

” Archéologie de l’information ” à l’école primaire

Diana Bitto, Claudio Mirolo

► **To cite this version:**

Diana Bitto, Claudio Mirolo. ” Archéologie de l’information ” à l’école primaire. Drot-Delange, B. ; Baron, G-L. & Bruillard, E. Sciences et technologies de l’information et de la communication (STIC) en milieu éducatif, 2013, Clermont-Ferrand, France. 2013. <edutice-00875562>

HAL Id: edutice-00875562

<https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00875562>

Submitted on 22 Oct 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

« Archéologie de l'information » à l'école primaire

Diana Bitto, Claudio Mirolo
diana.bitto@alice.it, claudio.mirolo@uniud.it

Département de Mathématiques et Informatique
Université de Udine, Italie

Résumé. Le développement d'une attitude critique envers les outils informatiques à partir de la formation initiale n'est pas simplement le résultat de leur utilisation, mais il est également ancré à la construction de l'architecture cognitive qui permettra aux élèves de maîtriser intellectuellement les tâches de traitement de l'information. Dans le cadre d'une initiative nationale visant à promouvoir les vocations scientifiques, nous avons proposé un parcours à travers les artefacts des cultures anciennes dans le but de retracer l'origine des idées qui sont à la base de l'informatique. Parmi les moyens pédagogiques que l'on a essayé de mettre en place, sous une vision unitaire des connaissances, on peut mentionner les suivants : exploitation du registre narratif pour faciliter l'engagement, réalisation d'activités kinesthésiques et manuelles, emploi d'artefacts entièrement à la portée des enfants. Bien que nous ne sommes pas encore en mesure d'évaluer à fond l'impact du programme, le retour d'expérience en ce qui concerne l'engagement des élèves et la rétention des notions apprises est tout à fait positif. Maintenant, l'enjeu est d'entraîner d'autres enseignants à entreprendre un projet similaire.

Mots-clés: éducation informatique, école primaire, programmes scolaires, données et informations, histoire du calcul, artefacts archéologiques

Prologue

« La maîtrise des outils logiciels n'est pas, à l'école, une fin en soi : [...] l'informatique est une quête incessante pour débusquer *le sens* sous *la forme*, c'est une entreprise d'enfermement dans la *forme* de ce que nous appelons le *sens*. Plus personne ne devrait demain sortir de l'enseignement obligatoire sans, au moins avoir perçu cela à propos de l'informatique » (Duchâteau, 1992).

Bien que cet extrait date d'il y a une vingtaine d'années, son objet reste très pertinent et toujours pas atteint pour la plupart des parcours scolaires dans l'école italienne. En fait, la distinction entre forme et sens paraît particulièrement faible aujourd'hui, les élèves ayant tendance à percevoir ce qui se produit sur l'écran de l'ordinateur (ou d'autres appareils similaires) directement au niveau du signifié, sans médiation critique. L'utilisation quotidienne généralisée des TIC n'aide pas beaucoup de ce point de vue. « Ce déficit de compréhension et de conceptualisation va de pair avec une très faible verbalisation des pratiques: le plus souvent, les élèves ne savent nommer ni leurs actions, ni les objets qu'ils manipulent pourtant aisément. [...] Ce] qui marque la culture numérique des adolescents n'est pas tant la maîtrise technique des outils que la maîtrise des formats de communication socialement admis au sein de l'univers juvénile » (Fluckiger, 2009, p. 43).

Il s'agit alors de se demander si une démarche différente, notamment dans la formation initiale, aurait des chances d'améliorer un peu la situation. À cet égard, notre approche part du présupposé que le développement d'une attitude critique envers les technologies de l'information n'est pas uniquement lié à l'utilisation de ces dernières — comment faire face à une telle complexité à l'âge de 6–11 ans ? — mais tout autant à des activités d'autres genres, visant celles-ci à la construction de structures mentales appropriées afin de parvenir à la maîtrise *intellectuelle* des tâches de traitement de l'information.

Des activités destinées aux enfants peuvent être imaginées en essayant de retracer, au cours de l'histoire, l'origine et les premiers pas de l'évolution des idées en matière de représentation d'informations et de calcul. En particulier, une variété d'artefacts découverts par les archéologues, associés aux interprétations des anthropologues, nous fournit des sources précieuses d'inspiration. Le pari est que des expériences directes de manipulation d'informations puissent entraîner des retombées durables sur l'attitude des élèves face aux logiciels et aux outils informatiques.

Quelle informatique pour l'école primaire ?

En réponse à de nombreuses sollicitations d'ordre économique et politique, l'école est poussée à développer la dextérité dans l'usage des nouvelles technologies. C'est aussi le cas de l'école élémentaire italienne, dans laquelle l'informatique se réduit le plus souvent à quelque exposition aux TIC, sans objectifs pédagogiques clairs. Malheureusement, cette approche très courante à l'informatique tend à se focaliser sur les produits, au lieu que sur les processus, et entraîne des formes d'interaction pauvres (séquentielles, par *essai-erreur*), où les traitements opérés ne sont ni clairement conceptualisés, ni verbalisés (Normand & Bruillard, 2001 ; Fluckiger, 2008). Ainsi, les enfants ne deviennent pas capables d'anticiper les effets de leurs interactions et de développer des stratégies utiles pour accomplir des tâches.

Bruillard (2006) remarque que « les interfaces de manipulation directe [...] permettent un meilleur engagement dans l'action, au prix d'une illusion: l'utilisateur opère directement sur des objets visibles à l'écran, qui fonctionnent selon des métaphores [...]. Mais le traitement opéré, non visible, a tendance à disparaître. Nulle maîtrise réelle, mais de la bidouille, sans compréhension. Alors que la puissance de l'informatique tient à la possibilité de "faire faire" des traitements à une machine, l'illusion du "faire", de l'action directe est certainement un obstacle important à la maîtrise et à la compréhension de ce que peuvent faire les ordinateurs » (p. 124).

D'autre part, il faut aussi remarquer que le plus souvent les enseignants ne sont pas tout à fait conscients de la nature des activités qu'ils proposent en tant qu'*informatique*, activités pour lesquelles « les compétences attendues des élèves sont formulées de façon très générale, sans contenus scientifiques, sans savoirs ni savoir-faire précis [...], sans cohérence didactique et partage rigoureux des tâches » (Baudé, 2007). Donc, « bidouiller » tout simplement avec des progiciels ne conduit pas automatiquement à maîtriser les tâches du traitement de l'information. En particulier, on devrait garder à l'esprit que « l'enjeu des apprentissages » en formation initiale est « le développement de l'*architecture cognitive* du sujet. [...] Dans cette perspective, les acquisitions décisives ne sont pas des acquisitions conceptuelles mais des acquisitions fonctionnelles » (Duval, 2002).

L'approche que nous sommes en train d'essayer s'explique dans la même perspective, visant à bâtir l'architecture cognitive des élèves, puisque « la conscience du sujet ne peut pas construire au-delà de ce que lui permet l'architecture cognitive sous-jacente » (Duval, 2002). Compte tenu de l'âge, parmi les moyens pédagogiques qu'il convient, à notre avis, de mettre en place à cet égard, il nous paraît important de souligner les suivants :

- approche unitaire aux savoirs ;
- exploitation du registre narratif pour engager les enfants ;
- intégration d'activités kinesthésiques et manuelles ;
- « technologie » entièrement à la portée des enfants.

Le troisième point suggère une démarche interdisciplinaire, intégrée dans le curriculum, notamment en ce qui concerne les sujets des mathématiques et de l'histoire. On peut aussi préciser qu'à l'école primaire italienne le programme d'histoire aborde la Préhistoire en 3ème (âge : 8-9 ans), les civilisations anciennes — Proche-Orient, Égypte — en 4ème (9-10 ans) et la civilisation gréco-romaine en 5ème (10-11 ans).

Aux origines des concepts

On prendra le temps de souligner que l'histoire peut jouer deux rôles bien différents dans la didactique d'une discipline. D'une part, elle représente une source de contenus à exposer aux élèves. D'autre part, elle contribue à l'enrichissement des métaconnaissances qui mettent les enseignants en mesure de réfléchir sur les fondements et la nature de leur discipline.

Nous sommes ici concernés par ces deux aspects, mais il est important de commencer par le deuxième, qui a déjà été mis en évidence par des chercheurs en didactique des mathématiques. Par exemple, Radford (2002) observe que « L'histoire des mathématiques peut se configurer comme une ressource utile pour comprendre le processus de formation de la pensée mathématique, et pour

explorer la façon dont cette compréhension peut être exploitée pour projeter des activités en classe » (in Fauvel & van Maanen Eds., p. 143). Ce n'est pas autrement pour le domaine de l'informatique : le travail des archéologues et des anthropologues permet de mettre en place des hypothèses sur la genèse d'idées clés auprès des cultures primitives. « En effet, on essaie de regarder en arrière, aux origines d'un concept, afin de le concevoir dans une situation différente » (Menghini, 2002, in Fauvel & van Maanen Eds., p. 87).

En schématisant un peu, on peut identifier les « jalons » reportés en table 1, qui marquent l'achèvement de différentes étapes de la « pensée informatique ». Il s'agit d'un cadre général, dont les deux premières étapes sont particulièrement pertinentes au niveau de l'école primaire, dans le contexte de laquelle on peut aborder la variété et la nature conventionnelle des codes ; la distinction entre données (forme) et informations (sens) ; l'« universalité » du champ d'application des systèmes de signes ; leur surprenant potentiel de dévoiler des nouvelles informations par application de règles précises de manipulation ; l'organisation dans le temps de ces règles et l'idée de procédure algorithmique qui en résulte.

Table 1. Principales étapes de la « pensée informatique »

1.	<i>Signes</i> : garder des informations hors de l'esprit humain (données vs informations; nature, structure et portée des codages...)
2.	<i>Règles</i> : dévoiler de nouvelles informations hors de l'esprit humain (traitement formel et artefacts; propriétés « opérationnelles » des représentations...)
3.	<i>Mécanismes</i> : traiter l'information hors de l'esprit humain (paradigme informationnel; automatisation de tâches simples...)
4.	<i>Programmes</i> : contrôler l'exécution d'un plan hors de l'esprit humain (introspection et verbalisation de tâches algorithmiques...)
5.	<i>Programmes comme données</i> : abstraction hors de l'esprit humain (machine universelle; niveaux et formes d'abstraction...)
6.	<i>Systèmes complexes</i> : intelligence hors de l'esprit humain? (gestion de la complexité; vers l'intelligence artificielle...)

Donc, la plupart des activités que nous proposons aux élèves de l'école élémentaire ont pour but la familiarisation avec *signes* et *règles*. Les raisons de ce choix sont diverses et se basent soit sur l'évolution historique des concepts, soit sur le développement cognitif des enfants. Pour faire simple, il convient de faire référence au stade piagétien correspondant à l'âge de 8–11 ans, c'est-à-dire au stade de l'intelligence opératoire concrète, pendant lequel les enfants font face à des difficultés non négligeables dans l'analyse systématique des cas possibles, dans l'approche aux transformations de transformations, dans la description de quelque chose avec précision suffisante pour la communiquer (voir par exemple : Siegler & Alibali, 2005).

Bien qu'il ne soit pas toujours possible de considérer de façon indépendante les différents aspects (informations, opérations, procédures algorithmiques) qui sont en œuvre en même temps dans les usages pratiques des artefacts, l'histoire nous renseigne sur le fait qu'il a fallu longtemps avant de connaître des progrès importants dans des idées « informatiques » plus évoluées. Pour comprendre un *mécanisme* automatique (de traitement d'informations), en effet, il faut passer de l'interprétation de signes à l'interprétation d'un phénomène en termes de transformation des signes ainsi que des informations associées ; ou encore, afin de comprendre la fonction des structures d'un *programme*, il faut concevoir des opérations (structures de contrôle) qui s'appliquent à d'autres opérations (instructions de base). Autrement dit, un travail méticuleux sur les deux premières étapes de l'évolution ébauchée ci-dessus est à la base des développements suivants.

Il vaut aussi la peine de remarquer, à cet égard, qu'en accordant trop d'importance à des procédures algorithmiques relativement complexes on risque de conduire les élèves à faire tout simplement un effort mnémorique, qui fait perdre de vue le sens des données traitées. Par exemple, Kamii &

Dominick (1997) suggèrent d'encourager les enfants à développer leurs propres techniques de traitement des nombres : « Quand on essaie d'apprendre aux enfants à établir des relations entre nombres (connaissance logico-mathématique) à travers l'enseignement des algorithmes (connaissance sociale-conventionnelle), l'effort de se rappeler des procédés détourne leur attention de la signification à donner aux nombres. [...] Quand les enfants raisonnent à leur propre façon, ils [...] développent des niveaux de raisonnement de plus en plus hauts, qui sont enracinés dans leur propre connaissance » (pp. 59-60).

Un chemin à travers les cultures anciennes

Le parcours proposé s'articule en 14 unités de deux-trois heures, planifiées au cours de l'année de façon à intégrer l'étude curriculaire des civilisations anciennes. Après une présentation du contexte historique et géographique, ainsi que de quelques-uns des aspects de la vie quotidienne, les élèves découvrent les idées et les techniques développées par ceux peuples, qui représentent un témoignage des premiers pas de la pensée mathématique et scientifique. En outre, chaque unité comprend des moments de discussion collective, des activités manuelles et/ou du travail en groupe.

Unité 1 – Dénombrer et communiquer avec son corps (Préhistoire)

La correspondance biunivoque (figure 1) et la nature conventionnelle des formes de codage de l'information font l'objet de cette unité. Pendant que les enfants s'amuse à inventer (conventionnalité) et à appliquer leurs propres codes à l'imitation des peuples décrits par les anthropologues, ils exercent en même temps la coordination des fonctions sensori-motrices et de verbalisation. Comme le remarque justement Vergnaud (2002), il s'agit d'établir une « correspondance biunivoque entre quatre catégories distinctes d'éléments : les objets à dénombrer, les gestes du bras et de la main, les gestes du regard, les gestes de la parole » (p. 12) — sur le sujet voir aussi Leconte & Camos (2004).



Figure 1. La correspondance biunivoque est à la base de l'abstraction des nombres

Unité 2 – Compter au moyen d'objets ou encoches (Préhistoire, dès le Paléolithique)

Des objets disponibles dans l'environnement immédiat (figure 2) peuvent aider à dénombrer plus aisément qu'avec le corps, comme les enfants mêmes le proposent lorsqu'ils s'imaginent en hommes de tribus anciennes. Cailloux, branchettes, tiges, grains et coquillages remplissent la fonction de compteurs, tandis que des encoches sur os ou bois introduisent l'idée de dispositif de mémoire. L'archéologue Schmandt-Besserat (1996) observe, à propos des bâtons de taille, qu' « il y a plusieurs façons de considérer les entailles comme une forme d'abstraction des données : elles traduisent des informations concrètes en signes abstraits » et « elles séparent les connaissances de l'individu qui connaît » (p. 92).



Figure 2. Moyens de dénombrement utilisés dans la Préhistoire

Unités 3, 4 – Compter et traiter les données au moyen de jetons (Proche-Orient Néolithique)

En Mésopotamie, l'utilisation des cailloux évolue vers un système plus complexe de jetons d'argile (figure 3) qui conduira à la transition du nombre concret au nombre abstrait. « La première singularité des jetons, c'est qu'ils étaient entièrement réalisés par l'homme [...] avec le seul but de communication et comptabilité. [...] En effet, le système de jetons fut [...] le système des signes le plus ancien [...]. On peut supposer que les jetons furent utilisés selon une syntaxe rudimentaire » (Schmandt-Besserat, 1996, pp. 93-94). Après avoir reproduit des jetons d'argile, les élèves jouent à un imaginaire « marché d'Ur » et ils sont amenés par les enseignants à reconnaître les *propriétés opérationnelles* des représentations de l'information (facilité de manipulation).



Figure 3. Artefacts mésopotamiens en argile pour le traitement d'informations

Unité 5 – Écrire chiffres et syllabes (Mésopotamie vers 3000 av. J.-C.)

La tâche de reproduire des tablettes d'argile (figure 3) donne aux enfants l'occasion de réfléchir sur la conventionnalité des signes et leur permet de connaître de nouvelles façons de coder les nombres, comme les notations en bases combinées. Ainsi, ils abordent des structures syntaxiques plus

complexes, constituées de plusieurs éléments en relation les uns avec les autres, organisés selon des règles bien définies.

Unité 6 – Vérifier la cohérence des informations (bâtons de taille en Europe jusqu’au XX s.)

Bien que d’origine très ancienne, les bâtons de taille « partagés » gardent leur fonction jusqu’à des temps récents dans l’enregistrement de contrats, puisqu’ils permettent de vérifier la correspondance entre deux données numériques. En ce sens, ils représentent des dispositifs de mémoire permanente et ils suggèrent une idée rudimentaire de vérification de l’intégrité des informations. Par contre, les élèves peuvent constater que des artefacts similaires ne se prêtent pas facilement à des manipulations « symboliques ».

Unités 7, 8, 9 – Exécuter des procédures algorithmiques (Babylonie et Égypte)

Pendant le déroulement de ces unités les enfants essaient de mettre en œuvre différentes procédures arithmétiques. En particulier, les techniques de dactylogonomie (indigitatio; voir par exemple Ifrah, 1994) et multiplication avec les doigts s’avèrent être très engageantes et favorisent la métacognition des élèves. Ensuite, ils abordent des algorithmes arithmétiques plus complexes dans la notation hiéroglyphique qui, n’étant pas habituelle, met en évidence la nature du traitement formel des signes. En même temps, on peut aussi saisir l’opportunité de développer une ébauche initiale de l’idée de procédure algorithmique. D’autre part, les tablettes d’argile babyloniennes, ainsi que le papyrus égyptien de Rhind, offrent la chance de découvrir quelques exemples de problèmes mathématiques connus dès l’antiquité (voir par exemple : Friberg, 2005).

Unité 10 – Se conformer aux règles syntaxiques (Quipu inca)

Il s’agit ici d’une façon très curieuse de coder l’information, à la fois numérique et non-numérique, qui témoigne de la variété des systèmes de codage. Les enfants apprennent les règles pour organiser nœuds et ficelles selon une syntaxe complexe (figure 4), où les « différentes parties de l’instrument d’enregistrement *quipu* interagissent entre elles pour constituer ce que l’on pourrait appeler le codage ASCII du système d’informations quipu » (Urton, 2003, pp. 39-40). Contrairement aux artefacts vus précédemment, il est intéressant de remarquer que c’est la *position* des signes (nœuds) qui permet de déterminer la valeur représentée — d’où les élèves sont conduits à reconnaître la nécessité d’une notation pour le chiffre zéro.



Figure 4. Réalisation d’un quipu pour coder des informations non-numériques

Unités 11, 12, 13 – Comprendre le concept de traitement formel (Culture gréco-romaine)

La diversité des notations utilisées à l’époque donne l’opportunité de traiter des *propriétés opérationnelles* des codes numériques, qui peuvent être plus ou moins aptes à la manipulation. En

même temps, les enfants apprennent à exploiter l'abaque romain (figure 5) et à mettre en relation la disposition des galets avec les chiffres dans l'écriture positionnelle courante. Ainsi, la pratique d'établir des correspondances entre structures (représentationnelles) différentes qui font référence à la même entité contribue à développer les capacités d'abstraction des élèves.



Figure 5. Travail avec l'abaque romain pour mieux comprendre la notation positionnelle

Unité 14 – Vers l'idée de machine à calculer (Moyen Âge et Renaissance)

À la fin du parcours, l'occasion se présente aux enfants de manier une variété d'instruments de calcul (figure 6), comme par exemple quelques bouliers (stchoty, suanpan, soroban) ou les bâtons de Neper, ce qui leur devrait permettre de concevoir l'idée de machine à calculer (voir aussi : Williams, 1997).



Figure 6. Les nombres sont représentés de façon différente dans différents types de bouliers

Dans la plupart des activités dont on a donné un aperçu ci-dessus, les élèves entrent en contact avec des artefacts qui jouent un rôle clé en vue des objectifs du projet (sur du rôle éducatif des artefacts voir aussi : Bartolini-Bussi, 2011). Bien qu'assez simples, ces artefacts sont tout à fait des formes de « technologie » de l'information et, contrairement aux outils des TIC, ils sont entièrement à la portée des jeunes utilisateurs. Par conséquent, les élèves sont en mesure de les maîtriser et parfois de créer eux-mêmes des objets similaires.

Autrement dit, si le but est l'apprentissage, il faut que l'artefact soit une « boîte de verre, » plutôt qu'une « boîte noire, » c'est-à-dire « son fonctionnement doit être visible ou explicite afin que le sujet puisse en tenir compte dans son activité. L'artefact doit être compréhensible pour l'utilisateur » (Rabardel, 1995). Cet aspect est particulièrement important, à notre avis, puisqu'on s'attend à ce que les enfants prennent l'habitude de s'interroger afin d'essayer de comprendre précisément ce qui se passe. La question qui se pose est alors de savoir s'il y aura finalement un transfert de cette attitude à l'utilisation des outils informatiques.

Discussion

Les activités que nous avons présentées ici ont été conduites dans le cadre du projet PLS. Il s'agit d'une initiative nationale qui a pour mission d'encourager les vocations scientifiques parmi les élèves et d'en favoriser l'orientation dans les filières scientifiques et techniques. Comme on l'a dit plus haut, pour l'école primaire nous avons choisi de développer principalement deux aspects qui nous semblent les plus importants à ce niveau : le premier aspect concerne la représentation concrète des informations par des systèmes de signes ; le second aborde le potentiel de dévoiler des nouvelles informations à travers la manipulation (formelle) des signes.

La perspective d'une intégration curriculaire du parcours dont nous avons tracé les grandes lignes dans la section précédente se révélerait à notre avis importante sous divers points de vue. Sur le plan de l'informatique, nous nous attendons à ce que ces types d'activité amènent les enfants à comprendre la distinction entre forme et sens et les aident à saisir l'idée de traitement formel des informations, ce qui n'est ordinairement pas atteint par la seule utilisation des TIC.

Attendu qu'il existe un parallélisme entre le chemin parcouru par l'homme vers le développement de la pensée logico-mathématique et celui qui est parcouru par l'enfant au cours de ses premières années de vie (Dehaene, 1997), le choix d'une approche qui s'appuie sur l'histoire et l'archéologie se propose de conduire les jeunes élèves à redécouvrir dans leur vécu les éléments constitutifs de leur propre façon de raisonner ainsi que de leurs propres « algorithmes » élémentaires de calcul, leur permettant de la sorte de consolider les bases de l'arithmétique.

De plus, les activités ludiques dans lesquelles les enfants font semblant d'appartenir au peuple qu'ils sont en train de traiter, en reproduisent les instruments et les utilisent selon les techniques de l'époque, peuvent concourir à développer chez l'élève le sens de l'histoire et du progrès de la communauté humaine dont il fait lui-même partie.

Bien entendu, la réalisation d'activités pluridisciplinaires, qui dans l'école italienne font généralement intervenir deux enseignants de matières différentes, demande non seulement une bonne entente et une programmation attentive, mais aussi des connaissances spécifiques qu'on ne peut les diffuser qu'au moyen de stages de perfectionnement professionnel.

On peut maintenant donner quelques chiffres sur notre expérience. En totalité, 10 enseignants et 138 élèves de quatre écoles primaires ont pris part au projet. Quatre classes ont suivi le programme complet pendant deux années scolaires, en 2010-11 et 2011-12 (79 élèves qui ont commencé ce travail en 4^{ème}, à l'âge de 9-10 ans). De plus, nous avons réalisé un programme raccourci avec 24 élèves de 5^{ème} ainsi qu'un programme particulier avec deux classes de 35 jeunes enfants de 1^{ère} (âgés de 6-7 ans).

Il n'était évidemment pas possible d'évaluer pleinement l'impact du programme sur les attitudes des enfants à l'égard de l'informatique, ce qui aurait demandé d'entreprendre des investigations à long terme bien plus complexes. Cependant, on peut se faire une idée sur la réponse des élèves pour ce qui est de leur engagement et intérêt pour les activités proposées, ainsi que sur leur rétention de ce qu'ils ont appris. Pour qu'on puisse recueillir ce retour, les élèves ont rempli un questionnaire de perception subjective à la fin de la première année et, ensuite, ils ont répondu à un test sur les connaissances acquises, qui comprenait des exercices sur les techniques de codage et de traitement de l'information.

Considérons d'abord le feedback sur la *perception subjective* des enfants :

- Presque tous les élèves ont jugé les activités intéressantes et (question de contrôle) plus de 3/4 d'entre eux ont parlé des activités à leurs parents (82% parmi les plus jeunes) ;
- La plupart des enfants (85%) ont particulièrement apprécié le travail manuel ;
- Il y a pourtant une distribution équilibrée de l'intérêt pour les différents sujets considérés.

En ce qui concerne le *test de rétention* destiné aux classes du programme biennal, il comprenait 14 questions sur les sujets traités pendant la première année — qui s'était terminée cinq mois avant l'administration du test — et notamment : 5 questions générales (par exemple contexte historique ou géographique) ; 7 questions sur les techniques de codage des données numériques et non-numériques ; 2 questions sur des techniques algorithmiques (arithmétique égyptienne). Voilà une synthèse sommaire des résultats :

- Les enfants se rappellent aisément des différentes techniques de codage des informations (71–88% de réponses positives) ;
- Ils se souviennent mieux de ces techniques que d'autres notions factuelles ;
- 55% des élèves réussissent à appliquer la technique d'addition égyptienne ;
- 12% des élèves sont aussi en mesure d'aborder la multiplication égyptienne.

On observe donc qu'au bout de cinq mois les élèves se souviennent de beaucoup plus de détails que l'on puisse imaginer, mais pourtant ils assimilent mieux ce dont ils ont une expérience concrète — avec leurs mains, leur corps — et qu'ils sont en mesure de comprendre entièrement, c'est-à-dire ce qui est concrètement à leur portée.

Enfin, le bilan des activités paraît également positif du point de vue des enseignants qui ont participé au projet, lesquels, en plus d'avoir répondu au questionnaire (anonyme) d'évaluation des activités « PLS » prévu au niveau national, ont eu plusieurs occasions de s'exprimer pendant les rencontres du projet. À souligner, par exemple, que les enseignants chargés du soutien scolaire ont remarqué un certain niveau de réussite des enfants présentant des difficultés d'apprentissage. Une autre observation intéressante a été reportée à propos de la dactylogonomie ancienne : des élèves étrangers ont commencé à expliquer aux camarades d'école les techniques de comptage avec les doigts utilisées dans leur pays d'origine. De façon générale, les techniques pour dénombrer et pour faire de l'arithmétique sont perçues par les enseignants comme une aide à la métacognition des enfants. Il s'agit bien sûr de renseignements anecdotiques, pourtant ils fournissent des indications utiles sur le déroulement des activités.

Conclusion

En conclusion, l'expérience a été gratifiante. Apparemment, elle a été profitable aux élèves, bien motivés et engagés dans les tâches proposées, mais aussi aux enseignants, qui ont approché l'informatique sous une perspective inhabituelle. En effet, presque tous se déclarent prêts à continuer ce travail. On pourrait aussi réfléchir à l'intégration de quelques autres activités dans le genre de « CS Unplugged » (informatique sans ordinateur; Bell et al., 2009) ou « Informatik erLeben » (Mittermeier et al., 2010), ayant pour objet, par exemple, le chiffre de César ou le code Morse.

Les éléments recueillis lors des activités nous donnent une idée de l'efficacité en ce qui concerne l'intérêt des élèves et la rétention des notions apprises, cependant nous ne sommes pas encore en mesure d'évaluer l'impact du programme d'un point de vue plus général.

Dans la perspective de poser les jalons d'une utilisation raisonnée des technologies de l'information, la question alors se pose de comment évaluer l'efficacité du modèle d'intervention didactique traité dans cet article. Comme on l'a expliqué, les principaux objectifs de notre travail sont fonctionnels, au sens de Duval (2002), et ils visent au développement de l'architecture cognitive des enfants, qui n'est pas directement accessible au chercheur. Par conséquent, il ne suffit pas d'analyser les performances dans des tâches proches de celles accomplies au cours des activités, ce que d'ailleurs on a déjà essayé de faire. Il s'agit maintenant d'envisager des instruments qui nous permettent d'explorer les retombées d'une expérience de cette nature dans des contextes différents, et notamment dans l'utilisation des TIC, à travers l'observation des interprétations que les élèves donnent d'un phénomène ou d'une situation inconnue, ainsi que des stratégies spontanées mises en place face à un problème nouveau.

Par exemple, dans le second cycle de l'école élémentaire (8 à 11 ans) on pourrait évaluer et comparer des compétences telles que : la précision dans la communication langagière d'informations ; la cohérence logique dans le rangement ou l'assemblage de pièces ; la cohérence logique dans l'interprétation et l'utilisation d'un langage iconique (et pas nécessairement celui des interfaces utilisateur) ; l'explication spontanée des fonctionnalités « autotext » (téléphones mobiles), auto-

complétion des mots, correcteur orthographique, etc. ; les stratégies spontanées face à des situations inattendues dans l'emploi d'un progiciel.

Si, d'une part, on ne peut que laisser de côté l'idée bien plus complexe mais encore prématurée d'une extension éventuelle du champ de l'investigation à moyen et long terme, ce qui demanderait un suivi des élèves au cours des étapes de leurs parcours d'études, d'autre part il serait souhaitable de reproduire l'expérience dans plusieurs établissements scolaires afin d'en comparer les résultats. Cela, pourtant, ne pourra se faire qu'après la mise en œuvre de stages de formation des enseignants, pour lesquels il n'est malheureusement pas facile, dans le contexte actuel, de trouver les moyens nécessaires.

Remerciements. Ce travail a bénéficié du support de l'initiative nationale italienne PLS. Les auteurs remercient la coordinatrice locale, Rossana Vermiglio, et tous les enseignants, qui ont participé au projet avec enthousiasme : Grazia Basile, Lorena D'Agostini, Catia Lippi, Elena Lovato, Alessandra Marchesini, Manuela Massarutti, Laura Molinaro, Silvia Salvador, Marina Toffoletti, Angelo Verilli.

Bibliographie

- Bartolini Bussi, M. (2011). Artefacts and utilization schemes in mathematics teacher education: place value in early childhood education. *J. of Mathematics Teacher Education*, 14(2), 93-112.
- Baudé, J. (2007). Le développement de l'informatique et des TIC dans l'enseignement – Et si la voie suivie n'était pas la bonne? *EpiNet – Revue électronique de l'EPI (association Enseignement Public et Informatique)*, 95. En ligne <http://www.epi.asso.fr/revue/articles/a0705a.htm>
- Bell, T., Alexander, J., Freeman, I., & Grimley, M. (2006). Computer Science Unplugged: School students doing real computing without computers. *The New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology*, 13(1), 20-29.
- Bruillard, É. (2006). Informatique en contexte scolaire, enseignement, diffusion: quelles recherches? In J. Lebeaume & C. Larcher (Eds.), *Actes du Séminaire de didactique des sciences expérimentales et des disciplines technologiques 2004-2005* (pp. 115-128). Cachan : STEF.
- Dehaene, S. (1997). *La Bosse des Maths*. Paris : Odile Jacob.
- Duchâteau, C. (1992). Peut-on définir une «culture informatique»? *Journal de Réflexion sur l'Informatique*, 23-24, 34-39. Namur : FUNDP.
- Duval, R. (2002). Comment décrire et analyser l'activité mathématique? cadres et registres. In *Actes de la journée en hommage à Régine Douady* (pp. 83-105). Paris : IREM.
- Fauvel, J., & Van Maanen, J. (Eds.). (2002). *History in Mathematics Education – The ICMI Study*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Fluckiger, C. (2008). L'école à l'épreuve de la culture numérique des élèves. *Revue française de pédagogie*, 163, 51-61.
- Fluckiger, C. (2009). Internet et ses pratiques juvéniles. *Medialog*, 69, 42-45.
- Friberg, J. (2005). *Unexpected Links between Egyptian and Babylonian Mathematics*. Singapore : World Scientific.
- Ifrah, G. (1994). *Histoire universelle des chiffres*. Paris : Robert Laffont.
- Kamii, C., & Dominick, A. (1997). To teach or not to teach algorithms. *The Journal of Mathematical Behavior*, 16(1), 51-61.
- Leconte, A.-S., & Camos, V. (2004). Le rôle du geste dans les apprentissages numériques: les stratégies de dénombrement chez les patients infirmes moteurs cérébraux. *A.N.A.E. – Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 78, 195-201.
- Mittermeir, R., Bischof, E., & Hodnigg, K. (2010). Showing core-concepts of informatics to kids and their teachers. In J. Hromkovič, R. Královič & J. Vahrenhold (Eds.), *Proceedings of ISSEP 2010*. LNCS 5941, 143-154. Heidelberg : Springer-Verlag.
- Normand, S., & Bruillard, É. (2001). Que révèlent le discours des futurs enseignants sur leur compréhension du fonctionnement des applications informatiques – Point de vue. *Sciences et Techniques éducatives*, 8(3-4), 435-445.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Schmandt-Besserat, D. (1996). *How Writing Came About*. Austin : The University of Texas Press.
- Siegler, R.S., & Alibali, M.W. (2005). *Children's Thinking*. New York : Pearson.
- Urton, G. (2003). *Signs of the Inka Khipu: Binary Coding in the Andean Knotted-String Records*. Austin : The University of Texas Press.
- Vergnaud, G. (2002). Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance. In: J. Portugais (Ed.), *La notion de compétence en enseignement des mathématiques : actes du colloque GDM 2001* (pp. 6-27). Groupe de didactique des mathématiques du Québec.
- Williams, M.R. (1997). *A History of Computing Technology*. Los Alamitos : IEEE Computer Society Press.