DIFFUSION DES MATHEMATIQUES, L'EXEMPLE DE LA MAISON DES MATHEMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE

Gilles **ALDON**

IFÉ-ENS de Lyon

Laboratoire S2HEP

gilles.aldon@ens-lyon.fr

Résumé

« Ils jouent mais quel jeu jouent-ils ? » questionnait Eric Sanchez pour présenter les jeux épistémiques numériques dans l'enseignement. On peut étendre la question en s'intéressant au lieu et au contexte de ces jeux et plus largement aux actions de diffusion (ou de vulgarisation) des mathématique : dans un cadre scolaire, extra-scolaire ? Quels liens peut-on faire de l'un à l'autre ? Les cadres théoriques permettant de décrire et d'analyser l'enseignement et l'apprentissage sont-ils encore pertinents pour la diffusion des mathématiques ? La volonté de modifier le système de connaissances des personnes tendraient à laisser penser que la diffusion des mathématiques n'échapperait pas aux cadres de la didactique des mathématiques. Mais entre l'école et un lieu de diffusion, l'institution change et les rapports aux savoirs sont profondément modifiés. Ma contribution à ce séminaire pose ces questions et essaie d'y apporter quelques réponses à partir de mon expérience à la Maison des Mathématiques et de l'Informatique.

Mots clés

Vulgarisation, diffusion, théorie anthropologique du didactique, théorie des situations didactiques, jeux

I. INTRODUCTION

Depuis sa création en 2012, la Maison des Mathématiques et de l'Informatique (MMI[1]) accueille des classes de différents niveaux pour des ateliers, propose des animations grand public autour d'expositions mathématiques, offre un « cours pour les parents » en mathématiques, des conférences grand public, des séminaires pour les étudiants,... Je participe depuis le début à ces actions et je suis donc un *diffuseur de la culture mathématique et informatique* bien que mes recherches en didactique des mathématiques ne portent pas sur ces aspects. Le texte qui suit est donc une réflexion d'un praticien réflexif sur son activité de diffusion plus que d'un chercheur voulant étudier la diffusion des mathématiques.

Je m'interroge tout de même sur les cadres théoriques qui permettent d'analyser le travail que je fais en privilégiant les cadres de la didactique des mathématiques et en me posant la question de savoir si ces cadres, construits dans une perspective d'enseignement et

[1] http://mmi-lyon.fr/

d'apprentissage, peuvent encore s'appliquer dans les actions de diffusion. Je m'appuie sur ma pratique effective pour exemplifier mon propos et j'essaie de conclure sur une perspective de didactisation des actions de diffusion.

II. UNE APPROCHE DES NOTIONS DE VULGARISATION ET DE DIFFUSION

En termes de vocabulaire, on trouve de façon quasi-synonyme les termes de diffusion ou de vulgarisation (*popularization* en anglais). Il est toujours intéressant de s'intéresser au vocabulaire utilisé même si les dictionnaires donnent des définitions qui se renvoient l'une à l'autre comme en témoigne le Tlfi :

« Diffusion : Action de propager une idée, des connaissances, des techniques ».

« Vulgarisation : Fait de diffuser dans le grand public des connaissances, des idées, des produits ».

Le terme de « vulgarisation » garde cependant une connotation négative. Le *vulgus,* le « commun des hommes » que Cicéron méprisait : « *non est concilium in vulgo* » (la foule n'a pas de réflexion) fait son pendant du verbe *vulgo* « répandre dans le public ». De cette racine naît aussi bien le terme *vulgaire,* « Qui est identique, semblable aux autres individus, aux autres objets de son espèce » que le terme *vulgarisation* ; mais est-ce seulement l'origine lexicale qui donne à ce terme cette connotation ? Il est aussi intéressant de regarder brièvement l'histoire de la vulgarisation qui remonte aux « cabinets de curiosité » qui apparaissent à la Renaissance, dans un moment ou le livre devient un media universel de transmission de l'information. Les connaissances scientifiques diffusent dans un monde où la science commence à apparaître comme une possibilité de comprendre le monde. Les premiers musées scientifiques comme l'Ashmolean Museum d'Oxford voient le jour montrant au public des spécimens zoologiques ou géologiques. Les magazines généralistes commencent à publier des articles de « vulgarisation scientifique » en utilisant notamment les langues vernaculaires plutôt que le latin réservé aux textes scientifiques. Le XVIIIème siècle voit l'apparition d'une vulgarisation souvent en direction des femmes privées par ailleurs d'une éducation scolaire, ou des enfants en parallèle d'une éducation plus tournée vers les lettres et les études religieuses (Fontenelle, 1686, De Lalande, 1786-1817). Le goût pour les sciences ne fait que croître au XIXème siècle avec une amplification du phénomène de vulgarisation à travers l'apparition de nombreux *jardin des plantes*, d'articles scientifiques qui envahissent les pages des journaux, des écrits de science-fiction qui font apparaître la science comme la réponse à toutes les questions. Même si cette réponse est encore inaccessible mais sera sûrement rapidement présente : « Tout ce qui est impossible reste à accomplir » disait Jules Verne en alliant l'action à la réflexion scientifique. Ainsi la vulgarisation scientifique naît et se nourrit des progrès des sciences et apparaît comme une volonté de diffuser des concepts ou des représentations créés par les scientifiques.

Quels sont alors les effets et les conséquences pour la diffusion des idées scientifiques. Les modèles classiques de la vulgarisation (Maldinier, 1973) proposent une distinction entre un modèle à deux personnages et un modèle à trois personnages. Dans le modèle à deux personnages, le scientifique s'adresse directement au public alors que le modèle à trois personnages introduit un intermédiaire, un passeur (diffuseur, journaliste, professeur, passeur ?) qui fait le lien et traduit le discours scientifique pour le public visé. On ne peut évidemment pas s'empêcher de voir ici un phénomène de transposition didactique dans une institution particulière dont l'objectif est de transmettre des savoirs…

Ces modèles de vulgarisation à deux ou trois personnages sont encore bouleversés aujourd'hui du fait de l'apparition des blogs scientifiques ou autres chaînes de diffusion de vidéos, ce qui pose de façon cruciale la légitimité du troisième personnage. Ces considérations nous amènent à nous poser les questions d'une définition plus précise de la vulgarisation en essayant de circonscrire les questions du public cible, mais aussi de la fonction assumée de la vulgarisation. Est-ce une fonction d'information ? Il s'agirait alors de donner des éléments de compréhension de faits et de découvertes scientifiques ; le troisième homme, ou le scientifique lui-même, serait alors le « traducteur » d'une langue que le grand public ne pourrait pas comprendre, ce qui laisse sous-entendre que le langage scientifique n'est présent que pour cacher au plus grand nombre la signification de ce qu'il porte. Ou bien est-ce une fonction d'éducation ? C'est à dire, s'agit-il de donner à un public déterminé un savoir utilisable dans une institution donnée et transposable dans d'autres circonstances. L'ambiguïté du message de la vulgarisation peut se retrouver dans une confusion entre les fonctions qui lui sont assignées. Dans la chaîne scientifique-passeur-public, les deux charnières scientifique-passeur et passeur-public sont sujettes à des incompréhensions que la transposition didactique peut aider à modéliser : le travail qui d'un objet de savoir en fait un objet de vulgarisation s'apparente naturellement à la transposition didactique. Mais le savoir-enseigné de la transposition didactique vit dans le système didactique et dans une institution spécifique, l'école, avec ses contraintes et les attentes sociales qui lui sont attachées. Alors que la fonction de la vulgarisation n'est pas clairement évoquée ni nommée. Considérer les fonctions de la vulgarisation amène à des questionnements déjà largement travaillés sur les effets des actions de vulgarisation tant en utilisant des medias (journaux, vidéos, documentaires,…) que dans des « institutions » de vulgarisation dont la MMI fait partie ; l'effet vitrine (Roqueplo, 1973) met en évidence la contradiction apparente de la vulgarisation. Malgré une volonté de rapprocher la science du public elle crée une séparation artificielle et la rend encore plus inaccessible ; ce qui est donné à voir, la vitrine, n'est qu'une façon de mettre en valeur un aspect, la plupart du temps attirant, d'un phénomène scientifique mais insuffisant pour reconstituer les concepts sous-jacents. Ainsi, la vulgarisation scientifique, loin de partager des savoirs, rend la science encore plus lointaine puisque ce qui en est montré n'est qu'un aspect faussé du discours scientifique ; la science est ainsi décrite par Roqueplo (Ibid.) comme appartenant au pouvoir et la vulgarisation comme un moyen d'asservissement dont le peuple (le *vulgus*) ne pourrait sortir que par le combat, c'est à dire par l'accession à la connaissance réelle et non pas celle dénaturée, voire caricaturée dans la vulgarisation ; le rôle, la fonction de la vulgarisation ne serait qu'une façon de cacher la réalité scientifique pour maintenir le peuple hors de la connaissance réelle ; dans ces conditions la vulgarisation ne peut qu'au plus susciter des envies de connaître, des vocations, avec le danger sous-jacent que l'accès à la connaissance préalablement masqué par la vulgarisation n'apparaisse comme beaucoup moins excitant et accessible que la jolie image proposée dans la vitrine. Peut-on alors diffuser, vulgariser des connaissances sans mettre en garde de la réelle exigence scientifique nécessaire pour comprendre les phénomènes étudiés ?

De la même façon, l'effet de la « *culture en simili* » (Maldinier, 1973) correspond aux utilisations de la vulgarisation dans un cadre sociétal ; sa fonction est ainsi de construire dans un certain groupe social une culture commune ou un verni de culture commune suffisant pour se reconnaître comme faisant partie de ce groupe social. La vulgarisation scientifique est alors considérée comme une marque de reconnaissance d'appartenance à ce groupe social et pas une diffusion des connaissances scientifiques à des fins de compréhension et d'utilisation. Maldinier (Ibid.) a étudié le lectorat de certaines revues de diffusion scientifique et a dégagé cet aspect de reconnaissance mutuelle à travers la vulgarisation proposée, la « *culture en simili* ». Il est là aussi certainement important dans le cadre d'une institution de diffusion de penser à la fonction de cette diffusion pour ne pas tomber dans cet effet repéré et étudié de la vulgarisation.

Enfin, lorsque la diffusion concerne un public en âge scolaire, il y a une concurrence de fait qui apparaît entre l'école et les lieux de diffusion avec l'idée que l'école ne peut pas proposer une vision créatrice de la science du fait des barrières imposées par l'institution elle-même. L'école ne traiterait que de techniques ennuyeuses :

> *Cantonnée souvent à la maîtrise de techniques de manipulations d'expressions écrites, la mathématique enseignée est pauvre d'un point de vue esthétique, sensoriel, dynamique et créatif, donnant une fausse image du travail du mathématicien. (Mercat, 2015, p. 935)*

La diffusion dans un cadre extérieur à l'école, au contraire, permettrait de casser les barrières et de laisser libre cours à la créativité. Cependant, le débat entre les propositions de l'école et la vulgarisation porte sur un aspect global de l'enseignement dans une organisation didactique donnée :

> *La TAD situe l'activité mathématique, et donc l'activité d'étude en mathématiques, dans l'ensemble des activités humaines et des institutions sociales. Or ce parti pris épistémologique conduit qui s'y assujettit à traverser en tous sens – ou même à ignorer – nombre de frontières institutionnelles à l'intérieur desquelles il est pourtant d'usage de se tenir, parce que, ordinairement, on respecte le découpage du monde social que les institutions établies, et la culture courante qui en diffuse les messages à satiété, nous présentent comme allant de soi, quasi naturel, et en fin de compte obligé. (Chevallard, 1998, p. 91)*

La vulgarisation apparaît alors comme une rustine sur un problème qui relève du domaine scientifique :

> *Je range les gens de métier parmi les gueux; et j'imagine alors des puissants qui leur veulent du bien. Rien de mal à cela a priori : ainsi font les dames patronnesses à l'endroit de leurs pauvres. Si cette dernière comparaison heurte, parlons de bienfaiteurs ou, avec les anciens Grecs, d'évergètes. (Chevallard, 2010, p. 8)*

Ce sont là de vraies questions qui interrogent à la fois la diffusion et le cadre scolaire habituel et qui renvoient aux relations qui peuvent exister entre les actions de vulgarisation et l'enseignement scolaire. Des questions qui sont bien sûr cruciales dans le cas de la Maison des Mathématiques et de l'Informatique tout comme elles le sont pour l'avenir de l'enseignement des mathématiques à l'école. Ce qui nous paraît intéressant plutôt que d'opposer diffusion et apprentissage est de comprendre et de construire les relations possibles entre les actions de diffusion et les apprentissages scolaires. Nous pouvons ainsi nous inspirer des réussites de la vulgarisation mathématique ; Math.en.jean[2], par exemple, permet à des élèves de construire de belles mathématiques et se donne comme objectif de développer « *des actions de jumelage entre un mathématicien et des établissements scolaires, afin de mettre les jeunes en situation de recherche, permettre aux élèves comme à leurs parents de se faire une autre image des mathématiques que celle d'une discipline scolaire sélective ou de champ scientifique strict et achevé* ». Mais ces actions restent volontairement en marge de l'école : ce sont des élèves volontaires qui travaillent avec leur professeur en relation avec un chercheur en dehors des horaires de mathématiques de la classe. La diffusion se dégage ainsi de la dévolution du problème, puisque seuls les élèves qui veulent s'emparer du problème participent à l'action. La diffusion, pour tous les élèves, en revanche ne peut se dispenser de penser la dévolution du problème et la dévolution du savoir qui pourra être institutionnalisé :

[2] https://www.mathenjeans.fr/

> *La dévolution de la situation a-didactique est peut-être observée indépendamment de la dévolution de l'objet d'enseignement […]. Ni le maître, ni l'élève ne peuvent identifier ce qui est enseigné, ce qui est à connaître ou à savoir. (Brousseau, 1986, p. 304)*

Nous pouvons montrer d'autres réalisations qui tendent, dans le cadre de l'école, de proposer des expériences impliquant tous les élèves dans le temps habituel de la classe (Aldon & Garreau, 2017). Ce sont vraiment les questions de la diffusion des mathématiques pour tous et de ses rapports à l'école qui sont posées. La distinction « vulgarisation-diffusion » relève sans doute des fonctions qui sont données aux actions proposées et on peut penser que la diffusion essaye de minimiser les effets constatés de la vulgarisation et en particulier les effets vitrines et « *culture en simili* » ; en contrepartie, les phénomènes de dévolution, de contrat didactique inhérents à des situations d'apprentissage doivent être pris en compte dans cette construction subtile d'une diffusion-apprentissage. Pour un public en âge scolaire, la collaboration entre l'école et les lieux de diffusion devient cruciale, les seconds pouvant permettre une approche novatrice mais rigoureuse de concepts scientifiques facilitant la dévolution des savoirs, la première permettant cette nécessaire institutionnalisation donnant aux connaissances rencontrées un statut local de savoir, suffisant pour être mobilisable pour apprendre. Les questions de l'utilisabilité des cadres théoriques de la didactique des mathématiques pour analyser les actions de vulgarisation-diffusion des mathématiques apparaissent fructueuses et les réflexions précédentes montrent l'importance d'un regard anthropologique permettant, entre autres, de mettre en évidence les phénomènes de transposition didactique.

Un autre aspect très important dans les phénomènes de diffusion et d'enseignement est la place du jeu dans le processus même d'apprentissage. Si l'on souhaite rester dans une perspective cognitive, les définitions des jeux épistémiques (Loup & al., 2015, Schaffer & al., 2009) mettent en avant les connaissances comme moteur fondamental du jeu qui se joue ainsi dans un domaine spécifique sous-jacent. Les caractéristiques des jeux épistémiques sont listées par plusieurs auteurs comme proposant une résolution de problèmes non-déterministes, au sens où la solution n'est pas déterminée à l'avance, ou plusieurs solutions différentes peuvent être apportées, concernent la résolution de problèmes complexes, s'appuient la plupart du temps sur des activités pluridisciplinaires dans un contexte réaliste et mettant en jeu des connaissances repérées. (Sanchez & al., 2012, Salmani Nodoushan, 2009, Schaffer & al., 2009). Le jeu est omniprésent dans les actions de diffusion, et c'est même ce que les enseignants viennent principalement chercher à la MMI. Je ne rentre pas dans la délicate question de la définition de ce qu'est un jeu et je laisse aux spécialistes la responsabilité des définitions (Pelay, 2011 ; Essonier, 2018 ; Sanchez & al. 2012), mais j'insiste plus sur la distinction importante à faire entre le jeu-game et le jeu-play pour le relier au concept didactique de milieu. Le jeu-game dont on peut faire le parallèle avec le milieu matériel d'une situation de référence dans le cadre de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1986). Et le jeu-play l'acte de jouer peut être mis en parallèle avec les situations d'actions et de formulation d'une situation didactique, et les allers retours entre les situations de référence et d'apprentissage de la structuration des milieux (Margolinas, 2004).

Mais en faisant le parallèle avec les situations didactiques se posent la question fondamentale de l'institutionnalisation. En particulier, dans quelle institution se passe cette institutionnalisation ? Dans quelle institution le savoir est-il partagé ? Je pense qu'ici, il y a un point important de distinction entre la vulgarisation et l'enseignement.

Pour illustrer ces propos je voudrais m'attacher rapidement à trois exemples différents d'actions de vulgarisation dans leurs rapports avec l'enseignement et l'apprentissage.

Tout d'abord et parce que c'est d'actualité (Aldon, 2018), je voudrais parler du Rallye Mathématique de l'Académie de Lyon (RMAL), puis plus spécifiquement des ateliers pour les scolaires de la MMI et faire un petit détour par les « cours de maths pour les parents » ou les mathématiques de l'école racontées aux parents.

III. TROIS EXEMPLES DE VULGARISATION ET LEURS RAPPORTS A L'ENSEIGNEMENT

1. Le rallye mathématique de l'Académie de Lyon

Le rallye mathématique de l'Académie de Lyon[3] est né en 2006 d'une initiative conjointe de l'IREM de Lyon, de l'APMEP et du rectorat de l'Académie de Lyon. Il est destiné aux élèves des classes de troisième, seconde, CAP et deux premières années de bac pro 3 ans des établissements publics et privés sous contrat des trois départements de l'Académie de Lyon (Ain, Loire et Rhône).

> *Le Rallye comporte plusieurs phases :*
>
> *- les épreuves écrites du Rallye sous forme d'un travail collectif de résolution de problèmes dans chaque classe inscrite ; l'illustration d'un des exercices peut être le support du concours d'affiches pour choisir l'affiche du Rallye de l'année suivante ;*
>
> *- en mai ou juin, la finale pour les 12 classes lauréates des épreuves écrites, sous forme d'un parcours mathématique sur le campus de la Doua à Villeurbanne. Les classes participent ensuite à une conférence sur un thème mathématique. La journée se termine par une remise de prix, chaque élève recevant une petite récompense offerte par l'un de nos partenaires ou achetée par l'association ;*
>
> *- entre avril et juin, une vingtaine de classes, autres que les classes finalistes, sont également récompensées pour leurs bons résultats aux épreuves écrites ou à la recherche du problème ouvert. Elles gagnent la découverte d'un site scientifique ou technologique de la Région ou bien une remise de prix organisée dans leur établissement avec l'intervention d'un chercheur sur un thème mathématique, ou encore une petite récompense individuelle.*[4]

Est-ce une action d'enseignement ou une action de diffusion ? Mille classes ont été inscrites cette année (2018) dans l'Académie soit environ 30 000 élèves qui ont participé à l'épreuve « écrite » puisque la classe entière est concernée et tous les élèves participent à l'épreuve. Cette première épreuve se passe dans le cadre de l'école, presque dans le cadre du cours de mathématiques puisque généralement une partie de la journée est banalisée pour chaque classe dans l'établissement pour permettre aux deux heures d'épreuve de prendre place. Le contrat didactique spécifique peut s'intégrer au contrat de la classe et d'une certaine manière le modifie en mettant un accent particulier sur l'utilisation des connaissances comme le montre très bien le travail qui a été réalisé par Guillaume et Delphine Thérez (Thérez & Thérez, 2018). On est ici dans une forme de diffusion complètement intégrée à l'enseignement où le succès atteste la volonté des enseignants de mathématiques d'intégrer le jeu, la réflexion et l'enseignement en faisant, d'une certaine manière sortir les maths de la salle de classe tout en restant dans l'institution spécifique de la classe. Mais cette séance peut également rester une parenthèse ludique dans le cadre d'une activité culturelle. C'est bien de la responsabilité des enseignants d'en faire au niveau de la classe une proposition didactique

[3] http://rallye-math.univ-lyon1.fr/
[4] http://rallye-math.univ-lyon1.fr/spip.php?article37

mettant le problème au cœur de l'enseignement des mathématiques. Le problème est alors vu comme une investigation prenant une place centrale de l'enseignement des maths comme le fait remarquer Gardes (2018) :

> *Le point de vue épistémologique sur l'activité mathématique qui sous-tend un enseignement et un apprentissage par la résolution de problèmes est celui de la place centrale des problèmes dans l'activité mathématique. (p. 79)*

Dans ce cas, l'institution cible est bien l'école et la référence montrée ici au programme de mathématiques est significative :

> *La démarche d'investigation présente des analogies entre son application au domaine des sciences expérimentales et à celui des mathématiques. (BO 5 25 août 2005)*

Ce premier exemple montre bien la délicate frontière existant entre la vulgarisation, présente dans le rallye mathématique de l'Académie de Lyon à travers la diffusion de connaissances mathématiques sous forme ludique, et l'enseignement des mathématiques dans les classes, présent dans l'utilisation du cadre même du rallye pour modifier un contrat didactique à l'intérieur des classes. C'est aussi un bel exemple de la complémentarité de la diffusion et de l'enseignement pour un bénéfice d'apprentissage des mathématiques. Les concepts de la didactique des mathématiques, en particulier, de la Théorie des Situations Didactiques, sont ici pertinents pour analyser les apports du rallye pour les apprentissages des élèves et l'utilisation. L'exploitation dans la classe du cadre particulier du Rallye est un exemple de la modification du contrat didactique puisque le savoir est dévolu à travers une situation de jeu puis institutionnalisé dans le cadre de la classe. Le rallye propose dans la construction des situations didactique un milieu particulier facilitant la dévolution tout au long de l'utilisation des épreuves dans les phases de mise en train, d'entraînement, de « concours » et d'exploitation, et en ce sens modifie dans la classe le contrat didactique habituel. Cette analyse didactique de l'utilisation dans la classe des épreuves du rallye permet de mieux comprendre les enjeux de la diffusion des mathématiques dans une action de type « rallye ». Il ne s'agit pas de proposer une parenthèse ludique dans un cours ennuyeux mais bien de modifier profondément l'approche des mathématiques en proposant des exemples didactisés de situations d'apprentissage.

2. Les ateliers de la Maison des Mathématiques et de l'Informatique (MMI)

Le deuxième exemple de diffusion des mathématiques est représenté par les ateliers proposés pour les scolaires dans le cadre de la MMI. En 2018, le taux d'occupation de la MMI pour les activités pour les scolaires a été proche de 80 %. A partir du catalogue de la MMI, les enseignants nous contactent pour organiser une demi-journée ou une journée d'atelier pour leurs classes autour d'un thème : calculer et jouer avec la pascaline, la cryptographie, l'informatique débranchée, calculer c'est gagné, ludothèque, la malle à jeux…[5]

Ici les questions de l'institutionnalisation sont évidemment cruciales et participent de l'impact de ces ateliers sur la diffusion des mathématiques : les élèves viennent ponctuellement et participent à des activités mettant en jeu des connaissances mathématiques qui ne pourront être institutionnalisées que dans le cadre de la classe. C'est ainsi, là encore, à la charge de l'enseignant, s'il le veut, d'exploiter dans la classe ce qui a été fait dans l'atelier. Cependant, les ateliers pour les scolaires peuvent avoir un double objectif. D'une part proposer aux élèves une approche différente de concepts mathématiques abordables et d'autre part montrer aux enseignants les possibilités d'apprentissage offertes par une approche différente de concepts présents dans les programmes. L'exemple des animations autour de la pascaline est

[5] http://mmi-lyon.fr/clic-activites-scolaires-2017-2018/

significatif de cette volonté de diffusion à la fois au niveau d'une transmission des connaissances pour les élèves qui participent à l'action mais aussi d'une diffusion d'une certaine vision de l'enseignement et de l'apprentissage en direction des enseignants qui accompagnent les classes. La pascaline est une machine à calculer construite sur l'idée de la Pascaline de Blaise Pascal (Fig. 1). Il s'agit d'un ensemble de roues dentées permettant d'afficher des nombres d'au plus trois chiffres, et de mettre en œuvre des algorithmes permettant d'additionner ou de soustraire des nombres mais aussi de proposer des jeux avec les nombres tirant profit de l'artefact lui-même (Soury-Lavergne & Maschietto, 2015). L'objectif de l'usage de la pascaline est l'enseignement de la numération décimale de position et les opérations d'addition et de soustraction. Les principes didactiques sous-jacents sont mis en acte appuyés par les réflexions théoriques (Soury-Lavergne, 2017). Les séquences et situations proposées utilisent des pascalines et des logiciels dans lesquels apparaît une version informatisée de la pascaline, appelée e-pascaline.

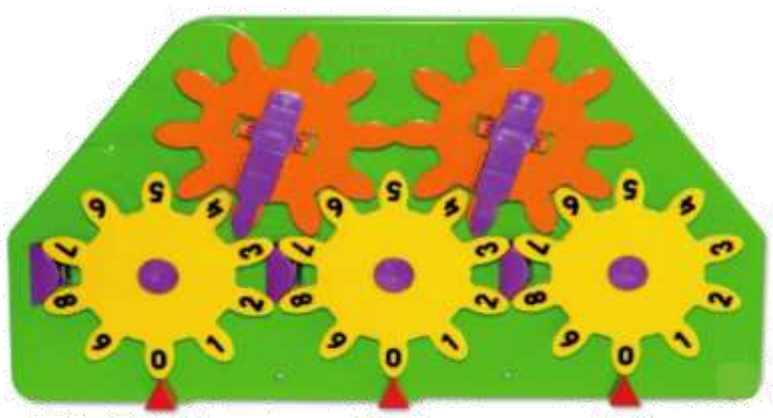

Figure 1 : La pascaline et les cliquets violet.

L'atelier joue de cette façon un double jeu : d'enseignement et d'apprentissage et de formation. Il y a donc un double effet d'institutionnalisation, en direction de l'institution classe et en direction de l'institution éducation. En ce qui concerne la classe, les situations proposées ont été conçues pour que le milieu proposé aux enfants leur permette de construire l'écriture décimale de position des nombres en jouant sur la complémentarité de la manipulation de l'objet tangible (la pascaline physique) et de l'objet numérique (la e-pascaline), en relation avec la construction abstraite de l'écriture du nombre. L'exemple du jeu « nombre de clics » est significatif de cette complémentarité : il s'agit d'afficher sur la pascaline un nombre donné en un minimum de clics, c'est à dire d'actions sur l'une ou l'autre des roues de la pascaline qui se traduisent par un son du fait des cliquets permettant une rotation discrète des roues (Fig. 1). Ce qui, informatiquement, se traduit par des clics de la souris sur la e-pascaline. Afficher le nombre 12 conduit à au moins deux stratégies : l'énumération de 12 sur la roue des unités ou de décomposition du nombre en une dizaine (un clic sur la roue des dizaines) et deux unités (2 clics sur la roue des unités). Pour un nombre comme 18, par exemple, la stratégie gagnante provient cette fois d'une décomposition soustractive du nombre : 18 = 20 - 2. Mais avant d'arriver à la justification par le calcul de l'écriture, les stratégies sur la pascaline peuvent être d'afficher 8 sur la roue des unités en tournant la roue dans le sens trigonométrique puis de tourner la roue des dizaines de 2 clics dans le sens négatif. Mais la suite d'opérations sous-jacente à cette manipulation est : 0 - 2 = 998 puisque la pascaline tangible affiche les nombres de Z/1000Z. Puis 998 + 20 = 18. La e-pascaline en revanche travaille dans l'intervalle de nombres entiers [0 ; 999] et ne permet donc pas de soustraire un nombre à 0. La vérification sur la e-pascaline de cette stratégie s'avère impossible et incite à repenser le défi en terme de calcul. Le dialogue ci-dessous provient de la recherche d'un groupe de deux CE1(A et B) sur le minimum de clics pour atteindre 99 après qu'ils aient trouvé 99 en 24 clics (résultat dont on peut supposer qu'il provient de quelques mauvaises manipulations), en 18 clics (9 dizaines et 9 unités), en 4 clics (100 – 10 – 1 + 10) :

- (A affiche 100 sur la e-pascaline)
- B : Là, là c'est bon (il utilise la pascaline tangible et pointe du doigt vers l'ordinateur). J'ai trouvé l'astuce. Là ici ! (il pointe du doigt la flèche de sens direct de la roue des unités)
- (A clique)
- B : ouiiiiiiii !
- (A demande confirmation à l'ordinateur qui affiche le smiley)
- A : Yes ! (en frappant des mains) (Fig.2)

Ce qu'il reste à institutionnaliser, c'est la découverte de « l'astuce » et le lien avec l'opération réalisée : 99 = 100 – 1.

Figure 2 : 99 en deux clics.

En ce qui concerne les enseignants eux-mêmes, la conduite de l'atelier, la mise en évidence des apports didactiques spécifiques des artefacts tangibles ou numériques, et les rétroactions des élèves sur les situations proposées nous permettent une institutionnalisation des principes didactiques qui ont présidé à l'élaboration de l'atelier.

Dans le même ordre d'idée, les ateliers construits sur l'idée d'informatique sans ordinateur proposent cette double institutionnalisation : en direction des élève dans une diffusion de connaissances informatiques et en direction des professeurs pour diffuser ces connaissances d'algorithmique (Bell & al., 1998).

3. Cours pour les parents

Un autre exemple de diffusion est l'initiative portée par la MMI d'un cours à destination des parents d'élèves : tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les mathématiques et leur enseignement ! Du point de vue de la diffusion il y a là encore un double objectif : décrypter le contrat de l'école pour des parents pas toujours au fait des attendus de l'école et puis permettre un regard critique sur les mathématiques enseignées et apprises. D'un point de vue pratique, il s'agit de séances de deux heures par semaine pendant lesquelles les parents d'élèves peuvent poser des questions essentiellement issues de difficultés ressenties par leurs enfants et pour lesquelles ils n'ont pas de réponse, ou pas de réponse adaptée, c'est à dire cohérente avec les attendus de l'école à un instant précis. L'exemple de la proportionnalité et des méthodes de résolution de problèmes de ce type est tout à fait significatif de cette transposition didactique. Les techniques sont différentes en regard de types de tâches identiques et le propos du cours est de proposer des technologies et une approche de la théorie permettant de faire le lien entre les techniques différentes. Dans ce cas l'école est en toile de fond mais l'institution visée est d'une autre nature. Cette expérience de « cours pour les parents » est menée avec la participation d'étudiants de l'ENS de Lyon qui ont suivi un cours de master de « diffusion des mathématiques » que j'ai donné. Pour les parents, il s'agit vraiment de se décomplexer vis-à-vis des mathématiques et des mathématiques enseignées et de comprendre à la fois le contrat de l'école et les connaissances fondamentales proposées par l'école dans chacun des cycles. Comment aider ses propres enfants lorsque les méthodes apprises ne correspondent plus à l'enseignement actuel ou que les connaissances sont (semblent) différentes de celles acquises quelques années en arrière ? La réponse proposée consiste davantage à mettre en évidence les connaissances fondamentales que les élèves doivent acquérir en fin de cycle de façon à donner aux parents d'élèves un recul suffisant sur les savoirs enseignés pour pouvoir modifier leur rapport aux mathématiques elles-mêmes. D'un point de vue didactique, les questions des parents amènent nécessairement à se plonger dans la transposition didactique et l'analyse praxéologique des concepts mathématiques en jeu de façon à rendre opérationnelles les savoirs abordés. Il ne s'agit pas de présenter des concepts superficiellement mais bien de rentrer dans la construction des connaissances de façon à armer les parents d'élèves pour qu'ils puissent répondre aux questions posées par leurs enfants. Ce cours apparaît ainsi comme un lieu de diffusion de la culture mathématique dont les objectifs dépassent la seule information pour proposer un véritable apprentissage des mathématiques de l'école appuyé sur une présentation et une justification des techniques apprises ou que les enfants proposent à leurs parents tout en gardant l'objectif de proposer une vision sereine et pacifiée des mathématiques,.

Dans ces trois exemples, la relation entre la diffusion et l'apprentissage est clairement mis en évidence et montre la nécessaire réflexion autour de la diffusion pour faire en sorte que les effets repérés de la vulgarisation ne soit pas un obstacle aux objectifs annoncés de la vulgarisation.

IV. CONCLUSION

Les exemples développés montrent qu'à l'évidence les cadres de la didactique des mathématiques sont utilisables pour comprendre les enjeux de la diffusion des mathématiques. Sont-ils suffisants ? Comme dans toute analyse de phénomènes complexes des sciences humaines, un unique regard ne peut embrasser toute la complexité et les approches multiples, sociologiques, anthropologiques, didactiques seraient bien entendu nécessaires pour mieux comprendre les questions que pose la transmission d'une culture à travers les actions de vulgarisation des sciences. Les critiques adressées à la vulgarisation scientifique issues de la sociologie ou des sciences du langage convergent pour mettre en évidence les effets de la vulgarisation en contradiction avec les intentions affichées. Le travail engagé à la MMI montre que cette adéquation entre les intentions et les effets pourraient être largement réduits en proposant des situations construites sur des analyses *a priori* utilisant les outils de la didactique des mathématiques ou de l'informatique. Les concepts fondamentaux de la Théorie des Situations Didactiques tout comme ceux de la Théorie Anthropologique du Didactique permettent de réfléchir ces actions de diffusion en se prévenant des effets repérés de la vulgarisation. Nous avons pointé dans les exemples développés la nécessité d'une dévolution de la situation au public visé lorsque la fonction de la vulgarisation tend à diffuser largement une culture scientifique authentique. L'étude praxéologique des types de tâches proposées dans les actions de vulgarisation peut là aussi modifier l'approche et la compréhension des concepts en jeu et éviter de montrer une belle construction inatteignable puisque tronquée. La question de l'institutionnalisation est une question cruciale pour les actions de diffusion pour que l'effet vitrine ne soit pas un obstacle aux objectifs annoncés ou qu'elles ne restent pas une « *culture en simili* ». Mais, et les exemples développés le montrent, les outils de la didactique permettent d'analyser les propositions de vulgarisation lorsque la fonction qu'on lui donne se construit sur une volonté de transmission de connaissances et non pas seulement sur l'admiration d'une vitrine, une autre forme de « visite des œuvres », rapport mondain à une culture qui évite la rencontre avec la motivation de l'œuvre.

Par ailleurs et dans une perspective d'intégration dans l'école des bonnes idées de la vulgarisation, les objectifs de la diffusion se doivent de favoriser les passerelles entre l'école et ses objectifs d'apprentissage et les lieux institutionnels de la diffusion plutôt que de les opposer. La double institutionnalisation en direction des enfants mais aussi des enseignants est ainsi une piste de travail pour diffuser à la fois les méthodes et les analyses issues de la didactique des mathématiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALDON, G. (dir.). (2018). Le rallye mathématique dans la classe : un jeu très sérieux. Canopé-IREM de Lyon.

ALDON, G. & GARREAU, O. (2017). Un dispositif de recherche de problèmes de mathématiques au cycle 3, Repères IREM, 108, 26-40.

BELL, T. C., WITTEN, I. H. & FELLOWS, M. (1998). Computer Science Unplugged: Off-line activities and games for all ages. Computer Science Unplugged.

BROUSSEAU, G. (1986). Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques. Thèse d'état, Université de Bordeaux 1.

CHEVALLARD, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique. *Actes de cette université d'été Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques*, 91-120.
http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/Analyse_des_pratiques_enseignantes.pdf

CHEVALLARD, Y. (2010). L'échec splendide des IUFM et l'interminable passion du pédant. Quel avenir pour le métier de professeur ? *Actes de Regards des didactiques des disciplines sur les pratiques et la formation des enseignants,*
http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/Colloque_Gridife_20-22_octobre_2010_Conference_YC.pdf, *consulté le 12 janvier 2019*

DE LALANDE, J. (1786-1817). *Astronomie des dames* (4eme édition). Ménard et Desenne fils, Paris.

FONTENELLE, B. (1686-1724). *Entretiens sur la pluralité des mondes*. Chez Michel Brunet, grand'Salle du Palais, au Mercure Galant.

ESSONIER, N. (2018). *Étude du développement d'une communauté d'intérêt autour de la conception et de l'expérimentation de ressources numériques en mathématiques*, Thèse de l'Université Lyon 1.

GARDES, M.-L. (2018). Démarches d'investigation et recherche de problèmes. In G. Aldon (dir.). *Le rallye mathématique dans la classe : un jeu très sérieux* (pp. 73-96). Canopé-IREM de Lyon,

LOUP, G., GEORGE, S. & SERNA, A. (2015). Fondements et caractérisation des jeux épistémiques numériques pervasifs. *Actes des 7eme conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain,* 41-52, http://eiah2015.uiz.ac.ma consulté le 15 décembre 2018.

MALDINIER, P. (1973). *Les revues de vulgarisation, contribution à une sociologie des cultures moyennes*. Ronéo, CSE, Paris, 168.

MARGOLINAS, C. (2004). *Les bifurcations didactiques : Un phénomène révélé par l'analyse de la structuration du milieu*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Clermont-Ferrand.

MERCAT, C. (2015). La diffusion : un lieu pour une mathématique plus humaine ? *Actes de EMF 2015*, p. 934-943.

PELAY, N. (2011). *Jeu et apprentissages mathématiques : Elaboration du concept de contrat didactique et ludique en contexte d'animation scientifique*. Thèse de doctorat, *Université de Lyon I,* Lyon. https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00665076/

ROQUEPLO, P. (1973). Partage du savoir et vulgarisation scientifique. *Economie et Humanités*, 212, 40-49.

SANCHEZ, E., JOUNEAU-SION, C., DELORME, L., YOUNG, S., LISON, C. & KRAMAR, N (2012). Fostering Epistemic Interactions with a Digital Game A Case Study about Sustainable Development for Secondary Education. *International Symposium Science & Technology Education for Development, Citizenship and Social Justice.*

SHAFFER, D.W., HATFIELD, D., SVAROVSKY, G.N., NASH, P., NULTY, A., BAGLEY, E., FRANK, K., RUPP, A.A. & MISLEVY, R. (2009). Epistemic Network Analysis: A Prototype for 21st-Century Assessment of Learning. *Int. J. Learn. Media*. 1, 33–53.

SOURY-LAVERGNE, S. (2017). *Duos d'artefacts tangibles et numériques et objets connectés pour apprendre et faire apprendre les mathématiques*, Doctoral dissertation, Ecole Normale Supérieure de Lyon-ENS LYON; Institut Français de l'Education.

SOURY-LAVERGNE, S. & MASCHIETTO, M. (2015). Number system and computation with a duo of artefacts: The pascaline and the e-pascaline. In X. Sun, B. Kaur & J. Novotna (Eds.), *Proceedings of ICMI Study 23: Primary Mathematics Study on Whole Numbers* (pp. 371–378). Macau, China.

THÉREZ, D. & THÉREZ, G. (2018). Le rallye dans l'enseignement des maths, In G. Aldon, G. (dir.), *Le rallye mathématique dans la classe : un jeu très sérieux* (pp. 115-146). Canopé-IREM de Lyon.