctionne pas aussi bien que l'on aurait pu s'y attendre, même sur le moyen et long terme ? En clair, quelles sont les raisons expliquant le paradoxe de Solow. Plusieurs hypothèses ont déjà été avancées à ce sujet :

14. *La culture informatique est nécessaire non seulement à une véritable maîtrise des TIC mais également à la compréhension de la nouvelle société de l'information dans laquelle nous vivons. Elle fait ainsi partie de la culture générale en tant que technique fondamentale de civilisation, au même titre que l'écriture ou le calcul. Son assimilation contribue à la formation de citoyens autonomes et responsables ainsi qu'à leur intégration socio-économique.*
15. *La principale cause du paradoxe de Solow se trouve dans un déséquilibre du système de formation aux TIC. Que ce dernier repose exclusivement sur la stratégie de l'intégration ou uniquement sur celle de l'assimilation et les symptômes du paradoxe de Solow ne tardent pas à se manifester. C'est en rééquilibrant pareil système de formation que l'on permettra aux investissements dans les TIC de déployer pleinement tous leurs effets sur la croissance économique et le développement.*

Raccourcissement du cycle de vie des innovations technologiques

L'augmentation de la productivité des instruments issus des TIC suit généralement une courbe exponentielle. Quelques temps après avoir été lancé sur le marché un produit est déjà obsolète. Et ce laps de temps devient de plus en plus court. Ainsi, les entreprises investissant dans les TIC afin d'obtenir des gains de productivité face à la concurrence (ou pour ne pas les perdre) peinent à amortir leur capital technologique. Certes, la densification de ce dernier permet-il aux firmes d'accroître leur volume de production. Mais la productivité ne se définit pas qu'à travers cette première variable. Encore faut-il la ramener à un dénominateur commun en la divisant par les coûts des ressources investies par les entreprises dans la production. Or une diminution de la durée de vie des instruments technologiques se traduit par un accroissement de ces charges (renouvellement de plus en plus fréquent de l'infrastructure informatique, migration vers les nouveaux systèmes, formation du personnel, réorganisation du travail, etc). Les visions de part trop optimistes en matière de TIC ont souligné l'accroissement du volume de production tout en sous-estimant l'accroissement des coûts. Les attentes en matière de productivité ont dès lors été biaisées.

Accroissement des coûts cachés

La densification du capital technologique va de pair avec un accroissement de la complexité de l'outil de production des entreprises. Même si la convivialité apparente des interfaces des instruments issus des TIC tend à s'améliorer, sous le capot la machinerie devient de plus en plus sophistiquée. Sa conception, sa mise en oeuvre et sa maintenance nécessitent un nombre de plus en plus important de spécialistes qui ne comptent plus leurs heures. Cette dernière expression est à prendre au sens propre. En effet, lorsqu'il s'agit d'implanter un nouveau système informatique au sein d'une entreprise, mais également et surtout lorsque l'on est confronté au dysfonctionnement et aux pannes du système, le nombre d'heures de travail consacrées à cet effet subit une augmentation sensible. Lorsque l'équipe informatique d'une entreprise est confrontée à d'importants imprévus ou à une situation de crise, ses membres seront incités à ne pas comptabiliser leurs heures effectives de travail. On peut mentionner ici au moins deux raisons essentielles à la non comptabilisation de ces coûts, l'une négative, l'autre positive. Tout d'abord la dissimulation de la surestimation du rendement de l'investissement dans les TIC. Tout incident, tout imprévu fait diminuer ce rendement à travers une augmentation des coûts. En outre, ces pertes de temps peuvent témoigner d'un manque de qualification professionnelle qu'il vaut mieux cacher, même dans la cas où cette dernière est provoquée par la réticence de l'entreprise à investir dans la formation continue de ses collaborateurs (demander une augmentation des dépenses de formation consisterait ici aussi à laisser apparaître que l'investissement de dans les TIC n'est pas aussi rentable qu'envisagé). Enfin, il n'est pas rare que des collaborateurs d'une entreprise ne comptent pas toutes leurs heures supplémentaires du fait qu'ils sont passionnés par leur travail en matière de nouvelles technologies : ils participent au développement et à la maintenance de l'instrument, ils se forment à leurs frais en prenant sur leurs temps libre. Toutes ces charges ne sont pas supportées par les entreprises et ne figurent ainsi pas dans les statistiques sur la productivité et la croissance. Dès lors, si la contribution des TIC à l'accroissement de la productivité dans les autres secteurs que ceux de l'informatique est, comme la souligné Gordon, bien pâlotte, il est même fort probable qu'elle soit encore surestimée.

Accroissement des coûts de la complexité	Sous leur simplicité apparente, les instruments informatiques ne cessent de se complexifier. C'est là le prix à payer pour l'accroissement de leur productivité. Or cette augmentation de la complexité s'accompagne inévitablement d'une plus grande vulnérabilité. De plus en plus d'entreprises sont totalement dépendantes de leur infrastructure informatique. Que cette dernière tombe en panne et c'est toute l'entreprise qui est paralysée, quand ce n'est pas également tout ou partie des clients de la firme. Avec les coûts que cette immobilisation implique. Même si la sécurité absolue n'existe pas dans ce domaine, il est cependant possible pour une entreprise d'anticiper ces problèmes et de s'en prévenir. Toute assurance a inmanquablement un coût (par exemple le dédoublement des organes vitaux du système informatique). Des pannes systèmes sporadiques – même au seul niveau des utilisateurs finaux – se traduisent par des coûts supplémentaires provenant de la perte de temps consacré à la récupération de données perdues. L'accroissement constant de la complexité prend ainsi la forme d'une augmentation des coûts que l'on sous-estime fréquemment en matière de prévisions quant à l'évolution de la productivité résultant de l'intégration des TIC dans l'entreprise.
Coûts de la sécurité	La mise en réseau des instruments informatiques – aussi bien dans le cadre d'un réseau local privé que d'une connexion à Internet – pose inmanquablement des problèmes croissants de protection des données et de l'infrastructure (intrusion illégale, virus, etc). L'élaboration et la mise en application d'une stratégie de sécurité génèrent également des charges supplémentaires dont il s'agit de tenir compte. A relever que la complexification tend à élever les coûts de cette sécurité. En outre ces coûts ne constituent pas une dépense ponctuelle mais une charge permanente non seulement de par la rapidité de l'évolution technologique mais également du fait du jeu du chat et de la souris joué par l'industrie informatique et les "hackers". Ces derniers cherchent à exploiter les failles des infrastructures existantes qui doivent ainsi en permanence être comblées.
Coûts structurels	L'intégration des TIC se heurte souvent à l'organisation de l'entreprise ou de l'administration. Les instruments informatiques sont à l'origine de nouvelles contraintes organisationnelles pouvant évoluer à travers le temps. De même, si l'on entend tirer le meilleur avantage possible du nouveau capital technique, des aménagements parfois conséquents de l'organisation seront nécessaires. Par exemple, la mise en réseau et le partage simplifié des informations pourra nécessiter le passage d'une organisation de type vertical fortement hiérarchisée à une organisation plus horizontale. Tous ces changements prendront du temps et auront un coût d'autant plus élevé que les forces conservatrices seront importantes. Information et formation pourront diminuer ces résistances issues entre autre de la crainte de ne plus avoir à l'avenir les aptitudes nécessaires à la participation au processus de production.
Coûts de la formation	Nous savons aujourd'hui qu'il ne suffit pas de mettre à disposition des agriculteurs d'un pays sous développé des tracteurs, des moissonneuses-batteuses ou de nouveaux engrais afin d'accroître soudainement et comme par miracle leur productivité. Encore faut-il former les paysans à l'usage de ces technologies. Ce qui est vrai pour le secteur primaire l'est également pour les autres secteurs et tout particulièrement en ce qui concerne les nouvelles technologies

de l'information. La nature de ces coûts se distingue des autres coûts secondaires des TIC vus précédemment en ce sens qu'ils sont à considérer en tant que dépenses d'investissement et non comme des dépenses de fonctionnement de l'infrastructure informatique. L'accroissement de l'investissement dans le capital humain est rentable tant que le coût supplémentaire qui en résulte génère un surplus de productivité qui lui est égal ou supérieur. Cette logique de l'investissement est tout autant valable pour l'entreprise que pour l'Etat : accroître les dépenses publiques en matière de formation aux TIC est rentable lorsque cela se traduit par une augmentation de la productivité de l'économie et de l'administration. Le retour sur investissement se retrouvera dans une croissance générant des profits et des recettes fiscales supplémentaires. Le fait de considérer les dépenses en formation comme des coûts de fonctionnement qu'il s'agit de minimiser au maximum est un frein important à l'accroissement de la productivité et à la croissance. En limant ces coûts l'on risque de freiner d'autant la croissance.

A l'inverse il est vrai qu'il ne suffit pas d'investir dans la formation aux TIC pour que la productivité s'en trouve automatiquement améliorée (une croyance relativement fort répandue cependant). Tout dépend ici de la rentabilité (externalités comprises) des différents projets d'investissements envisagés. Se pose dès lors la question suivante : qu'est-ce qu'un bon projet d'investissement dans la formation aux TIC tant du point de vue de l'entreprise que de la collectivité publique ?

## 2 Les stratégies de formation aux TIC

Il existe deux grands types de stratégies de formation aux TIC : la stratégie de l'intégration et la stratégie de l'assimilation. Même si historiquement ces deux approches ont eu tendance à s'exclure mutuellement, un système global et efficace de formation aux TIC repose nécessairement sur les deux piliers indispensables qu'elles constituent.

### 2.1 La stratégie de l'intégration : "learning by doing"

La fin des années '90 et le début de ce millénaire ont été marqués par l'avènement de la stratégie de l'apprentissage pratique des TIC à travers leur usage immédiat dans un contexte spécifique. Cette approche part du point de vue que l'apprentissage de l'usage de l'ordinateur est plus efficace lorsque ce dernier est immédiatement employé dans le cadre de la résolution de problèmes ou de projets concrets en rapport avec les besoins immédiats de l'apprenant. Cette stratégie suit une méthode empirique privilégiant un apprentissage de type "learning by doing"<sup>5</sup>. Elle considère que l'ordinateur est un outil comme un autre (à l'image du téléphone, de la machine à calculer ou de la machine à écrire) avec lequel il y a lieu d'apprendre à se débrouiller. En matière d'éducation publique, les autorités suivant cette approche insistent ici fortement sur le fait que l'informatique ne doit surtout pas être considérée comme une finalité en soi :

*D'une manière générale pour la Suisse, il ne s'agit pas d'enseigner l'informatique, mais de l'utiliser. C'est pourquoi on utilise les termes "d'outil informatique" et de "sensibilisation à l'informatique" plutôt que "d'ordinateur" et d' "apprentissage".*

Rapport final du Conseil d'Etat fribourgeois au Grand Conseil sur les postulats Vonlanthen/Moret (207.97) et Chappuis/Galley (206.97), 20 octobre 1998

<sup>5</sup> On la retrouve également exprimée sous la formule « Use ICT to learn » (<http://www.nzz.ch/2002/01/22/se/page-article7WKQD.html> / 28.06.02) par opposition à « Learn to use ICT »

*Les nouvelles technologies de l'information et de la communication ne doivent néanmoins pas être considérées comme des disciplines isolées, mais servir de facto d'instrument de travail pour toutes les matières enseignées.*

Réponse du Conseil fédéral du 14 février  
2001 à l'interpellation de la députée  
Maya Lalive d'Epinay (00.3667)  
du 13 décembre 2000

C'est ainsi que d'ambitieux projets ont vu le jour en matière de formation des élèves dans le cadre de l'école obligatoire (école enfantine, primaire, CO) et postobligatoire (gymnases, écoles professionnelles), tant sur le plan fédéral que cantonal. Ces projets d'apprentissage par immersion de l'ordinateur dans les disciplines traditionnellement enseignées aux élèves reposent tous sur 3 piliers fondamentaux mis en évidence par Duchâteau en 1992 (p. 21) déjà<sup>6</sup> :

*On devine que l'informatique éducative repose sur trois piliers essentiels : le matériel, la formation des enseignants et la mise en place d'équipes "logistiques" chargées de veiller à un fonctionnement efficace et harmonieux de l'ensemble. C'est seulement la réunion de ces trois supports qui permettra à l'immeuble de tenir debout : que l'un des montants du tripode vienne à manquer et c'est tout édifice qui s'écroule.*

Dès lors, l'essentiel des efforts de l'approche intégrative se matérialise sous la forme d'importants investissements dans l'infrastructure informatique (avec des objectifs tels que "au moins un ordinateur connecté à Internet dans chaque salle de classe") ainsi que dans la formation du corps enseignant dans son ensemble. Les dépenses en matière de maintenance et de support direct aux utilisateurs de l'infrastructure (3ème pilier) tendent cependant à passer au second plan pour des raisons de restriction budgétaire.

Une fois ces trois piliers mis en place, les projets intégratifs deviendront dès lors pleinement opérationnels et permettront d'atteindre leurs objectifs en matière de formation des élèves aux nouvelles technologies. Ces derniers seront appelés à faire usage de l'ordinateur et d'Internet dans le cadre de leurs cours. Ce faisant ils acquerront à travers la pratique ("learning by doing") les compétences élémentaires quant à l'usage des TIC. Il ne s'agit pas ici de comprendre comment fonctionnent les TIC (cela est du ressort de la formation professionnelle dispensée aux informaticiens) mais bien de savoir les utiliser.

## **2.2 La stratégie de l'assimilation : « learning by thinking »**

### *2.2.1 Réfléchir pour mieux agir*

Lorsqu'au cours des années '80 les TIC ont fait une percée significative dans l'administration publique, les entreprises et les ménages, les premiers efforts d'une formation généralisée ont vu le jour. En matière d'instruction publique, tel fut tout particulièrement le cas dans les écoles professionnelles et les gymnases. La stratégie de cette formation fut avant tout de nature théorique : il convenait essentiellement, dans un premier temps, d'apprendre et d'assimiler les concepts fondamentaux régissant les TIC puis de les mettre en application à travers des exercices pratiques et un usage éclairé de l'ordinateur. La convivialité lacunaire et la complexités des interfaces des ordinateurs et des logiciels de l'époque ainsi que leur manque de puissance sont l'une des raisons de cette approche théorique de l'informatique. Mais ce n'est pas la seule.

Cette stratégie se distingue de celle de l'intégration en ce sens qu'elle met l'accent sur la nécessité de comprendre les principes fondamentaux régissant un instrument complexe si l'on entend véritablement le maîtriser et s'adapter à ses changements superficiels. On part ici du point de vue qu'une véritable assimilation du noyau conceptuel à la base de la technologie que l'on souhaite utiliser est indispensable à sa maîtrise à travers le temps. L'utilisateur disposant d'une authentique "culture informatique" sera à même de faire un usage rationnel des instruments mis à

<sup>6</sup> <http://www.det.fundp.ac.be/~cdu/documents-pdf/ordi-et-ecole-5-28.pdf> / 05.04.02

sa disposition et s'adaptera d'autant plus facilement à leur évolution. C'est là une stratégie que l'on peut qualifier de "learning by thinking"<sup>7</sup>.

Selon cette méthode, la maîtrise d'un instrument complexe est un art dont l'apprentissage nécessite du temps et repose sur une véritable discipline. Avant de se mettre aux commandes d'un avion de ligne, un pilote apprendra tout d'abord les principes élémentaires régissant le fonctionnement de l'appareil et son interaction avec son environnement. L'art de la maîtrise d'un instrument complexe débute inmanquablement par une assimilation des concepts sur lesquels se fonde l'instrument (c'est en ce sens que l'instrument se distingue du simple outil). On n'échappera pas aux moments durant lesquels il sera nécessaire d'ouvrir un livre, de le lire et de réfléchir aux concepts qu'il présente afin de les assimiler.

Pareille prise de distance par rapport à l'objet étudié et son assimilation mentale constitue ici la condition nécessaire pour passer du stade de la débrouillardise à celui de la maîtrise. Cette dernière accroît sensiblement la productivité de l'individu. L'investissement dans l'apprentissage de la maîtrise se révèle à terme rentable. Mais comme tout projet d'investissement conséquent, il nécessite une certaine période de maturation avant de commencer à dégager ses premiers bénéfices. La stratégie de l'assimilation et ses effets s'inscrivent ainsi dans la durée et la durabilité. En effet, qui a assimilé les principes fondamentaux sous-jacents à un objet saura aisément s'adapter à son évolution car cette dernière se manifeste non pas par des changements essentiels du noyau de l'objet mais par l'extension de ce dernier.

Qui a appris à maîtriser le pilotage d'un avion de ligne ne devra pas recommencer à chaque fois son apprentissage lorsqu'il se trouvera confronté à la nécessité de passer au pilotage de nouveaux avions plus puissants et plus complexes. Car en matière d'aéronautique, comme dans toute discipline, il existe un noyau de concepts fondamentaux durables dont l'assimilation permettra non seulement une maîtrise de l'art s'y rattachant mais confèrera également une véritable aptitude d'adaptation au changement. Contrairement à ce que l'on croit souvent, l'informatique et les TIC reposent également sur un noyau dur de concepts fondamentaux dont la plupart n'ont pas évolué depuis le début de l'histoire de l'informatique.

La stratégie de l'assimilation part donc du point de vue qu'il est nécessaire de transmettre aux individus une véritable « culture informatique » à travers l'apprentissage de principes élémentaires à la base du fonctionnement des TIC. Prendre le temps d'acquérir cette culture apporte des multiples avantages dont la maîtrise élémentaire des instruments informatiques, une productivité accrue ainsi qu'une importante capacité d'adaptation au changement.

### 2.2.2 Culture informatique et intégration socio-économique

Selon l'approche du « learning by thinking », la culture informatique constitue une véritable branche à part entière de la culture générale. La Révolution française ainsi que les deux révolutions industrielles qui la suivirent (celle du rail, de la vapeur et de la mécanisation des processus de production puis celle des industries chimiques, électriques et automobiles) élargirent les champs d'apprentissage de la culture générale. Il apparut évident que pour comprendre le monde dans lequel nous vivons il est nécessaire de saisir les principes élémentaires sur lesquels se fondent les disciplines expliquant son fonctionnement et permettant dès lors d'avoir une emprise sur celui-ci tout comme de le modeler. C'est ainsi que la physique, la chimie et la biologie, les disciplines fondamentales à l'origine des deux premières révolutions industrielles, et donc d'une profonde mutation du monde dans lequel nous vivons, sont entrées dans le cercle de la définition de la culture générale dispensée dans nos cycles d'orientation et nos gymnases.

Nous sommes aujourd'hui au seuil de la troisième révolution industrielle, celle de l'information. L'informatique et les TIC sont en train de modifier fondamentalement non seulement les processus de production mais également nos institutions politiques et notre mode de vie. Elles offrent à l'économie de nouvelles perspectives de croissance et donc conséquemment d'accroissement du niveau de vie des individus (meilleure utilisation des ressources productives, protection plus efficace de notre environnement, baisse des prix, possibilité de diminution spontanée de la durée de travail afin de bénéficier de plus de temps pour la vie privée, nouveaux produits, etc).

<sup>7</sup> d'autres auteurs parlent également à son sujet de stratégie « Learn to use ICT », cf. supra note 3

Paradoxalement cependant, les statistiques montrent que dans les pays de l'OCDE tout le monde ne bénéficie pas de la même manière des bienfaits des nouvelles technologies. Bien au contraire, les statistiques démontrent que les disparités ne cessent de s'accroître. Selon l'approche par la stratégie de l'assimilation, les individus touchant les dividendes des TIC sont ceux qui disposent d'une véritable culture informatique. Les personnes étant « computer literate » sont plus productives et, conséquemment, dans une économie de marché, mieux rémunérées en récompense de la valeur ajoutée additionnelle qu'elles apportent à la production.

Mais ce n'est pas tout. Ces personnes font preuve d'une importante capacité d'adaptation au changement, ce dernier n'étant pas craint car ne remettant pas en cause le noyau fondamental de leur culture informatique. Bien au contraire, les individus « computer literate » sont fréquemment les initiateurs du changement car disposant d'un bagage culturel stimulant la recherche spontanée et l'innovation. Ils recherchent et génèrent le changement tout en ayant leurs pieds fermement enracinés dans la culture informatique. Compte tenu de l'importance grandissante des TIC dans nos économies, les constatations de Gordon quant aux statistiques sur la croissance sectorielle n'ont rien de surprenant. C'est dans le secteur des TIC que l'on retrouve le plus haut degré de culture informatique. C'est donc également et logiquement dans ce secteur que le degré d'innovation et la productivité sont les plus élevés. Et donc conséquemment le taux de croissance sectoriel.

Investir dans la transmission de la culture informatique, c'est également former des citoyens éclairés capables de prendre de meilleures décisions pas uniquement dans leur sphère privée mais également dans la vie publique. Les citoyens titulaires d'une culture informatique sont dès lors non seulement de meilleurs collaborateurs ou de meilleurs cadres, mais également de meilleurs députés, de meilleurs sénateurs, de meilleurs législateurs mais aussi de meilleurs décideurs lors de votations. Ils font ici preuve d'une plus grande autonomie et d'un meilleur jugement d'appréciation lorsqu'il s'agit de prendre des décisions politiques importantes en rapport avec les TIC et l'avenir d'un pays.

L'approche du « learning by thinking » n'est pas uniquement pertinente dans le cadre de l'apprentissage des TIC. Ses défenseurs soulignent que d'une manière générale l'investissement dans la transmission d'une culture générale se concentrant sur l'assimilation des concepts essentiels nous permettant de comprendre et d'interagir avec le monde dans lequel nous vivons est également rentable aussi bien pour l'économie que pour la collectivité publique. L'assimilation d'une solide et consistante culture générale est non seulement à la base de l'autonomie de l'individu et de son intégration dans la société mais également de l'augmentation de sa productivité, de sa capacité de s'adapter au changement et d'innover. De récentes études de l'OCDE démontrent du reste que l'accroissement des dépenses en matière d'instruction publiques est rentable, y compris dans les pays industrialisés : une année de scolarité ou d'étude supplémentaire dans le cursus de formation d'un pays accroît sa productivité et stimule d'autant sa croissance.

## **2.3 « Thinking » ou « Doing » ? Une fausse question**

### *2.3.1 Opérationnalité et motivation*

Aucune de ces stratégies ne constitue pourtant la panacée universelle en matière d'apprentissage des TIC. Chacune connaît ses propres limites. L'approche théorique de l'informatique n'aboutit pas à un savoir-faire immédiat. Ce n'est pas parce que j'ai compris ce qu'est un système d'exploitation, un réseau ou une base de donnée que je suis dès lors instantanément à même de faire usage de ces instruments. La stratégie de l'assimilation ne se donne pas pour mission première de générer des compétences immédiatement opérationnelles. S'encrant dans la perspective d'une formation généraliste, elle tend au contraire à induire l'assimilation de concepts fondamentaux régissant l'univers en pleine évolution dans lequel nous vivons, assimilation qui permettra ainsi une véritable autonomie de l'individu dans ses rapports au monde. Tel est l'objectif principal de la dispense d'une réelle culture informatique, et plus généralement de la culture.

La stratégie du « learning by thinking » ne vise pas la formation d'utilisateurs prêts à l'emploi immédiat d'un instrument spécifique. Pour cette raison, le type d'instrument utilisé au cours de la formation n'a pas grande importance. Que le cours d'informatique soit donné avec des ordinateurs de type PC ou Mac, avec un système d'exploitation Windows, Linux ou Unix, que la suite bureautique utilisée soit Office, OpenOffice ou Claris, que le langage de programmation soit le C, le Java, le Pascal ou le Basic n'est la plupart du temps pas déterminant. Cependant, une personne ayant suivi un cours d'informatique théorique faisant appel à une plate-forme Unix afin d'illustrer et de présenter différents concepts ne sera pas instantanément un expert dans ce type d'environnement, et encore moins d'un environnement Windows ou Mac. Une période transitoire de passage à la pratique et d'adaptation aux changements superficiels rencontrés sera ici nécessaire.

Par analogie, il en va de même pour la personne apprenant une langue étrangère dans le cadre d'un cours et devant ensuite la mettre en pratique dans la vie réelle. Le manque d'opérationnalité immédiate est sans aucun doute la principale faiblesse de l'approche théorique. On pourra également mentionner le manque de motivation que peut parfois susciter une approche essentiellement abstraite. Nombre de personnes risquent de jeter l'éponge avant d'avoir atteint les objectifs visés. Ceci étant d'autant plus vrai lorsque les instruments utilisés disposent d'une interface rudimentaire et peu conviviale à l'image des ordinateurs des années '80. Ne pas utiliser immédiatement les instruments que l'on étudie à la résolution de problèmes concrets peut être source de frustration et de découragement, ce qui réduit d'autant l'efficacité d'une stratégie de l'assimilation impliquant des efforts intellectuels parfois pénibles.

### 2.3.2 Procédure et renforcement

La stratégie de l'intégration à elle seule possède également ses propres limites. L'approche du « learning by doing » suit les grands principes de la psychologie américaine béhavioriste du XX<sup>e</sup> siècle (Watson, Skinner). Selon cette doctrine, l'individu apprend un savoir-faire par la pratique, sur la base d'essais, d'erreurs et de récompenses des actions atteignant leur objectif. Cet apprentissage par tâtonnement et renforcement des actions aboutissant à leur but permet ainsi à l'individu de se construire spontanément tout un répertoire de procédures à suivre nécessaires à l'atteinte des objectifs recherchés par un individu.

L'approche du « learning by thinking » est quant à elle fidèle à une autre école de pensée trouvant ses racines chez les premiers philosophes européens et formalisée au cours XX<sup>e</sup> siècle par le célèbre psychologue neuchâtelois Jean Piaget : la psychologie cognitive. Piaget a démontré que l'être humain a besoin d'intérioriser intellectuellement les objets de son univers et les principes les régissant afin de pouvoir les manipuler et s'accommoder aux changements de son environnement.

Le contraste entre la stratégie de l'intégration et celle de l'assimilation fait ressortir la principale faiblesse de l'approche du « learning by doing ». Cette dernière se fonde sur l'apprentissage mécanique ou par tâtonnement d'un savoir-faire procédural. Ces apprentissages et les actions qui en découlent ne reposent pas sur une réflexion de l'individu. Les savoir-faire acquis sont des procédures apprises par coeur ou sur la base de simples essais et erreurs dans un environnement fixe et spécifique. L'avantage de cette technique élémentaire d'apprentissage est à rechercher dans un degré d'opérationnalité quasi immédiat de l'individu ayant bénéficié de pareille formation. En revanche, l'importante faiblesse de cette stratégie se situe dans le manque d'adaptabilité face aux changements : ayant appris une procédure spécifique à la manipulation d'un objet ou d'un environnement aux caractéristiques qui lui sont propres, l'individu sera rapidement désorienté et perdu au moindre changement superficiel de cet objet ou de cet environnement.

### 2.3.3 Exemple comparatif : enregistrer un document

Un exemple simple permettra de mieux comprendre la différence entre l'apprentissage par l'intégration et l'apprentissage par l'assimilation. Supposons que notre objectif soit d'apprendre à un individu comment enregistrer un document sur un serveur de données. Selon la stratégie du « learning by doing » on pourra indiquer la procédure exacte à suivre à cet effet dans un environnement spécifique, par exemple Windows : « 1. Dérouler le menu 'Fichier', 2. Sélectionner la commande 'Enregistrer sous...' 3. Dérouler la liste des lecteurs 4. Sélectionner le lecteur P: 5.

Sélectionner le dossier portant votre nom 6. Dans le champs 'Nom du document', taper le nom du document 6. Cliquer sur Enregistrer ». Après avoir appris cette procédure, notre individu sera immédiatement opérationnel pour l'effectuer un nombre de fois illimité. De plus, ce type d'apprentissage étant élémentaire, il prendra très peu de temps.

La stratégie du « learning by doing » constitue ici un investissement extrêmement rentable. A tout le moins à court terme. Car dans la durée des problèmes vont rapidement faire leur apparition. De très légers changements de l'environnement de l'utilisateur y suffiront. Supposons par exemple que le lecteur-réseau P: ne soit plus disponible pour une raison quelconque (panne du serveur, changement de la dénomination du lecteur, utilisation d'un ordinateur dans un autre département, etc) La procédure apprise par notre individu devient instantanément inutilisable. Quelle solution offre la stratégie de l'intégration pour dépasser le problème rencontré ? Tout simplement l'apprentissage d'une nouvelle procédure qui remplacera l'ancienne devenue obsolète. Dans l'attente de la communication de cette nouvelle procédure, la personne désorientée pourra certes procéder par essais et erreurs afin de trouver une alternative. Cependant, ne comprenant pas ce qu'elle fait, elle risque fort de s'égarer et même de perdre les données qu'elle souhaitait sauvegarder.

On voit ici clairement la principale limite du « learning by doing ». A chaque modification de l'environnement de l'individu, il sera nécessaire de recommencer l'apprentissage procédural. Le moindre petit changement peut provoquer des difficultés allant jusqu'à devenir insurmontables ou nécessitant beaucoup de temps afin de pouvoir les dépasser. Il n'est ainsi par rare de voir des utilisateurs complètement perdus parce qu'ils ne trouvent plus sur leur bureau virtuel l'icône de leur traitement de texte. Ce faisant, ils se révèlent incapables de lancer le traitement de texte en question et doivent appeler un spécialiste qui leur mettra à nouveau l'icône en place (de telle sorte à ce que la procédure apprise fonctionne à nouveau) ou leur communiqueront une nouvelle procédure à suivre (par ex. Cliquer sur Démarrer, etc).

Plus les changements d'environnements seront conséquents et fréquents, plus cela prendra du temps à un individu de s'y adapter : le nombre de procédures à effacer et à remplacer par l'apprentissage de nouvelles est alors d'autant plus important et consommateur de temps. C'est ainsi que les individus se formant à travers la technique de l'intégration éprouvent généralement beaucoup de peine à passer d'un système d'exploitation à un autre (de Mac à Windows, de Windows à Unix, etc), d'une version d'un logiciel à une autre. Dès lors, sur le moyen et long terme, la stratégie du « learning by doing » à elle seule n'est pas particulièrement rentable, qui plus est dans un environnement technologique à forte évolution.

En suivant la stratégie de l'assimilation, l'individu devant s'initier à l'enregistrement d'un document sur un serveur apprendra d'abord les principaux concepts fondamentaux en rapport avec cette opération (stockage des données, disques, lecteurs, réseau, serveur, dossiers, arbres, etc) puis en fera usage dans un environnement spécifique afin de trouver une solution réfléchie à son problème. De la sorte, il pourra aisément s'organiser et s'adapter à tout changement d'environnement (le lecteur P: manque ? Peut-être a-t-il changé de nom ? Peut-être est-il possible de faire temporairement appel à un autre lecteur ? etc). De même, le passage d'une plateforme à une autre (Mac à Windows par exemple) se fera sans problème particulier à travers un bref délai d'adaptation.

#### *2.3.4 Adaptation efficace au changement*

Enfin, la stratégie du « learning by doing » est a priori plus motivante que celle de l'assimilation : elle confronte immédiatement l'individu à des problèmes concrets et offre des solutions pratiques immédiatement utilisables. La personne bénéficiant de ce type d'apprentissage est dès lors d'autant plus motivée que chacun de ses efforts se voit récompensé par l'atteinte d'objectifs spécifiques. Ce faisant, cette stratégie évite l'écueil de la démotivation et de la frustration que peuvent provoquer les efforts de réflexion nécessaires à l'assimilation des concepts fondamentaux d'une discipline. Ceci est sans aucun doute vrai à court terme. Mais à moyen et long terme, la nécessité de remettre constamment et de plus en plus fréquemment à jour un savoir-faire procédural et mécanique des suites des changements de l'environnement de travail finit par consommer une quantité croissante d'énergie. Et sans pour autant que cela se traduise nécessairement par un accroissement significatif de la productivité de l'individu. Qui dès lors peut finir

par s'épuiser et se décourager à imiter Sisyphe dans sa quête d'une débrouillardise sans cesse obsolète.

## 2.4 La stratégie du « learning by thinking and doing »

Réflexion et action étant le propre de la nature humaine, il semble aller de soi que les stratégies de l'intégration et de l'assimilation ne s'excluent pas mais se complètent. Elles constituent sans aucun doute les deux piliers de la formation à l'informatique et aux nouvelles technologies de l'information. Que l'un manque et c'est tout le système de formation qui devient unijambiste et déséquilibré. Il est évident qu'un apprentissage théorique n'offrant aucune possibilité de mise en pratique peut vite finir par devenir lassant. De plus, assimiler d'une seule traite l'ensemble des concepts d'une discipline sans jamais pouvoir les appliquer à la résolution de problèmes concrets pose des difficultés d'opérationnalisation au moment inévitable où il faudra passer un jour à la pratique.

### 2.4.1 Illustration et application de la théorie

De nos jours, l'apprentissage de l'informatique par l'assimilation n'exclut généralement plus l'apprentissage par la pratique. Bien au contraire, les concepts fondamentaux transmis sont illustrés par des exemples et des exercices pratiques dans des environnements spécifiques. Par exemple, on n'apprendra pas dans un cours théorique, d'un coup, les concepts fondamentaux sur lesquels reposent le traitement de texte. On les présentera, on les illustrera et on les mettra en pratique sur des ordinateurs de type PC équipés de Windows XP et de Word 2002 ou sur des Mac équipés de ClarisWorks. Cela ne veut cependant pas dire que la stratégie de l'intégration supplante ici celle de l'assimilation : il y aura toujours une phase de l'apprentissage durant laquelle l'individu prendra le temps de réfléchir et d'assimiler les concepts de paragraphe, de section, d'en-tête / pied de page, de document, de tabulation, de tableau, etc. Que cette phase ait lieu avant la pratique ou après des exercices d'exploration permettant de situer le concept à assimiler n'enlève rien à sa nécessité si l'on entend que l'individu passe du stade de la débrouillardise à celui de la maîtrise et soit donc apte à s'adapter aux changements.

### 2.4.2 Tentation de l'exclusivité du « learning by doing »

Il en va de même avec la stratégie de l'apprentissage procédural par la pratique. Les tentatives pratiques immédiates de résolution de problèmes spécifiques peuvent initier l'assimilation implicite de concepts simples. A force par exemple d'enregistrer des documents dans des dossiers, l'individu va finir par comprendre implicitement ce qu'est un arbre de dossiers structuré hiérarchiquement. Partant de cette constatation, il serait fort tentant d'en déduire que la stratégie de l'assimilation est dès lors dépourvue de tout intérêt si l'apprentissage par l'intégration peut également induire spontanément l'assimilation des concepts fondamentaux de l'informatique. Tel n'est cependant pas le cas.

L'apprentissage exclusif par la pratique se heurte tout d'abord au problème du langage humain et de la communication. Le monde informatique est constitué d'une multitude d'objets dont le fonctionnement est régi par un noyau de principes élémentaires. Tout comme dans le monde réel, ces objets sont désignés par leurs noms. Ils possèdent des propriétés et des attributs qui leurs sont propres. On peut les regrouper par familles d'objets entretenant des liens de descendance. Sur chacun de ces objets, des actions désignées par des verbes peuvent être entreprises afin de les manipuler. La connaissance des noms des objets et des actions qui leurs sont reliées est indispensable si l'on entend pouvoir en parler avec d'autres personnes sans ambiguïté. Un individu apprenant uniquement par la pratique à se débrouiller avec son ordinateur peut atteindre ses objectifs pour des tâches extrêmement simples tout en étant incapable d'en parler avec d'autres personnes parce que n'ayant jamais conceptualisé consciemment et verbalisé les objets et les actions auxquels il fait appel. Il est fréquent d'entendre chez ces utilisateurs (jeunes et moins jeunes) des questions et des réponses du genre « Comment faire pour mettre le texte.... Vous savez, comme ça... Il faut cliquer sur le truc et bouger le machin, non ? » L'absence de formalisation consciente et d'assimilation de concepts mêmes rudimentaires devient dès lors un grave handicap au même titre que l'illettrisme.

S'il existe en informatique des concepts simples que l'apprentissage par la pratique permet d'assimiler implicitement sans pour autant les avoir formalisés et généralisés, tel n'est cependant pas le cas pour nombre de principes fondamentaux dont le degré de complexité, même s'il reste abordable pour le commun des mortels, nécessite leur assimilation préalable. L'apprentissage par la pratique va permettre à l'individu de se rendre compte qu'il n'arrive pas à dépasser par tâtonnement un problème concret. Et que pour le résoudre il va devoir prendre la peine d'assimiler un ou plusieurs concepts qui lui permettront ensuite d'en déduire une solution pratique. En clair, il va devoir réfléchir avant d'agir. Apprentissage pratique et théorique se complètent alors ici à merveille : le problème pratique auquel est confronté l'individu va le motiver à faire l'effort intellectuel nécessaire à l'assimilation de concepts théoriques dont il fera usage par la suite.

Ce sera le cas de la personne qui n'arrive pas enregistrer un document sur une disquette car celui-ci étant trop volumineux. A supposer que la cause du problème soit à trouver dans le fait que le document est agrémenté de volumineuses images, l'assimilation des concepts propres à la codification et à la compression des images numériques ainsi qu'à la technique des liens entre documents permettra à l'individu d'en déduire des solutions à chaque fois qu'il sera confronté à ce type de problème. Il en ira également de même pour la personne confrontée à une base de données trop lente et trop volumineuse : l'assimilation des notions propres aux bases de données relationnelles lui permettra de trouver des solutions de nature universelle.

Au bout du compte, on constate que, même si l'on pourrait être tenté d'opter exclusivement pour la stratégie du « learning by doing », assimilation et intégration sont deux approches qui se complètent et sont indissociables l'une de l'autre. Cela ne signifie cependant pas qu'il s'agisse de les mélanger. Cette remarque étant particulièrement vraie pour la stratégie de l'assimilation : celle-ci nécessite du temps pour une prise de recul par rapport à l'objet étudié à travers une réflexion formelle sur ce dernier. Dit autrement, il ne suffit pas de passer son temps à cliquer et à tapoter dans tous les sens sur un ordinateur par apprendre à le maîtriser. Il vient toujours un moment où il est indispensable de réfléchir à ce que l'on fait, que ce soit dans le cadre d'un cours spécifique d'informatique ou en lisant un ouvrage fondamental sur la question. C'est cette réflexion sur l'action qui permet le passage de la débrouillardise peu productive au stade de la maîtrise innovante.

## **2.5 Intégration et assimilation : une complémentarité graduelle**

Les stratégies de l'assimilation et de l'intégration reposent mutuellement l'une sur l'autre. Peut-on en déduire cependant qu'un bon système de formation se doit nécessairement d'accorder une importance identique à l'une et à l'autre ? A priori tel semble être le cas. Cependant, en y regardant de plus près, on en déduit que la réponse varie selon l'âge de la personne devant bénéficier de la formation. Cette dernière prendra une forme différente si elle s'adresse à un enfant de 5 ans ou à un jeune de 20 ans pour la simple raison que les aptitudes intellectuelles d'un jeune enfant sont nettement plus limitées que celles d'un jeune adulte.

### *2.5.1 Ecole enfantine et primaire*

Un enfant de 6 ans n'aura pas les moyens d'assimiler une multitude de concepts fondamentaux de l'informatique. Dès lors, à ce stade, la stratégie par l'assimilation, même combinée à celle de l'intégration, se révélera peu efficace, si ce n'est contreproductive (frustration). L'enfant va devoir préalablement développer ses aptitudes intellectuelles dans d'autres domaines (langage, calcul, etc) afin de pouvoir profiter par la suite des bénéfices de l'apprentissage par assimilation. Sans un développement normal de ses aptitudes cognitives, cet enfant éprouvera ultérieurement des difficultés, en informatique, à passer du stade de la débrouillardise à celui de la maîtrise.

On en conclut qu'au niveau de l'école enfantine et de l'école primaire, une formation aux TIC va mettre l'accent sur la stratégie de l'intégration. On procédera ici à une familiarisation des enfants avec les instruments mis à disposition par les TIC. Au mieux pourra-t-on attendre ici qu'en fin de scolarité primaire l'enfant se débrouille avec quelques instruments informatiques rudimentaires (programme de dessin, traitement de texte, navigateur Internet). Il s'agit avant tout de préparer le terrain pour la suite de la formation. Au stade de l'école primaire, les disciplines n'étant pas compartimentées, l'approche intégrative est particulièrement appropriée. L'apprentissage et la

mise en pratique de procédures simples quant à l'usage des instruments informatiques au sein de diverses branches (langues, mathématiques, dessin, etc) sont alors idéaux. Ce d'autant plus que ces instruments peuvent servir d'auxiliaires aux maîtres grâce à l'usage de didacticiels stimulant et facilitant les apprentissages fondamentaux dans diverses disciplines.

Cependant, il faudra veiller à ce que l'intégration de l'informatique au cours de la scolarité primaire ne devienne pas envahissante et se fasse discrète. Afin de pouvoir bénéficier ultérieurement au mieux de la stratégie de l'assimilation, il est impératif que les enfants du degré primaire puissent développer dans les meilleures conditions possibles leurs aptitudes intellectuelles, socioaffectives et morales. Les TIC ne doivent pas venir ici parasiter ces apprentissages fondamentaux garants d'un bon développement de l'enfant. C'est durant cette période que l'enfant a tout particulièrement besoin de nouer des liens directs avec son environnement naturel et social afin de construire sa personnalité. On prendra garde à ce que l'enfant ne se coupe du monde réel pour se plonger et s'emprisonner dans le monde virtuel (en passant tout son temps à faire des jeux vidéo sur son ordinateur ou à dialoguer par ordinateur interposé avec d'autres élèves sur Internet plutôt que d'aller jouer en plein air avec ses camarades de classe).

Est-ce à dire que la stratégie de l'assimilation est totalement absente de la formation aux TIC durant les années de la scolarité primaire ? Tel n'est pas le cas. En fait, elle se situe en arrière-plan. A niveau primaire, l'essentiel est de préparer le terrain pour une formation ultérieure plus systématique, lorsque l'on passera du stade de l'enfance à celui de l'adolescence et du jeune adulte. L'approche du « learning by doing » peut certes induire une assimilation implicite de quelques concepts simples. Il n'est pas exclu, notamment en 5<sup>e</sup> ou 6<sup>e</sup> primaire, de formaliser d'une manière élémentaire et intuitive quelques concepts, à l'image par exemple de la notion d'algorithme à travers un léger apprentissage ludique d'un langage de programmation tel le logo (l'enfant apprend à donner des instructions simples (avancer, reculer, tourner, etc) à une tortue qui se déplace sur un écran afin de dessiner différentes formes géométriques).

Mais une fois de plus, l'objectif principal en ce qui concerne la stratégie de l'assimilation consiste ici à préparer le terrain. Et en ce sens, il est impératif que l'intégration des TIC ne fasse pas ombre aux apprentissages élémentaires. Il sera tentant pour un certain nombre d'enseignants de mettre l'ordinateur et Internet à toutes les sauces, d'autant que les projets actuels de formation les y poussent. Ce serait là une erreur lourde de conséquences. Que les élèves apprennent ici à s'exprimer, à lire, à écrire, à calculer, à nouer des liens entre eux et avec leur environnement est prioritaire. Sans cela toute formation ultérieure faisant appel à la stratégie de l'assimilation sera préteritiée, que ce soit en informatique ou dans toute autre discipline.

### 2.5.2 Cycle d'orientation

En grandissant, les aptitudes intellectuelles de l'enfant se développent. Ce faisant, la stratégie de l'assimilation est dès lors appelée à jouer un rôle croissant dans la formation aux TIC. On va passer progressivement du stade de la familiarisation, à celui de la débrouillardise puis enfin de la maîtrise. Afin d'aboutir à ce dernier, le pilier de l'assimilation devient dès lors central. Celui de l'intégration ne s'efface pas mais va finir par jouer un rôle complémentaire secondaire. L'importance relative des deux stratégies dans la formation à l'informatique finit par s'inverser.

L'adolescence et le cycle d'orientation sont le lieu où cette transition va pouvoir s'effectuer. A partir de ce niveau débute un processus de spécialisation. Les différentes disciplines ne sont plus enseignées par une seule et même personne : elles le sont dans des cours spécifiques. L'élève a atteint un stade de développement intellectuel qui lui permet maintenant de commencer progressivement à assimiler des concepts d'un degré de complexité croissant et ceci également dans d'autres champs de compétences que la simple écriture, la lecture ou le calcul.

C'est la période idéale pour regrouper tous les fruits de l'expérience pratique de l'usage de l'ordinateur acquis au cours des années de l'école primaire afin de les utiliser comme matière première pour forger et assimiler les premiers concepts rudimentaires des TIC dans le cadre de cours spécifiques d'informatique. La stratégie de l'intégration subsiste et stimule d'autant la motivation à assimiler les concepts fondamentaux de l'informatique à travers les applications pratiques qu'en font élèves et professeurs dans les autres branches. Ces derniers peuvent se concentrer sur l'enseignement de leur discipline : on leur demande, dans la mesure du possible, d'utiliser l'ordinateur comme instrument au sein de leur propre discipline. Ils n'ont pas à se pré-

occuper de l'assimilation des principes élémentaires de l'informatique par leurs élèves : c'est là le rôle du cours et des professeurs d'informatique. Une fois de plus, il faut veiller à ce que la stratégie de l'intégration ne fasse pas de l'ombre aux apprentissages fondamentaux dans les autres disciplines avec des professeurs trop zélés qui consacraient trop de temps à Internet ou à la production de documents avec leurs élèves au détriment du cursus ordinaire.

Si les élèves en fin de scolarité primaire et en début de cycle d'orientation se situent idéalement à cheval entre le stade de la familiarisation et celui de la débrouillardise, les élèves en fin de scolarité obligatoire se devraient d'être en train de faire un premier pas en direction de la maîtrise. Après avoir appris quelques concepts élémentaires, ils commencent à maîtriser les bases de leurs principaux instruments de travail (ordinateur, bureau virtuel, logiciel de dessin, traitement de texte, tableur, services internet). Le terrain a également été préparé pour l'apprentissage ultérieur de concepts plus complexes (réseaux, bases de données, programmation, etc). Les objets rattachés à ces concepts ont été esquissés d'une manière grossière afin que les élèves puissent s'en faire une idée. De la sorte, ils peuvent se représenter d'une manière générale ce en quoi consiste le domaine des TIC. Cette image leur permettra de faire un choix plus éclairée en matière de spécialisation : « Suis-je intéressé à travailler dans ce domaine spécifique ? Ai-je envie de me lancer directement dans un apprentissage professionnel dans les TIC ou au contraire d'entreprendre des études ? »

### 2.5.3 Ecoles professionnelles

Au cours de leur formation professionnelle, les apprentis compléteront leur culture informatique à travers un cours d'informatique général qui leur permettra d'élargir leurs connaissances et les concepts qu'ils connaissent dans le domaine afin d'être à même de faire preuve d'autonomie et d'un regard critique face au rôle des TIC dans notre société. Ce cours renforcera les aptitudes des apprentis à s'adapter aux changements technologiques, et même mieux, à les susciter en formulant des propositions d'innovation. Selon le type d'apprentissage, ce cours général sera complété d'un ou de plusieurs cours ayant pour but d'initier ou de compléter la formation des apprentis quant à l'usage d'instruments spécifiques propres à la profession.

Au niveau de la formation professionnelle, la stratégie de l'intégration change de nature : elle ne consiste plus tant à intégrer l'usage de l'ordinateur en tant qu'instrument dans d'autres branches mais bel et bien à aboutir à une maîtrise des TIC dans le cadre de l'activité professionnelle en cours d'apprentissage. La formation spécifique à des instruments particuliers joue ici un rôle important. Mais celle-ci ne peut reposer que sur une solide formation générale faisant appel à la stratégie de l'assimilation si elle entend cultiver la capacité d'adaptation au changement ainsi que la rentabilisation de l'investissement dans les TIC par les entreprises.

### 2.5.4 Gymnase

Les gymnases ont pour mission de préparer les collégiens aux études en leur offrant une formation de culture générale. Ce faisant, ils se donnent notamment pour objectif de permettre aux élèves de faire un choix éclairé quant à leur domaine de spécialisation. Il s'en suit dès lors que la formation gymnasiale se distingue de la formation professionnelle en ce sens qu'il ne s'agit pas d'offrir aux collégiens une formation à tel ou tel logiciel spécifique à des fins professionnelles. La formation à l'informatique a ici trois objectifs prioritaires, les deux premiers étant communs à toutes les autres disciplines enseignées dans les gymnases.

Elle aura tout d'abord comme but de transmettre une véritable culture informatique aux élèves. De la sorte, les collégiens pourront faire preuve d'une certaine autonomie face à des TIC dont la compréhension fait aujourd'hui partie, de par leur rôle fondamental de technique civilisation, de la culture générale.

Mais cet apprentissage de la culture informatique leur permettra également d'atteindre le second objectif visé par la formation à l'informatique dans les collèges : faire un choix de spécialisation en connaissance de cause : « Vais-je étudier l'informatique ou non ? ». Dispenser une véritable culture informatique permettra de prévenir un gaspillage de ressources humaines en évitant que des élèves ayant des affinités pour une spécialisation dans les TIC ne s'y lancent pas par méconnaissance du domaine et que d'autres au contraire le choisissent sur la base d'une image biaisée.

Enfin, cette formation a également comme but de permettre aux élèves de maîtriser les principaux instruments des TIC spécifiques aux études. Comme l'apprentissage de l'usage de la plupart de ces instruments s'est déjà effectué au cours de la scolarité obligatoire et du cycle d'orientation (bureau virtuel, logiciel de dessin, traitement de texte, tableur, services Internet), que ce faisant les élèves entrent au collège avec une maîtrise élémentaire de ceux-ci, il ne s'agit plus ici de répéter les cours donnés au cycle. Sur la base des compétences déjà acquises, les élèves utilisent ces instruments au sein de leurs cours respectifs tout comme les apprentis en font usage dans le cadre de leur travail. Cette utilisation doit se faire de manière spontanée de la même manière qu'il n'est pas nécessaire qu'un professeur de mathématiques exige de ses élèves qu'ils fasse usage de leur machine à calculer. A ce stade, les professeurs intègrent l'usage des TIC dans leurs cours respectifs sans pour autant les sacraliser et les laisser faire ombre aux différents contenus de leurs enseignements spécifiques.

Si le mouvement de la stratégie intégrative lancé durant la scolarité obligatoire se poursuit spontanément à travers l'usage de l'ordinateur dans les différents cours, la stratégie de l'assimilation commence à jouer un rôle prépondérant dans le cadre d'un cours spécifique d'informatique disposant d'une dotation-horaire hebdomadaire au moins similaire à celle des autres disciplines dite « secondaires », à savoir 2 heures hebdomadaires. Celles-ci rendent possible l'assimilation des concepts fondamentaux des TIC afin de bâtir la culture informatique des élèves et de permettre à ces derniers de passer au stade de la maîtrise. Si le cours se fonde essentiellement sur l'approche du « learning by thinking », il comporte également une facette pratique à travers l'illustration et la mise en application des concepts appris.

Le cours spécifique d'informatique est donc essentiellement orienté vers l'assimilation des principes fondamentaux de l'informatique. Le but est de comprendre les concepts régissant les instruments utilisés afin de les maîtriser et de se faire une idée de la manière dont on peut en développer de nouveaux. C'est ainsi que l'on y étudiera notamment le codage et la structuration de l'information, son traitement et son stockage à travers la compréhension des principes élémentaires régissant le fonctionnement d'un ordinateur, la numérisation des données, les réseaux, Internet, la programmation ou les bases de données.

Enfin, et comme pour la plupart des autres disciplines enseignées au collège, les élèves le désirant se doivent de pouvoir renforcer leur culture informatique dans un cours à option complémentaire, de la même manière que les étudiants le souhaitant peuvent approfondir de la sorte leur savoir dans les sciences naturelles, en économie et droit, en histoire, en philosophie, en psychologie/pédagogie, en sport, etc.

Tout gymnasien bénéficie ainsi d'une véritable culture informatique et se voit offrir la possibilité d'étudier l'informatique tout au long de ses années de gymnase. Le collège remplit son but de préparation et d'orientation des élèves aux études dans les hautes écoles tout en respectant sa vocation de formation à la culture générale.

En résumé, un système efficace de formation aux TIC se fonde simultanément sur la stratégie de l'intégration et celle de l'assimilation en optant pour une approche de type « learning by thinking and doing ». L'importance respective de ces deux stratégies complémentaires évolue en fonction de l'âge des personnes auxquelles elles s'adressent. Si la stratégie de l'intégration est fondamentale quant à la familiarisation des enfants aux TIC, elle permet de préparer le terrain de la stratégie de l'assimilation qui est appelée à jouer graduellement un rôle prépondérant au cours de la scolarité postobligatoire afin de faire passer les élèves du stade de la débrouillardise à celui de la maîtrise.

### **3 Etat actuel des systèmes de formation**

Si les actuels projets de formation aux TIC que l'on rencontre en Suisse sont pour la plupart quasi exclusivement axés sur la stratégie de l'intégration à tous les niveaux de la scolarité, des signes annonciateurs tendent à démontrer que l'on se dirige vers un rééquilibrage des systèmes

de formation dans lesquels la stratégie de l'assimilation est appelée à refaire son apparition et à retrouver son rôle fondamental.

### 3.1 L'exclusivité de la stratégie intégrative

Quelle a été l'importance respective des deux stratégies en matière de formation aux TIC ces 20 dernières années ? Les années '80 furent celles de la stratégie de l'assimilation. En effet, avec l'arrivée des premiers ordinateurs individuels dans les ménages et les petites et moyennes entreprises (PME), on se mit à prendre conscience du potentiel de développement que représentaient les nouveaux instruments informatiques ainsi que de l'impact que ceux-ci allaient avoir sur la société. L'informatique fut introduite en tant que cours spécifique dans le degré secondaire II, c'est-à-dire dans les collèges et les écoles professionnelles.

Si la formation aux TIC a essentiellement été introduite à ce niveau et non véritablement à celui de la scolarité obligatoire, c'est qu'elle faisait avant tout appel à la stratégie de l'assimilation. Ce n'était pas ici un choix délibéré en faveur du « learning by thinking ». Le contexte dans lequel la formation à l'informatique a été introduite l'explique. Les coûts de l'équipement en matériel et en logiciel étaient prohibitifs pour une intégration généralisée des TIC dans des cours autres que ceux d'informatique. Ce d'autant plus que les réseaux informatiques locaux interconnectant les ordinateurs individuels, permettant le partage d'informations et de ressources, n'en étaient qu'à leurs premiers balbutiements dans les écoles. L'Internet grand public n'était tout simplement pas disponible. Une puissance particulièrement limitée du matériel informatique constituait un obstacle à l'émergence des applications multimédia. Enfin, et surtout, les interfaces logicielles entre l'utilisateur et la machine étaient peu conviviales. Point de souris, de pointeurs et d'interfaces utilisateurs graphiques de qualité.

Les concepts fondamentaux de l'informatique ne pouvaient être dissimulés sous le capot de l'interface. Au point que l'utilisation de la plupart des logiciels était tout simplement impossible sans une assimilation préalable des principes régissant leur fonctionnement et celui de l'ordinateur. La réflexion constituait dès lors inévitablement un prérequis à tout usage de ces instruments. Pour ces raisons, on dispensa une véritable culture informatique dans les cours d'informatique de l'époque. Ce d'autant plus que l'on prit conscience de l'impact que peut avoir l'apprentissage de la pensée algorithmique dans le développement des aptitudes intellectuelles. C'est ainsi que ces cours d'informatique initiaient également leurs bénéficiaires aux principes élémentaires de la programmation et du développement de logiciels. Les élèves le désirant pouvaient approfondir leurs compétences dans ces domaines au sein de cours à option reconnus.

Dans le courant des années '90, la baisse des coûts d'équipement et l'accroissement de la puissance du matériel informatique permirent à la stratégie de l'intégration de véritablement voir le jour et de finir par s'imposer au détriment de la stratégie de l'assimilation. La mise en réseau local des ordinateurs de l'école, l'apparition de l'Internet grand public et le développement des applications multimédia facilitèrent la pénétration des TIC dans la sphère scolaire. Et tout particulièrement dans le domaine de la scolarité obligatoire. L'ordinateur entra dans l'école au niveau primaire d'une manière non uniforme grâce aux initiatives privées et non coordonnées de quelques enseignants fascinés par les TIC et les nouvelles perspectives que celles-ci offraient en matière d'enseignement (didacticiels). Par la suite, sous l'impulsion de ces initiatives privées, certaines communes se décidèrent pour un équipement plus systématique de leurs écoles. Gouvernements régionaux et nationaux ont finalement pris en main la planification d'une intégration généralisée et uniforme des TIC à l'école en lançant différents projets d'équipement systématique des écoles et de formation de l'ensemble du corps enseignant. Ces projets en cours de réalisation en Suisse se concentrent encore avant tout sur l'intégration des TIC dans la scolarité obligatoire. L'économie privée participe sur une période de temps limitée au financement partiel de certains d'entre eux.

Si la réduction des coûts d'équipement, l'accroissement de la puissance des machines et le développement des moyens de télécommunication ont rendu possible l'entrée de l'ordinateur dans un nombre de plus en plus élevé d'écoles, c'est cependant la profonde modification des interfaces logicielles qui a permis à la stratégie de l'intégration de prendre son envol. L'apparition généralisée de véritables bureaux virtuels faisant appel à des objets visuels simples tels les fenêtres,

les menus, les boutons, les icônes contrôlés en quelques cliques par une simple souris a grandement simplifié les interactions avec l'ordinateur et ses logiciels.

La plupart des gens ont été séduits par la grande convivialité des nouvelles interfaces développées par Apple ou Microsoft. Au point que l'usage des instruments informatiques semblait devenir enfantin. Ce d'autant que, justement, les jeunes et les enfants témoignèrent rapidement d'une grande aisance quant à leur utilisation et que les fabricants exploitèrent cette simplicité comme argument de vente de leurs produits. L'informatique se démocratisait et devenait accessible à tout un chacun. Nul besoin d'être un expert afin d'utiliser ces nouvelles technologies jouant un rôle de plus en plus fondamental dans l'organisation de nos sociétés et notre vie quotidienne. C'est uniquement en cas de problèmes que la nécessité des experts fait son apparition.

Les interfaces conviviales évitant que les utilisateurs dussent se pencher sous le capot, les cours spécifiques d'informatique et la stratégie de l'assimilation devenaient inutiles. Il suffisait, croyait-on, de savoir manier une souris et cliquer sur des boutons pour être à même de maîtriser les instruments informatiques. Et à cet effet l'apprentissage théorique des concepts fondamentaux de l'informatique devenait inutile. Si d'un côté l'ordinateur se mit à entrer d'une manière systématique dans les écoles primaires, d'un autre les cours spécifiques d'informatique dans les collèges disparurent progressivement du cursus comme peau de chagrin.

Le contenu des rares cours qui survivrent changea de nature sous l'influence de la dominance de la stratégie de l'intégration. Il ne s'agissait plus de comprendre les TIC mais simplement d'être à même de se débrouiller avec les instruments les plus courants afin d'être capable d'en faire usage dans le cadre des études. Les ultimes cours d'informatique devinrent donc quasi exclusivement des cours de bureautique.

Les enfants de la génération des ordinateurs conviviaux témoignant d'une telle dextérité et d'une telle rapidité dans l'usage des TIC, il était évident que d'ici à quelques années les jeunes entrant dans les écoles professionnelles et les collèges maîtriseraient parfaitement ces instruments dont les interfaces et l'usage allaient encore grandement se simplifier. A terme, les derniers cours d'informatique dans les collèges n'auraient plus aucune raison d'être et l'on pourrait les supprimer. Tout comme on pouvait dès à présent supprimer les autres cours spécifiques complétant le cours de base (cours de programmation, de bases de données, etc) dans le cursus ordinaire ou sous la forme de cours à option. La mission des collèges étant de transmettre aux élèves une véritable culture générale, il allait de soi que les cours d'informatique n'y avaient pas leur place, ceux-ci relevant exclusivement de la compétence des hautes écoles et des écoles professionnelles.

Les concepts fondamentaux de l'informatique n'eurent plus droit de cité dans le cursus ordinaire du collégien car ce n'est pas le rôle des gymnases que de former des spécialistes. A terme, on ne donnerait donc plus de cours spécifique d'informatique dans les collèges mais les professeurs des autres disciplines utiliseraient dans leurs cours respectifs l'ordinateur avec les élèves. Ainsi, de l'école enfantine au gymnase, la stratégie de l'intégration allait supplanter définitivement celle de l'assimilation qui était même appelée à disparaître définitivement des collèges.

### 3.2 Les désenchantements de l'approche intégrative

Vers la fin des années '90 et au début de ce nouveau millénaire, les prévisions des décideurs ne se réalisèrent pas. Même si certains jeunes font usage des TIC depuis leur enfance, on constate que, pour la plupart, au mieux, ils se débrouillent tant bien que mal avec ces instruments. Rares sont ceux qui maîtrisent véritablement les instruments informatiques qu'ils utilisent. Et comme les cours d'informatique ont d'une manière générale disparu du cursus des gymnases, ce n'est pas à ce stade que des remédiations peuvent être apportées. Il n'est du reste pas du ressort des professeurs des autres branches de combler ces lacunes au sein de leurs cours : la plupart n'ont pas les compétences nécessaires à cet effet. De plus, prendre du temps sur leurs cours pour effectuer le travail qui n'a pas été réalisé dans des cours spécifiques d'informatique ne pourrait ici se faire qu'au détriment de l'enseignement de leurs disciplines.

Au niveau gymnasial, la productivité des élèves en matière d'usage des TIC est particulièrement faible. Lors de la production d'un document par exemple, nombre d'élèves se doivent de dépenser un temps considérable à cet effet alors qu'avec une véritable maîtrise la tâche pourrait être effectuée en très peu de temps. De plus, les documents produits témoignent fréquemment du manque de compréhension du fonctionnement de l'instrument utilisé et des concepts sur lesquels il est basé. Ainsi, les documents produits sont souvent de piètre qualité quant à leur structuration. L'absence de systématique dans les documents produits est à mettre en relation avec le faible degré de productivité et le manque de culture informatique des élèves.

#### 3.2.1 *Le syndrome de la pomme ou l'illusion de la simplicité*

Comment expliquer qu'une diffusion de plus en plus large de l'ordinateur dans les écoles et les foyers ne se traduise pas par une amélioration sensible des compétences des élèves quant à la maîtrise des TIC, et ce malgré les récents efforts d'intégration de ces instruments dans le système scolaire ? L'illusion de la simplification des instruments informatique est l'une des explications les plus plausibles du manque d'efficacité des actuels projets de formation.

La simplification des interfaces au cours des années '90 est à l'origine de cette illusion. Si ces interfaces sont effectivement devenues plus conviviales, simplifiant l'interaction avec la machine, il n'empêche que les instruments utilisés continuent d'être régis par les principes fondamentaux de l'informatique et la compréhension de ces concepts reste indispensable quant à l'usage rationnel, c'est-à-dire la maîtrise élémentaire, des TIC. Sous le capot de l'interface, ces instruments n'ont en réalité cessé de se complexifier afin de permettre l'accroissement de leur puissance et de leurs potentialités. Si d'un côté les interfaces se simplifient en facilitant à l'utilisateur la saisie des données et la communication d'instructions de traitement aux applications, elles offrent également des possibilités accrues qui n'arrêtent pas de s'étendre au tel point que l'utilisateur peine à se concentrer sur l'apprentissage de l'essentiel plutôt que des détails.

D'une manière générale, la compréhension des principes fondamentaux des TIC reste donc essentielle à leur maîtrise. En outre, ces principes tendent à s'élargir sous les effets d'une complexification accrue des TIC visant à augmenter leur potentiel de productivité. En parallèle à ce mouvement de complexification, l'illusion de la simplification des TIC a induit les décideurs à miser exclusivement sur la stratégie intégrative du « learning by doing » en évacuant la stratégie de l'assimilation et du « learning by thinking » alors même que cette dernière constitue le pilier de l'accès à la maîtrise des TIC. Devenu unijambiste, pareil système de formation ne peut qu'aboutir à des résultats médiocres tout en tentant tant bien que mal de donner l'illusion d'être parfaitement efficace parce que les jeunes générations savent manier une souris et tapoter sur un clavier.

#### 3.2.2 *Le mythe du « petit génie »*

Pour quelle raison a-t-on pensé qu'il suffisait que les enfants utilisent l'ordinateur dès leur plus jeune âge pour que l'on puisse par la suite se passer de cours spécifiques d'informatique ? Parents, grands-parents, décideurs ont été impressionnés par l'aisance apparente des jeunes quant à l'usage des TIC. Car il est vrai que ceux-ci disposent d'un grand potentiel d'apprentissage dans ce domaine, potentiel qui jusqu'ici n'a jamais véritablement été pleinement exploité. La plupart des jeunes n'ont pas d'a priori négatifs, de craintes ou de réflexes conserva-

teurs à l'égard des TIC. Ils osent essayer. Et c'est là la condition majeure de l'apprentissage par la pratique, du « learning by doing ».

Par essais et erreurs ou en faisant appel à l'expérience des camarades, ils acquièrent très rapidement un savoir-faire procédural élémentaire. Etant intéressés par l'usage des TIC et disposant d'énergie à revendre, l'enfant est capable d'apprendre mécaniquement un vaste registre de procédures à suivre pour générer les effets désirés. Que l'environnement se mette à évoluer et l'enfant dispose de toute l'énergie et de la motivation nécessaire pour effacer de sa mémoire les procédures périmées et les remplacer par de nouvelles qu'il acquerra très rapidement par tâtonnement. C'est là son point fort par rapport à l'adulte. Ce faisant, il donne à ce dernier l'impression d'une véritable maîtrise des TIC.

Les adultes peinant à faire face aux rapides changements des TIC sont impressionnés par cette aisance d'adaptation et cette maîtrise apparente. Ils ont dès lors l'impression que les enfants ont parfaitement assimilé les principes régissant les instruments qu'ils utilisent. Ce n'est là pourtant qu'une illusion car la technique d'apprentissage à laquelle les enfants font ici appel ne le leur permet pas. De plus, à leur âge, ils ne disposent pas nécessairement d'un niveau de développement suffisant de leurs aptitudes intellectuelles pour assimiler la plupart des principes fondamentaux de l'informatique.

Au seuil du gymnase, les futurs jeunes collégiens n'ont ainsi pas suivi le moindre cours spécifique d'informatique. Dans la plupart des gymnases helvétiques cette carence ne sera jamais comblée. Et lorsqu'il y survit encore un ultime cours d'introduction à l'informatique, le programme de ce dernier est pour l'essentiel axé sur l'apprentissage de la bureautique par le biais du « learning by doing ». Comment se fait-il cependant que l'adolescent ne témoigne pas, comme au cours de son enfance, d'une maîtrise véritable des instruments informatiques lors de ses années de collège ? La réponse se trouve justement dans le fait que le jeune collégien n'est plus un enfant : il a déjà vieilli, sa personnalité a évolué tout comme ses motivations.

Dans ces conditions, la stratégie d'apprentissage du « learning by doing » montre ses limites en face des TIC qui continuent perpétuellement à évoluer. Le collégien dispose de moins de temps que l'enfant pour appliquer sa technique élémentaire de mémorisation et de remise à jour perpétuelle des procédures à suivre. Nombreux sont les facteurs le décourageant d'investir encore autant de temps et d'énergie dans cette course sans fin. Le regard des adultes considérant qu'il maîtrise déjà les fondements de l'informatique y joue un rôle important. Les élèves s'imaginant à leur entrée au collège réellement maîtriser les TIC ne sont pas rares et tendent à augmenter.

Dans la plupart des cas, l'absence de véritables cours d'informatique ne permet pas aux jeunes de confronter cette image avec une évaluation de la réalité. Et même lorsque cela est possible, les conclusions de l'évaluation sont relativisées. Se voyant orienté vers d'autres priorités, le collégien se dit que comme sa technique d'apprentissage du « learning by doing » – la technique de la débrouillardise – a toujours fait ses preuves jusqu'ici, il pourra toujours y faire appel ultérieurement dans ses études ou son travail lorsqu'il aura éventuellement du temps à consacrer à la mise à jour de ses procédures d'utilisation de l'ordinateur. L'obsolescence de ces dernières et l'absence de temps pour les actualiser expliquent à ses yeux ses piètres résultats. C'est cependant oublier qu'avec l'âge ses aptitudes à faire un usage efficace de cette technique vont s'amenuiser. Le danger d'épuisement sera alors grand et la nécessité de passer à la stratégie de l'assimilation et du « learning by thinking » se fera de plus en plus pressante. Mais cela, ce sera pour plus tard.

### 3.2.3 Dépendance à l'approche intégrative

Car tout incite le collégien à ne pas prendre la peine d'investir dans la culture informatique. Même lorsqu'un cours d'informatique est inscrit au programme, celui-ci n'a que peu d'importance. Sa dotation-horaire est dérisoire et inférieure à celle de tous les autres cours (en général, une heure hebdomadaire en première année). Les professeurs n'ont du reste pas nécessairement toutes les compétences ou les moyens requis pour y enseigner les principes fondamentaux de l'informatique. Vue l'ampleur de la tâche, il est généralement nécessaire de parer au plus pressant : réactualiser une fois de plus les procédures d'utilisation des instruments bureautiques mémorisées par les élèves au cours de leur scolarité.

On n'arrive pas à décoller de la stratégie de l'intégration, ce d'autant plus dans un contexte dans lequel les décideurs ont fait un choix de facto quasi exclusivement centré sur cette approche, de l'école enfantine à la fin du collège en passant par le cycle d'orientation. Les élèves ayant systématiquement appris les TIC en passant leurs temps à les utiliser, en cliquant à gauche et à droite sans véritable réflexion et afin d'apprendre par cœur et d'une manière désordonnée une multitude de procédures, s'imaginant que cette stratégie d'apprentissage est la seule qui puisse être, qu'elle est la plus efficace et que d'ailleurs ils possèdent, comparés à leurs parents et grands-parents, d'excellentes compétences en informatique, manifestent à ce stade et pour certains une réticence particulièrement prononcée à faire des efforts d'assimilation de concepts dans le cours d'informatique. Il n'est pas rare ici d'assister à des réactions de rejet, d'indignation, de dégoût ou d'incompréhension lorsque le professeur d'informatique tente de leur transmettre quelques concepts fondamentaux élémentaires. La lecture d'un document les amenant à y réfléchir peut alors relever d'une véritable « torture ».

Durant le cours d'informatique, la motivation première consiste à pouvoir utiliser librement et tous azimuts son ordinateur. L'important c'est de « faire » et surtout pas de « réfléchir » sur le comment et le pourquoi. Et, idéalement, si les élèves pouvaient consacrer tout le temps du cours à zapper ou à flirter sur Internet, ils en seraient enchantés. Quant à faire les devoirs qu'on leur donne, ce n'est pas la peine d'y penser. Nombreux ici aussi sont ceux s'imaginant qu'il suffira de prendre un peu de temps pour mémoriser par cœur de nouvelles procédures la veille de l'examen, quand ce n'est que l'on se dit que l'on pourra également improviser par essais et erreurs le jour même.

Il n'est ainsi pas surprenant qu'un système de formation axé exclusivement sur la stratégie de l'intégration, de l'école enfantine au gymnase, aboutisse à des résultats médiocres. En rejetant la stratégie de l'assimilation et la nécessité de voir son importance augmenter progressivement avec l'âge des élèves pour finir par devenir au moins aussi importante que l'approche du « learning by doing », si ce n'est plus à partir de la fin de la scolarité obligatoire, on ne peut qu'obtenir pareils résultats.

### 3.3 Résistances et retour de la stratégie de l'assimilation

Si les années '80 ont conduit, par nécessité financière et technique et non par choix, à l'apogée de la stratégie de l'assimilation, que les années '90 ont été celles de son éviction par la stratégie de l'intégration, ce début de millénaire sera celui de la complémentarité du « learning by thinking and doing » adapté selon les degrés d'enseignement au niveau des aptitudes intellectuelles des élèves. Au cycle d'orientation et tout particulièrement dans les collèges, les cours spécifiques d'informatique vont ainsi refaire leur apparition suite aux pressions de plus en plus importantes des acteurs directement touchés par le manque actuel de formation de nos jeunes. Et le système de formation va enfin s'équilibrer et atteindre son stade de maturité.

Mais cela ne se fera pas sans le dépassement d'un certain nombre d'obstacles. Car la résistance à la stratégie de l'assimilation est particulièrement importante. Les défenseurs de la stratégie de l'intégration la rejette souvent sur la base d'arguments prétextes (à l'image du maintien d'un certain niveau de culture générale chez les élèves incompatible avec une discipline informatique à vocation prétendument exclusivement professionnelle) cachant des intérêts corporatistes et conservateurs fortement ancrés. Les corporations de professeurs craignent trop souvent que le renforcement de l'informatique se fasse sur le dos de leurs branches respectives en perdant des heures d'enseignement dans ces dernières, heures qui seraient redistribuées au profit de l'informatique. Dans un contexte de restriction budgétaire, victimes de l'illusion de la simplification des TIC, les corporations de professeurs ont tout intérêt à défendre vigoureusement la stratégie exclusive de l'intégration. D'autant qu'ils pourront bénéficier de ses effets en se voyant offrir quelques heures de cours de bureautique, ce qui est toujours bon à prendre en cas d'éventuelle reconversion professionnelle.

Certains décideurs sont également victimes de la même illusion et, en tant qu'ancien professeurs qu'ils sont fréquemment, défendent les intérêts corporatistes de leurs collègues. Sans compter que chez les décideurs d'un certain âge il est particulièrement rassurant de s'entendre tenir le discours de l'approche intégrative exclusive postulant que les ordinateurs sont au même titre que les machines à écrire ou les voitures de simples outils dont l'utilisation est enfantine.

Chez ces personnes, le discours consistant à considérer les cours spécifiques d'informatique comme des menaces pour la culture générale sont souvent paradoxaux car ces mêmes personnes affirment également que dans la nouvelle société de l'information, il est impensable que les jeunes générations ne maîtrisent pas des nouvelles technologies élevées au rang de techniques fondamentales de civilisation, au même titre que la parole, la lecture, l'écriture ou le calcul.

Autre résistance à laquelle on peut être confronté : les actuels professeurs d'informatique qui ne disposent pas nécessairement de toutes les compétences requises afin d'enseigner l'informatique en tant que discipline à part entière. Alors que l'on souhaite former tous les professeurs aux rudiments de la bureautique dans le cadre des projets d'intégration, la formation spécifique des professeurs d'informatique est habituellement négligée. Enfin, les contraintes budgétaires de l'Etat et le fait de considérer l'accroissement des dépenses d'éducation publique en matière de cours spécifique d'informatique comme des dépenses stériles de fonctionnement plutôt que comme des dépenses rentables d'investissement poussent à la frilosité et encouragent d'autant à se limiter aux simples projets d'intégration pure, même si leur efficacité est médiocre sans l'axe de l'assimilation.

Toutes ces considérations expliquent les raisons pour lesquelles les stratégies de l'intégration et de l'assimilation tendent dans les faits à s'exclure alors qu'elles sont en réalité appelées à s'appuyer l'une sur l'autre. Si la stratégie du « learning by thinking » a exclu celle du « learning by doing » dans les années '80, c'est avant tout sur la base de contraintes techniques et financières. Dans les années '90, la stratégie de l'intégration a chassé celle de l'assimilation du fait de l'illusion de la simplicité et d'intérêts particuliers divers. Plutôt que de s'épouser l'une l'autre, ces stratégies se sont donc jusqu'ici exclues alors que la cohérence de tout système global de formation réside dans leur mariage.

Des signes manifestes démontrent depuis quelques années que cette union est cependant en train de voir le jour, les lacunes du système exclusif de l'intégration générant une pression croissante qui petit à petit va finir par étouffer ou contrecarrer les actuelles résistances au retour du « learning by thinking ». Ce faisant, le début de ce millénaire sera sans aucun doute celui de l'intégration non pas simplement des TIC à l'école mais des stratégies du « learning by thinking and doing ».

### **3.4 Situation actuelle : début de revirement vers le « learning by thinking »**

En Suisse, les divers projets scolaires de formation aux TIC en cours d'élaboration ou de réalisation sont dans leur grande majorité orientés exclusivement par la stratégie de l'intégration. Pour preuve, ces projets se donnent pour objectif d'équiper toutes les salles de classe d'ordinateurs connectés à Internet et de former l'ensemble du corps professoral à l'usage des instruments élémentaires de bureautique. On ne peut cependant en conclure pour autant que l'axe de la stratégie de l'assimilation a entièrement disparu. Ce d'autant plus que dans leurs objectifs généraux, ces projets mentionnent généralement la nécessité d'une formation plus formelle à partir du cycle d'orientation déjà ainsi que la nécessité pour les collégiens de comprendre les principes fondamentaux de l'informatique.

Tout ceci est on ne peut plus conforme à une approche équilibrée du « learning by thinking and doing ». En réalité, il n'en est rien. La stratégie de l'assimilation est bien exclue de facto de tous ces projets. Ceux-ci consacrent l'ensemble de leurs ressources financières et humaines à la formation du corps professoral et à l'équipement des salles. Ils ne prévoient aucunement l'instauration ou le renforcement des cours spécifiques d'informatique dans les cycles d'orientation et les collèges. Aucun investissement n'est fait dans la formation des actuels professeurs d'informatique des CO et des gymnases afin de leur offrir les moyens de donner de véritables cours d'informatique. Au mieux est-on parfois prêt à participer symboliquement au financement partiel quelques heures de cours sur la maintenance d'une infrastructure informatique afin de leur permettre de jouer le rôle de personnes-ressources au sein de leurs écoles respectives dans le cadre des projets d'intégration.

Au niveau des gymnases, l'ordonnance de reconnaissance de la nouvelle maturité fédérale entrée en vigueur en 1998 ne reconnaît tout simplement pas l'informatique comme discipline d'enseignement que ce soit comme branche ordinaire ou comme branche à option pouvant être

librement choisie par les élèves. Nombreux sont les cantons qui ont profité de cette brèche ouverte par la nouvelle maturité ou qui se sont vus contraints de supprimer les cours spécifiques d'informatique dispensés dans leurs gymnases. Il apparaît clairement que si des efforts sont effectivement accomplis en vue d'intégrer l'ordinateur au cours de la scolarité obligatoire, presque rien n'est entrepris afin de renforcer l'axe de l'assimilation dans les cycles d'orientation et dans les gymnases. Bien au contraire, la plupart des décisions en la matière tendent à affaiblir à chaque fois un peu plus la stratégie de l'assimilation.

La situation actuelle dans les gymnases helvétiques est très symptomatique à ce sujet lorsque l'on constate que même les élèves désireux de suivre un véritable cours d'informatique inclus à leur cursus ordinaire ne le peuvent tout simplement pas de par les décisions prises au niveau fédéral concernant le contenu de la nouvelle maturité.

Les réactions quant aux lacunes actuelles de notre système de formation aux TIC dans les cycles d'orientation et les gymnases se font de plus en plus fréquentes et pressantes. Compte tenu de l'importance de ces imperfections et du manque chronique de spécialistes de haut niveau dans le domaine des TIC que connaît le marché du travail, il est fort probable que ces interventions soient appelées à se multiplier à l'avenir jusqu'à ce que des mesures correctives soient prises.

En 1996 déjà, lors du remaniement du contenu de la nouvelle maturité, la Société Suisse pour l'Enseignement de l'Informatique (SSIE) mettait garde contre les dangers d'un démantèlement des cours d'informatique au sein de nos collèges :

***Ordinateur, Internet, Multimédia dans les écoles suisses : les maîtres d'informatique tirent le signal d'alarme :***

*[...] Pour l'instant, dans le cadre des différentes réformes en cours, en Suisse, au niveau du secondaire II, la tendance est plutôt au démantèlement du secteur informatique. Ainsi, la branche informatique a été supprimée de l'horaire cadre du règlement de reconnaissances de maturité. Dès lors, plus rien ne contraint à dispenser une formation approfondie dans le domaine des technologies de l'information et des télécommunications (TIC).<sup>8</sup>*

Plus récemment, l'Académie Suisse des Sciences Techniques en appelle au retour des cours spécifiques d'informatique dans les collèges et résume dans son mémorandum de 2001 sur la « Suisse face au rapide développement des techniques d'information et de communication » les mesures urgentes à prendre dans les gymnases<sup>9</sup> :

*Tous les diplômés d'un « établissement de formation secondaire générale » (enseignement secondaire supérieur) doivent aujourd'hui disposer de connaissances attestées comme utilisateurs de l'informatique (y compris pour la recherche d'informations sur Internet). De plus, ils doivent au moins pouvoir faire état d'un savoir minimal en ce qui concerne l'infrastructure des TIC, soit comprendre comment fonctionnent les systèmes techniques en question. Les programmes des écoles de maturité doivent donc intégrer au moins deux périodes hebdomadaires sur deux ans consacrées aux TIC (même s'il ne s'agit pas d'une branche de maturité proprement dite au sens de la nouvelle ORM). Dans le cadre de la nouvelle ORM, il faudrait cependant offrir la possibilité de choisir les TIC comme branche principale ou à option.*

Des interventions de députés auprès de leur exécutif tant cantonal que fédéral interrogent ces derniers quant à volonté de renforcer l'enseignement spécifique de l'informatique dans les collèges :

<sup>8</sup> <http://www.svia-ssie.ch/dt/Archiv/Resolution.htm> / 03.07.02

<sup>9</sup> [http://www.satw.ch/gen-sec/memorandum\\_ICT\\_f.html](http://www.satw.ch/gen-sec/memorandum_ICT_f.html) / 03.07.02

*Interpellation : l'informatique comme branche de maturité. Le Conseil fédéral est prié de répondre aux questions suivantes : Dispose-t-on d'un plan pour la création d'une filière de formation en informatique au niveau secondaire supérieur ? Serait-il prêt à réviser l'ordonnance sur la reconnaissance des certificats de maturité gymnasiale de manière à introduire l'informatique comme branche à option, soit comme branche principale, soit comme branche subsidiaire ?*

Interpellation au Conseil fédéral de la députée Maya Lalive d'Épinay (00.3667) (Conseil National) du 13 décembre 2000

Dans cette même optique, on constate qu'un canton tel que Zurich, dont l'économie est particulièrement dynamique, a décidé de compléter le cursus de formation de ses gymnasiens par des cours spécifiques d'informatique, suivant ici la même philosophie de formation que celle de son voisin allemand (voir ci-après).

Chez nos voisins européens, les projets d'intégration sont généralement plus avancés. D'aucuns en sont déjà à l'heure du bilan et appellent à un rééquilibrage des projets dans le sens de la stratégie de l'assimilation et du « learning by thinking ». Tel est le cas notamment en France où l'association française "Enseignement Public et Informatique" (EPI) en conclut à la médiocrité de la mise en application d'un système exclusivement centré sur l'intégration.

*Dans les enseignements généraux, l'informatique en tant que discipline n'est plus enseignée. L'option informatique (1981 - 1992) a disparu. C'est ici qu'il faut bien comprendre ce que veut dire le ministre en proclamant : "Les TIC sont instrument pour toutes les disciplines". Il exprime là une doctrine "politiquement correcte", depuis des années et quelque soit le gouvernement : dans l'enseignement général, il ne doit pas y avoir d'enseignement spécifique de l'informatique. Elle doit rester en filigrane. C'est le professeur de lettres, de maths, de physique ou des sciences naturelles qui doit prendre en charge la culture informatique du futur citoyen. Le résultat est médiocre. La décision de suppression de l'option informatique des lycées s'est appuyée sur des arguments "moraux". Par exemple le fait que l'enseignement de l'informatique concernerait surtout les scientifiques, et serait donc élitiste. Mais elle a surtout permis au ministère de s'épargner les investissements que réclamerait la formation d'enseignants compétents en nombre suffisant. Ceci au détriment de l'intérêt des élèves et des besoins de la société<sup>10</sup>.*

Interview de Jacques Baudé, président d'honneur de l'EPI, 19 novembre 2001 in *Hebdo* No 52 de l'Association française des Sciences et Technologies de l'Information (ASTI)

En Belgique, Charles Duchâteau, du Centre pour la Formation à l'informatique dans le Secondaire (CEFIS) de l'Université de Namur défend depuis la fin des années '80 déjà la complémentarité des stratégies de l'intégration et de l'assimilation démontrant en de nombreux écrits la nécessité de cette dernière pour passer du stade de la débrouillardise « clique bouton » à celui de la maîtrise raisonnée ainsi que son rôle dans le développement des aptitudes intellectuelles des élèves :

*L'informatique, quoi qu'on en dise, c'est en tout cas quelque chose d'hybride : c'est une science, mais aussi une technologie, un ensemble de techniques, d'outils... Tout cela coexiste. [...] En France, on continue encore, comme il y a dix ans à opposer les deux aspects de l'informatique à l'école : d'un côté, l'informatique comme matière à enseigner, de l'autre l'informatique comme support à l'enseignement des autres branches et on présente cette opposition comme un choix à effectuer. C'est absurde. C'est comme si,*

<sup>10</sup> <http://www.asti.asso.fr/pages/Hebdo/h52/h52.htm> / 06.07.02

*sous prétexte que les cours se donnent en français, on supprimait le français comme matière spécifique !*

Duchâteau C. (1992), "Peut-on définir une culture informatique ?" in *Journal de Réflexion sur l'informatique*, No 23/24, oct. '92, pp. 34-39<sup>11</sup>

La fondation ECDL<sup>12</sup> est sans aucun doute aujourd'hui l'organisme international de référence en matière de certification de compétences élémentaires en bureautique. Cet organisme est reconnu et encouragé par de grandes institutions internationales telles que notamment l'Union Européenne, la Banque mondiale ou l'Unesco ainsi qu'en Suisse par la Société Suisses des Informaticiens. Il décerne un Passeport de compétences informatique européen (PCIE ou ECDL en anglais). Un nombre croissant d'écoles publiques et privées aménagent leurs cours de bureautique afin de les rendre de la sorte eurocompatible. Plusieurs millions de certificats ont déjà été décernés en Europe et dans le monde. Ce certificat est reconnu par les institutions publiques et les entreprises de plus de 75 pays. Or les objectifs du premier module de ce programme de certification portent exclusivement sur l'assimilation de concepts fondamentaux de l'informatique. De plus, la fondation ECDL souligne la nécessité d'une formation à l'informatique reposant sur des cours spécifiques, la stratégie du « learning by doing » n'étant pas efficace à elle seule :

*Les Technologies de l'Information et de la Communication sont des disciplines transversales souvent laissées de côté sous prétexte qu'elles s'apprennent toutes seules par l'expérience. Mais l'expérience montre que cela est loin d'être le cas !<sup>13</sup>*

Le land de la Bavière est probablement ici notre voisin direct le plus avancé en matière de formation gymnasiale. En 1998 déjà, il prend conscience de la place de l'informatique au sein de la culture générale d'une société moderne de l'information et défend la nécessité d'introduire des cours spécifiques d'informatique tout au long du cursus gymnasial. Les autorités bavaroises résumant ainsi leurs motivations préfigurant la revalorisation à venir de la stratégie de l'assimilation dans les pays occidentaux<sup>14</sup> :

*In den letzten Jahren ist das verfügbare Wissen explosionsartig angewachsen und kann durch Computer immer schneller verarbeitet und verbreitet werden. Der Begriff "Information" hat damit ganz erheblich an Bedeutung gewonnen. Eine der wesentlichen Leistungen des 20. Jahrhunderts besteht darin, dass Darstellung und Verarbeitung von Information zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen gemacht wurden. Daraus entstanden die theoretischen Grundlagen für die Entwicklung der modernen Informations- und Kommunikationssysteme, welche unsere Arbeits- und Berufswelt in immer stärkerem Maße prägen. So wie die Kulturtechniken Lesen, Schreiben und Rechnen nicht nebenbei in anderen Fächern gelernt werden, müssen auch die Prinzipien der automatischen Verarbeitung von Information in einem eigenen Fach vermittelt werden. Vor allem zukünftige Entscheidungsträger müssen mit den Grundlagen und Denkweisen der Informations- und Kommunikationstechniken vertraut gemacht werden, um deren Chancen und Risiken richtig einschätzen zu können. Aufgrund seines Anspruchs, breit angelegte Studierfähigkeit und vertiefte Allgemeinbildung zu vermitteln, ist das Gymnasium hier besonders gefordert. Während sich das Hochschulfach Informatik seit etwa 30 Jahren entwickelt hat und dort im allgemeinen Fächerkanon anerkannt ist, steht die Informatik in der Schule in Bayern gerade an der Schwelle zum eigenständigen Unterrichtsfach.*

Une comparaison avec l'étranger nous montre qu'en matière de projets de formation aux TIC la Suisse n'est pas véritablement en avance sur ses voisins qui se sont lancés depuis plusieurs

<sup>11</sup> <http://www.det.fundp.ac.be/~cdu/documents-pdf/peut-on-5-34.pdf> / 06.07.02

<sup>12</sup> <http://www.ecdl.com> et <http://www.ecdl.ch> / 06.07.02

<sup>13</sup> [http://www.pcie.tm.fr/sitepcie/html/ecole\\_lycee.htm](http://www.pcie.tm.fr/sitepcie/html/ecole_lycee.htm) / 06.07.02

<sup>14</sup> <http://www.isb.bayern.de/gym/informat/herbst2001.htm> / 06.07.02

années déjà dans des projets similaires. A l'heure du bilan, ces voisins en arrivent à la même constatation que celle à laquelle aboutit notre analyse quant à l'efficacité relative des projets d'investissement dans la formation aux TIC selon la prépondérance des deux stratégies fondamentales d'apprentissage.

Les projets exclusivement axés sur l'intégration des TIC à l'école aboutissent à des résultats médiocres, notamment, mais pas uniquement, au niveau de la filière gymnasiale. D'où les conclusions quant à la nécessité de réintroduire l'enseignement spécifique de l'informatique dans les collèges afin de réhabiliter l'axe porteur de l'assimilation, condition nécessaire à une véritable maîtrise des TIC. A la Suisse de savoir bénéficier de ces différentes expériences et autres analyses afin de ne pas perdre inutilement de précieuses années à miser exclusivement sur la stratégie de l'intégration. Avant de devoir prendre en urgence des mesures correctives que ses voisins auront réalisées bien avant elle.

#### **4 Paradoxe de Solow et exclusivité des stratégies de formation**

Si les raisons avancées pour expliquer le paradoxe de Solow sont nombreuses, elles partagent toute un point commun : le surplus de productivité induit par l'intégration des nouvelles technologies de l'information au sein de notre société n'est pas aussi important que celui auquel l'on aurait pu s'attendre. Contrairement au problème rencontré dans la plupart des pays en voie de développement les plus pauvres de la planète, ce ne sont pas les instruments technologiques qui font ici défaut. Le capital technique est bel et bien disponible à un prix abordable. Cependant, comme dans les pays en voie de développement, toute nouvelle technologie ne générera pas les effets escomptés si les personnes appelées à l'utiliser dans le processus de production ne sont pas à même de la maîtriser. Il est tout aussi peu productif de disposer d'une moissonneuse-batteuse que l'on est incapable d'utiliser rationnellement que de posséder un ordinateur connecté à Internet que l'on n'arrive pas à maîtriser. Si l'apprentissage de la lecture, de l'écriture, de l'arithmétique sont des conditions indispensables au développement des économies traditionnelles des pays en voie de développement, il en est aujourd'hui de même quant à l'apprentissage de la maîtrise élémentaire des TIC au sein des économies modernes des sociétés de l'information.

Le paradoxe de Solow a été mis en évidence à la fin des années '80. Ce qui n'a rien de surprenant si l'on songe au manque de convivialité des ordinateurs de l'époque et à une formation aux TIC qui était axée exclusivement sur la stratégie de l'assimilation. Il est aisé de se représenter les obstacles que constituaient des machines peu puissantes, coûteuses, difficiles à utiliser et dont l'apprentissage du maniement exigeait au préalable l'assimilation d'une seule traite d'un nombre important de concepts fondamentaux totalement nouveaux pour l'époque. Les premiers balbutiements d'une nouvelle technologie peu familière n'ayant pas encore atteint son seuil de maturité ne pouvait pas générer des miracles en matière de productivité même si les TIC se révélaient déjà fort prometteuses.

A la fin des années '90, les TIC s'étant débarrassées de leurs défauts de jeunesse et un nombre croissant de personnes – dont notamment les jeunes au cours de leur scolarité – ayant bénéficié d'une formation à ces nouveaux instruments, on était en droit de s'attendre à ce que le paradoxe de Solow ne fût plus qu'un mauvais souvenir. Pourtant Gordon démontra le contraire dans pratiquement tous les domaines de production, à l'exception de celui des nouvelles technologies et des biens durables (voir annexe 1). De quoi rester songeur ? Pas vraiment si l'on se rappelle que les années '90 ont été celles de la formation aux TIC basées exclusivement sur la stratégie de l'assimilation, du « learning by doing », de la débrouillardise et du système D. Encouragée par Bill Gates lui-même aux Etats-Unis, c'est ce pays qui a opté le premier, au cours des années '90, pour un système de formation ancré sur la stratégie de l'intégration. Or les recherches empiriques de Gordon portent sur la croissance économique des Etats-Unis. Et que nous disent-elles ? Les TIC n'ont pas généré l'accroissement escompté de productivité dans la plupart des secteurs sauf celui des... TIC.

Qui donc parmi les travailleurs américains a bénéficié d'une formation équilibrée aux TIC englobant la facette intégrative et celle de l'assimilation, qui donc a profité d'une formation reposant

sur l'approche du « learning by thinking and doing » ? Tout simplement la plupart des gens travaillant dans le secteur de production des TIC. On ne travaille pas chez HP, Intel ou Microsoft sans disposer d'une véritable culture informatique permettant une maîtrise des TIC. Qui n'a suivi qu'une formation centrée sur le « learning by doing » et la débrouillardise ? La toute grande majorité des travailleurs œuvrant dans les autres secteurs. Qui dans leur ensemble se débrouillent tant bien que mal avec les instruments mis à leur disposition et font face du mieux qu'ils peuvent à leur rapide évolution. Et qui font régulièrement appel aux spécialistes en cas de problèmes. Vue l'ampleur de la demande adressée à ceux-ci, ces informaticiens manquent sur le marché du travail et la rémunération de leurs services est donc d'autant plus élevée, cela se traduisant par un accroissement des charges des entreprises.

Certes, actuellement les gouvernements font d'importants efforts de formation professionnelle afin d'augmenter le nombre d'informaticiens sur le marché. Mais ces politiques ont de la peine à intégrer le fait qu'il existe de nos jours différentes catégories d'informaticiens. Sous cette casquette peut se trouver aussi bien une personne au bénéfice d'un apprentissage en informatique que d'un ingénieur ayant effectué des études universitaires. De la même manière par exemple que sous la casquette des professionnels de la santé on retrouve notamment des infirmiers et des médecins, les premiers ayant suivi une formation avant tout professionnelle, les seconds ayant investi au préalable dans de longues études théoriques.

A l'heure actuelle, nos économies manquent avant tout d'informaticiens de haut niveau, c'est-à-dire de personnes ayant effectué des études afin d'assimiler un solide noyau conceptuel dans le but de maîtriser les TIC et de concevoir de nouveaux instruments. Une politique exclusivement axée sur l'encouragement de la formation professionnelle, par exemple se proposant simplement d'augmenter le nombre de places d'apprentissages en informatique, ne répondrait pas directement à ces besoins d'experts de haut niveau. Par analogie, cela reviendrait à encourager la formation des infirmiers alors même que l'on aurait besoin en priorité des médecins, de chercheurs ou de pharmacologues.

Une politique déséquilibrée de formation aux TIC est en fait un véritable cercle vicieux dont les symptômes sont ceux du paradoxe de Solow. Axé exclusivement sur l'intégration ou sur l'assimilation, un système global de formation ne donnera naissance qu'à une toute petite minorité des personnes maîtrisant véritablement les TIC, les autres ne faisant que se débrouiller. Or cette majorité restera indéfiniment dépendante de cette minorité de spécialistes tant que le cercle vicieux ne sera pas rompu à travers un rééquilibrage du système de formation orienté par la stratégie du « learning by thinking and doing » se donnant pour objectif de transmettre une véritable culture informatique à l'ensemble de la population. C'est à ce prix que l'on parviendra à mettre un terme au paradoxe de Solow.

C'est également de la sorte que l'on permettra enfin aux collèges de jouer leur rôle de courroie de transmission entre la scolarité obligatoire et les hautes écoles en suscitant des vocations chez des élèves au potentiel prometteur qui jusque là n'ont tout simplement jamais eu la chance de découvrir ce en quoi consistent véritablement les nouvelles technologies de l'information. Ce choix de spécialisation plus éclairé des gymnasiens, mais également des élèves en fin de scolarité obligatoire à leur sortie du cycle d'orientation, permettra alors de combler progressivement le manque d'informaticiens dans notre économie tout en garantissant une allocation plus efficace des ressources humaines à disposition. Et ceci grâce à une formation qui ne prêterait en rien la transmission d'une authentique culture générale mais qui bien au contraire la renforcera en formant des citoyens et des citoyennes autonomes et responsables appelés à prendre part et à forger de leurs mains la nouvelle société de l'information.

La formation aux nouvelles technologies peut être comparée à une barque à deux rames avec à bord un rameur dont l'objectif est de traverser une rivière. L'une de ces rames est celle de la stratégie de l'intégration, du « learning by doing ». Notre rameur aura beau investir tous les efforts et la bonne volonté qu'il voudra à faire osciller cette rame sur l'un des côtés de son embarcation, il n'atteindra pas son objectif et ne fera au mieux que tourner en rond. La seconde rame est celle de l'assimilation et du « learning by thinking ». C'est à la seule condition de faire simultanément usage de ces deux rames que notre navigateur progressera véritablement vers le but qu'il s'est fixé. Grâce aux expériences des autres, nous savons maintenant ce qui nous reste à faire afin d'atteindre notre objectif de formation en conformité avec notre but développement à la

fois humain et socio-économique. A nous de savoir si nous sommes prêts à investir dans l'achat de cette seconde rame. Et si nous voulons le faire sans tarder ou après tout le monde.

## 5 Passage à un système équilibré de formation aux TIC :

### Les mesures à prendre en Suisse

Le paradoxe de Solow, les bilans des expériences déjà réalisées et les analyses qui précèdent tendent à démontrer que la formation aux TIC est appelée à jouer un rôle moteur dans le développement d'un pays. Un système de formation bancal ne misant que sur l'une ou l'autre des stratégies fondamentales d'apprentissage constitue ici un frein important. A l'heure actuelle, en Suisse, la plupart des projets de formation étant exclusivement orientés par l'approche intégrative du « learning by doing » tant au niveau de la scolarité obligatoire que des études gymnasiales, il convient de prendre des mesures permettant de rééquilibrer l'ensemble du système dans l'optique du « learning by thinking and doing ». Ceci dans le but de dépasser le paradoxe de Solow par une meilleure formation des ressources humaines du pays tout en renforçant l'autonomie et la responsabilités des citoyens suisses grâce à la transmission d'une culture générale leur permettant de s'intégrer et de prendre part à la nouvelle société de l'information.

Les mesures correctives proposées ici sont à prendre conjointement par la Confédération, les cantons, avec dans la mesure du possible le soutien de l'économie privée. Il ne s'agit pas de remettre en cause les efforts consentis dans l'élaboration et la réalisation des actuels projets d'intégration. Bien au contraire, il est important que ceux-ci se poursuivent puisqu'ils constituent l'un des deux piliers porteurs de la formation aux TIC. Les mesures correctives visent à réintégrer le second pilier, celui de l'assimilation et du « learning by thinking ».

#### Formation des professeurs d'informatique

Les ressources financières des actuels projets ne doivent pas, dans la perspective de la stratégie de l'intégration, être exclusivement affectées à la formation à la bureautique de l'ensemble du corps enseignant à l'exception des professeurs d'informatique. Ces derniers doivent également se voir offrir une formation appropriée au rôle qu'ils sont appelés à jouer dans un système de formation équilibré, à savoir celui de la transmission d'une véritable culture informatique à travers la stratégie de l'assimilation. Il ne faut donc pas dispenser à ces professeurs une formation qu'ils ont déjà (bureautique) mais une formation aux concepts fondamentaux de l'informatique et à leur transmission aux élèves.

#### (Ré)introduction des cours spécifiques d'informatique

D'une manière générale, aussi bien au cycle d'orientation qu'au gymnase, la discipline 'informatique' doit se voir accorder un statut identique à toutes les autres branches. Des cours spécifiques d'informatique doivent être introduits dans le cursus ordinaire avec une dotation-horaire suffisante pour atteindre les objectifs leur étant fixés sans pour autant préteriter les autres disciplines.

#### Cycle d'orientation

Un cours spécifique de bureautique doit y être assuré. Il doit garantir qu'à la fin de leur scolarité obligatoire les élèves maîtrisent véritablement les bases des instruments bureautiques les plus courants (système d'exploitation, traitement de texte, tableur, services Inter-

net) tout en ayant assimilé les principes rudimentaires régissant l'organisation des composants d'un ordinateur (unité centrale, processeur, mémoires, disques, etc). Il est essentiel qu'à la sortie de leur scolarité obligatoire les élèves maîtrisent véritablement leur bureau virtuel (fenêtres, menus, gestion des fichiers sur disques, etc) ainsi que les bases du traitement de texte. On s'interrogera ici sur la possibilité d'inclure l'informatique comme branche d'examen au niveau du certificat de fin d'études.

## Gymnases

- modification de l'ordonnance sur la nouvelle maturité

L'ordonnance fédérale sur la reconnaissance des examens de maturité doit être modifiée afin de reconnaître l'informatique comme branche fédérale et permettre ainsi aux cantons de l'inclure dans le cursus ordinaire de leurs gymnases au même titre que les autres branches fédérales. A défaut de définir l'informatique comme branche fédérale obligatoire quant à l'obtention du certificat de maturité et de contraindre ainsi les cantons à inclure des cours spécifiques d'informatique dans leurs gymnases, l'ordonnance doit au moins les y autoriser. Il faudra tout de même s'interroger sur la pertinence d'une contrainte fédérale dans le but d'éviter que des disparités cantonales voient ici le jour.
- cours d'introduction à l'informatique

Tout collège se doit de dispenser à ses élèves au moins un véritable cours d'introduction à l'informatique dans lequel seront assimilés les grands principes fondamentaux de l'informatique (numérisation et structuration de l'information, traitement, stockage, réseaux, programmation, bases de données, etc). Le but n'est pas ici de redonner le cours dispensé au cycle d'orientation essentiellement axé sur la bureautique. L'approfondissement de l'usage de certains instruments de bureautique peut cependant également être envisagé dans la perspective de l'introduction de nouveaux concepts (le tableur peut par exemple être un premier point d'approche pour l'initiation à la programmation ou aux bases de données).

Considéré comme un cours ordinaire, la dotation-horaire sera d'au moins de 2 heures hebdomadaires. Il faudra également s'interroger quant au nombre d'années durant lesquelles ce cours devra être dispensé. L'introduction de ce cours ne doit pas se faire au détriment des autres disciplines. Il y a lieu de considérer les dépenses supplémentaires générées par ce cours comme des dépenses d'investissement se traduisant à terme pour l'Etat par de nouvelles rentrées fiscales grâce à un renforcement de la croissance économique.
- cours à option complémentaire

Durant ses dernières années de collège, tout gymnasien doit choisir un cours d'option complémentaire à raison de deux heures hebdomadaires sur deux années. Sous le régime de l'actuelle ordonnance, il n'est pas possible pour un collégien d'opter pour l'informatique alors qu'il pourra choisir des options diverses allant de la pédagogie au sport en passant les arts visuels. Offrir la possibilité aux élèves de pouvoir choisir l'informatique comme option complémentaire ne peut se faire qu'en modifiant

	l'ordonnance fédérale. C'est une mesure qui peut être prise rapidement, ne pose pas de problèmes financiers particuliers et ne fait aucunement ombrage aux autres disciplines.
- cours à option spécifique / maturité professionnelle	Dans le cadre de la maturité fédérale, les élèves sont appelés au cours de leurs études à effectuer un choix de spécialisation parmi les options spécifiques suivantes : langues anciennes (latin-grec), physique et application des maths, biologie – chimie, économie & droit, langues modernes et arts visuels. D'aucun se demandent aujourd'hui si l'informatique n'a pas sa place parmi ces options spécifiques. Ou si à l'instar de la maturité professionnelle commerciale il ne devrait pas également exister une maturité professionnelle en informatique. Il vaut ici la peine de lancer la discussion et la réflexion ainsi que de consulter à ce sujet les différents acteurs concernés.
- encouragement et soutien de projets PPP	Les mesures précédentes peuvent être accompagnées de mesures complémentaires permettant aux élèves qui le désirent de renforcer leur formation aux TIC en complément et en parallèle à leurs études gymnasiales, par exemple en suivant des stages ou des cours leur permettant d'approfondir les compétences acquises durant les cours ordinaires. Ces projets peuvent être mis sur pied conjointement avec le secteur privé et aboutir à une certification des compétences acquises par les élèves (à l'image par exemple de diplômes de type ECDL) reconnue par les différents partenaires à l'origine du projet.
Formation ciblée du corps enseignant	Dans le cadre des différents projets d'intégration des TIC à l'école, on veillera à cibler la politique de formation du corps enseignant dans un souci d'efficacité. Une formation massive de l'ensemble du corps enseignant est non seulement coûteuse mais pas nécessairement des plus efficace. Il y a lieu ici de se concentrer sur la formation des enseignants qui induiront le plus de synergies et une meilleure diffusion des TIC dans l'enseignement. A cette fin, il est nécessaire d'établir des critères d'investissement permettant de déterminer quels enseignants former et avec quelles priorités (selon la motivation, l'âge, la branche d'enseignement, etc).
Maintien de la qualité des enseignements fondamentaux	Si nombres d'acteurs concernés veillent aujourd'hui avec zèle à ce que la formation aux TIC ne se fasse pas au détriment de la culture générale des élèves dans les collèges et les cycles d'orientation, pareilles précautions doivent en priorité être prises au niveau de la scolarité primaire et plus généralement face aux impacts de la stratégie d'intégration. Des mesures de prévention doivent être mises en œuvre afin de s'assurer que l'introduction des TIC à l'école n'affecte pas chez les élèves les acquisitions de compétences élémentaires telles que notamment l'expression, la lecture, l'écriture ou le calcul. Le développement de ces compétences constitue une condition nécessaire à la transmission d'une véritable culture générale (y compris en informatique) aux élèves.

## 6 Deutsche Zusammenfassung<sup>15</sup>

### Überblick

1. Im Jahre 1987 hat der amerikanische Ökonom Robert Solow das Paradoxum aufgeworfen, welches besagt, dass die neuen Informationstechnologien (IKT) nicht den erwarteten Beitrag zum Wachstum der Wirtschaft liefern. Im Jahre 2001 wurde dieses Paradoxum mittels einer Studie von Gordon bestätigt und präzisiert.
2. Die Mehrheit der Hypothesen, welche das Solow'sche Paradoxum erklären, zeigt die Unterschätzung der Investitionskosten in den IT's (Komplexitäts-, Sicherheits-, Ausbildungs-, Latenz- und überholte Kosten) auf. Die Ausbildungsqualität in den IT's spielt hier eine herausragende Rolle.
3. Die Ausbildungssysteme in den IT's basieren auf folgenden zwei Strategien: die Integration (« learning by doing ») und Assimilierung (« learning by thinking »).
4. Die Integrationsstrategie beruht auf dem Ansatz « Praktisches Lernen »: der Benutzer lernt seinen Computer im Rahmen seiner alltäglichen Arbeit zu bedienen (Büro, Klassenzimmer), indem konkrete Probleme gelöst und Projekte realisiert werden. Dieser Ansatz hat zum Ziel, prozedurales Wissen anzueignen und bedingt folglich keinen spezifischen Informatikkurs.
5. Die Assimilierungsstrategie möchte, dass der Benutzer dieses komplexe Instrument beherrschen lehrt. Dazu sind aber elementare Grundkenntnisse erforderlich. Die Ausbildung in den IKT basiert daher auf der Assimilierung der Grundkenntnisse der Informatik in spezifischen Informatikkursen.
6. Jede dieser Strategien besitzt Vor- und Nachteile. Die Integrationsstrategie ist effizient, wenn es sich um einfaches Aneignen von prozeduralem Wissen bezüglich eines bestimmten Instrumentes handelt. Diese entwickelt jedoch nicht spezifische Adaptationsfähigkeiten bezüglich der Entwicklung in den IKT. Die Assimilierung vermittelt eine allgemeine Informatikkultur, welche es ermöglicht, sich den veränderten Gegebenheiten in den IKT anzupassen. Sie kreiert höhere intellektuelle Fähigkeiten, produziert aber kein direkt anwendbares Wissen.
7. Folglich sind die beiden Strategien komplementär. Deren Effizienz hängt massgeblich von dieser Komplementarität im Rahmen eines ausgewogenen schulischen und professionellen Ausbildungssystems ab. Die Wichtigkeit der beiden Strategien variiert je nach Altersstadium; von der Primarschule bis zum Gymnasium, respektive der Berufsschule. Mit fortgeschrittenem Alter muss zusehends der Schwerpunkt der Informatikausbildung auf die Assimilierung gelegt werden.
8. Im Verlauf der 80er Jahre, wo die Benützung der Computer nicht benutzerfreundlich war, wurde der Schwerpunkt der Ausbildung der IKT auf die Assimilierung gelegt. In dieser Epoche profitierten die SchülerInnen der gymnasialen und berufsbildenden Schulen von einer Informatikausbildung. Die 90er Jahre waren die Jahre der Integrationsstrategie. Von Primarschule bis zum Gymnasium begannen die SchülerInnen den Computer im Rahmen des Unterrichts zu nützen.
9. Der Höhepunkt der Integrationsstrategie war möglich dank der Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit und der Vereinfachung der Benutzeroberflächen, welche es dem Benutzer ermöglichten, mit dem Computer zu interagieren. Diese Vereinfachung mochte den falschen Schluss zulassen, dass es nicht mehr unbedingt nötig war, die Grundprinzipien der Informatik zu assimilieren, um fähig zu sein, dieses Instrument zu beherrschen, obwohl dieses immerzu komplexer wurde. Ausser an den Berufsschulen verschwanden die spezifischen Informatikkurse immer mehr häufiger vom Lehrplan. Als Konsequenz verschwand das Konzept der Assimilierungsstrategie vollständig von der Bildfläche.
10. Zu Beginn dieses Jahrtausends vermehren sich die Zeichen, dass das Verschwinden der Assimilierungsstrategie ein Fehler darstellen könnte. Die Integrationsstrategie produziert hauptsächlich Computerbenutzer, welche sich mit Mühe und Not, und ohne wirkliches Verständnis, die IKTs nützen. Stimmen machen sich laut, welche einen Wiederausgleich der beiden Strategien im aktuellen Ausbildungsprogramm fordern. Einige Regionen haben bereits fortschrittlich entschieden, spezifische Informatikkurse an der OS und am Gymnasium wieder einzuführen. Die 00er Jahre werden höchstwahrscheinlich Jahre sein, welche durch den Ansatz « learning by thinking and doing » geprägt sein werden.

<sup>15</sup> Danksagung an Ole Raemy für die deutsche Übersetzung

11. Das chronische Fehlen von qualifizierten Informatikern ist eine strukturelle Folge eines unausgeglichene Systems, welches eine Mehrheit von Computerbenützer generiert, die die Informatikinstrumente nicht beherrschen. Diese sind die Ursache, dass ein Grossteil der Aufgaben im Bereich der Informatik von einem folglich zu kleinen Anteil an Spezialisten erledigt wird. Nur ein Wiederausgleich des Ausbildungssystems wird es erlauben, das Angebot an Informatikern zu erhöhen und gleichzeitig die relative Nachfrage zu verringern.
12. In der Schweiz basieren de facto die verschiedenen Ausbildungsprojekte im Bereich der IKT auf der Integrationsstrategie. In den Kantonen ist, mit dem Beginn der neuen Maturität, das Fach Informatik (als eigenständiges Fach !) mehrheitlich verschwunden. Auf der Sekundarstufe I sind diese gleichermassen ungenügend oder sogar inexistent.
13. Es ist dringend notwendig, sowohl auf kantonaler- wie auch auf Bundesebene, Massnahmen zu ergreifen, um das Fach Informatik wieder am Gymnasium und auf der Sekundarstufe I aufzunehmen. Dies um so mehr, als dass das Verstehen der Grundprinzipien der Informatik das Vermitteln von Allgemeinbildung nicht gefährdet.
14. Die Informatikkultur beinhaltet einerseits ein Beherrschen der IKT und andererseits ein Verständnis der Informationsgesellschaft in der wir leben. Sie ist also ein Teil der Allgemeinbildung im Sinne einer grundlegenden Zivilisationstechnik, wie Lesen, Schreiben und Rechnen. Deren Assimilierung trägt dazu bei, unabhängige und verantwortliche Bürger im sozio-ökonomischen Kontext zu integrieren.
15. Der hauptsächliche Grund des Paradoxons von Solow besteht im unausgeglichene Ausbildungssystem in den IKT. Wenn nämlich dieses nur auf der Integrationsstrategie oder ausschliesslich auf der Assimilierungsstrategie beruht, werden sich die Symptome des Paradoxons von Solow sehr schnell manifestieren. In dem solche Ausbildungssysteme wiederausgeglichen werden, zeigen die Investitionen im Bereich der IKT schlussendlich den erwünschten ökonomischen Effekt, nämlich Wachstum und Entwicklung.

\* \* \* \* \*

## Technologie et performance économique dans l'économie américaine<sup>1</sup>

Au cours de la période 1995 – 2000, l'économie américaine a « miraculeusement » généré des résultats sans précédent notamment en terme de croissance économique. Robert J. Gordon considère deux éléments pour expliquer le succès américain : une constellation de conditions économiques particulièrement favorables ainsi qu'une avancé jamais vue des Etats-Unis dans le domaine des nouvelles technologies de l'information (NTI). A partir de ces constatations, Gordon détermine empiriquement l'impact des NTI en matière d'accroissement de la productivité par secteurs.

### Des conditions macroéconomiques favorables

C'est la conjonction de conditions économiques extrêmement favorables qui a constitué le terreau d'une importante accélération de la croissance américaine au cours de la fin de la dernière décennie. Au rang de ces conditions on trouve des taux de chômage, d'inflation et d'intérêt exceptionnellement bas, le rapide comblement du déficit et même un surplus budgétaire du gouvernement américain (accroissement sensible des rentrées fiscales au niveau de l'imposition des revenus<sup>17</sup> et des plus-values boursières), un accroissement de la consommation des ménages encouragés par le boom des valeurs technologiques sur les marchés boursiers ainsi qu'une augmentation des salaires réels, une balance commerciale toujours déficitaire mais dont le déficit est comblé par l'importation de capitaux étrangers attirés par les perspectives de profits de la « nouvelle économie ».

Si jusqu'aux environs du début des années '70 les économistes étaient d'accord pour affirmer qu'inflation et chômage tendaient à s'opposer (antagonisme expliqué par Keynes et illustré par la fameuse courbe de Phillips), ce consensus fut remis en cause et supplanté par un nouveau qui s'imposa jusque dans le courant des années '90, orientant la politique économique de nombreux pays. Friedman et les monétaristes confirmèrent qu'à court terme, sous l'influence d'une variation de la demande, chômage et inflation s'opposent bel et bien.

Mais les changements de la demande globale ne constituent pas la seule cause d'une variation de l'inflation. Encore faut-il tenir compte d'événements au niveau de l'offre

*L'article en 9 points :*

1. Au cours de la période 1995-2000 l'économie américaine a connu une accélération « miraculeuse » de sa croissance
2. Celle-ci est la conséquence de la conjonction de conditions macroéconomiques extrêmement favorables : une baisse simultanée du chômage et de l'inflation, un taux d'intérêt inhabituellement bas, le boom des valeurs technologiques, une accélération des investissements des entreprises, une augmentation généralisée et soutenue des salaires, l'accroissement de la consommation, un surplus budgétaire des finances publiques.
3. L'origine de la simultanéité de ces conditions repose pour l'essentiel sur une importante accélération de la croissance de la productivité américaine entre 1995 et 2000. Celle-ci – trouve son origine au sein des importantes avancées accomplies dans les nouvelles technologies de l'information (NTI) (notamment dans le matériel informatique).
4. Cette accélération n'a pas été uniforme, elle a varié d'un secteur à un autre
5. Il y a lieu de distinguer entre la productivité moyenne du travail et la productivité multifactorielle (du travail et du capital) pour analyser l'impact des NTI

<sup>16</sup> Résumé de l'article de R. J. Gordon (2001)

<sup>17</sup> Les recettes de l'impôt sur le revenu des personnes physiques augmentèrent de 64% entre 1994 et 1999.

des entreprises (« supply shocks ») influençant d'une manière générale et durable les prix pratiqués par ces dernières. A considérer encore l'inertie provoquée par la lenteur des ajustements sur les marchés. Au bout du compte, le consensus porta sur l'idée que dans le long terme inflation et chômage sont des variables macroéconomiques indépendantes l'une de l'autre. A la fin des années '90, ce consensus était remis à nouveau en cause par la constatation aux Etats-Unis d'un important degré de corrélation entre la diminution du chômage et de l'inflation. Jusqu'à présent aucune analyse de ce nouveau phénomène n'a véritablement convaincu la majorité des économistes.

Gordon avance une explication de l'évolution durable et parallèle du chômage et de l'inflation aux Etats-Unis au cours de la période 1995 – 2000. Si le rythme de l'inflation a pu pareillement décélérer alors même que le taux de chômage en faisait de même, c'est grâce à 4 « chocs » ayant influencé significativement et durablement l'offre et les prix pratiqués par les entreprises : la baisse des prix réels à l'importation, la baisse des prix de l'énergie, des ordinateurs et enfin des soins médicaux. Mais Gordon souligne que c'est surtout la « résurrection » de la croissance de la productivité américaine qui a permis de plus qu'éponger les conséquences inflationnistes de la hausse des salaires américains.

La croissance de la productivité constitue donc le principal pilier du « miracle » économique américain de la fin du siècle passé. Elle a notamment rendu possible une augmentation des salaires réels sans générer d'inflation tout en permettant un accroissement du niveau de vie de l'ensemble des américains, y compris des catégories les moins favorisées (en avril 2000, le taux de chômage chez les Noirs et les Hispaniques atteint le plus faible niveau jamais enregistré jusque là). Cette augmentation du bien-être et de la productivité se traduit également par un accroissement du revenu réel par capital ( $Y / K$ ) : une plus grande productivité de l'outil de production permet d'augmenter la quantité de biens et services produits et les revenus qui en découlent. En comparaison internationale, au cours de ces dix dernières années, l'écart entre le revenu réel par capital des Etats-Unis et celui de l'Europe ou du Japon n'a cessé de s'accroître, témoignant de l'augmentation de l'avance technologique américaine.

*L'article en 9 points (suite) :*

6. Si les NTI ont accéléré la croissance de la productivité du travail dans l'ensemble des secteurs à travers un effet de densification du capital, elles n'ont pas accéléré la croissance de la productivité multifactorielle dans le secteur de la production des biens non durables représentant le 88% de l'économie américaine.
7. N'ayant pas accéléré la croissance de la productivité multifactorielle (globale) en dehors du secteur des biens durables, les NTI ne sont pas pour l'instant à l'origine d'une nouvelle révolution industrielle.
8. Le « miracle » américain de la fin du siècle dernier est fragile : que l'une de ses conditions s'affaiblisse et celui-ci risque de s'envoler
9. Les origines de l'avancée technologique des Etats-Unis sur l'Europe et le Japon sont diverses : avantages traditionnels (ressources, production de masse, etc), subventionnement de la recherche, politiques économiques spécifiques, langue, immigration, qualité du système de formation.

Si la période s'étendant de 1915 à 1972 fut celle de l'« âge d'or » de l'économie américaine grâce à une rapide croissance de sa productivité, cette dernière ralentit sensiblement à partir de 1972 pour renaître miraculeusement entre 1995 et 2000. Quelles sont les causes de cette longue période de ralentissement, qui plus est aux Etats-Unis alors que si l'on songe que ceux-ci disposaient déjà d'importants avantages structurels ? Beaucoup d'économistes se sont penchés sur la question, sans véritable succès. Car pour Gordon c'est une fausse question qu'il s'agit de reformuler : pourquoi la croissance de la productivité fut si rapide et durable avant 1972, telle est la bonne question ?

Il faut remarquer tout d'abord qu'il ne s'agit pas d'une particularité de l'économie américaine. L'Europe et le Japon ont également connu l'âge d'or de la productivité puis le ralentissement conséquent de la croissance de cette dernière mais à un rythme différent et avec un décalage dans le temps de par

les retards et l'effet de rattrapage provoqués par les deux guerres mondiales. Où donc trouver l'origine de l'âge d'or économique qu'a connu la plupart des pays industrialisés au cours du XX<sup>e</sup> siècle ? Dans le réservoir des grandes inventions de la seconde Révolution Industrielle (1860 – 1900) et de leur intégration dans les économies modernes au cours de la première moitié du siècle précédent. Alors que le moteur électrique

bouleversa la production manufacturière, les véhicules à combustion interne révolutionnèrent les transports terrestres et aériens, sans compter les importantes innovations dans les domaines de la chimie, du pétrole, du divertissement et de la communication. L'inévitable épuisement des fruits de ces grandes inventions entraîna par la suite le ralentissement de la croissance de la productivité.

### Technologies de l'information et croissance de la productivité

Si une importante accélération de la croissance de la productivité constitue l'élément moteur et la condition *sine qua non* du miracle économique américain de la fin du siècle passé, il y a lieu de s'interroger quant à sa cause. Tout comme pour la période de l'âge d'or, la réponse est à trouver dans le progrès technologique. Les recherches sur la question s'accordent pour reconnaître que l'accélération de la croissance de la productivité globale de l'économie américaine trouve pour l'essentiel son origine dans l'accélération des progrès technologiques en matière d'ordinateurs, de périphériques et de semi-conducteurs.

Le consensus sur cette question n'a pas toujours été de mise chez les économistes. En 1987, le prix Nobel d'économie Robert Solow avait déjà souligné le lien paradoxal entre les investissements des entreprises en équipement informatique et leur quasi absence d'effet sur l'accroissement de la productivité de ces dernières : « Nous pouvons voir des ordinateurs partout sauf dans les statistiques sur la productivité »<sup>18</sup>. Durant une décennie, l'affirmation de Solow fut considérée comme un truisme : on constata qu'effectivement l'usage des ordinateurs dans les entreprises s'amplifia sans pour autant avoir des incidences significatives sur les résultats de ces dernières. Seules les explications du phénomène divergèrent. Le « miracle » américain sembla mettre un terme définitif au paradoxe de Solow. Les recherches académiques démontrèrent clairement l'impact des nouvelles technologies de l'information sur la renaissance de l'accroissement de la productivité. De sorte qu'en 1999-2000 un nouveau consensus émergea à ce sujet : le paradoxe de Solow semblait bel et bien enterré.

Mais il est nécessaire ici de se méfier des apparences. Si les avancées technologiques ont certes eu pour conséquence de sensi-

blement accélérer la croissance de la productivité globale américaine au cours des années 1995 – 2000, cette constatation ne nous apprend rien quant à la répartition de cet accroissement global dans l'économie américaine. Gordon se propose dès lors d'éclaircir ce point à travers une analyse plus détaillée.

A cet effet, il est nécessaire de distinguer entre deux types de productivité : la productivité moyenne du travail (Average Labor Productivity, ALP) et la productivité multifactorielle (Multi-Factor Productivity, MFP). D'une manière générale, la productivité se définit comme étant le rapport entre la quantité produite (output) et la quantité de ressources affectée à cette production (input). Ces quantités sont habituellement mesurées par leur valeur monétaire réelle (par ex. en US \$ ou en euro constant). La productivité moyenne du travail (ALP) nous indique quelle quantité de produit génère en moyenne une heure de travail. La productivité multifactorielle (MFP) indique la productivité de l'ensemble des ressources productives utilisées, et non simplement celle du travail. Elle met ainsi en rapport la quantité produite avec une moyenne pondérée des facteurs utilisés (travail et capital pour l'essentiel).

La distinction entre productivité moyenne du travail et productivité multifactorielle ainsi que le rapport qu'elles entretiennent au sein d'une économie moderne sont fondamentaux pour analyser d'une manière plus détaillée l'impact des nouvelles technologies sur la productivité globale. A travers le temps, la productivité du travail croît toujours plus rapidement que la productivité multifactorielle. Et la différence entre l'ALP et la MFP représente la contribution de la densification du capital (« capital deepening »), c'est-à-dire le fait qu'une économie en croissance repose sur un accroissement de son capital plus rapide que l'accroissement de la quanti-

<sup>18</sup> *The Economist*, juin 1987

té de travail. Dit autrement, chaque travailleur est équipé en moyenne d'une quantité croissante de capital (outils de production).

Un simple exemple permettra de mieux saisir ces notions. La productivité du travail d'un agriculteur récoltant son blé à la main sera inférieure à la productivité du travail de ce même agriculteur faisant usage d'une moissonneuse-batteuse. L'augmentation du capital utilisé par l'agriculteur (l'achat de la moissonneuse-batteuse) a ainsi accru la productivité de son travail. Mais a-t-elle augmenté sa productivité globale ? Une chose est sûre : si cette dernière a augmenté, ce ne sera pas autant que la productivité du travail. Car contrairement à la productivité moyenne du travail, la productivité multifactorielle va mettre en rapport la quantité produite avec non seulement le coût du travail mais également le coût du capital nécessaire à cette production. C'est la conséquence d'une densification du capital : pour son travail, l'agriculteur fait usage d'un capital plus important, ce dernier ayant également un coût dont il s'agit de tenir compte dans les calculs de productivité.

Quel est donc l'impact des progrès réalisés dans les nouvelles technologies sur l'accroissement de ces différentes productivités non seulement au niveau de l'économie américaine dans son ensemble mais également dans ses différents secteurs de production ? L'accélération du progrès technologiques dans le secteur de la production de matériel informatique induit une accélération de la baisse du prix des ordinateurs provoquant un véritable boom dans l'investissement d'achats d'ordinateurs par les entreprises. Ce faisant la productivité multifactorielle générale de l'économie américaine ne peut qu'augmenter, cette vente accrue d'ordinateurs accroissant la quantité globale de biens produits (output) sans augmenter d'autant la quantité de ressources utilisées (de par les importants progrès de productivité dans le secteur de matériel informatique).

Ces achats supplémentaires d'ordinateurs par les entreprises augmentent également la densification du capital américain. Le travailleur américain moyen disposant de plus de matériel informatique, il devient plus productif (sans cela les entreprises n'investiraient pas dans l'achat de ces ordinateurs). L'accroissement de la productivité multifactorielle globale s'accompagne dès lors ici d'un accroissement de la productivité moyenne du travail au sein de l'économie américaine.

A ce stade de l'analyse, seul le rapport entre, d'une part, le progrès technologique et, d'autre part, l'augmentation globale de la productivité (travail et multifactorielle) et de la croissance de l'économie américaine au cours de la période 1995 – 2000 a été expliqué. Les études empiriques confirment cette constatation. Il y a cependant lieu d'approfondir l'investigation en séparant le secteur de production fabriquant le matériel informatique du secteur qui utilise ce dernier. Personne ne conteste l'accélération de la productivité et de la croissance dans le premier secteur. Qu'en est-il du second représentant 96% des entreprises américaines ?

Distinguons à cette fin les deux effets que peuvent avoir les progrès dans le domaine du matériel informatique sur le secteur des entreprises en faisant usage : l'effet « direct » et l'effet de « débordement ». Si l'unique effet de la percée technologique dans le secteur de la production d'ordinateurs sur le secteur non informatique est un boom dans les investissements en matériel informatique accélérant le taux de croissance du capital dans ce dernier secteur, alors la densification du capital qui s'y produit va y accroître la productivité moyenne du travail (les travailleurs disposant de plus d'ordinateurs, ils deviennent plus productifs) mais non pas la productivité multifactorielle. C'est ce que Gordon appelle l'effet « direct » du progrès informatique sur le secteur non informatique : l'accroissement des investissements de ce dernier en matériel informatique ayant pour effet d'accroître la productivité du travail sans pour autant augmenter la productivité multifactorielle.

L'effet de « débordement » est celui mis en avant par les avocats de l'aspect révolutionnaire des conséquences des avancées dans le domaine des technologies de l'information. Les investissements dans l'infrastructure informatique seraient d'une rentabilité très importante et sans précédent pour les entreprises, créant des effets de débordement sur les pratiques de gestion et la productivité des firmes du secteur non informatique. Concrètement, l'effet de « débordement » se manifeste par une accélération de la productivité multifactorielle du secteur non informatique parallèle à l'accélération technologique dans la production d'ordinateurs.

Que nous apprennent les statistiques officielles à ce sujet ? Tout d'abord elles confirment que la baisse du prix du matériel informatique s'est accélérée dans les années '90. De 1987 à 1995 le prix des ordinateurs

a baissé en moyenne de 12% alors que de 1996 à 1998 la baisse moyenne a été de 29%. Gordon base son analyse des conséquences de cette chute de prix sur la productivité par la combinaison de deux études empiriques qu'il complète. La première est celle d'Oliner et Sichel (2000, 2001) à partir de laquelle on peut dégager la contribution des ordinateurs à la densification du capital et à l'accroissement de la productivité multifactorielle de l'économie américaine dans son ensemble. La seconde étude est celle de Gordon (2000) qui rajoute deux nouveaux éléments à celle d'Oliner et Sichel. En premier lieu, elle établit un trend de la croissance de la productivité du travail à partir des années '50 et permet ainsi de corriger les données statistiques en y soustrayant l'aspect cyclique de leur évolution. Ensuite, elle isole les accélérations de la croissance multifactorielle et du travail au sein du secteur de la production de biens non durables.

Entre 1995 et 2000, après correction de l'aspect cyclique, la croissance annuelle de la productivité du travail a été de 2.46% contre 1.42% pour la période 1972-1995, soit une accélération de 1.04 points. Comment l'expliquer ? Par de légers ajustements d'indices (prix, qualité du travail) qui nous ramènent cette accélération à 0.89 points. Mais surtout par la densification du capital informatique (0.37 point), l'accroissement de la productivité multifactorielle dans le secteur de la production d'ordinateurs (0.30 point) et dans les autres secteurs (0.22 point). Gordon répète le même calcul non pas pour l'économie dans son ensemble mais pour le secteur de production des biens non durables. L'accroissement de la productivité du travail dans ce secteur (0.44 pt) est pour 0.37 pt imputable à l'effet de densification du capital et pour seulement 0.07 pt à l'accroissement de la productivité multifactorielle. Par simple différence, on en déduit également que l'accroissement de la productivité multifactorielle dans le secteur des biens durables, production d'ordinateurs mise à part, explique 0.15<sup>19</sup> point de l'accélération de la productivité globale du travail aux Etats-Unis.

En résumé, sur les 0.89 pt d'accélération du taux de croissance annuel de la productivité du travail dans l'économie américaine provoqué par la baisse du prix des ordinateurs, 0.37 point est imputable à l'effet de densification du capital informatique (autre forme de capital exclu) et 0.52 pt à l'accroissement

de la productivité multifactorielle globale, réparti à raison de 0.30 pour le secteur de la production d'ordinateurs, 0.15 pour le secteur de la production du reste des biens durables et seulement 0.07 pour le secteur de la production des biens non durables représentant le 88% des entreprises américaines...

Le verdict est dès lors mitigé. Les progrès technologiques en matériel informatique ont effectivement et d'une manière impressionnante fait renaître la productivité américaine (multifacteurs et travail) au cours de la période 1995 – 2000. Il y a bel et bien eu un effet de « débordement » du secteur des ordinateurs sur le secteur des biens durables en général s'étant traduit par une accélération sensible de la croissance de la productivité multifactorielle dans ce dernier. Le secteur des biens non durables a également bénéficié de ces avancées technologiques et de leur effet « direct » grâce à une densification de son capital (provoquée par l'accroissement des investissements dans l'achat d'ordinateurs) et donc une accélération de la croissance de la productivité du travail. Mais ce même secteur (88% des entreprises) n'a pratiquement pas profité de l'effet de « débordement ». Ainsi donc, les importants progrès technologiques en informatique n'ont pas d'un coup de baguette magique amélioré d'une manière sensible la productivité de la toute grande majorité des entreprises américaines. Il n'a pas suffi d'acheter des ordinateurs pour que le miracle ait lieu. Et la troisième Révolution industrielle, celle de l'information, ne s'est pas encore produite.

Gordon met enfin en garde les plus optimistes quant aux bons résultats de l'économie américaine. Partant de cette analyse, on en déduit que le miracle américain est la conjonction rare et fragile de facteurs qui ne sont pas appelés à nécessairement durer. Qu'un seul d'entre eux s'affaiblisse et le miracle s'envolera. Et pour cela il suffit que les investissements en matériel informatique baisse. Le simple ralentissement de la baisse des prix du matériel informatique y contribuerait dangereusement. Et Gordon de relever que le bug de l'an 2000 (ayant poussé nombre d'entreprises à renouveler leur équipement) et l'invention d'Internet (ayant incité à l'achat d'ordinateurs pour s'y connecter) ne peuvent avoir lieu qu'une seule fois dans l'histoire économique.

<sup>19</sup> 0.22 - 0.07

## Origines de l'avancée technologique américaine

Le miracle américain prenant racine dans une productivité accrue générée par d'importants progrès dans le domaine des nouvelles technologies de l'information et de la communication (matériel informatique, mais également logiciels et télécommunications) ainsi que de la pharmacie et de la biotechnologie, il y a lieu de s'interroger ici sur les origines de l'avance des Etats-Unis sur le reste du monde.

Gordon relève d'abord que d'une manière générale l'histoire démontre que l'exploitation des fruits économiques d'une invention ne bénéficie pas nécessairement à son inventeur. Les cas où la concurrence étrangère a fini par s'approprier l'exploitation d'une invention sont légions, à l'exemple de l'exil de l'industrie automobile américaine vers l'Europe et le Japon. Les avantages d'un pays ne dureront pas nécessairement éternellement dans un contexte de libéralisation des échanges internationaux et il faut ici se méfier des attitudes triomphalistes.

Cette mise en garde réalisée, Gordon met en avant 6 sources du leadership technologique américain. A commencer par les avantages traditionnels des Etats-Unis : une abondance de ressources naturelles mais également, historiquement, un manque de main d'oeuvre ayant incité à la mécanisation des processus de production. Des terrains bon marché, de longues distances et la production de masse ont par la suite donné naissance aux industries automobile et pétrochimique américaines.

Mais ce n'est pas tout. Gordon souligne l'importance de la qualité du système scolaire dans l'accroissement de la productivité : « More generally, a rise in educational attainment is one of the sources of rising output per hour ». Il en va de même pour la recherche universitaire qui bénéficie aux Etats-Unis de la fructueuse collaboration entre universités et économie privée ainsi que des subventions gouvernementales. C'est là qu'il faut rechercher notamment les origines de la Silicon Valley. A mentionner également ici le développement des hautes écoles commerciales.

Les importants fonds gouvernementaux attribués aussi bien à la recherche militaire que civile sont également à l'origine du développement d'importantes avancées phar-

maceutiques, biomédicales mais également dans les domaines des semi-conducteurs, des ordinateurs, des logiciels, de la biotechnologie et ont même contribué à la naissance d'Internet. L'efficacité de ces recherches a été renforcée d'autant par la mise en concurrence d'universités publiques et privées gérant leurs propres budgets et se trouvant ainsi dans la possibilité de proposer des salaires en adéquation avec le marché du travail. Enfin, l'allocation des fonds de recherche sur la base d'un système d'évaluation par les pairs a favorisé l'application du principe de méritocratie à de jeunes chercheurs motivés en lieu et place d'un système européen axé sur un élitisme conservateur.

En matière de politique économique, Gordon relève la politique antitrust mais également le renforcement juridique de la propriété intellectuelle qui constitue un encouragement pour les firmes innovantes à réinvestir leurs profits dans la recherche et le développement. Le gouvernement américain a également accordé implicitement des subsides au commerce électronique en « négligeant » la perception de la TVA sur les objets vendus, contrebalançant ainsi les frais d'expédition propres aux achats par correspondance. L'absence de droits de douane sur les composants électroniques a stimulé leurs échanges au prix cependant d'un déficit de la balance commerciale au niveau de la production de biens technologiques.

Les Etats-Unis peuvent compter sur des marchés financiers particulièrement efficaces. Ceux-ci s'ouvrent à un large public d'autant plus confiant que le gouvernement américain suit une politique de sécurité obligeant les entreprises à la transparence. Les banques procurent également des fonds aux entreprises par le biais d'investissements dans ces dernières par opposition au système européen traditionnellement axé sur le crédit. Enfin, les fonds de pension placent également leur argent sur les marchés financiers.

Derniers avantages parfois sous-estimés par les auteurs s'étant déjà penchés sur la question mais mis en évidence par Gordon : la langue et l'immigration. L'anglais s'est imposé comme la langue étrangère la plus apprise et la plus parlée dans le monde ce qui constitue un important atout pour l'industrie

américaine du logiciel. La tradition d'ouverture à l'immigration des Etats-Unis a également permis l'importation de « cerveaux » (Inde, Asie, etc) ayant joué un rôle essentiel dans les avancées technologiques actuelles. Gordon termine par une plaidoirie en faveur de l'immigration. Si les Etats-Unis dispose d'un système de formation et de recherche de qualité, il y a tout de même lieu d'en connaître ses actuelles limites. Des évaluations montrent qu'à l'école, la formation scientifique au niveau primaire et secondaire aboutit à des résultats inférieurs à ceux de nombre de pays européens et asiatiques.

Afin de combler ces faiblesses des Américains dans le domaine scientifique il y aurait lieu d'accroître les quotas d'immigration. A ceux qui seraient favorables à l'augmentation des quotas uniquement pour la main d'oeuvre hautement qualifiée à condition de diminuer les quotas pour les travailleurs faiblement qualifiés, Gordon rétorque que la venue de ces derniers constitue également une nécessité pour l'économie américaine et son marché du travail, la revitalisation des centres-villes et enfin la résolution définitive de la crise du financement de la sécurité sociale.

### Bibliographie

Gordon R. (2000), "Interpreting the 'One Big Wave' in U. S. Long-term Productivity Growth" in Bart van Ark, Simon Kuipers, and Gerard Kuper, eds., *Productivity, Technology, and Economic Growth*, Kluwer Publishers, 2000, pp. 19-65.

\_\_\_\_\_ (2001), « Technology and Economic Performances in the American Economy @ <http://faculty-web.at.northwestern.edu/economics/gordon/Tech&Econ.pdf> (Seattle : NorthWestern University)

Oliner, Stephen D., and Daniel E. Sichel (2000). "The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story?" *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, Fall, pp. 3-22.