

FAIRE DE L'INFORMATIQUE SANS ORDINATEUR À L'ÉCOLE

Malika MORE

Maîtresse de Conférences
IUT Informatique
Université Clermont Auvergne
IREM de Clermont-Ferrand
Maison pour la Science en Auvergne
Laboratoire LIMOS
malika.more@udamail.fr

Sarah GALI

Professeure des Écoles
École de Saint-Amand Tallende
IREM de Clermont-Ferrand
Maison pour la Science en Auvergne
sarah.gali32@gmail.com

Résumé

L'informatique sans ordinateur est une approche de l'enseignement de l'informatique, complémentaire d'autres approches, qui consiste à présenter des concepts de la science informatique de façon ludique et sans recours à l'ordinateur. On met ainsi l'accent sur l'aspect scientifique sans se laisser éblouir ou rebuter par la technologie. Cette approche a été initiée par Tim Bell à partir de 1992.

Le groupe propose des activités pour le cycle 3 (écriture binaire des nombres – codes détecteurs et correcteurs d'erreurs – automates finis – algorithmes de tri – langages de programmation – etc.) qui seront présentées au cours de l'atelier. Les ressources comportent des documents-élèves, un déroulé de séance issu d'expérimentations en classe et une fiche scientifique pour le professeur.

Les objectifs de l'atelier sont d'une part de présenter les travaux menés depuis 2012 par le groupe ISO (Information Sans Ordinateur) de l'IREM de Clermont-Ferrand et de la Maison pour la Science en Auvergne, et d'autre part de réfléchir à des pistes de formation pour les Professeurs des Écoles, en lien avec les nouveaux programmes de 2016.

I - PRÉSENTATION DE CE QU'EST L'INFORMATIQUE SANS ORDINATEUR

1 De quoi parle-t-on ?

1.1 Une drôle d'idée ?

Le concept d'informatique sans ordinateur semble paradoxal au premier abord. Il s'agit pourtant d'une approche de l'enseignement de l'informatique qui existe depuis plus de vingt ans et qui est complémentaire d'autres approches. Il ne s'agit évidemment pas de décourager l'usage des ordinateurs par les élèves, ni de pallier au manque d'équipement dans les établissements. L'objectif est de profiter du décalage apparent entre les termes « informatique » et « sans ordinateur » pour se poser des questions sur les concepts mis en œuvre et prendre du recul par rapport aux usages quotidiens.

L'idée directrice consiste à enseigner des notions fondamentales de la science informatique de façon ludique, sans aucun recours à des objets numériques. On utilise à la place des cartes, des jetons, des gobelets, des billes, etc. On met ainsi l'accent sur le contenu scientifique, sans se laisser éblouir ou au contraire rebuter par la technologie.

1.2 Origines

L'informatique sans ordinateur s'est développée depuis 1992, sous le nom de "Computer Science Unplugged" (« Informatique débranchée »), à partir des travaux de l'informaticien néo-zélandais Tim Bell (Université de Canterbury). Le site du même nom propose de nombreuses ressources dans plusieurs langues (<http://csunplugged.org/>).

À partir du début des années 2000, le concept a gagné en visibilité depuis son intégration dans les propositions de curriculum en informatique publiées par les puissantes sociétés savantes américaines ACM (Association for Computing Machinery) et CSTA (Computer Science Teachers Association), propositions que l'on retrouve sur leur site¹.

1.3 Principes pédagogiques

Les idées sur lesquelles repose cette approche sont anciennes : pour s'approprier des concepts, les enfants ont besoin de manipuler des objets tangibles et d'expérimenter à partir de situations concrètes. Il s'agit de mettre les élèves en situation de recherche par des jeux et des problèmes à résoudre.

Du point de vue du contenu, les activités proposées ont pour objet des concepts de la science informatique (l'entrée n'est pas forcément la programmation). Elles sont agréables et non ennuyeuses, elles engagent le corps et favorisent des approches coopératives plutôt qu'individuelles. Par ailleurs, elles sont généralement neutres par rapport au genre, disponibles à faible coût et souvent sous licence Creative Commons.

2 Où trouver des ressources ?

Voici quelques liens vers des pages proposant des activités d'informatique débranchée en Français.

- Le site Interstices de médiation scientifique de l'INRIA propose la traduction de 20 activités du site Computer Science Unplugged : (<https://interstices.info>)
- Le groupe ISO de l'IREM/MPSA de Clermont-Ferrand propose plusieurs activités téléchargeables à l'adresse : <http://www.irem.univ-bpclermont.fr/Informatique-sans-Ordinateur>
- Le groupe Algorithmique de l'IREM de Grenoble propose plusieurs activités téléchargeables à l'adresse : <http://www-irem.ujf-grenoble.fr/spip/spip.php?rubrique15>
- Sur le site Pixees (<https://pixees.fr/>), il est possible de visionner des vidéos d'activités.

II - EXPÉRIMENTATION DE QUELQUES ACTIVITÉS PAR LES PARTICIPANTS

Les participants à l'atelier ont été invités à expérimenter quelques activités portant sur la représentation binaire des nombres, les images numériques et les langages de programmation.

1 La représentation binaire des nombres

La représentation binaire des informations est à la base du fonctionnement des ordinateurs. Ce savoir est considéré essentiel à tous les niveaux d'enseignement par les experts et les didacticiens de l'informatique, de l'école primaire à la classe de terminale scientifique dans l'enseignement de spécialité ISN (Informatique et Sciences du Numérique). Pourtant, elle n'est pas sans présenter des difficultés d'apprentissage à tous les niveaux d'étude.

La plupart des activités proposées sur la représentation binaire des nombres se concentre sur la façon de changer de base, c'est-à-dire sur le passage de la représentation décimale (en base 10) habituelle à la représentation binaire (en base 2) et vice versa. L'activité présentée ici mène à la découverte de la

¹ ACM : <http://www.acm.org/education/curricula-recommendations>

et CSTA : http://www.csteachers.org/?page=CSTA_Standards

représentation binaire d'un nombre entier. Elle repose sur un tour de magie, qui consiste à deviner un nombre en demandant s'il est présent ou non sur des cartes magiques (Kruse, 2003).

Les différentes étapes du tour de magie sont présentées ci-après, ainsi que son fonctionnement.

- Le magicien (l'enseignant) demande à un spectateur (un élève) de choisir secrètement un nombre entre 0 et 31. En posant cinq questions, le magicien découvre le nombre secret. Pour cela, il dispose des cinq cartes de la figure 1 (voir ci-dessous). Ces cartes comportent chacune seize cases contenant les nombres indiqués. Le magicien montre les cartes une par une (dans l'ordre) au spectateur. Chaque fois, il demande si le nombre secret est présent ou non sur la carte. Une fois qu'il a obtenu la réponse aux cinq questions, le magicien trouve le nombre choisi par le spectateur.
- Le magicien mémorise les cartes pour lesquelles le spectateur a répondu que le nombre secret est présent. Si par exemple, il s'agit des cartes 1, 3 et 4, alors ce nombre est $13 = 1+4+8$. Les termes de la somme sont les premiers nombres (en haut à gauche) de chaque carte pour laquelle le spectateur a indiqué que son nombre secret était présent. Plus précisément, si le spectateur indique la carte i , alors le magicien mémorise 2^{i-1} . Une fois toutes les cartes passées, il suffit de sommer les nombres mémorisés. Ainsi, sur l'exemple précédent, le magicien obtient le nombre secret comme suit :

$$13 = 1 * 2^0 + 0 * 2^1 + 1 * 2^2 + 1 * 2^3 + 0 * 2^4$$

En effet, les nombres présents sur la carte i sont exactement ceux dont l'écriture binaire présente un 1 en position i (en partant de la droite), ce qui correspond à l'utilisation de 2^{i-1} dans la décomposition en somme de puissances de 2. Ainsi, le nombre 13 s'écrit 1101 en binaire. Les cinq cartes permettent de découvrir tous les nombres dont l'écriture binaire utilise au plus cinq chiffres, c'est-à-dire ceux entre 0 et 31.

Les participants sont invités à découvrir le fonctionnement du tour de magie dans un premier temps et ensuite la construction des cartes magiques.

En complément de cette activité, des exercices portant sur la conversion de l'écriture des nombres de la base 10 à la base 2 sont proposés.

1	3	5	7
9	11	13	15
17	19	21	23
25	27	29	31

2	3	6	7
10	11	14	15
18	19	22	23
26	27	30	31

4	5	6	7
12	13	14	15
20	21	22	23
28	29	30	31

8	9	10	11
12	13	14	15
24	25	26	27
28	29	30	31

16	17	18	19
20	21	22	23
24	25	26	27
28	29	30	31

figure 1. Cartes pour le tour de magie avec des nombres entre 0 et 31.

2 Les images numériques

Lorsque nous utilisons un ordinateur ou un smartphone l'écran constitue un élément principal de l'interaction avec la machine. Les images sont donc au cœur de l'utilisation de ces objets, et leur qualité, leur taille et les moyens de les manipuler constituent des éléments importants de l'interaction homme machine. C'est pourquoi nous avons choisi de présenter quatre activités de découverte de cette notion.

2.1 Images pixellisées sans ordinateur

Pour les élèves, l'objectif de cette activité est d'introduire la notion de pixel d'une part et un premier codage numérique des images pixellisées d'autre part. Les participants sont invités à dessiner une image constituée de pixels noirs ou blancs, puis à la coder (à l'aide d'une représentation autrefois utilisée par exemple par les fax). Ensuite, ils décodent le dessin d'un autre groupe.

2.2 Images pixellisées avec ordinateur

Cette série d'activités a pour but de démontrer aux élèves l'affirmation selon laquelle les images informatiques sont numériques, c'est-à-dire constituées de nombres. L'idée générale consiste à ouvrir un même fichier, d'une part en utilisant un éditeur de texte (comme WordPad sous Windows, ou emacs sous Linux), et d'autre part avec un logiciel d'imagerie (comme Gimp) - il s'agit donc ici d'informatique « avec ordinateur ». Dans le premier cas, les élèves pourront observer des nombres, et dans le second cas, une image constituée de pixels. Il est possible de modifier des nombres dans le fichier texte et d'observer les modifications obtenues sur l'image. Certains des exercices sont utilisables pour des élèves du cycle 3 (CM1-CM2-6^e), d'autres sont plutôt destinés à des élèves de la fin du cycle 4 (classe de 3^e), car ils comportent une part d'algorithmique et de programmation en python.

2.3 Cryptographie visuelle

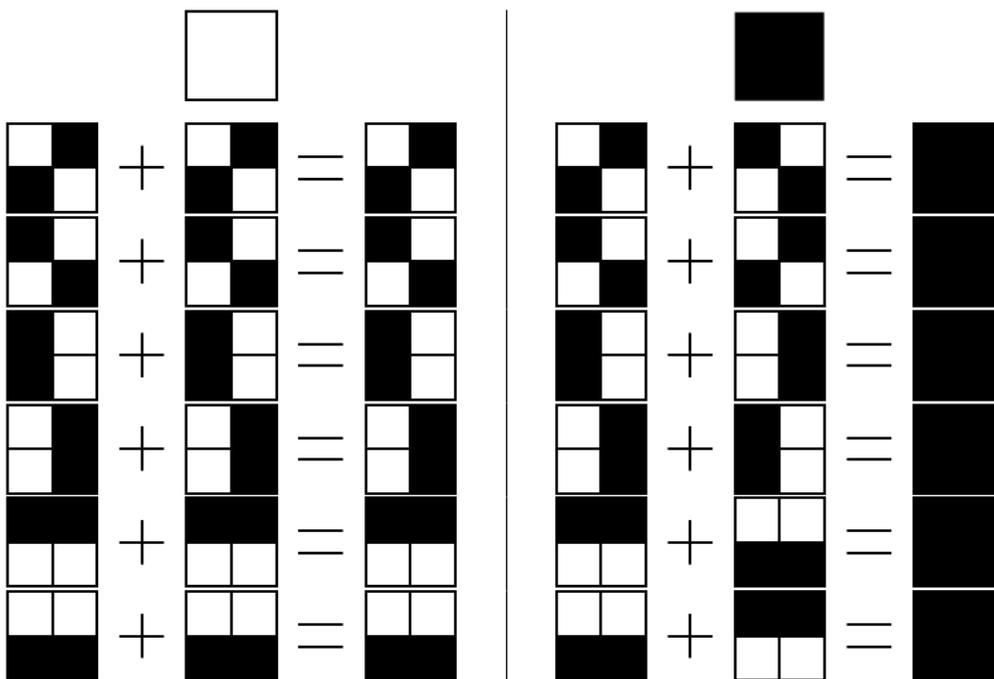
L'objectif de cette activité est de présenter le fonctionnement de la cryptographie visuelle au travers d'exemples. La cryptographie visuelle a été inventée en 1994 par Moni Naor et Adi Shamir. Elle permet de communiquer des messages secrets à travers des images. Nous allons manipuler des images simples en noir et blanc. Elles sont donc constituées uniquement de pixels noirs ou blancs.

L'idée est de construire deux images de telle sorte qu'en les superposant elles fassent apparaître le message secret. Mais une personne qui ne possède qu'une seule image ne doit pas pouvoir retrouver le message secret. Elle ne doit pouvoir obtenir aucune information sur le message secret avec une seule des deux images.

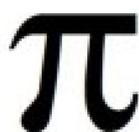
Partant d'une image en noir et blanc, il faut générer deux images telles qu'en les superposant elles révèlent le dessin originel. Pour cela, chaque pixel de l'image de départ va devenir 4 pixels disposés en carré. Ainsi les deux images obtenues seront deux fois plus grandes, en nombre de pixel par ligne et par colonne, que l'image d'origine.

- Un pixel blanc sur l'image de départ produit deux « images » de taille deux pixels par deux pixels en suivant les règles de gauche données ci-dessous. Pour chaque pixel blanc une règle est choisie aléatoirement parmi les 5 données ci-dessous.
- Pour les pixels noirs, il faut prendre les règles de droite afin d'obtenir un carré de pixels tous noirs lors de la superposition. De même à chaque pixel noir il faut choisir aléatoirement une des 5 règles.

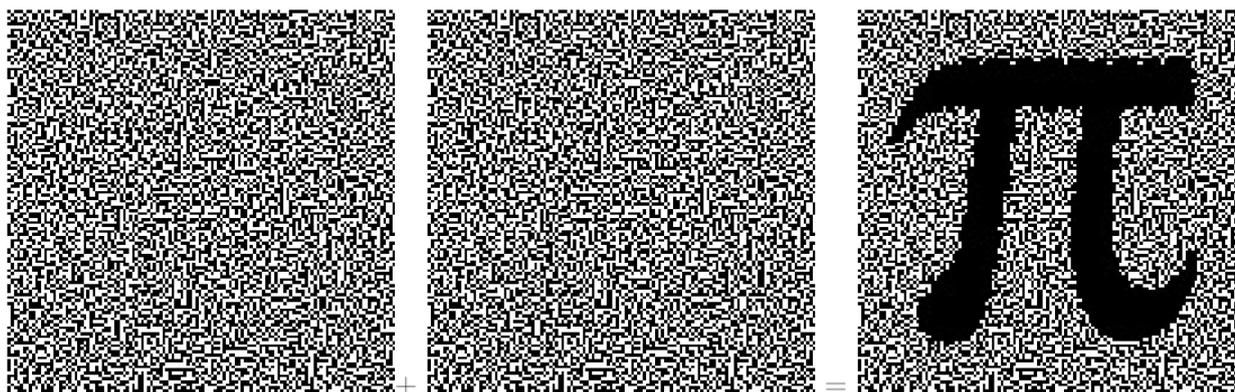
Ces règles ont pour objectif de donner deux images qui ont chacune autant de pixels noirs que de pixels blancs. Ainsi une image seule permet de ne retrouver aucune information sur l'image cachée, par contre lorsque les images seront superposées le dessin apparaîtra.



En partant de l'image originale ci-contre représentant le symbole π ,



nous obtenons les deux images suivantes qui, en fusionnant, donnent la troisième image.



Nous remarquons que le bloc blanc ne l'est plus. L'image finale ne sera pas exactement celle de départ. Elle sera moins « nette ».

Grâce à cette construction, un attaquant qui observe un bloc de pixels n'est pas capable de savoir si la superposition permet d'obtenir un bloc blanc ou un bloc noir, car les règles de générations des images ont été choisies aléatoirement. Il faut les deux images pour pouvoir prédire si le pixel fusionné sera noir ou blanc.

Les participants sont invités à construire eux-mêmes sur des transparents quadrillés à l'aide d'épais feutres noirs un exemple de cryptographie visuelle.

2.4 Courbes de Bézier

Il est possible de classer les formats d'images numériques en deux grandes familles :

- Les images dites « matricielles » (BitMap), peuvent représenter des photos, des dessins, des plans etc. ... Ces images en couleur ou en noir et blanc sont constituées de tous les points (pixels) de l'image. Agrandir ou rétrécir ces images pose certains problèmes afin de déterminer les pixels de la nouvelle image. Par contre, elles sont souvent d'une grande qualité car elles contiennent toute l'information.
- Les images dites « vectorielles », sont formées de courbes qui définissent des formes à l'aide d'équations. Même pour des formes complexes, les images vectorielles nécessitent moins de place en mémoire que les images BitMap. De plus elles supportent parfaitement le changement d'échelle.

La figure ci-dessous montre une image vectorielle d'un abricot qui n'est pas détériorée par le changement d'échelle, alors que l'image matricielle du même objet ne passe pas correctement à l'échelle.



L'objectif de cette activité est de construire des courbes de Bézier « simples ». Les courbes de Bézier ont été inventées par Pierre Bézier en 1962. Elles ont de nombreuses applications dans la synthèse d'images et le rendu de polices de caractères (les lettres « arrondies » sont souvent générées par des courbes de Bézier). Ces courbes sont des courbes polynomiales paramétriques qui sont des objets mathématiques complexes. Nous nous intéressons au cas le plus simple qui consiste à partir de trois points A, B et C, de construire une courbe lisse allant du point A au point C de telle sorte telle qu'elle soit tangente aux droites (AB) et (BC).

Pour construire la courbe de Bézier de points de contrôle A, B et C il suffit de remplacer la ligne polygonale A, B, C par la ligne polygonale A, D, F, E, C où :

- D est le milieu de [AB]
- E est le milieu de [BC]
- F est le milieu de [DE]

Il faut alors recommencer le processus sur les deux nouveaux polygones construits. Après plusieurs itérations, le résultat est une courbe (visuellement) lisse, passant par A et C et tangente à [AB] et à [BC]. Il suffit que de quelques itérations (3 ou 4) pour avoir un résultat satisfaisant, comme le montre l'exemple ci-dessous.



Cette activité permet de comprendre comment représenter une figure complexe, ici une courbe, à partir de la seule connaissance de trois points et d'un algorithme. Cette technique passe facilement à l'échelle car la courbe sera facilement recalculée.

3 Les langages de programmation

Enfin, la programmation est au cœur des activités informatiques, c'est pourquoi nous avons choisi de présenter une dernière activité permettant aux élèves de découvrir la notion de langage de programmation.

Une manière de diriger une pince robotisée déplaçant des gobelets est de lui donner une suite d'instructions élémentaires (déplacer la pince à droite \rightarrow , ou à gauche \leftarrow , saisir un gobelet placé sous la pince \uparrow et poser un gobelet \downarrow). Chaque instruction élémentaire correspond à un mouvement de la pince. Dans ce contexte, un programme est une suite finie d'instructions élémentaires. Le programme suivant : $\uparrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \downarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow \uparrow \rightarrow \rightarrow \downarrow \leftarrow \leftarrow \uparrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \downarrow$ permet de construire une pyramide de 3 gobelets à partir de 3 gobelets empilés et de la pince positionnée au-dessus de cet empilement, comme indiqué sur la figure ci-dessous.

Pour appréhender la nature des langages de programmation, il est essentiel d'avoir à l'esprit la dissymétrie fondamentale entre les deux protagonistes, le programmeur et la machine. En effet, ce programme a été écrit par un humain dans le but de faire construire la pyramide au robot, alors que le robot accomplit simplement les actions indiquées sans viser un quelconque objectif. Le robot ne sait pas qu'il est en train de construire une pyramide de gobelets.



D'une façon générale, l'intention du programmeur est de commander une machine (ordinateur, robot, téléphone, console de jeu, ...) afin qu'elle accomplisse certaines tâches qu'il a définies. Pour sa part, la machine se contente d'exécuter à la lettre les ordres rédigés par le programmeur. Les langages utilisés par les humains pour écrire des programmes qu'exécutent les machines sont appelés des langages de programmation. Il existe de nombreux langages de programmation correspondant aux différentes machines, mais aussi permettant de rédiger des programmes de différentes manières.

Dans cette activité, les participants sont invités à écrire (sans les gobelets) un programme destiné à construire une certaine pyramide de gobelets, puis à exécuter (sans le modèle) le programme écrit par un autre groupe.

III - PRÉSENTATION DES RESSOURCES DESTINÉES À LA FORMATION DES ENSEIGNANTS PRODUITES PAR LE GROUPE

1 Groupe IREM/MPSA « Faire de l'informatique sans ordinateur à l'école et au collège » (Clermont-Ferrand)

Dans la mesure où la science informatique commence à peine à devenir une discipline scolaire, il y a peu de matériels pédagogiques dédiés. Notre groupe travaille depuis septembre 2012 dans une optique prospective et militante à la production de ressources pour les enseignants (Drot-Delange, 2013).

Nous avons choisi de nous concentrer sur un public et une approche spécifiques. Le public concerne les professeurs des classes de la fin du primaire et du début du collège (CM1-CM2-6^e-5^e), et l'approche est celle de « l'informatique sans ordinateur ».

Ce groupe est composé de 6 à 8 personnes. Il comporte des enseignants du premier degré, des enseignants de mathématiques du second degré et des universitaires (informaticiens, mathématiciens et didacticiens de l'informatique). Les ressources pour la classe produites ont été testées dans des classes de plusieurs niveaux du CE1 à la terminale.

2 Thèmes et contenus des ressources

Les activités sont indépendantes les unes des autres, et permettent de découvrir des concepts variés de la science informatique. Certaines ont été conçues par le groupe, et d'autres ont été adaptées à partir de propositions existantes.

Les thèmes abordés concernent la représentation et le traitement de l'information, l'algorithmique, la programmation ou la modélisation, et plus précisément :

- Représentation binaire des nombres
- Codes détecteurs et correcteurs d'erreurs
- Automates finis
- Images numériques
- Compression de textes
- Langages de programmation
- Algorithmes de tris
- Architecture des ordinateurs

Pour chaque activité, les ressources proposées comportent une fiche-professeur proposant un déroulement de séance détaillé, et parfois un autre scénario alternatif, une fiche scientifique destinée à présenter à l'enseignant le thème traité et son environnement informatique et l'ensemble des fichiers nécessaires à la réalisation de l'activité.

3 Diffusion

Les productions du groupe sont régulièrement présentées lors de stages de formation continue dans l'Académie de Clermont-Ferrand, en particulier à la Maison pour la Science. Un module de formation à distance autonome sur les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs a été produit en 2014-2015. Il est disponible sur la plate-forme académique M@gistère et sur le site de l'IREM (<http://www.irem.univ-bpclermont.fr/Informatique-sans-Ordinateur,152>). L'ensemble des ressources sont téléchargeables à partir de l'onglet Ressources du site de l'IREM (<http://www.irem.univ-bpclermont.fr/Informatique-sans-Ordinateur>). Enfin, pour les enseignants de l'Académie, des pochettes prêtes à l'emploi sont disponibles en prêt à l'IREM/MPSA sur le Campus des Cézeaux à Aubière, ainsi que le matériel complémentaire (comme des balances, des cartes aimantées, etc.).

IV - DISCUSSIONS EN VUE DE L'ÉLABORATION DE PISTES DE FORMATION POUR LES PROFESSEURS DES ÉCOLES, EN LIEN AVEC LES NOUVEAUX PROGRAMMES DE 2016

Lors de l'atelier, l'essentiel du temps a été consacré à la découverte des activités citées dans cet article. Toutefois, des discussions portant sur l'insertion d'activités du type « informatique sans ordinateur » dans la formation des professeurs des écoles se sont déroulées au fur et à mesure de la présentation des activités. Les participants ont en particulier souligné les liens avec plusieurs concepts de mathématiques des programmes, et parfois aussi les potentielles sources de difficultés didactiques.

Il serait également intéressant d'analyser les liens entre ces activités et les attendus des nouveaux programmes 2016 de l'école et du collège en ce qui concerne l'apprentissage de l'algorithmique et de la programmation.

V - BIBLIOGRAPHIE

DROT-DELANGE B. (2013) Enseigner l'informatique débranchée : analyse didactique d'activités, in *Actes du congrès Actualité de la Recherche en Éducation et en Formation (AREF 2013)*, Montpellier, France.

KRUSE G. (2003) "Magic numbers" approach to introducing binary numbers representation in CSO, *SIGSE Bulletin*, **35**, 272-272.