

mom

MALLETTE D'OUTILS MATHÉMATIQUES

Rapport d'expérimentation « Mallette d'Outils
Mathématiques » version pascaline et e-pascaline
Sophie Soury-Lavergne
Institut Français de l'Éducation

Sommaire

Préambule

Partie 1 — Note de synthèse

1. Qu'est-ce que la mallette « pascaline, e-pascaline » ?	7
2. Contexte de l'expérimentation	8
3. Questions auxquelles l'expérimentation doit répondre	9
4. Organisation	9
5. Résultats	10
Le rôle clef d'un scénario pédagogique dans l'appropriation et la mise en œuvre de la pascaline et la e-pascaline pour enseigner la numération et le calcul en CP	10
Genèse documentaire : de nouvelles activités avec la pascaline et la e-pascaline	10
Genèses instrumentales et orchestration des deux artefacts, pascaline et e-pascaline	11
Utilité, utilisabilité et acceptabilité perçue de la mallette pascaline et e-pascaline	12
6. Conclusion	13

Partie 2 — Principes et déroulement de l'expérimentation

1. Objectifs	14
2. La pascaline, la e-pascaline et la mallette de ressources	15
2.1. La e-pascaline	16
2.2. Les cahiers d'activité informatisés avec la e-pascaline	18
2.3. La mallette de ressources	20
3. Cadrage théorique de l'expérimentation	24
3.1. Trois dimensions de l'évaluation ergonomique d'un environnement d'apprentissage : utilité, utilisabilité et acceptabilité de la mallette	24
3.2. Etude des genèses documentaires relatives à la mallette	25
4. Questions traitées par l'étude	27
5. Méthodologie	27
La fiche de ressources consultées	29
Interviews téléphoniques	29
Recueil de données pour l'analyse en terme d'utilité, utilisabilité et acceptabilité	30
6. Conclusion-résumé sur l'organisation de l'expérimentation	31

Partie 3 — Résultats

<i>1. Le rôle clef du scénario pédagogique</i>	33
<i>2. Question d'orchestration des artefacts</i>	35
<i>3. Création de nouvelles activités</i>	38
3.1. Suites de nombres	38
3.2. Décompositions additives et soustractives des nombres	39
<i>4. La flèche qui disparaît</i>	41
<i>5. Résultats concernant l'étude en terme d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité</i>	44
Utilité	44
Utilisabilité	46
Acceptabilité	47
Utilité, utilisabilité et acceptabilité de la mallette et des sites web	48
<i>6. Conclusion</i>	49
Appropriation du duo d'artefacts et de la mallette par les enseignants	49
La mallette favorise-t-elle l'introduction de la technologie en classe ?	50
<i>Références bibliographiques</i>	53
<i>Annexe 1. Fiche « ressources consultées »</i>	57
<i>Annexe 2. Diaporama bilan utilisé lors du séminaire final du 11 juin 2014</i>	59
<i>Annexe 3. Maquette du site web en construction par Canopé</i>	71

Préambule

Ce rapport présente le compte-rendu de l'expérimentation réalisée par l'Institut Français de l'Éducation en partenariat avec le réseau Canopé – Académie de Lyon et Académie d'Aix-Marseille, dans le but d'établir les modalités de diffusion des ressources pédagogiques issues du projet Mallette.

Le projet Mallette de ressources mathématiques pour l'école – cycle 1, cycle 2 – initié en 2011 à la demande de la DGSECO et mené par un consortium national réunissant la COPIRELEM, commission permanente des IREM pour l'enseignement élémentaire, le CREAD, un laboratoire de l'université de Bretagne occidentale, et l'IFÉ, l'Institut Français de l'Éducation, a débouché sur la réalisation de plusieurs prototypes de ressources pour les enseignants et pour les formateurs d'enseignants en mathématiques. Les prototypes de ressources issus des travaux de l'IFÉ ont été conçus et testés dans le cadre de deux Lieux d'éducation Associés à l'IFE, le LéA MaCARhon (Mathématiques et Cahiers d'Activité en Rhône Alpes) et le LéA Côte d'Or (Culture scientifique et égalité des chances dans le département de la Côte d'Or). Ainsi c'est le fruit d'un travail collectif entre enseignants, formateurs et chercheurs qui a abouti à un ensemble de ressources à propos duquel la question de la diffusion est posée. Ces ressources se présentent sous une grande variété de formes avec du matériel tangible, tel que le boulier ou la pascaline, du matériel cartonné, des logiciels (e-pascaline, boulier virtuel, voitures et garage, train des lapins), et de la documentation à imprimer pour son usage en classe. Mais l'essentiel des contenus élaborés dans le cadre de la mallette consiste en un accompagnement méthodologique à l'utilisation de ces différents matériels, notamment par la proposition de situations, au sens de situation didactique, et de séquences pour la classe avec l'organisation d'un déroulement pédagogique sur plusieurs séances. Ce matériel méthodologique est lui même accessible sous différentes formes, complémentaires : textes (papier ou numérique), vidéos de classe, tutoriels, cartes mentales, sites web.

Les prototypes de ressources matérialisés à l'issue des travaux ont été évalués par l'Inspection Générale de l'Éducation Nationale en octobre 2013 et présentés aux inspecteurs chargés de mission mathématique, réunis en séminaire national à l'ESEN en novembre 2013.

Une des missions de l'IFÉ est de prendre en charge la diffusion des résultats de la recherche à travers la mise à disposition des ressources produites auprès de la communauté éducative et l'accompagnement de leurs usages. C'est pourquoi, une nouvelle phase du travail du projet Mallette a consisté à étudier les possibilités de diffusion des ressources produites dans le cadre du projet Mallette. Un partenariat avec Canopé a été mis en place dans cette perspective. Mais avant de lancer la diffusion au niveau national d'une partie des ressources, il a été décidé de mener une expérimentation pour évaluer l'intérêt et la pertinence d'une telle diffusion, notamment du point de vue de la prise en main des ressources par les enseignants et de l'usage qu'ils pouvaient en faire en classe.

Cette expérimentation n'a concerné qu'une partie seulement de la mallette, celle dédiée à la pascaline et aux logiciels utilisant la e-pascaline, version numérique de la pascaline, produite au sein des deux LÉA MaCARhon et Côte d'Or. Les résultats de cette expérimentation doivent permettre de déterminer à quelles conditions la mallette est utilisable par les enseignants pour l'enseignement de la numération décimale et du calcul au cycle 2. Il s'agissait aussi de produire simultanément certains des éléments de communication nécessaires à la diffusion (tels que vidéos de classes ou tutoriels). Une expérimentation a donc été organisée de mars à juin 2014, dans les académies de Lyon et d'Aix-Marseille, avec le soutien de la DSDEN du Rhône.

Sophie Soury-Lavergne, octobre 2014

Partie 1

Note de synthèse

Cette note de synthèse résume les contenus et résultats essentiels de ce rapport qui sont développés dans les partie 3 et 4.

1. Qu'est-ce que la mallette « pascaline, e-pascaline » ?

Cette mallette pour le CP propose des ressources pour enseigner la numération décimale et les opérations d'addition et de soustraction. Les séquences et situations proposées utilisent des pascalines, petites machines arithmétiques à engrenage, et des logiciels dans lesquels apparaît une version informatisée de la pascaline, appelée e-pascaline.

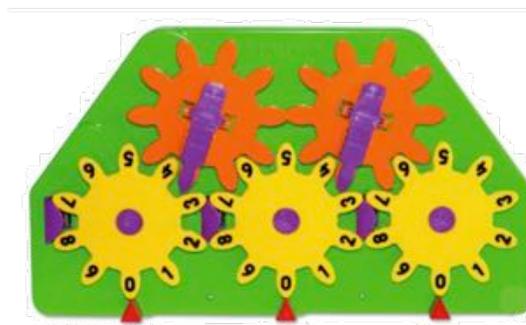


Figure 1. La pascaline, une machine mécanique à engrenages

La pascaline est constituée de cinq roues dentées, ayant toutes dix dents. Les trois roues du bas portent les dix chiffres qui permettent d'afficher un nombre compris entre 0 et 999. Les deux roues du haut permettent l'entraînement mécanique des roues du bas pour opérer automatiquement le passage de la retenue au niveau des dizaines et des centaines. Elle s'appelle pascaline en référence à la fameuse machine à calculer mécanique construite par Blaise Pascal en 1642. Les opérations d'addition et de soustraction sont réalisées par l'inscription du premier terme de l'opération puis par la rotation des trois roues du bas d'un nombre de clics égal à chaque chiffre du second terme. La différence d'utilisation entre l'addition et la soustraction réside dans le sens de rotation des roues, sens des aiguilles d'une montre pour additionner, sens contraire pour soustraire.

La e-pascaline a été conçue et développée pour apporter une plus value à l'utilisation didactique de la pascaline (Maschietto & Soury-Lavergne, 2013). La e-pascaline est insérée dans des cahiers informatisés, sorte de petites apps, qui proposent des tâches dont la progression guide les apprentissages et offrent des rétroactions variées aux actions des élèves (Mackrell, Maschietto, & Soury-Lavergne, 2013b).

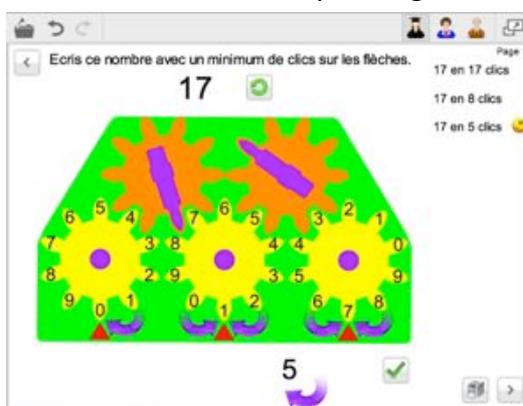


Figure 2. La e-pascaline dans une page d'un cahier d'activité informatisé.

Chaque cahier contient des pages de commentaire pour les enseignants et leur prise en main est accompagnée par des vidéos tutorielles disponibles sur le site EducMath :

<http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/equipes-associees-13-14/mallette/prototype-mallette>

Le principe de travail avec la mallette, proposé aux enseignants et à leurs élèves, est d'articuler l'usage de la pascaline avec celle de la e-pascaline. L'usage peut être simultané, par exemple en classe entière avec une alternance de l'utilisation individuelle par les élèves de la pascaline et une utilisation collective de la e-pascaline projetée pour mettre en commun les procédures. Il peut être successif avec un réinvestissement autonome dans l'usage des cahiers de ce qui aura été mis en place avec la pascaline matérielle. De fait, l'articulation possible entre les usages des deux artefacts est très variée.

Un scénario pédagogique d'utilisation du duo d'artefacts, avec une proposition d'organisation du recours à chacun des deux artefacts, a été élaborée et testé en classe dans le cadre du LéA Côte d'Or. Ce scénario organisé en quatre unités présente une progression, des productions d'élèves, des conseils de mises en œuvre et des éléments d'analyse didactique. Il est présenté sur le site du projet Plan Science en Côte d'Or :

<http://ife.ens-lyon.fr/sciences21/ressources/sequences-et-outils/pascaline-CP>

La mallette désigne ainsi un ensemble complexe mais structuré de ressources autour de la pascaline et de la e-pascaline.

2. Contexte de l'expérimentation

Le partenariat entre l'IFÉ et le réseau Canopé (représenté par Monsieur Batailler directeur du CRDP de l'académie de Lyon et Monsieur Papadopoulos, directeur du CRDP de l'académie d'Aix-Marseille) a débouché sur la volonté d'étudier la faisabilité d'une diffusion des ressources de la Mallette en commençant par les contenus relatifs à la pascaline et la e-pascaline, conçus, développés et testés par l'IFÉ.

L'institut français de l'éducation a donc organisé une étude en prenant en charge l'élaboration des questions, le choix de la méthodologie, l'organisation de l'expérimentation et l'analyse des résultats. Il a constitué et piloté l'équipe pour réaliser l'étude, en incluant des membres du projet Mallette :

- Sophie Soury-Lavergne, Maître de conférences Institut Français de l'Education
- Michela Maschietto, enseignant-chercheur Université de Modène et Reggio Emilia Italie
- Hélène Zucchetta, formatrice ESPE de l'académie de Lyon
- Célia Bonnet-Ligeon, Chef de projet transmédia CRDP de l'académie de Lyon
- Lionel Alestro, CDDP du Vaucluse
- Dominique Gillet, IEN responsable du dispositif départemental mathématiques, sciences et développement durable (Rhône)

3. Questions auxquelles l'expérimentation doit répondre

Les questions à traiter initialement sont :

- les contenus du prototype de mallette « pascaline et e-pascaline » sont-ils utilisables par les enseignants en classe de CP ?
- quelles évolutions de ces contenus sont nécessaires pour que les enseignants puissent facilement se les approprier ? En particulier, quelle présentation des différents contenus doit être réalisée ?
- quel accompagnement des pratiques des enseignants doit être envisagé ?

Ces questions sont reformulées à l'aide de cadres théoriques de la façon suivante :

1. Les ressources disponibles sont-elles suffisantes pour amorcer les genèses instrumentales et documentaires des enseignants à propos du duo d'artefacts ?
2. Les genèses documentaires des enseignants se développent-elles jusqu'à leur permettre d'utiliser le duo d'artefacts pour provoquer des évolutions conceptuelles chez les élèves (caractérisées chez les enseignants par une analyse didactique du duo d'artefacts et l'émergence de la valeur ajoutée de la e-pascaline) ?
3. Les orchestrations réalisées par les enseignants dans leurs classes sont-elles compatibles avec les organisations de classe majoritaires ?
4. Quelle utilité – utilisabilité – acceptabilité les enseignants attribuent-ils au duo d'artefacts et au système de ressources que constitue la mallette ?

4. Organisation

Pour conduire cette expérimentation, huit nouveaux enseignants, n'ayant pas participé aux projets initiaux de développement des ressources, donc découvrant la pascaline et la e-pascaline ont été recrutés. Elle s'est déroulée sur quatre mois, de mars à juin 2014. Elle a été lancée par une journée de travail réunissant les parties prenantes, dont les huit enseignantes testeuses, mi mars. Au cours de cette journée, une formation d'une durée d'environ trois heures a permis aux enseignantes de prendre en main la pascaline et de découvrir les deux sites web regroupant les ressources à tester. La méthodologie de suivi

des travaux des enseignants et de leur classe a consisté principalement en des interviews téléphoniques régulières et le recueil des documents conçus par les enseignants, tels que les fiches de préparation des séances et les fiches d'activité pour les élèves. Une journée de tournage vidéo dans deux classes a également fourni l'occasion d'une observation directe du travail des enseignants et des élèves. Une réunion de bilan a été conduite pour finaliser le recueil de données, conduire un début d'analyse avec les participants et faire un premier retour en direction des participants et des commanditaires.

5. Résultats

Tous les enseignants ont utilisé la pascaline, la e-pascaline et les ressources de la mallette avec leurs élèves pendant les douze semaines de l'expérimentation. Les résultats obtenus sont très positifs, comme le ressenti des participants. Cependant, la portée de ces résultats doit être relativisée. En effet, ils sont la conséquence de la méthodologie mise en place pour l'expérimentation, s'appuyant sur le volontariat des enseignants, recrutés spécialement pour utiliser le duo d'artefacts. Il y avait donc un accord initial d'utilisation, qui a conduit les participants à chercher des arguments positifs ne remettant pas en cause l'intérêt de leur propre implication dans l'expérimentation.

Le rôle clef d'un scénario pédagogique dans l'appropriation et la mise en œuvre de la pascaline et la e-pascaline pour enseigner la numération et le calcul en CP

Les enseignantes ont principalement utilisé les ressources qui proposaient une succession de séances avec les élèves. C'est le point d'entrée privilégié dans l'ensemble des ressources proposées par la mallette. Ces séances étaient regroupées en unités thématiques et organisent une progression temporelle des activités avec les élèves. Cela a permis aux enseignantes de se projeter dans une mise en œuvre en classe. Ce sont ces descriptions de séances qui ont été le moteur principal des genèses documentaires développées par les enseignantes.

Le projet a également proposé d'autres ressources, accessibles selon d'autres principes, par exemple des vidéos de découverte des cahiers de la collection e-pascaline ou des pages de commentaires incluses dans les cahiers. Ces ressources non présentées directement dans une séance n'ont pas été prises en compte de la même manière par les enseignantes. En particulier, certaines informations clefs qu'elles contenaient n'ont pas été utilisées par les enseignantes pour résoudre les problèmes qu'elles rencontraient avec leurs élèves. Par exemple, les enseignantes ont d'abord considéré comme un bug un fonctionnement de la e-pascaline, avant d'en comprendre le rôle didactique et de le transformer en enjeu de résolution de problème pour leurs élèves. Ce fonctionnement particulier était décrit dans les tutoriels des cahiers mais n'était pas mentionné explicitement dans les descriptions de séances. Cela semble expliquer pourquoi les enseignantes ne l'ont pas anticipé.

Genèse documentaire : de nouvelles activités avec la pascaline et la e-pascaline

Les situations proposées dans la mallette pour travailler la numération et le calcul avec la pascaline et la e-pascaline ont été complétées par d'autres activités créées par les enseignantes au cours de l'expérimentation. Cette création est révélatrice d'une appropriation du contenu de la mallette et de l'existence d'une genèse documentaire. En effet, l'appropriation du contenu de la mallette leur a permis non seulement d'organiser

un usage pédagogique des ressources avec leurs élèves mais aussi d'en percevoir les potentialités, les limites et les manques. Les créations de nouvelles situations, qui ont été mises en œuvre en classe, ont principalement concerné l'utilisation pascaline. Elles n'ont concerné que marginalement la e-pascaline. Cependant, les enseignantes ont fait des suggestions sur les développements possibles de nouveaux cahiers « e-pascaline ». De plus, les situations conçues et testées par les enseignantes, notamment sur les suites de nombres comme le jeu du furet ou la recherche du nombre qui suit ou du nombre qui précède, pourraient donner lieu au développement de nouveaux cahiers.

Au cours de l'expérimentation, la réflexion sur le rôle de l'artefact dans l'apprentissage s'est développée chez les enseignantes. Leurs explications initiales pour justifier l'intérêt de ces ressources, relatives à la motivation des élèves et à l'aspect innovant de la mallette, ont été complétées par d'autres points de vues, plus didactiques et centrés sur les apprentissages des élèves. L'idée de situation problème, permettant une évolution des procédures de calcul des élèves, passant d'une procédure par itération à une procédure par décomposition apparaît clairement chez les enseignantes. Elles questionnent les situations et les procédures des élèves qu'elles observent en classe et cherchent à identifier les évolutions conceptuelles de leurs élèves. De ce point de vue, l'introduction du duo d'artefacts dans leur pratique provoque un développement professionnel relatif à l'enseignement de la numération et du calcul et à l'enseignement des mathématiques par la résolution de problème.

Genèses instrumentales et orchestration des deux artefacts, pascaline et e-pascaline

Les genèses instrumentales relatives à la pascaline et la e-pascaline ont été initiées lors de la séance de lancement du projet. Les enseignantes ont considéré que cette séance d'initiation était nécessaire et très utile. Mais une enseignante n'ayant pas pu y participer a également déclaré qu'il était tout à fait possible de comprendre le fonctionnement du duo d'artefacts à partir des ressources disponibles en ligne, sans avoir la pascaline entre les mains. Aucune difficulté quant à l'utilisation de la pascaline n'a ensuite été rapportée au cours des douze semaines d'expérimentations. A propos de la e-pascaline, plusieurs suggestions d'amélioration ont été faites, qui pourront être facilement implémentées lors d'une mise à jour des cahiers (par exemple modification de la zone cliquable de la flèche, insertion d'une zone d'identification de l'élève sur chaque cahier ou bouton de remise à zéro du cahier sur la page de départ).

La gestion matérielle et didactique des deux artefacts en classe et en particulier du recours aux technologies numériques pour la e-pascaline est une contrainte importante qui pèse sur l'activité des enseignantes. Les sept enseignantes ayant utilisé la mallette avec leurs élèves ont su créer les conditions favorables à leur mise en œuvre. Elles se sont adaptées aux contraintes matérielles de leurs écoles : disposition spatiale des tables, nombre d'élèves et possibilité ou pas de travail en sous-groupe, équipement informatique mobile ou pas, vidéoprojecteur disponible ou pas etc... Elles ont trouvé comment organiser l'accès de leurs élèves à la pascaline et la e-pascaline, en combinant des phases d'activités collectives et individuelles et l'usage de l'un ou l'autre des artefacts. L'utilisation conjointe des deux artefacts a même été considérée comme judicieuse avec certains élèves. Elles ont également rapporté avoir spontanément utilisé la pascaline sans l'avoir planifié dans leur préparation, lorsque la situation rencontrée avec les élèves leur semblait pertinente pour le faire.

En revanche, les enseignantes ont exprimé une demande d'aide quant au contrôle de l'accès de chaque élève à la manipulation de la pascaline ou la résolution des problèmes avec la e-pascaline. Avec un équipement d'une pascaline ou un ordinateur pour deux élèves, l'enseignant n'a pas le moyen de s'assurer que chaque enfant a bien eu l'occasion répétée de réaliser lui-même les tâches proposées. De même, dans certains cas avec la e-pascaline ou la pascaline, les élèves peuvent changer de problème sans avoir résolu le problème précédent. Des outils de traçage de l'activité de l'élève plus précis seraient nécessaires pour assister l'enseignant. Mais ce traçage nécessite une authentification des élèves qui n'est pas encore disponible avec la collection de cahiers. Si les enseignantes ont trouvé divers moyens d'enregistrer les productions de leurs élèves, la simplification de ce type de tâche, qui est un problème général posé à l'usage des technologies en classe, reste nécessaire.

Utilité, utilisabilité et acceptabilité perçue de la mallette pascaline et e-pascaline

L'appréciation des enseignants de l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de la mallette résulte principalement de leur perception de l'utilité et l'utilisabilité pour les élèves : puisque le duo d'artefacts pascaline et e-pascaline leur semble utile pour les apprentissages de leurs élèves et utilisable en classe avec eux alors il l'est pour eux également. Leur appréciation résulte dans une moindre mesure d'éléments propres à leur activité d'enseignant, lors de la préparation de la classe par exemple.

Les ressources de la mallette, à commencer par la pascaline et la e-pascaline sont considérées comme utiles à cause des contenus mathématiques sur les nombres et la numération qu'elles permettent de faire travailler de façon spécifique par rapport à d'autres ressources. Ces contenus sont au cœur des apprentissages mathématiques en classe de CP. Seuls les élèves en grande difficulté, n'ayant pas construit la notion de nombre ne tirent pas profit de l'utilisation de la pascaline et la e-pascaline. La complémentarité entre la pascaline et la e-pascaline contribue à l'utilité perçue par les enseignantes, ainsi que l'accent mis sur les situations problèmes lors de son utilisation. La e-pascaline est considérée comme particulièrement utile pour l'autonomie des élèves et la différenciation. Son utilité pour les enseignants pourrait être encore améliorée si une trace de l'activité de l'élève était disponible.

L'utilisabilité du duo avec les élèves est évaluée de façon plus contrastée entre la pascaline et la e-pascaline. Elle est bonne car l'utilisation de la pascaline et la e-pascaline est compatible avec toute méthode d'enseignement de la numération choisie par l'enseignant. En revanche, cette utilisation demande du temps de travail avec les élèves et du temps de préparation pour l'enseignant. L'utilisabilité de la pascaline est très bonne (pas de dysfonctionnement observés), alors que l'utilisabilité de la e-pascaline est pénalisée par l'équipement informatique. L'utilisabilité de la e-pascaline pourra être améliorée par différentes fonctionnalités additionnelles (listées dans les suggestions des enseignants).

L'acceptabilité de la mallette résulte de son utilité et son utilisabilité. Cette acceptabilité est renforcée positivement par le fait que la mallette répond bien aux demandes institutionnelles relatives aux compétences à développer chez les élèves et à l'utilisation de la technologie en classe.

6. Conclusion

- les contenus du prototype de mallette « pascaline et e-pascaline » sont-ils utilisables par les enseignants en classe de CP ?

Oui, les contenus de la mallette sont utilisables par les enseignants avec leurs élèves et ils considèrent cette utilisation comme utile pour l'apprentissage des mathématiques au CP.

- quelles évolutions de ces contenus sont nécessaires pour que les enseignants puissent facilement se les approprier ? En particulier, quelle présentation des différents contenus doit être réalisée ?

Une organisation des contenus à travers un site web structuré en une succession de séances pour les élèves est nécessaire à l'appropriation et l'utilisation des ressources par les enseignants. L'accès aux autres ressources (vidéos, tutoriels...) doit se faire à partir de cette première entrée.

- quel accompagnement des pratiques des enseignants doit être envisagé ?

A propos de leur expérience de l'usage de la mallette et de son transfert possible à d'autres enseignants, les enseignants ont précisé que, afin de pouvoir utiliser le duo d'artefacts, en plus des sites web de la mallette, les futurs utilisateurs auront besoin d'un accompagnement analogue à celui dont eux-mêmes ont pu bénéficier dans le cadre de la présente expérimentation, notamment l'initiation à l'utilisation de la pascaline proposée moment du séminaire de lancement.

Partie 2

Principes et déroulement de l'expérimentation

1. Objectifs

L'intégration des technologies dans les pratiques des enseignants du primaire n'est pas encore à la hauteur de ce qu'elle pourrait être, et ce n'est pas qu'une question de disponibilité et de variétés des ressources qui sont proposées aux enseignants. Actuellement, l'offre est déjà importante (voir par exemple le catalogue 2011 proposé dans le Plan Numérique Rural) et le soutien institutionnel fort (Ravenstein & Ladage, 2014). Mais elle ne génère pas d'usages massifs et n'est pas intégrée dans les pratiques régulières des enseignants (Clark-Wilson, Robutti, & Sinclair, 2014). Dans son panorama des technologies pour l'enseignement des mathématiques, Paul Drijvers (2012) va au delà de la dichotomie usage ou absence d'usage et pose la question cruciale de la façon dont sont exploitées ces ressources quand elles le sont, quelque soit le niveau d'enseignement (primaire ou secondaire).

Dans leurs travaux au niveau de l'école primaire, Teresa Assude et ses collègues (Assude, Grugeon, Laborde, & Soury-Lavergne, 2006) considèrent qu'il s'agit d'un problème professionnel posé aux enseignants qui consiste à transformer l'injonction sociale et institutionnelle d'utilisation des technologies en des décisions et des actions compatibles avec les contraintes quotidiennes de l'enseignement. D'autres recherches mettent l'accent sur l'étude des « croyances » des enseignants pour comprendre leur inclination à l'utilisation des technologies. Il a ainsi été montré, chez les enseignants du primaire, une corrélation positive entre une vision constructiviste de l'apprentissage et l'utilisation d'ordinateurs en classe (Hermans, Tondeur, van Braak, & Valcke, 2008). Maria Trigueros et ses collègues (2014) mettent également en évidence l'importance d'une formation pour que les enseignants puissent utiliser de façon pertinente les technologies. Ces points de vue concernent essentiellement les enseignants, ce qu'ils sont, ce qu'ils vivent et comment cela peut évoluer.

Cependant, un autre résultat de Trigueros *et al.* est plus directement en rapport avec l'objectif de cette expérimentation. Il s'agit de l'impact décisif des caractéristiques de la

technologie proposée sur les usages qui pourront être développés par les enseignants. Ces caractéristiques façonnent les possibilités qu'ont les enseignants de créer pour leurs élèves des possibilités d'exploration des mathématiques, d'autonomie et de discussion des idées. En suivant Drijvers, nous distinguons trois fonctions que peuvent remplir les technologies numériques pour enseigner: (i) une fonction outil pour faire des mathématiques, (ii) une fonction d'environnement d'apprentissage et d'entraînement des compétences (iii) une fonction d'apprentissage pour provoquer et soutenir la compréhension des concepts (op. cit.). Notre question est alors de savoir si les caractéristiques de la technologie numérique proposée dans la mallette sont à même de provoquer des usages relevant des différentes fonctions identifiées par Drijvers, notamment la troisième.

Par ailleurs, si l'on veut étudier les spécificités de l'introduction des technologies dans l'enseignement au niveau primaire, il faut aussi considérer que ces enseignants ont l'habitude d'utiliser du matériel pédagogique héritée d'une tradition de pédagogie active. En mathématiques pour la numération, ils ont à leur disposition une variété d'objets tels que des abaques, des boîtes de billes, des blocs Cuisenaire-Gattegno, des cubes barres et plaques etc. Dans ce contexte, proposer une technologie qui traite des mêmes concepts mathématiques pourrait paraître inutile et superflu. Cependant, la situation pourrait être différente si une articulation claire des rôles joués par les différentes ressources, matérielles et numériques est faite. Nous faisons l'hypothèse qu'actuellement, les enseignants du primaire ne disposent que de trop peu d'éléments pour identifier la valeur ajoutée que la technologie selon les trois fonctions de Drijvers par rapport à l'utilisation d'autres types de matériel pédagogique.

Lors de la conception de la mallette « pascaline », nous avons supposé que la mise en évidence des valeurs ajoutées respectives de la technologie numérique et de la pascaline matérielle pour l'apprentissage favoriserait leur adoption par les enseignants. Prenant en compte les pratiques relatives aux matériels pédagogiques, la proposition qui est faite ne consiste pas à remplacer la machine matérielle par sa version numérique, mais de les considérer comme étant complémentaires. C'est dans cet objectif que nous avons conçus le duo d'artefacts « pascaline et e-pascaline » proposé dans la mallette (Maschietto & Soury-Lavergne, 2013). Un tel duo doit amener les enseignants à percevoir la complémentarité des deux artefacts, leur valeur ajoutée respective et donc favoriser leur appropriation et en particulier le recours au numérique. De plus, le duo d'artefacts n'est pas proposé de façon isolée aux enseignants. Il est inséré dans la « mallette », c'est-à-dire accompagné d'un ensemble de ressources de type scénario pédagogique, vidéo, tutoriel, instruction d'usage, qui font de cette mallette un ensemble complexe dont l'utilité pour les enseignants et leurs élèves doit être évaluée.

Ainsi, l'objectif de cette expérimentation a été d'étudier l'intérêt de proposer aux enseignants un duo d'artefacts, composé de la machine arithmétique pascaline (nom commercial Zéro+1 de la société Quercetti), de sa version numérique, la e-pascaline, incluse dans une série de logiciels, accompagné de ressources pour aider les enseignants dans leur appropriation et leurs usages en classe.

2. La pascaline, la e-pascaline et la mallette de ressources

La pascaline est une machine arithmétique en plastique composée d'engrenages. Elle a été nommée en référence à la célèbre machine arithmétique inventée par Blaise Pascal

en 1642 et surnommée Pascaline. La pascaline d'aujourd'hui, disponible dans la mallette, fonctionne selon les règles de la numération décimale de position et met en jeu les écritures chiffrées et une approche récursive des nombres entiers. Elle permet de réaliser les différentes opérations arithmétiques à partir d'une représentation des nombres entiers de 0 à 999. L'engrenage est composé de cinq roues comportant chacune dix dents, deux roues oranges pour l'entraînement du mouvement et trois roues jaunes pour l'écriture des nombres. Les chiffres de 0 à 9 sont inscrits dans le sens direct sur les dents des roues jaunes. Le nombre inscrit sur la pascaline se lit à partir des trois chiffres situés juste au dessus des trois triangles rouges (par exemple la pascaline à gauche dans la Figure 3 affiche le nombre 620). Quand la roue des unités a réalisé un tour complet dans le sens des aiguilles d'une montre, c'est-à-dire 10 unités, la roue orange en haut à droite entraîne la rotation de la roue des dizaines (jaune en bas au milieu) d'une dent dans le sens des aiguilles d'une montre (sens indirect). L'approche récursive de la numération est apportée par la rotation des roues, dent par dent (mouvement discret), correspondant à l'addition de 1 ou la soustraction de 1 suivant le sens de rotation.



Figure 3. La pascaline matérielle Zéro+1 de Quercetti, disponible dans la mallette

Etant donné les significations mathématiques embarquées, l'addition est réalisée par deux procédures qui sont identiques pour l'affichage du premier terme au dessus des triangles rouges puis se distinguent pour le traitement du second terme. La **procédure par itération** consiste à répéter l'itération de la roue des unités un nombre de fois égal au second terme de l'addition. La **procédure par décomposition** consiste à itérer chacune des trois roues d'un nombre de fois correspondant à chacun des trois chiffres du second terme. Par exemple, ajouter 26 par itération consiste à faire avancer 26 fois une dent sur la roue des unités alors que la procédure par décomposition consiste à faire avancer la roue des unités de 6 dents et celle des dizaines de 2 dents (l'ordre des actions sur les roues n'ayant pas d'importance). Cette seconde procédure s'appuie sur la signification des chiffres dans l'écriture du nombre, c'est-à-dire sur le système de numération décimal.

2.1. La e-pascaline

La e-pascaline a été élaborée dans le cadre du projet Mallette, avec l'objectif de compléter les usages de la pascaline. Nous l'avons conçu afin d'amener les enseignants à percevoir le rôle des technologies dans les processus de conceptualisation (tel que défini

par Drijvers *op. cit.*). Elle a été réalisée avec la technologie Cabri Elem mise à disposition par la société Cabrilog dans le cadre d'une convention de collaboration scientifique entre Cabrilog et l'ENS de Lyon. Cabri Elem permet de concevoir et de finaliser des cahiers d'activité informatisés. Les cahiers Cabri de la mallette contiennent non seulement la e-pascaline comme composante principale mais également des tâches mathématiques que les élèves doivent résoudre en utilisant la e-pascaline.

La e-pascaline et les cahiers d'activités informatisés sont disponibles sur le site EducMath qui présente le prototype de mallette avec des vidéos tutoriels pour la prise en main du duo d'artefacts :

<http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/equip-associees-13-14/mallette/prototype-mallette>

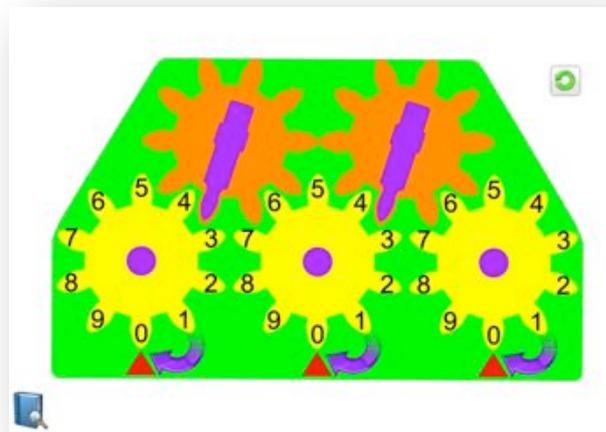


Figure 4. La e-pascaline seule dans une page d'un cahier Cabri Elem. Pour actionner une roue, il faut cliquer sur la flèche violette à côté du triangle rouge.

La conception des cahiers a été guidée par le choix de rendre la pascaline matérielle et la e-pascaline numérique complémentaires (Maschietto & Soury-Lavergne, 2013) et simultanément de mettre en évidence l'apport spécifique de la technologie. En conséquence, la e-pascaline n'est pas seulement une reproduction de la pascaline. L'analyse des différences d'apparence et de fonctionnement entre la pascaline matérielle et sa version numérique est une étape nécessaire de l'appropriation du duo par un utilisateur .

Chaque artefact apporte au duo une dimension qui lui est propre. D'une part, les cahiers d'activité informatisés proposent différentes tâches, qui en complément de l'utilisation de la pascaline, forment un scénario pédagogique. Les cahiers constituent un environnement d'apprentissage, avec un ensemble de rétroactions et de variables didactiques dont certaines valeurs peuvent être modifiées (Mackrell, Maschietto, & Soury-Lavergne, 2013a). D'autre part, l'utilisation de la pascaline matérielle garantit la présence et la mobilisation de compétences importantes pour l'apprentissage de façon générale (Bara, Gentaz, & Colé, 2008) et en particulier en mathématiques ((Kalenine, Pinet, & Gentaz, 2011), (Edwards, Radford, & Arzarello, 2009)) : engagement corporel, compétences kinésiques et occurrence d'une boucle perceptivo-motrice œil-main.

2.2. Les cahiers d'activité informatisés avec la e-pascaline

Pour le niveau CP, quatre cahiers d'activité sont actuellement disponibles dans la mallette.

- La e-pascaline seule

<http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/equipes-associees-13-14/mallette/prototype-mallette/cahier-e-pascaline-seule>

- Les nombres avec la e-pascaline

<http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/equipes-associees-13-14/mallette/prototype-mallette/resolveUid/aab4a6d97cc3bd735d9047c67ea9b9af>

- Additionner avec la e-pascaline

<http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/equipes-associees-13-14/mallette/prototype-mallette/resolveUid/18ed7447b07c2d1f5227efc2d43cc53>

- Compter les clics de la e-pascaline

<http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/equipes-associees-13-14/mallette/prototype-mallette/resolveUid/2e5545aa5e4ca19cad479bb6e0a7c00b>

Nous décrivons ici le cahier « additionner avec la e-pascaline » (Figure 5) pour illustrer le fonctionnement et l'intérêt d'un cahier d'activité informatisé en utilisation conjointe avec la pascaline. Les autres cahiers sont décrits complètement sur le site web EducMath présentant le prototype de Mallette.

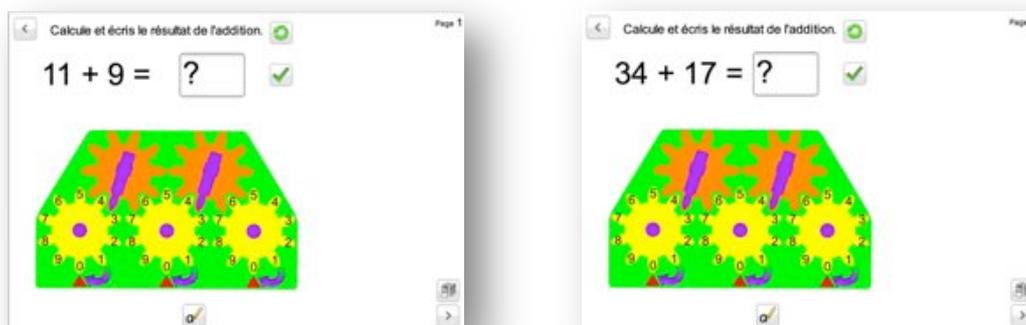


Figure 5. Les pages 1 et 3 du cahier d'activité « additionner avec la e-pascaline »

Au cours du processus d'apprentissage de l'addition avec la pascaline matérielle, une étape cruciale est celle de l'évolution des procédures et le passage d'une procédure par itération (dans laquelle le second terme est incrémenté unité par unité, uniquement en tournant la roue des unités dent par dent) à une procédure par décomposition (utilisant différentes roues pour l'incrémentation des unités, des dizaines et des centaines). Il s'agit d'une transition cruciale et délicate. La plupart des élèves de CP ont recours à la procédure par itération même pour de grands nombres (nous avons observé qu'ils n'hésitent pas à incrémenter jusqu'à 87 fois la roue des unités). La procédure par itération est fondée sur la quantité représentée par le nombre (17 c'est dix-sept objets, donc 17 unités). La procédure par décomposition repose quant à elle sur la prise en compte de la numération décimale pour coder les nombres et la signification de chaque

chiffre dans ce code. Au niveau CP, un des principaux objectifs d'enseignement est l'apprentissage du code pour l'écriture des nombres. Ainsi, les situations proposées aux élèves doivent les amener de la procédure par itération vers la procédure par décomposition. Or l'usage de la pascaline matérielle ne permet pas de contraindre l'action des élèves et de favoriser une procédure plutôt qu'une autre. C'est en revanche le cas de la e-pascaline, qui par un choix adapté de fonctionnalités et de rétroactions, peut favoriser, voire rendre nécessaire, la procédure par décomposition. La valeur ajoutée de ce cahier pour l'addition, en comparaison avec l'usage de la pascaline seule, réside ainsi dans le fait que la procédure par itération peut être bloquée si cela est nécessaire pour favoriser l'évolution des élèves vers la procédure par décomposition.

Le cahier « additionner avec la e-pascaline » est constitué de trois pages (plus la page d'accueil, Figure 5), qui ont la même structure et les mêmes composants : la e-pascaline, un bouton de relance d'une nouvelle addition, un bouton de demande d'évaluation, un bouton d'impression, un éditeur de texte et des flèches de navigation. Les différences entre les pages sont relatives à la taille de la somme¹ proposée (jusqu'à 30 en page 1 et 2, jusqu'à 69 en page 3) et aux rétroactions de la e-pascaline suivant les procédures des élèves. En effet, les roues de la e-pascaline tournent lorsque l'utilisateur clique sur l'une des deux flèches violettes arrondies situées de part et d'autre du triangle rouge, la roue tournant dans le sens indiqué par la flèche. Si la flèche d'addition (ou de soustraction) de la roue des unités n'est pas affichée, l'utilisateur ne peut pas additionner (ou soustraire).

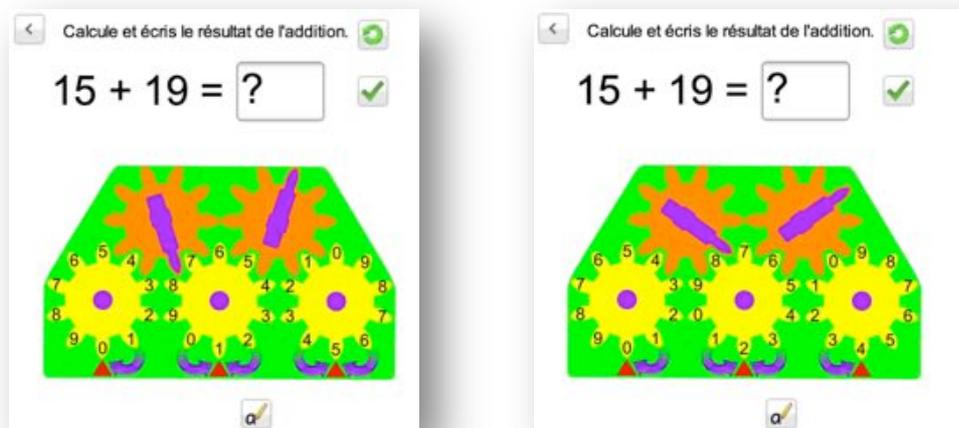


Figure 6. Essais pour l'addition 15+19. Sur l'écran de gauche, le premier terme 15 est inscrit. Sur l'écran de droite, le second terme est additionné en utilisant la roue des unités. Mais après 9 clics, la flèche de droite disparaît.

Pour la première page de travail du cahier, toutes les procédures sont possibles, afin de permettre à tous les élèves d'entrer dans le travail et de mettre en œuvre une première procédure. Dans les pages suivantes du cahier addition, la possibilité de masquer la flèche d'action sur la roue des unités est utilisée pour amener les élèves à utiliser d'autres roues que celle des unités (Figure 6). La roue des unités n'est ainsi utilisable que pour un

¹ La somme est le résultat d'une addition

nombre limité de clics. La limite est égale à la somme des chiffres des unités des deux termes de l'addition. Par exemple, pour additionner 15+19, l'utilisateur peut cliquer 5+9 fois sur la roue des unités avant que la flèche ne disparaisse. Ainsi, la procédure par itération, qui nécessiterait 19 clics sur la roue des unités est bloquée. Il s'agit d'un exemple de choix de variable didactique fait lors de la conception du cahier qui crée la valeur ajoutée de la e-pascaline dans le duo d'artefacts.

D'autres caractéristiques de la e-pascaline et des cahiers contribuent à sa valeur ajoutée. Par exemple, la possibilité d'utiliser un vidéo-projecteur ou un TBI pour projeter la e-pascaline permet à toute la classe de partager les résultats, les procédures et de discuter les stratégies de résolution. La pascaline est quant à elle trop petite pour permettre une discussion collective au delà de 3 ou 4 interlocuteurs. Un autre exemple de valeur ajoutée tient au domaine de validité des calculs effectués. La e-pascaline ne fonctionne que dans l'intervalle de nombres [0,999] et ne permet pas à l'utilisateur de réaliser des opérations dont le résultat serait en dehors de son domaine de validité. Par exemple le calcul 000-1 n'est pas possible sur la e-pascaline alors qu'avec la pascaline il est possible et produit le résultat 999, qu'il faut alors pouvoir interpréter.

2.3. La mallette de ressources

Les premières expérimentations du duo pascaline et e-pascaline ont eu lieu dans le cadre du projet Plan Sciences en Côte d'Or (LéA Côte d'Or, académie de Dijon (Soury-Lavergne & Maschietto, 2013)). Elles ont conduit à la production d'un premier scénario testé en classe et présenté sur le site web du projet :

<http://ife.ens-lyon.fr/sciences21/ressources/sequences-et-outils/pascaline-CP>

Pascaline au CP, une machine à compter

1. Découverte
2. Ecrire un nombre
3. Additionner et soustraire
4. Calcul réfléchi

La pascaline : de la machine à la tablette numérique

Numération décimale et calcul. Cycle 2 (CP). Mathématiques.

Objectifs

- Mathématiques abordées avec des supports innovants et motivants.
- La numération décimale : passage de la dizaine.
- Les opérations : addition et soustraction.
- Démarche d'investigation.

Prérequis

- Suite numérique jusqu'à 30 ; dénombrer jusqu'à 30 ; écrire, nommer les chiffres de 0 à 9.

Matériel

- Une pascaline (petite machine à engrenage distribuée par [FARPEMI](#)) pour un ou deux élèves.
- La collection de cahiers informatisés avec la e-pascaline disponible sur le site [EducMath, à cet endroit](#).
- Séquence réalisée dans la classe ou en salle informatique ordinateurs, tablettes numériques ou TBI.

(Inset photo: A classroom scene showing a laptop displaying a digital pascaline interface and a physical pascaline device on a desk.)

Figure 7. Page d'accueil du scénario « la pascaline : de la machine à la tablette numérique » sur le site du projet Plan sciences en Côte d'Or.

Ce scénario est constitué de quatre unités successives (Figure 8) :

1. Découverte, description et fonctionnement de la pascaline
2. Ecriture des nombres sur la pascaline
3. Additions et soustractions sur la pascaline

4. Calcul réfléchi

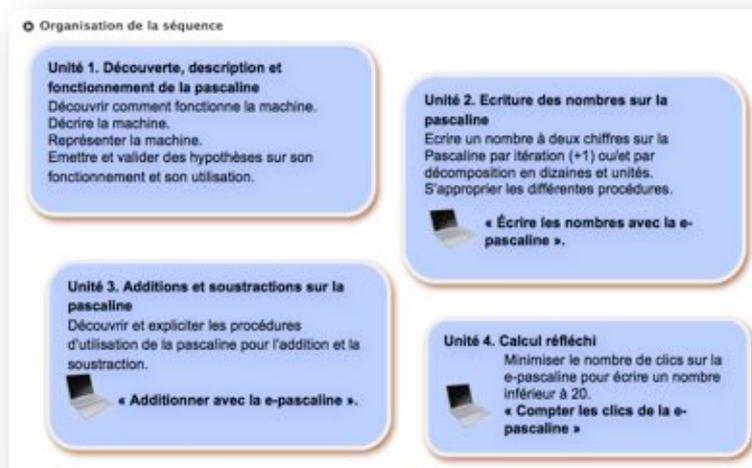


Figure 8. Les quatre unités du scénario d'utilisation de la pascaline et de la e-pascaline proposées sur le site web du projet Plan Sciences en Côte d'Or.

Pour chaque unité, une page web détaille un déroulement, les objectifs, les contraintes d'organisation et des éléments d'analyse didactique.

Page web intitulée "1. Découverte" avec un menu de navigation à gauche et un sommaire à droite.

1. Découverte
Découverte, description et fonctionnement de la pascaline.

Déroulement

- Phase 1** - Distribution des pascalines aux élèves sans leur préciser qu'il s'agit d'une machine mathématique et à quoi elle sert, en disant par exemple : "Du matériel pour la classe est arrivé, à votre avis, de quoi s'agit-il ?".
Manipulation libre par les élèves puis description collective de la pascaline.
- Phase 2** - Relance de l'exploration avec une question : "À votre avis, à quoi peut-elle servir ?"
Elaboration collective d'hypothèses, par les élèves sur les deux aspects suivants : utilité de la machine et fonctionnement. Introduction du nom de la machine, la pascaline, en référence à la machine arithmétique de Blaise Pascal.
- Phase 3** - Dessins de la pascaline.
Proposer aux élèves de représenter la pascaline et la façon dont elle fonctionne sur un dessin à partir du contour imprimé. Voir les *dessins produits par des élèves de CP*.
- Cibure**
Réaliser une légende collective des différentes parties de la pascaline pour fixer le vocabulaire.
Annoncer que les hypothèses sur le fonctionnement de la pascaline seront vérifiées dans la suite du travail.

Objectifs et compétences

- Décrire la machine.
- Représenter la pascaline par un dessin.
- Émettre des hypothèses sur son utilisation et son fonctionnement.
- Définir et fixer un vocabulaire commun pour désigner les éléments de la pascaline (roue, dent, flèche, repère, clic, engrenage).

Sommaire

1. Déroulement
2. Objectifs et compétences
 1. Démarche scientifique
 2. Maîtrise de la langue
3. Organisation
 1. Séquentiel
 2. Matériel
4. Modifications possibles et pistes pour un approfondissement

Figure 9. Détail de l'unité 1 du scénario d'utilisation de la pascaline présentée sur le site Plan sciences, avec des liens vers des productions d'élèves.

Le site web du Plan sciences à propos de la pascaline ne présente qu'un scénario d'utilisation en classe du duo d'artefact. Pour des enseignants non impliqués dans le projet, un tel scénario n'est pas utilisable sans une préparation préalable permettant l'appropriation du duo d'artefacts (présentation de la pascaline, de la e-pascaline et des cahiers d'activité informatisés). C'est pourquoi, dans le cadre du projet Mallette de ressources mathématiques pour la classe, nous avons élaboré un ensemble de vidéos de tutoriels et de textes décrivant ces différents composants et nous les avons rassemblés sur le site EducMath sous le titre de « prototype de mallette » (pour signaler l'état provisoire de l'organisation et du contenu du site). La page d'accueil du site contient une présentation de la pascaline matérielle, la façon d'écrire les nombres et de réaliser les opérations, les cahiers d'activités informatisés et une liste de liens pour télécharger les logiciels et pour accéder au site Plan Sciences.



Figure 10. Page d'accueil de la mallette sur le site EducMath
<http://educmath.ens-lyon.fr/Educmath/recherche/equipes-associees-13-14/mallette/prototype-mallette>

Sur ce site prototype, les principes généraux de fonctionnement des cahiers d'activité informatisés sont détaillés :

- navigation page par page : contrairement à de nombreux logiciels (comme par exemple les autres logiciels développés dans le projet Mallette), la progression des tâches est organisée selon la métaphore des pages d'un cahier que l'utilisateur tourne ;
- autonomie et différenciation pour les élèves : une progressivité des tâches à l'intérieur d'un cahier permet à tous les élèves d'engager un premier niveau de résolution puis de poursuivre, chacun à son rythme, grâce aux rétroactions ;
- commentaires pour l'enseignant : chaque cahier contient une ou deux pages de commentaires écrits décrivant les objectifs, les procédures attendues et les fonctionnalités particulières du cahier ;
- cahiers adaptables : des possibilités de configuration des composants du cahier, notamment le choix des nombres, sont offertes à l'enseignant qui est alors aidé dans son choix par une analyse didactique dynamique des choix (actuellement, ce n'est disponible que pour certains cahiers).

De plus, chaque cahier fait l'objet d'une ou plusieurs courtes vidéos de présentation sur le site prototype (durée de 2 à 3 min, Figure 12) et d'une description écrite page par page (Figure 11).

Cahier "Compter les clics de la e-pascaline CP"

— Dernière modification 04/02/2014 18:55 Historique

Description page par page du cahier Cabri Elem aussi appelé "minimiser les clics sur la e-pascaline"

[Retour à l'accueil de la Mallette.](#)
[Retour à la présentation rapide des cahiers de la collection e-pascaline.](#)

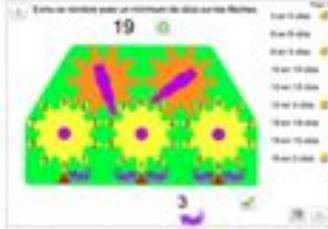
Télécharger le cahier "Compter les clics de la e-pascaline CP" (il ne fonctionne qu'avec le logiciel Cabri Elem à télécharger ici).

Objectif. Calcul réfléchi et connaissance des nombres.

L'enjeu de l'utilisation de ce cahier lors d'un travail avec la pascaline et la e-pascaline est d'attirer l'attention de l'élève sur les coûts des procédures qui dépendent de la façon d'utiliser la pascaline. L'objectif est que les procédures moins coûteuses soient privilégiées. En effet, ce sont celles qui reposent soit sur l'écriture décimale des nombres, soit sur une écriture additives (ou soustractive) du nombre. Ainsi l'utilisation de ce cahier favorise le passage de la procédure par itération à la procédure par décomposition ainsi que la recherche d'égalité entre l'écriture d'un nombre et celle d'une somme.



Vidéo de présentation du cahier en version CEF, qui fonctionne de façon analogue à la version CP



Page 1 du cahier, avec la liste des nombres traités par l'élève, associé au nombre de clics utilisés et les réussites signalées par un smiley



Page de configuration des nombres cibles par l'enseignant

Dans chaque page de ce cahier, la tâche de l'élève consiste donc à écrire sur la e-pascaline le nombre cible en minimisant le nombre de clics sur les flèches d'action des roues. Plusieurs procédures sont utilisables pour écrire les nombres avec la e-pascaline.

- procédure par addition de +1 répétée, alors le nombre de clic est égal au nombre cible ;
- procédure par décomposition additive canonique du nombre cible en unités et dizaines (les centaines ne sont pas utilisées au CP), le nombre de clics est alors égal à la somme des chiffres du nombre cible. Par exemple, pour écrire 19, le nombre de clics est 10 (car égal à 1+9) ;

Figure 11. Extrait de la description détaillée du cahier « Compter les clics de la e-pascaline » sur le site prototype de mallette sur EducMath.



Figure 12. Vidéo décrivant le fonctionnement du cahier « Les nombres avec la e-pascaline », visible en ligne sur le site EducMath.

Dans le cadre de l'expérimentation Mallette, les ressources mises à disposition des enseignants ont donc été non seulement le duo d'artefacts (pascaline et e-pascaline) mais aussi le scénario pédagogique sur le site Plan Sciences et les tutoriels, vidéos et explications du site EducMath. L'ensemble de ces ressources constituent la mallette pascaline et e-pascaline.

3. Cadrage théorique de l'expérimentation

Pour mener cette étude, nous avons retenu deux cadres théoriques complémentaires.

D'une part une entrée ergonomique permet d'étudier la propension d'un utilisateur à adopter une technologie. Elle s'effectue à partir de l'analyse de son utilité par rapport à un objectif donné, de sa facilité d'utilisation et de l'adhésion qu'elle suscite. Ce volet de l'étude permet d'obtenir des résultats sur l'aptitude à adopter mais aussi d'identifier certaines des raisons qui pourraient conduire à un refus. Le modèle proposé s'applique aux environnements informatiques d'apprentissage mais il reste pertinent également pour l'ensemble plus complexe que constitue la mallette. Il permet de répondre précisément à la requête de Canopé quant à l'évaluation de la propension des enseignants à adopter une mallette de duo d'artefacts et à l'introduire dans leurs classes.

D'autre part, une entrée didactique permet d'étudier les processus d'appropriation des ressources par les enseignants en considérant les transformations qu'ils réalisent pour concevoir et mettre en œuvre un enseignement à partir d'un ensemble de ressources. Ainsi, après l'adhésion initiale que peut susciter la mallette auprès d'un enseignant, évaluée d'un point de vue ergonomique, nous étudions ce que l'enseignant fait des ressources de cette mallette dans sa pratique de classe et dans quelle mesure cela est pertinent.

3.1. Trois dimensions de l'évaluation ergonomique d'un environnement d'apprentissage : utilité, utilisabilité et acceptabilité de la mallette

Pour pouvoir s'engager dans l'utilisation de la mallette en classe avec leurs élèves, les enseignants ont besoin de savoir et d'être convaincus (i) que cela sera utile pour leurs élèves, (ii) qu'ils vont être capable de mettre en œuvre le duo d'artefacts proposé par la mallette et (iii) qu'ils sont autorisés et légitimes pour le faire. Ces trois dimensions différentes de la propension à adopter une technologie ne vont pas forcément

ensembles, c'est à dire qu'une technologie peut être utile mais pas utilisable, utilisable mais pas acceptable et tout autre combinaison est possible. D'ailleurs, pour André Tricot et ses collègues (2003, p. 392) : « *De très bons outils, très bien promus par leur concepteurs, voire remarquablement étayés d'un point de vue didactique, se révèlent inutilisables. Par ailleurs, des outils pourtant faciles à utiliser ne parviennent pas à entrer dans les pratiques scolaires ou de formation professionnelle. Certains enseignants n'ont pas le temps, les compétences ou l'envie de les utiliser, les ordinateurs ne sont ni assez nombreux, ni assez performants, ni correctement disposés. Un bon EIAH² est donc non seulement utile à l'apprentissage visé, mais encore utilisable et acceptable.* »

Utilité, utilisabilité et acceptabilité sont trois dimensions qui permettent d'évaluer l'efficacité d'une technologie pour l'apprentissage et son potentiel en terme d'utilisation par les enseignants. Une technologie pour l'apprentissage est :

- utile si elle permet aux élèves d'apprendre ce qui est prévu ;
- utilisable si les élèves peuvent facilement l'utiliser et se rappeler comment elle fonctionne, si elle est efficace, si elle génère de la satisfaction et ne produit pas de dysfonctionnements ;
- acceptable si elle est adaptée aux contraintes du contexte d'utilisation, telles que le temps, l'espace et les ressources disponibles, si elle répond aux demandes institutionnelles et est compatible avec les pratiques existantes, enfin si elle est conforme aux motivations, affects, cultures et normes de ses utilisateurs (élèves ou enseignants).

Toute relation entre ces trois dimensions est théoriquement possible. Mais Tricot et al. précisent que l'évaluation par l'utilisateur de l'utilité et l'utilisabilité d'un environnement d'apprentissage permet de prédire son acceptabilité.

Il s'agit donc dans cette expérimentation d'étudier l'ensemble des ressources de la mallette avec une attention particulière portée au duo d'artefacts (pascaline et e-pascaline) en considérant leur utilité, utilisabilité et acceptabilité du point de vue des enseignants.

Cependant, une étude en terme d'utilité, utilisabilité et acceptabilité ne permet pas d'accéder à la dynamique du processus par lequel passe un enseignant lorsqu'il commence à utiliser effectivement une technologie et un ensemble de ressources pédagogiques. C'est pourquoi nous mobilisons un autre cadre théorique pour identifier les éléments clefs d'un processus qui permet de savoir si le travail engagé par l'enseignant pour l'utilisation de la mallette est susceptible d'aboutir sur une exploitation pédagogiquement intéressante des ressources.

3.2. Etude des genèses documentaires relatives à la mallette

Dans le cas de l'enseignement des mathématiques, l'intégration des technologies dans les pratiques de classe relève, pour l'enseignant, d'un double processus de genèse instrumentale (genèse instrumentale au sens de transformation par le sujet d'un artefact qui lui est externe en un instrument opérationnel pour accomplir une tâche grâce au développement de schèmes d'utilisation (Rabardel, 1995)). Pour l'enseignant, une première genèse est relative à la construction de l'artefact comme instrument pour faire des mathématiques, une seconde genèse transforme l'artefact en instrument didactique

² EIAH Environnement Informatique d'Apprentissage Humain

pour enseigner (Haspekian, 2011). Ainsi, le fait qu'un enseignant sache utiliser un outil pour résoudre un problème mathématique, par exemple utiliser la pascaline pour calculer une addition, ne signifie pas qu'il puisse l'utiliser pour enseigner l'addition, le second n'étant pas la conséquence directe du premier. D'ailleurs, plusieurs études ont mis en évidence les difficultés rencontrées par les enseignants dans la gestion des situations de classe impliquant de la technologie. Luc Trouche (2004) introduit l'idée d'orchestration instrumentale pour modéliser la complexité de la tâche de l'enseignant qui consiste à organiser, pour une situation mathématique donnée, l'accès des élèves aux différents artefacts et à gérer les processus de genèse instrumentale de chaque élève. Ces organisations nécessitent en particulier l'arrangement des artefacts dans l'environnement spatial de la classe (configuration didactique).

La nature des orchestrations instrumentales mises en place par les enseignants à partir de la mallette est un moyen de caractériser les processus d'appropriation de l'objet complexe qu'est le duo d'artefacts. Cependant, le processus d'appropriation débute bien avant la séance en classe. Pour l'étude prévue, il faut donc aussi pouvoir prendre en compte le travail enseignant en dehors de la classe.

L'approche documentaire du didactique propose une perspective complémentaire sur le travail enseignant (Gueudet & Trouche, 2012). L'idée essentielle de cette approche est que les ressources sont un élément clef des pratiques professionnelles des enseignants. Le travail documentaire de l'enseignant consiste à rassembler des ressources, les sélectionner, les transformer, les partager, les utiliser en classe, les corriger et parfois en créer de nouvelles. Cette approche met l'accent sur le travail enseignant hors la classe, travail individuel ou au sein de collectifs, mais considère également le travail en classe notamment dans l'interaction avec les élèves (les interactions avec les pairs ou avec les élèves sont elles-mêmes considérées comme des ressources). Ce travail de l'enseignant avec les ressources, notamment lors de la préparation des leçons, donne lieu à une genèse documentaire, c'est-à-dire au développement de schèmes d'utilisation des ressources qui permettent ensuite d'enseigner. Le « document » produit par la genèse documentaire désigne l'ensemble des ressources sélectionnées (le système de ressources) associé à un ou plusieurs schèmes d'utilisation pour traiter une classe de situations d'enseignement. Il en résulte qu' « *un document est saturé de l'expérience des enseignants* » (Gueudet & Trouche, 2012, p. 205).

Une analyse en terme de genèses instrumentales et documentaires de la mallette permettra de comprendre dans quelle dynamique d'appropriation les enseignants expérimentateurs sont et en quoi cela est positif ou pas pour l'intégration et l'usage de la mallette en classe avec les élèves.

Cependant, dans l'étude que nous menons, les ressources considérées sont complexes. Il ne s'agit pas simplement de la mallette mais d'un ensemble constitué de : la pascaline, la e-pascaline, les cahiers d'activités informatisés (comprenant la e-pascaline) qui peuvent éventuellement être paramétrés, le scénario pédagogique et les deux sites web qui mettent à disposition les ressources précédentes ainsi que des vidéos et des tutoriels. Il faut donc déterminer dans quelle mesure ce système complexe soutient les genèses instrumentales et documentaires des enseignants. Même si tout artefact peut être considéré comme une ressource, pour notre travail, nous séparons les deux et retiendrons finalement :

- les artefacts faisant l'objet d'une genèse instrumentale et d'une orchestration par les enseignants sont : la pascaline, la e-pascaline et les cahiers d'activité informatisés ;
- les ressources faisant l'objet d'une genèse documentaire sont : le site web Plan Sciences en Côte d'Or et le site web EducMath (la partie correspondant au prototype de mallette).

Les attentes vis à vis de l'étude menée concernent prioritairement les artefacts et leur genèse instrumentale. Mais l'existence d'une genèse documentaire est un indicateur de la genèse instrumentale.

4. Questions traitées par l'étude

Le cadrage théorique a permis de préciser quels moyens seront utilisés dans cette étude pour traiter la question de l'appropriation par les enseignants de l'ensemble complexe de ressources que constitue la mallette. Plus précisément, nous pourrions traiter les questions suivantes :

1. Les ressources disponibles sont elles suffisantes pour amorcer les genèses instrumentales et documentaires des enseignants à propos du duo d'artefacts ?
2. Les genèses documentaires des enseignants se développent-elles jusqu'à leur permettre d'utiliser le duo d'artefacts pour provoquer des évolutions conceptuelles chez les élèves (caractérisées chez les enseignants par une analyse didactique du duo d'artefacts et l'émergence de la valeur ajoutée de la e-pascaline) ?

Nous voulions également savoir si le duo d'artefacts aide les enseignants à s'approprier et adopter la technologie, en particulier la pascaline et la e-pascaline, pour leur pratique de classe. Ainsi, il fallait déterminer l'utilité qu'ils leur attribuent et la façon dont ils les mettent en œuvre en classe.

3. Quelle utilité – utilisabilité – acceptabilité les enseignants attribuent-ils au duo d'artefacts et au système de ressources que constitue la mallette ?
4. Quelles orchestrations sont réalisées par les enseignants dans leurs classes ?

5. Méthodologie

Nous avons étudié l'utilisation de la « mallette pascaline » par huit enseignants de CP. Ces enseignants n'avaient aucun lien avec les projets de recherche initiaux (le projet Mallette mené dans le cadre du LéA MaCARhon, le projet Plan Sciences en Côte d'Or mené dans le cadre du LéA Côte d'Or). Ils n'avaient jamais vu la pascaline ni les cahiers Cabri Elem avant l'expérimentation. Ils ont été recrutés par les inspecteurs de l'éducation nationale responsables de circonscription, avec l'aide de l'inspecteur de l'éducation nationale chargée de mission maths-sciences et l'autorisation de l'inspecteur d'académie – directeur des services de l'éducation nationale du Rhône. Ils étaient volontaires, avec la contrainte d'être deux enseignants participants dans une même école. Nous avons fait l'hypothèse que la possibilité d'interagir facilement avec un collègue, au sein même de l'école, serait favorable à un bon investissement dans l'expérimentation. L'approbation de l'expérimentation par l'autorité scolaire a également créé un terrain favorable à la conduite de l'expérimentation. Le travail supplémentaire pour l'enseignant, résultant de son implication dans l'expérimentation, a été compensé financièrement.

Les enseignants ont eu comme consigne générale de prendre connaissance de la mallette à partir du site EducMath et de l'utiliser en classe avec leurs élèves pour au moins huit leçons entre mars et juin 2014.

Notre méthodologie a été contrainte par deux phénomènes antagonistes. D'un côté nous voulions étudier les genèses instrumentales et documentaires. Nous devons donc organiser les conditions adéquates pour que ces genèses démarrent et se développent. D'autre part, nous voulions les étudier indépendamment de tout autre soutien que celui fourni par la mallette, ce qui aurait pu conduire à l'absence de genèse pour certains enseignants (or en partant de huit enseignants, l'enjeu n'étant pas une étude statistique, il fallait que tous s'engagent dans les usages). Nous avons finalement décidé de fournir un accompagnement minimum pour lancer l'expérimentation, afin de garantir un démarrage des usages. Par ailleurs, comme nous allons le voir plus bas, la méthodologie de recueil des données mise en place a fourni également, par une sorte d'effet de bord, un soutien aux enseignants et au développement des genèses.

Notre méthodologie de recueil de données s'est appuyée sur un éventail de moyens. Nous avons réalisé des interviews des enseignants, leur avons demandé de répondre à certaines questions, nous avons observé quelques séances de classes et récupéré des fichiers tels que les fiches de préparation et certaines productions d'élèves. Elle a été programmée de la façon suivante :

- Nous avons organisé une **première journée de séminaire** avec les enseignants expérimentateurs, ainsi qu'un formateur de l'ESPE de Lyon impliqué dans le projet Mallette, notre partenaire italien pour la recherche, un représentant de l'éducation nationale et deux membres du réseau Canopé. Au cours de cette journée, nous avons présenté aux enseignants tous les éléments de la mallette (la pascaline, la e-pascaline, les cahiers informatisés et les deux sites web). Mais nous ne les avons pas présenté exhaustivement ni en détail. Il s'agissait plutôt d'une introduction. Nous avons organisé un atelier de découverte de la pascaline pour cadrer la rencontre des enseignants avec la pascaline tel que décrit dans (Soury-Lavergne & Maschietto, 2013). Nous avons également consacré une partie importante de la journée à l'organisation de l'expérimentation (processus de collecte des données, calendrier etc.).
- Pendant les 12 semaines suivantes, les enseignants ont mis en œuvre des leçons en classe avec la pascaline et la e-pascaline. Nous avons divisé cette période de 12 semaines en cinq étapes qui correspondaient environ à deux semaines de cours (il y a eu deux semaines de vacances pendant l'expérimentation). Pour le recueil de données, nous avons organisé des **interviews téléphoniques** des binômes d'enseignants de chaque école à l'issue de chacune des quatre premières périodes. Nous avons créé un **dossier dropbox** pour que chaque enseignant puisse rassembler tous les fichiers qu'il pouvait mettre à notre disposition : photos de classe, travaux d'élèves, fiches de préparation et états successifs des « **fiches de ressources consultées** » (Figure 13). Ces différents moyens sont détaillés ci-dessous.
- Enfin, nous avons organisé une **journée de séminaire final** à l'issue de la cinquième période. Au cours de ce séminaire, nous avons pu récupérer les dernières données et impliquer les enseignants dans le début de l'analyse. Nous avons eu également l'occasion de leur faire un premier retour sur le déroulement de l'expérimentation et nous leur avons donné l'opportunité de discuter de leurs

attentes et de leurs difficultés à propos de la mallette. Ce séminaire final a été aussi l'occasion pour les enseignants de présenter leur créations et adaptations du scénario pédagogique.

Ainsi, au cours de cette expérimentation, la méthodologie n'a pas seulement été un moyen de recueillir les données nécessaires à l'analyse mais elle a également fourni une assistance aux enseignants. Effectivement, pendant les interviews, les enseignants ont eu l'occasion de faire part de leurs difficultés et de leurs réussites. Nous avons pu les aider et les encourager. Cela ne sera pas le cas des enseignants travaillant de façon isolée avec la mallette. Quoi qu'il en soit, les données ainsi récupérées se sont avérées significatives pour étudier les processus d'appropriation du duo d'artefacts.

La fiche de ressources consultées

Pour savoir quelles ressources étaient utiles parmi celles disponibles sur les deux sites web, nous avons demandé aux enseignants d'indiquer les ressources qu'ils consultaient à chaque fois qu'ils travaillaient avec la mallette. Pour faciliter ce rapport, nous avons listé les pages et les vidéos présentes sur le site EducMath (le prototype de mallette) et le lien vers le site Plan Sciences (le scénario pédagogique). Les enseignants n'avaient qu'à copier la feuille ou le fichier (Figure 13), à le dater et à indiquer, en les surlignant, quelles ressources ils avaient consultées. Ils pouvaient également indiquer, le cas échéant, d'autres ressources consultées.

Interviews téléphoniques

A la fin de chaque période (quatre fois au cours de l'expérimentation), nous avons interviewé et enregistré chaque paire d'enseignants (seize interviews réalisées). Pour chaque période, nous leur avons demandé de rendre compte de leurs préparations de leçons et des mises en œuvre en classe.

A propos de la préparation des leçons (la préparation des leçons correspond à des périodes de travail qui ont lieu avant mais aussi après la classe), nous leur avons demandé de préciser : la date et la durée approximative, si le travail a été fait individuellement ou collectivement (avec un collègue ou un conseiller pédagogique ou tout autre personne), les ressources qui ont été consultées sur le site EducMath (avec la fiche ressources consultées) et de dire quelle ressource a été utile, inutile ou manquante.

A propos des leçons avec les élèves, nous leur avons demandé de fournir les données factuelles suivantes : date, nombre d'élèves, durée anticipée et durée réelle, organisation de la technologie et des ordinateurs (présence d'un vidéo projecteur, ordinateurs dans la classe ou dans une salle dédiée à l'informatique, TBI), organisation pédagogique (travail collectif, en atelier, en binôme, individuel) nombre d'adultes présents pendant la leçon et provenance de la leçon (proposées dans la mallette ou d'une autre origine). Les enseignants devaient enfin commenter le déroulement de la leçon selon différents points de vue : les mathématiques en jeu et de l'apprentissage des élèves, les événements inattendus et les surprises, les idées nouvelles et les changements de plan pendant la leçon, les commentaires et opinions exprimés par les élèves. Nous leur avons enfin demandé de récupérer les productions des élèves et de faire des photos de classe.

Fiche « ressources consultées » *date de remplissage :*

Entourer ou surligner les ressources consultées

Les pages du site « prototype » sur EducMath

- Accueil de la Mallette
- A propos du prototype
- Comment utiliser la pascaline
- Les apprentissages
- Cabri Elem, le logiciel
- Principes généraux des cahiers Cabri Elem
 - Description du cahier « Cible des nombres CP »
 - Description du cahier « Cible des nombres CE1 »
 - Description du cahier « e-pascaline seule »
 - Description du cahier « Additionner avec la e-pascaline CP »
 - Description du cahier « Additionner avec la e-pascaline CE1 »
 - Description du cahier « Compter les clics de la e-pascaline CP »
 - Description du cahier « Compter les clics de la e-pascaline CE1 »

Les propositions de séquences et de situations pour le CP

Les vidéos du site « prototype » sur EducMath

- Vidéo live (38s) sur « changement de dizaine » par deux enfants
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-04-11_pascaline_passage_dizaine.webm
- Vidéo tutorielle (2min 24s) sur le cahier « Cible des nombres CP »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-24_cible_des_nombres_CP.webm
- Vidéo tutorielle (1min 52s) sur le cahier « e-pascaline seule »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-09_presentation_e-pascaline_seule.webm
- Vidéo tutorielle (2min 9s) sur le cahier « Les nombres avec la e-pascaline »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-10_e-pascaline_ecrire-nb.webm
- Vidéo tutorielle (3min 35s) sur le cahier « Additionner avec la e-pascaline »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-27_e-pascaline_addition_CE1.webm
- Vidéo tutorielle (2min 53s) sur le cahier « Compter les clics de la e-pascaline CE1 »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-27_e-pascaline_minimum_de_clic_CE1.webm
- Vidéo tutorielle (1min 38s) sur la configuration du choix des nombres cibles du cahier « Compter les clics de la e-pascaline CE1 »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-27_e-pascaline_minimum_de_clic_CE1_parametrisation.webm

Autres ressources consultées

Figure 13. Fiche « ressources consultées » à remplir par l'enseignant (par surlignage) à chaque utilisation de la mallette.

Recueil de données pour l'analyse en terme d'utilité, utilisabilité et acceptabilité

Une semaine avant le séminaire final, nous avons demandé aux enseignants de nous adresser un message indiquant deux aspects positifs et deux aspects négatifs de l'expérimentation avec la mallette. Nous avons alors classé leurs réponses selon différents thèmes que nous avons pu présenter lors du séminaire final. Au cours de cette présentation, chaque participant au séminaire a été chargé d'identifier les arguments en

faveur ou défaveur de l'utilité, l'utilisabilité ou l'acceptabilité de la mallette. Pour que cela soit possible, nous avons d'abord présenté les définitions des trois dimensions de l'analyse ergonomique puis demandé à chaque participant de travailler l'une de ces dimensions à partir des discussions collectives. Ainsi, chaque participant n'a traité qu'une seule dimension et chaque dimension a été traitée par deux ou trois participants.

Nous avons ainsi obtenu une analyse explicite par les participants eux-mêmes de l'intérêt de la mallette.

6. Conclusion-résumé sur l'organisation de l'expérimentation

Pour répondre à la demande du réseau Canopé relative à une évaluation de l'intérêt de diffuser la mallette et en particulier ses artefacts pascaline et e-pascaline, nous avons organisé une étude des pratiques de huit enseignantes de CP (uniquement des femmes dont les pseudonymes sont Rose et Iris, Stina et Nelly, Cléo et Mia, July et Lilas). Elles ont découvert la proposition de la mallette et mis en œuvre des séances avec leurs élèves sur une période de 12 semaines. Ces pratiques ont été suivies essentiellement par le moyen d'interviews téléphoniques et de partage de documents. Une journée de visite de classe a également pu être organisée dans deux des classes.

Les enseignantes d'une même école ont pu travailler en étroite collaboration et ont été interviewées ensemble. Une enseignante n'a pu participer qu'à la première étape de l'expérimentation pour raison de santé et elle n'a pas pu prendre part au séminaire de lancement. Cependant, malgré sa participation restreinte, les données qu'elle a fournies restent tout à fait significatives pour être prises en compte dans l'étude.

Les résultats obtenus lors de cette expérimentation sont présentés en partie 3.

Partie 3

Résultats

Les résultats obtenus lors de cette expérimentation concernent :

- les ressources clefs ayant permis l'appropriation et l'utilisation de la mallette par les enseignantes ;
- les processus d'appropriation des différents artefacts de la mallette, la pascaline et la e-pascaline, à travers les genèses instrumentales et documentaires développées par les enseignants participants ;
- les orchestrations réalisées (organisation spatiale et pratique de l'utilisation des artefacts de la mallette) ;
- l'appréciation de l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de la mallette.

1. Le rôle clef du scénario pédagogique

Le site web Plan Sciences en Côte d'Or, qui présente quatre unités d'enseignement en CP (Figure 8 et Figure 9 page 21) a été la principale référence des enseignants. Bien que chaque page de ce site n'ait pas été listée individuellement dans la fiche des ressources consultées (Figure 13 page 30), parmi les 19 fiches remplies, 11 signalent la consultation de ce site. De plus, toutes les enseignantes l'ont mentionné durant les interviews. Elles déclarent qu'il s'agit d'une ressource clef pour la construction des séances et qu'il fournit tout les éléments dont elles ont besoin pour réaliser leurs leçons.

« Moi j'ai mis ce que j'avais, j'ai consulté en fait le site dans lequel il y a les séances, les quatre séances qui sont proposées, et c'est surtout de ça en fait que je me sers. » (Rose interview étape 1). *« J'ai suivi précisément ce qui était proposé, c'était une bonne progression »* (Cléo interview étape 1) puis à l'étape 3 : *« Mais en fait, je suis le déroulé du scénario »*. C'est également le cas de d'Iris : *« Je regarde toujours le site de Dijon [...] moi je m'y réfère juste pour les séances, pour pouvoir bien faire les mêmes après »* (Iris interview étape 1), de Nelly : *« chaque fois, on a vraiment suivi la progression, j'avais ma feuille imprimée je suivais le déroulement »* (Nelly étape 1) et de Stina : *« pour la première leçon, on a vraiment suivi le plan que vous aviez indiqué »* (étape 1). Certaines enseignantes ont même imprimé le scénario, bien que le site n'ait pas été conçu pour cela et ne facilite pas l'impression des pages (Lilas et Nelly dans l'interview de l'étape 1).

Même si le scénario pédagogique ne correspond pas à ce qui est effectivement réalisé en classe, il constitue une référence : *« oui voilà c'est là où on a été et le déroulement des séances qu'on va voir et on s'inspire »* (Rose étape 1). *« La première séance je la trouvai*

bien donc je l'ai faite quasiment à l'identique de ce qui était proposé, par contre, heu sur les suivantes que j'ai pas encore faites, j'ai apporté des modifications » (Iris, étape 1).

Les enseignantes avancent un argument pour expliquer pourquoi cette ressource « scénario » leur est particulièrement utile. Il s'agit de la présentation du contenu selon un ordre chronologique, de façon cohérente avec le déroulement en classe et son utilisation avec les élèves : *« pour moi c'est plus facile si, heu, avec un ordre chronologique, comme ce que l'on va faire avec les élèves »* (Mia, étape 1). *« Et je le trouve, alors je ne sais pas s'il faut le dire maintenant, je le trouve très bien fait, justement je pense que les collègues, c'est un peu ce qu'elles cherchent quoi, quelque chose de clair, heu le travail est mâché, enfin entre guillemet, le travail de préparation »* (Nelly, étape 1).

Cela a été confirmé pendant le séminaire final, lorsque l'éditeur Canopé a présenté une première maquette de site web pour présenter la mallette. Dans la version présentée, à partir de la page d'accueil, aucune entrée sur le contenu ne correspondait au scénario pédagogique. Les enseignantes ont réagi vivement en demandant qu'une autre organisation du contenu soit prévue, faisant apparaître plus clairement le déroulement des leçons avec les élèves.

Le site EducMath n'a pas été utilisé de la même façon que le site plan sciences et n'a pas suscité les mêmes attentes. Il a été présenté durant le séminaire de lancement. Les enseignantes l'ont consultée, mais moins régulièrement. Elles ne le mentionnent que dans 9 des 19 fiches « ressources consultées » qu'elles ont remplie. De plus ces 9 fiches n'ont été remplie que par deux enseignantes (Cléo et Lilas). Les autres enseignantes ne l'ont pas mentionné dans leurs fiches ressources. Pendant les interviews, elles ont précisé qu'elles n'avaient pas besoin de le consulter régulièrement. *« Les autres choses [i.e. le site EducMath], j'étais allée voir avant qu'on se voit le mercredi 19 [séminaire de lancement], j'avais tout regardé, et ça j'ai pas eu besoin de retourner regarder. »* (Rose, étape 1). En fait, lorsqu'elles rencontrent une difficulté (par exemple dans l'épisode de la flèche qui disparaît (voir § 4. La flèche qui disparaît, page 41)), elles ne cherchent pas spontanément d'aide ou d'explications sur le site EducMath.

Mia a été une exception. Comme elle n'a pas pu prendre part au séminaire de lancement, elle a visité le site EducMath et consulté quasiment toutes les ressources pour obtenir de l'information sur l'expérimentation à laquelle elle allait participer. Ainsi, elle a découvert la pascaline et la e-pascaline sur le site EducMath, sans avoir vu ou manipulé la machine matérielle. Elle a déclaré à propos de la découverte de la pascaline (interview étape 1) : *« C'est vrai que j'ai, sur le site, je me suis approprié toute seule, heu j'ai essayé de chercher, j'ai lu tout ce que je pouvais lire, j'ai regardé les vidéos pour comprendre, heu parce que, j'avais pas vu la pascaline non plus avant la semaine dernière quand je suis revenue travailler. Le fait de télécharger les cahiers, j'ai essayé les cahiers pour vraiment me rendre compte de l'objet, de comment il fonctionnait, donc quand je l'ai eu entre les mains, avant de le proposer aux élèves, j'avais déjà bien compris comment ça fonctionnait »* (Mia, étape 1). L'utilisation des cahiers Cabri Elem est également pour Mia un moyen de comprendre le travail attendu avec les élèves : *« j'ai même fait tous les exercices des cahiers pour vraiment me rendre compte de ce qu'on allait demander aux élèves dans le dispositif. Après moi je me suis posée des questions et j'ai trouvé ça intéressant heu quand j'ai utilisé la pascaline heu pour faire justement des additions sur les cahiers, je me suis dit ben tient heu... moi j'ai fait d'une façon, et après je me suis posée des questions sur la dizaine en premier, les unités en premier, je me suis posée des*

questions sur heu, j'ai vu après en regardant sur le site, et j'ai lu les différents contenus sur les explications sur ce qu'avaient vu les élèves, sur heu, ce qui avait déjà été fait dans les classes, c'est bon ». Ainsi, d'après le témoignage de Mia, découvrir le contenu de la mallette, pascaline et cahier e-pascaline, de façon autonome, sans avoir la machine sous les yeux, semble possible, voire pertinent, à la fois pour comprendre le fonctionnement de la machine et pour son usage avec les élèves.

2. Question d'orchestration des artefacts

Les enseignantes ont trouvé différentes façons d'organiser l'accès de leurs élèves au duo d'artefacts et aux cahiers cabri sur les ordinateurs (Figure 14). Elles se sont adaptées aux conditions matérielles de leurs classes, aux équipements disponibles (pascalines et e-pascaline, ordinateurs, vidéo-projecteurs) et au nombre d'adultes présents pour superviser les élèves.



Figure 14. Deux élèves utilisent un même ordinateur, l'une est assise et l'autre debout derrière (classe de Cléo).



Figure 15. La moitié de la classe travaille en autonomie sans ordinateur au milieu du laboratoire informatique et l'autre moitié travaille sur les cahiers Cabri avec la e-pascaline, un élève par ordinateur (classe de Cléo).

Chaque enseignante a mis en place une organisation spécifique et variable. Par exemple, certains ont travaillé avec des sous-groupes successivement (une demi-classe ou des groupes plus petits sous forme d'atelier d'environ 5 élèves par session). Pendant ce temps l'autre partie de la classe faisait un autre travail, dans la même pièce (Figure 15) ou dans une autre pièce quand un adulte était disponible pour encadrer cet autre travail (Figure 16). Ces enseignantes ont alors reproduit la même séance jusqu'à ce que tous les élèves aient pu réaliser le travail prévu.

Au cours de l'expérimentation, une enseignante, Iris, a sélectionné seulement une partie des élèves pour poursuivre le travail. Après un démarrage collectif, elle avait constaté que certains élèves rencontraient trop de difficulté pour travailler avec la pascaline (Iris, interview étape 3). Elle a donc choisi de poursuivre le travail avec une partie de la classe seulement.



Figure 16. Une partie de la classe travaille avec la e-pascaline et un cahier Cabri, deux élèves par ordinateurs dans la salle de classe habituelle, l'autre partie de la classe est dans une autre pièce sous la supervision d'un autre adulte (classe de Stina).

En ce qui concerne l'articulation entre utilisation de la pascaline et utilisation de la e-pascaline, certaines enseignantes ont fait travailler leurs élèves avec les deux artefacts en même temps, sur des tâches identiques ou bien différentes (par exemple, une partie de la classe travaille avec la pascaline, l'autre avec la e-pascaline). Certaines ont fait utiliser successivement à chaque élève la pascaline et les cahiers, d'autres ont toujours fait travailler leurs élèves en binôme.



Figure 17. Chaque élève dispose d'une pascaline et la e-pascaline est utilisée collectivement, projetée à la droite du tableau (classe d'Iris).

Il s'avère donc que de nombreuses organisations sont possibles pour assurer l'accès des élèves à la pascaline et la e-pascaline, les deux artefacts de la mallette. Cependant, la question du contrôle par l'enseignant du fait que chaque élève a bien réalisé les activités prévues, tant du point de vue de la manipulation de la pascaline que de la e-pascaline, n'est pas résolue. C'est une des remarques des enseignants recueillies lors du bilan final.

Une dernière observation concerne la valeur ajoutée de la technologie dans le duo d'artefacts, telle que nous l'avons identifiée dans l'analyse a priori. Nous avons considéré que la possibilité de projeter la e-pascaline pour organiser des discussions collectives serait très utile et que cela constituerait une valeur ajoutée de la e-pascaline facilement identifiée par les enseignantes (Figure 17). Cinq des sept enseignantes ayant mis en place des séances avec les élèves ont exploité cette possibilité. Rose s'est aussi procuré une souris wifi pour permettre aux élèves d'agir sur la e-pascaline sans quitter leur place. Cependant, deux enseignantes n'ont pas utilisé de vidéo-projecteur, bien qu'elles aient reconnu que cela serait plus facile pour mener les discussions collectives (Nelly et Stina, étape 4). Ainsi, même si les enseignantes se rendent compte de l'intérêt de la e-pascaline en projection, cela ne les conduit pas toujours à mettre en œuvre cette possibilité.

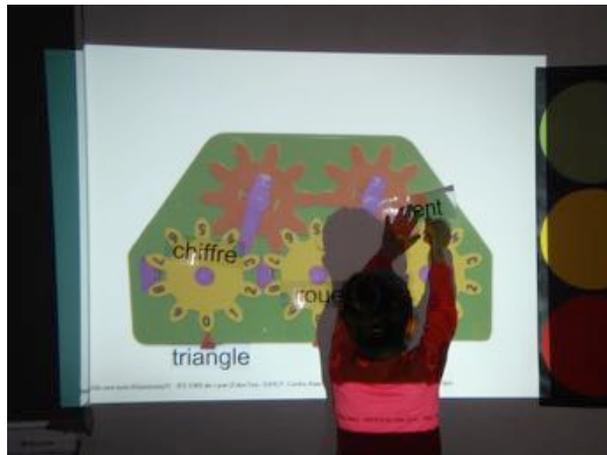


Figure 18. Des étiquettes transparentes et adhésives sont utilisées pour légènder une image de la pascaline projetée sur un tableau blanc (classe de Cléo).

La e-pascaline ce n'est pas le seul contenu projeté au cours des séances. Une image de la pascaline matérielle a également été projetée. En effet, Cléo a préparé des étiquettes adhésives au tableau blanc pour faire légènder, par les élèves, une image projetée de la pascaline (l'image de la pascaline est disponible dans la mallette, Figure 18).

3. Création de nouvelles activités

Lors du séminaire de bilan final, quatre des enseignantes ont témoigné de leur création de situations supplémentaires pour enseigner avec la pascaline et la e-pascaline.

3.1. Suites de nombres

L'une des situations a été élaborée à partir du jeu du furet, une situation relative aux suites de nombres entiers bien connue des enseignants (issue des travaux du groupe ERMEL (Charnay, Douaire, Valentin, Guillaume, & Colomb, 2005)). Dans le jeu du furet, il faut compter de n en n à partir d'un nombre donné. La tâche des élèves consiste à énoncer les nombres de la suite.

Iris utilisait le jeu du furet avec ses élèves, en dehors du cadre de l'expérimentation. *« Mais dans une autre séance de math, de mon fichier, calcul de 10 en 10, au départ de 0 ils le font très bien, mais quand on part de 4 ou de 7, il n'y a plus aucun automatisme. Alors je me suis dit, sortons la pascaline. Mais en commençant à 4, les élèves ont hésité, et additionner une dizaine n'était pas automatisé »* (Iris, rapport écrit étape 3). Ainsi, elle a remarqué chez ses élèves que lorsqu'il s'agit de compter de 10 en 10, à partir de zéro, il n'y avait pas de difficulté mais qu'en revanche en partant d'un autre nombre, les erreurs apparaissaient. Elle a alors décidé d'utiliser la pascaline et de reprendre le jeu du furet avec ce nouvel artefact.

Elle a constaté qu'avec la pascaline initialisée à zéro, les élèves tournent spontanément la roue des dizaines pour compter de 10 en 10. Ils peuvent même se corriger eux-mêmes lorsqu'ils tournent une autre roue de façon involontaire. Mais si la suite commence à 7, les élèves n'utilisent plus la roue des dizaines et préfèrent additionner 10 sur la roue des unités. De plus, s'ils se trompent et obtiennent 26 au lieu de 27 en comptant de 10 en 10 à partir de 7, ils ne se rendent plus compte de leur erreur. Ce qui signifie qu'ils n'anticipent pas leur réponse. L'usage de la pascaline par Iris permet de mettre en évidence les procédures différentes que les élèves utilisent suivant le nombre de départ (chiffre des unités égal à 0 ou différent de 0), ce qui n'est pas possible d'observer en l'absence d'instrument manipulé par les élèves.

Sa collègue, Rose, a réalisé le même type de situation avec la pascaline, pour compter de deux en deux à partir de 5. Elle conclut que la pascaline permet aux élèves d'explicitier le fait que « compter de deux en deux » c'est tourner deux fois la roue des unités, mais pas forcément de faire $+2$: *« alors compter de 2 en 2, je me suis un peu, il y en a une qui me dit « on compte un nombre ». Je lui dis « oui » mais moi je voulais qu'ils disent « +2 » parce que mon but c'est l'addition »* (Rose étape 3). Rose a conçu un ensemble de situations pour faire produire aux élèves des suites de nombres variées. Une des variables de ces situations, outre le nombre de départ et le pas de la suite, c'est l'ajout d'une contrainte de temps (trouver un maximum de nombres de la suite en un temps donné).

Rose a également conçu d'autres situations, qu'elle a réalisées avec les élèves avant le jeu du furet. Il s'agit de trouver « le nombre d'avant » ou « le nombre d'après ». Elle a organisé le travail des élèves en leur fournissant un tableau à deux colonnes et plusieurs lignes. Sur chaque ligne, un nombre est écrit, dans l'une ou l'autre des deux colonnes. Les élèves doivent déterminer l'autre nombre de la ligne (qui est avant ou après celui donné, suivant la position du nombre donné dans les colonnes, Figure 19 rapport écrit de Rose).

Déroulement:

- Les enfants sont pas 2 et ont chacun une pascaline. Il leur est demandé tout d'abord de se mettre sur 7 et de trouver le nombre qui est après. On explicite le sens de rotation des roues; de même pour le nombre qui est avant. C'est l'autre sens. On fait tourner la roue des unités.
- Chaque groupe de deux a la pascaline + un tableau à remplir avec nombres d'avant nombres d'après. D'abord il s'agit d'un univers de nombres qu'ils connaissent et sur lequel on est en train de travailler.

60	
	70
50	
	78
64	
70	
	71

- Dès qu'ils ont fini ce tableau, un autre leur est donné avec des nombres qu'ils ne connaissent pas pour être sûr qu'ils se servent de la pascaline.

	165
206	
	178
	180
179	
280	
129	

Figure 19. Rapport écrit de Rose présentant les tableaux de nombres à deux colonnes pour les situations « le nombre d'après et le nombre d'avant ».

Les situations de Rose et d'Iris ont été réalisées entre la deuxième et la troisième unité du scénario pédagogique proposé dans la mallette, en particulier avant l'introduction de l'addition. Rose précise qu'elle a ressenti le besoin de ce type de situation : « *Alors moi en fait, j'ai d'abord fait des suites de nombres, pour eux ça paraît plus logique de tourner la roue pour avancer et faire des suites de nombres* » (Rose étape 3).

Ces situations révèlent à la fois la créativité des enseignantes à partir des propositions de la mallette, ce qui constitue un élément clef de la genèse documentaire, mais aussi les manques dans les situations d'enseignement du scénario.

3.2. Décompositions additives et soustractives des nombres

Stina a développé des ressources pour une autre partie du scénario pédagogique. Il s'agit d'explorer les décompositions additives des nombres, connaissance requise pour résoudre le problème de l'écriture d'un nombre en un minimum de clics (unité 4 du scénario proposé, voir Figure 8 page 21). Le problème posé aux élèves consiste à écrire un nombre sur la pascaline avec un minimum de clic sur les roues (en partant de la pascaline initialisée à 0). La valeur ajoutée du cahier e-pascaline réside dans le compteur de clics qui dénombre automatiquement le nombre de clics effectués. Les élèves de Stina n'ont pas bien réussi cette tâche. Ils n'obtenaient pas beaucoup de smiley. Alors elle a conçu un travail intermédiaire qui a consisté à chercher différentes décompositions additives et soustractives de nombres. Elle a introduit le travail en se référant aux difficultés rencontrées avec le cahier e-pascaline et en demandant à ses élèves : « *pourquoi n'avons nous pas réussi à obtenir des smiley ?* » (Stina, rapport écrit étape 3).

Dans la situation créée par Stina, les élèves ont travaillé en binôme. L'un avait une pascaline et devait écrire un nombre en utilisant différentes procédures pendant que l'autre élève comptait les clics. Ce travail était accompagné d'une fiche papier pour garder la mémoire des nombres écrits, des décompositions testées et des nombres de clics nécessaires. Dans ces fiches (exemple Figure 20), un nombre est donné ainsi que le début de différentes décompositions additives ou soustractives en deux termes. Le nombre et les débuts de décomposition sont présentés dans un schéma en forme de soleil, le nombre au centre et les décompositions autour, reliées par des rayons. Par exemple pour 28, les décompositions proposées étaient : $20 + \dots$; $15 + \dots$; $30 - \dots$; $35 - \dots$.

Prénom : Mattéo

1. Je trouve différentes manières d'écrire les nombres 28 et 37.

2. J'entoure dans le premier exercice l'opération qui utilise un minimum de clics sur la pascaline pour écrire les nombres 28 et 37. Et, je détaille en m'aidant des tableaux comment je peux écrire ces nombres.

Ecrire 28

	les dizaines	les unités	nombre de clics
Etape 1 j'avance ou je recule (j'entoure)	... <u>2</u> <u>0</u> <u>3</u> ...
Etape 2 j'avance ou je recule (j'entoure) <u>7</u> <u>2</u> ...

Figure 20. Exemple de fiche de travail d'un élève avec différentes décompositions d'un nombre et l'indication du nombre de clics nécessaires (représentation en soleil).

Une fois le travail terminé par l'élève, le nombre (comme 28, à gauche dans la Figure 20) est relié à différentes décompositions telles que $20 + 8$, $15 + 13$, $35 - 7$ avec l'indication du nombre de clics pour obtenir l'affichage du nombre à partir de la décomposition. Cette représentation d'un nombre et de ses décompositions testées a été surnommée « soleil ».

En procédant de la sorte, Stina a introduit la décomposition $28 = 30 - 2$, qui correspond à la procédure gagnante. Donc elle a pris en charge une partie de la résolution du problème soumis aux élèves. Mais en même temps, elle a permis à ses élèves de considérer

d'autres décompositions d'un nombre que la décomposition canonique donnée par ses chiffres et les puissances de 10 ($28 = 20 + 8$)

Stina a conçu par ailleurs de nombreuses fiches et supports de travail pour ses élèves (Figure 21).



Figure 21. Exemple de fiches de travail créées par Stina.

4. La flèche qui disparaît

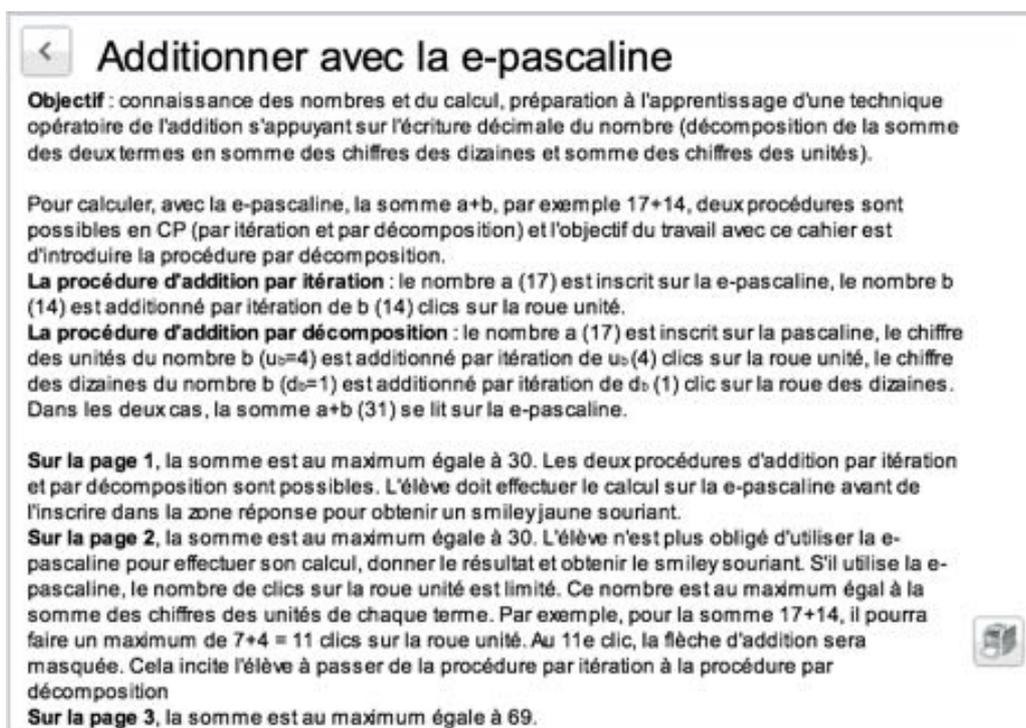
Des évènements non anticipés par les enseignantes ont eu lieu au cours des leçons. L'un d'entre eux est significatif car il concerne le fonctionnement de la e-pascaline dans les cahiers. Cet épisode permet de mesurer jusqu'où l'appropriation par les enseignants des cahiers e-pascaline a pu se développer à partir du séminaire de lancement et des explications disponibles sur le site EducMath (texte et vidéos) ou dans les pages de commentaires en fin de chaque cahier contenant la e-pascaline.

Il s'agit du fait que dans certaines pages du cahier « additionner avec la e-pascaline », la flèche d'addition sur la roue des unités disparaît. Ce phénomène est voulu par les concepteurs afin de provoquer une évolution des procédures des élèves. Le phénomène est détaillé dans la présentation du cahier sur le site EducMath et dans la page de commentaires pour l'enseignant (Figure 22).

Les enseignantes n'ont pas anticipé ce phénomène et y ont été confrontées pendant qu'elles utilisaient le cahier avec leurs élèves. « *Et alors je sais pas si on a bien fait ou pas, avec [Nelly] on a rencontré le même problème, je ne sais, ça s'est relativement bien passé mais on a été vite confronté au problème que la petite flèche violette, à droite, elle s'en allait ! Voilà du coup, pratiquement dans chaque groupe à un moment donné ils étaient coincés parce qu'ils pouvaient plus appuyer sur cette flèche violette de droite. Eh ben alors du coup on s'arrêtait* » (Stina, étape 2). « *Moi je, alors elle [Stina] s'arrêtait et moi, [rires], je, je à chaque fois je leur faisais cliquer sur le rond violet pour mettre à zéro et refaire* » (Nelly, étape 2). « *Il y a une flèche qui disparaît, alors ils [les élèves] ne pouvaient pas aller en arrière, en fait, ils étaient embêtés* » (Lilas, étape 3). « *Eh ben une dernière petite chose, juste sur le cahier de la e-pascaline, moi je l'ai mis en vidéo, ce qui est dommage, c'est que, par exemple c'était 17 plus 8, l'élève en question a bien eu, a bien affiché le 17, après l'élève en question donc tourne 8 fois la roue des unités mais après la flèche violette* »

pour avancer la roue des unités elle disparaît. Donc on peut pas tourner la roue des unités plus de 8 fois. » (Cléo, étape 3).

C'est toujours au cours du travail avec les élèves que les enseignantes ont remarqué le phénomène de la flèche qui disparaît dans le cahier « additionner avec la e-pascaline » et aucune n'a pu immédiatement identifier la raison de ce phénomène. Elles ont pensé qu'il pouvait s'agir d'un bug du cahier ou se sont posées la question de l'intentionnalité de l'auteur du cahier : « *Et je sais pas ça a été fait volontairement dans ce cahier là ?* » (Cléo, étape 3). Cependant, après la première surprise, elles ont transformé le phénomène en outil pédagogique et ont développé une première étape d'analyse.



Additionner avec la e-pascaline

Objectif : connaissance des nombres et du calcul, préparation à l'apprentissage d'une technique opératoire de l'addition s'appuyant sur l'écriture décimale du nombre (décomposition de la somme des deux termes en somme des chiffres des dizaines et somme des chiffres des unités).

Pour calculer, avec la e-pascaline, la somme $a+b$, par exemple $17+14$, deux procédures sont possibles en CP (par itération et par décomposition) et l'objectif du travail avec ce cahier est d'introduire la procédure par décomposition.

La procédure d'addition par itération : le nombre a (17) est inscrit sur la e-pascaline, le nombre b (14) est additionné par itération de b (14) clics sur la roue unité.

La procédure d'addition par décomposition : le nombre a (17) est inscrit sur la pascaline, le chiffre des unités du nombre b ($u_b=4$) est additionné par itération de u_b (4) clics sur la roue unité, le chiffre des dizaines du nombre b ($d_b=1$) est additionné par itération de d_b (1) clic sur la roue des dizaines. Dans les deux cas, la somme $a+b$ (31) se lit sur la e-pascaline.

Sur la page 1, la somme est au maximum égale à 30. Les deux procédures d'addition par itération et par décomposition sont possibles. L'élève doit effectuer le calcul sur la e-pascaline avant de l'inscrire dans la zone réponse pour obtenir un smiley jaune souriant.

Sur la page 2, la somme est au maximum égale à 30. L'élève n'est plus obligé d'utiliser la e-pascaline pour effectuer son calcul, donner le résultat et obtenir le smiley souriant. S'il utilise la e-pascaline, le nombre de clics sur la roue unité est limité. Ce nombre est au maximum égal à la somme des chiffres des unités de chaque terme. Par exemple, pour la somme $17+14$, il pourra faire un maximum de $7+4 = 11$ clics sur la roue unité. Au 11e clic, la flèche d'addition sera masquée. Cela incite l'élève à passer de la procédure par itération à la procédure par décomposition.

Sur la page 3, la somme est au maximum égale à 69.

Figure 22. Page de commentaire pour l'enseignant dans le cahier « Additionner avec la e-pascaline ». A propos de la page 2, il est mentionné « s'il utilise la e-pascaline, le nombre de clics sur la roue unité est limité. Ce nombre est au maximum égal à la somme des chiffres des unités de chaque terme... Cela incite l'élève à passer de la procédure par itération à la procédure par décomposition ».

Par exemple, Stina et Nelly ont repris le travail avec leurs élèves et leur ont soumis un nouveau problème qui consiste à expliquer pourquoi le cahier a stoppé leurs calculs : « *nous allons chercher pourquoi nous sommes stoppés* » (Stina à ses élèves, étape 2). Les élèves ont formulé plusieurs explications au cours d'une discussion collective. Les propositions des élèves ont été notées au tableau (Figure 23), parmi lesquelles, à propos du calcul $23 + 41$:

- on ne peut pas faire tourner plus qu'une fois la roue des unités ;
- on a trop fait tourner la roue ;
- on dépassait les vingtaines ou les dizaines.

Les élèves de Stina ont bien perçu la contrainte apportée par l'environnement. Mais ils n'ont pas trouvé par eux-mêmes le moyen de la dépasser. C'est l'enseignante qui leur a présenté les deux procédures, par itération et par décomposition, pour montrer que même si la flèche disparaît, il est possible de terminer correctement le calcul.

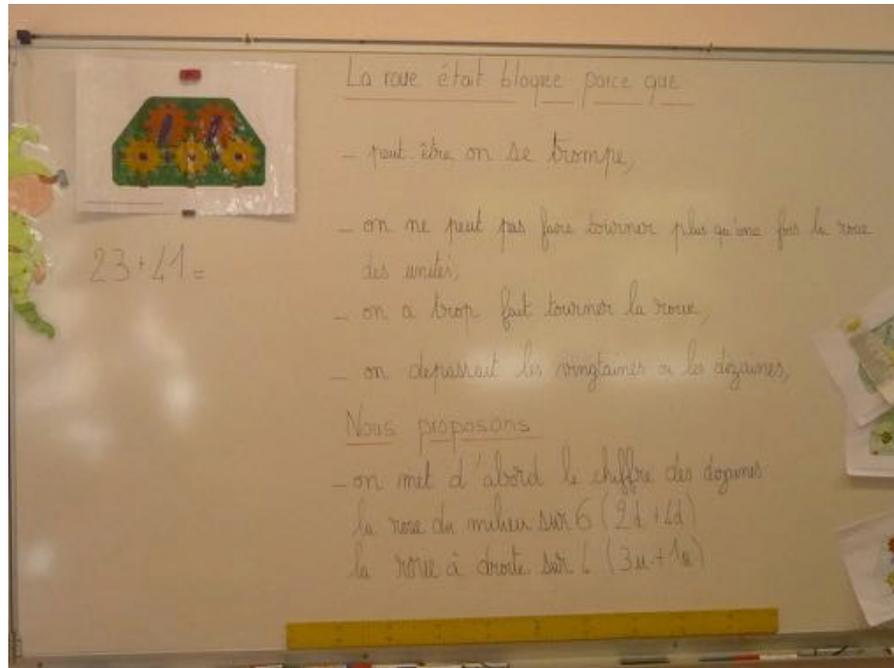


Figure 23. Tableau de la classe de Stina avec les explications proposées par les élèves pour au fait que la flèche d'addition d'une unité disparaisse.

Une autre enseignante, Cléo, a étudié l'intérêt d'un tel fonctionnement de la e-pascaline. En particulier, elle s'est posée la question de sa pertinence quand le second terme de l'addition est inférieur à 10. « *Du coup, je me posais la question, est-ce que l'élève aura bien compris que, ben oui c'était 8 fois qu'il fallait tourner la roue des unités, ou bien est-ce qu'il a compris « oh ben la flèche violette vient de disparaître, il faut que je m'arrête » ? Je ne sais pas si j'ai été bien claire.* » (Cléo, étape 3). Le problème qu'elle soulève est que, dans ce cas, on ne peut pas savoir si l'élève s'arrête car il considère qu'il a terminé le calcul ou s'il s'arrête parce qu'il est contraint par la machine alors qu'il souhaiterait poursuivre. Les deux cas n'ont pas la même signification relativement aux apprentissages en cours.

Le cas présenté par Cléo, c'est à dire celui d'un calcul dans lequel le second terme est inférieur à 10, pose question en effet. Ce calcul peut être proposé par le système car l'addition est générée aléatoirement dans un champ numérique qui n'exclue pas que le second terme soit inférieur à 10. L'analyse qui sous-tend la question de Cléo révèle une prise en compte didactique des contraintes de la e-pascaline. Elle est significative d'une appropriation approfondie des cahiers par cette enseignante, bien que cette analyse n'ait pu être réalisée qu'à partir d'un usage avec les élèves. « *Ouais parce que du coup, je ne sais pas si l'élève en question a trouvé le résultat parce que oui, il a bien tourné le bon nombre de fois la roue des unités, ou c'est parce que il est allé, il a tourné la roue des unités jusqu'à ce que la flèche disparaisse et heu, et c'est un peu...* » (Cléo, étape 3).

Il faut cependant préciser que l’affichage ou le masquage des flèches d’action sur les roues n’est pas un fonctionnement particulier, propre à ce cahier. C’est un moyen utilisé dans tous les cahiers e-pascaline afin d’empêcher tout calcul dont le résultat serait en dehors de l’intervalle de fonctionnement valide de la e-pascaline [0 ;999]. Par exemple, quand la e-pascaline affiche 000, l’utilisateur ne peut pas soustraire une unité, une dizaine ou une centaine car le résultat serait en dehors de l’intervalle [0 ;999]. Les enseignants et leurs élèves ont facilement remarqué ce fonctionnement lors de leur découverte de la e-pascaline : « *Au premier clic, il y en a qui ont réagit, ils ont dit oui mais il y a une flèche qui vient dans l’autre sens. Ils m’ont dit : la flèche là commence à 1, à 0 elle disparaît* » (July, étape 2). Donc, en ayant rencontré ce phénomène auparavant, la disparition de la flèche dans le cahier addition aurait pu ne pas être une telle surprise pour les enseignantes et leurs élèves.

5. Résultats concernant l’étude en terme d’utilité, d’utilisabilité et d’acceptabilité

Nous avons interrogé les enseignants avant la fin de l’expérimentation en leur demandant de nous présenter deux aspects positifs de l’expérimentation et deux aspects négatifs. Leurs réponses à ces deux questions ont été regroupées en quatre thèmes. Les deux premiers concernent plutôt l’activité des élèves : les notions mathématiques et le processus d’apprentissage. Les deux autres concernent l’activité de l’enseignant : leur travail avec les élèves et leur travail avec la mallette. Les réponses positives et négatives selon les quatre thèmes ont été présentées lors du séminaire final, à l’aide d’un diaporama reproduit en annexe (diapositives 5 à 11, annexe 2, page 59).

Au cours de cette séance du séminaire final, l’analyse des réponses obtenues en terme d’utilité, utilisabilité et acceptabilité a été conduite avec l’aide des participants.

Il apparaît que l’appréciation des enseignants de l’utilité, l’utilisabilité et l’acceptabilité de la mallette résulte pour partie de leur perception de l’appréciation des élèves. Principalement, si le duo d’artefacts pascaline et e-pascaline et la mallette leur semblent utiles pour les élèves, alors ils le sont également pour eux. Néanmoins, leur appréciation résulte également d’éléments propres à leur activité d’enseignant, plus indépendamment de leur interaction avec les élèves, en particulier lors de la préparation de la classe.

Pour l’analyse ergonomique de la mallette en terme d’utilité, d’utilisabilité et d’acceptabilité, nous avons eu également besoin de séparer quatre entités technologiques distinctes au sein de la mallette : la pascaline, la e-pascaline et les cahiers d’activité, le duo d’artefacts et enfin les deux sites web mis à disposition des enseignants.

Nous détaillons d’abord l’utilité, l’utilisabilité et l’acceptabilité de chaque artefact et du duo. Puis nous présentons plus rapidement l’utilité, l’utilisabilité et l’acceptabilité de la mallette incluant les sites web.

Utilité

Les enseignants identifient des aspects positifs relatifs à l’utilité de la pascaline, celle des cahiers informatisés et celle du duo. Cependant, il n’est pas toujours possible d’isoler ce qui concerne la pascaline de ce qui est propre aux cahiers ou au duo. Ainsi, lorsque l’appréciation n’est pas précisément formulée à propos de l’une des composantes de la

mallette, nous faisons porter l'appréciation sur la mallette. Sinon, nous précisons quelle est l'entité concernée.

L'utilité de la mallette est très fortement liée aux contenus mathématiques qu'elle permet aux élèves d'apprendre et aux caractéristiques du processus d'apprentissage qu'elle met en œuvre. Ainsi, les enseignants déclarent que la mallette :

- fournit une approche complémentaire des nombres, des unités et des dizaines, des compléments à dix ou cent, pas seulement avec la bande numérique ;
- offre un nouveau moyen de visualisation ;
- permet différentes procédures et le choix des procédures économiques ;
- confronte les élèves à des situations de recherche et à de vrais problèmes mathématiques.

Ils trouvent que les cahiers d'activités informatisés sont utiles pour :

- l'autonomie des élèves et la différenciation ;
- l'entraînement et l'évaluation ;
- pour aider les élèves.

Ils ont aussi identifié la complémentarité entre les deux composants du duo, comme en attestent leurs réponses au questionnaire sur les aspects positifs : « *les cahiers e-pascaline qui sont vraiment complémentaires et qui servent d'entraînement et d'évaluation pour voir si la notion était acquise* » (Rose) ; « *en lien avec l'informatique (e-pascaline)* » (Cléo) ; « *le fait d'utiliser la e-pascaline en complément de la pascaline permet de réinvestir ce qui a été étudié de manière différente de ce dont ils ont l'habitude* » (Stina) ; « *et surtout de se poser des problèmes qui, pour eux [les élèves], en passant par la pascaline et la e-pascaline, étaient beaucoup plus ludiques* » (Nelly).

Les enseignantes soulèvent également des points négatifs en ce qui concerne l'utilité de la pascaline.

En particulier, elle n'aide pas vraiment les élèves en difficulté : « *la pascaline n'aide pas les enfants en grande difficulté qui n'ont pas construit la notion de nombres* » (Iris). Cette déclaration à propos de l'usage inefficace de la pascaline avec des enfants n'ayant pas construit la notion de nombre porte en elle même l'explication. La pascaline travaille la numération décimale, un code particulier pour le nombre. En ce sens, elle participe à la conceptualisation du nombre à travers différents systèmes sémiotiques. Mais elle ne prend pas en charge la conceptualisation du nombre en tant que mesure d'une quantité. Elle laisse donc l'enseignant démuni lorsqu'il s'agit de travailler les premières approches du nombre, qui ne reposent pas sur la numération décimale.

Par ailleurs, l'aspect ludique et jouet de la pascaline empêche certains élèves de s'engager dans la situation mathématique. En fait, la dimension jeu de la pascaline est perçue à la fois comme positive et négative : « *matériel très agréable à utiliser, pas besoin de les forcer à se mettre au travail* » (Lilas) « *Point négatif : [les élèves en difficulté] ont des difficultés à comprendre son fonctionnement et y trouvent plus un instrument comme jeu que comme instrument de mathématiques.* » (Iris).

A propos des cahiers, l'appréciation de l'utilité est positive : « *chaque élève peut avancer à son rythme* » (Lilas à propos des cahiers) ; « *Les cahiers e-pascaline qui sont vraiment complémentaires et qui servent d'entraînement et d'évaluation pour voir si la notion était acquise* » (Iris) ; « *les cahiers informatisés sont très adaptés aux compétences à atteindre* »

avec nos élèves. Les maths deviennent plus ludiques avec cette approche informatisée. » (réponse d'une enseignante du projet Mallette ne faisant pas partie des huit expérimentatrices mais qui a également répondu au questionnaire). Cependant, certains cahiers informatisés sont considérés comme trop difficiles pour le niveau CP (minimum de clics).

Certains enseignants identifient néanmoins des éléments qui nuisent à leur utilité. Ils ont en particulier discuté le fait que les élèves puissent recharger un nouveau problème sans avoir résolu le précédent. Par exemple, les élèves peuvent demander un nouveau couple de nombres à additionner sans avoir calculé l'addition précédemment affichée. Les enseignants ont émis deux points de vue opposés à ce sujet. D'une part, ils ont trouvé ce fonctionnement positif car il permet à chaque élève de choisir un problème adapté à son niveau d'expertise, ce qui renvoie à une prise de conscience par l'élève de ce qu'il sait faire et ce qu'il ne sait pas encore faire. D'autre part, cela pèse négativement du point de vue de l'apprentissage car cela peut donner l'opportunité aux élèves d'éviter les problèmes que l'enseignant veut leur soumettre. En conclusion, l'enseignant doit gérer l'équilibre entre les deux usages possibles par les élèves, ce qui requiert de sa part une attention particulière dont il voudrait être déchargé en utilisant la technologie. Plusieurs évolutions des cahiers peuvent être envisagées pour aider l'enseignant dans cette tâche. L'une d'entre elles est de conserver une trace de chaque problème soumis à l'élève et d'indiquer s'il a été résolu ou pas.

Utilisabilité

De même que pour l'utilité, l'utilisabilité pour l'enseignant résulte en premier lieu de celle pour l'élève. Les enseignants ont noté la facilité avec laquelle les élèves s'engagent dans le travail et s'approprient la pascaline : *« matériel très agréable à utiliser pour les élèves, pas besoin de les forcer à ce mettre au travail »* (Lilas, bilan final) ; *« La pascaline est un outil très intéressant, motivant et nouveau que les élèves se sont appropriés facilement »* (Stina, bilan final). La pascaline est donc utilisable facilement.

Les élèves ont rencontré un problème lors de l'utilisation des cahiers, qui pénalise son utilisabilité. Certains élèves ont eu des difficultés pour cliquer sur les flèches d'action des roues. Cela est dû à la nature informatique du fichier image qui suit exactement le contour de la flèche incurvée et contient donc une zone non cliquable en son centre. Ce défaut peut aisément être corrigé.

Pour les enseignants également, certaines fonctionnalités absentes des cahiers ont diminué l'utilisabilité au moment de leur usage avec les élèves :

- absence d'une zone de saisie du nom de l'élève. Avec une zone de saisie du nom, si l'élève inscrit effectivement son nom, l'enseignant peut savoir quel élève a réalisé les activités d'un cahier, indépendamment du fait que le nom du fichier informatique donne également cette information ;
- absence d'un bouton de réinitialisation du cahier accessible lors que le cahier est ouvert. Dans l'état actuel de développement des cahiers, l'enseignant doit fermer le fichier informatique et le rouvrir pour avoir le choix de le réinitialiser au pas. Cela prend quelques secondes qui s'avèrent difficiles à gérer lors du passage successif de plusieurs élèves sur le même cahier fonctionnant sur le même ordinateur.

Chacune de ces difficultés peut aisément disparaître grâce à une modification des cahiers. Ainsi, l'expérimentation a joué le rôle de révélateur des améliorations à réaliser pour les versions ultérieures des cahiers d'activité.

Les enseignants ont également identifié des caractéristiques de l'utilisabilité du duo pour leur propre activité d'enseignant. En positif, ils ont trouvé le duo d'artefacts utilisable parce que :

- il est compatible avec n'importe quelle méthode et tous les manuels ;
- il rend possible la gestion des rythmes différents des élèves, en particulier par l'utilisation possible de différents cahiers simultanément : « *en effet j'ai eu des élèves qui étaient sur différents cahiers e-pascaline et c'est facile à gérer* » (Lilas).

Mais ils ont également mentionné des inconvénients relatifs à l'utilisabilité.

Le premier est le temps consacré aux séances avec les élèves. Les enseignantes ont réalisé jusqu'à 15 leçons pour une durée d'environ 9 heures de travail élève. Rose a déclaré que cela lui avait demandé beaucoup de temps.

L'autre difficulté principale est relative à la gestion de l'outil informatique. Les enseignantes doivent gérer :

- les fichiers élèves, soit en les préparant à l'avance : une copie du fichier est préparée pour chaque élève puis installée sur les postes et au moment du travail chaque élève doit bien prendre soin d'ouvrir le fichier à son nom. Dans ce cas, en l'absence de réseau, il faut choisir si tous les fichiers élèves seront installés sur chaque machine, ce qui pose le problème de savoir ensuite quel fichier de quelle machine a été utilisé par un élève donné ou alors un fichier est installé sur une seule machine et un appariement élève-machine doit être géré par l'enseignant au moment de l'activité. Dans le cas où les fichiers ne sont pas préparés à l'avance au nom de chaque élève, c'est l'élève qui doit générer une copie du fichier et la nommer correctement au moment du travail, ce qui n'est pas immédiat pour les élèves de CP.
- la qualité et le fonctionnement de l'équipement informatique : certains ordinateurs lancent une mise à jour au moment du travail des élèves ou n'ont plus suffisamment de charge ou encore sont trop lents
- la taille des salles informatiques : certaines salles ne sont pas suffisamment grandes pour permettre d'asseoir chaque élève (voir page 35 comment Cléo résout ce problème).

Enfin, il est également apparu difficile pour les enseignants de s'assurer que chaque élève a eu l'occasion de manipuler personnellement la pascaline et de réaliser les tâches des cahiers par lui-même. Elles expriment le besoin d'une vue globale de la réalisation des différentes tâches des pages successives d'un cahier par un élève sans devoir rouvrir chaque cahier de chaque élève, un par un.

Les résultats sur l'utilisabilité ne concernent pas spécifiquement le duo. L'utilisabilité d'un des artefacts du duo n'augmente pas l'utilisabilité de l'autre, ce qui n'est pas le cas avec l'utilité ou l'acceptabilité.

Acceptabilité

Les enseignants ont évalué positivement l'acceptabilité du duo d'artefacts, principalement car il s'adapte bien aux demandes institutionnelles. Ils ont déclaré que :

- le duo est utilisable tout au long de l'année, pas seulement pour une partie restreinte du programme ;
- le duo d'artefacts complète la progression à propos de la valeur positionnelle des chiffres et la dizaine ;
- les cahiers sont adaptés aux compétences que les élèves doivent acquérir en CP et au cycle 2 ;
- le duo d'artefacts répond à l'exigence d'utilisation de la technologie en classe.

L'argument principal est donc l'intégration facile du duo d'artefacts dans une progression de classe conforme aux attentes institutionnelles en terme de programme à la fois pour les mathématiques et pour la technologie.

Utilité, utilisabilité et acceptabilité de la mallette et des sites web

L'analyse en termes d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité concerne également la mallette complète au sens de l'ensemble des ressources proposées, pascaline, cahiers informatisés et les deux sites web. Les ressources ont été considérées comme utiles pour découvrir et se familiariser avec le duo d'artefacts ainsi que pour être incité et guidé à l'utilisation de la technologie, même par des enseignants déclarant avoir une expertise limitée : « *Cela nous a permis et incité de manière assez simple et guidée d'utiliser l'outil informatique ce qui était assez rare dans nos classes de CP sachant que l'on ne maîtrisait pas trop celui-ci* » (Nelly, réponse au questionnaire). Mais l'utilisabilité des contenus de la mallette a été réduite par la dispersion des informations sur les différents sites web structurés de façon inadéquate. Le temps de préparation est également un indicateur de l'utilisabilité. Les trois enseignantes qui ont indiqué les temps de préparation ont passé environ 7 h à préparer les leçons (respectivement 5 h 20 min, 7 h 15 min et 9 h 10 min). Ce temps doit être ajouté au temps passé lors du séminaire de lancement, dont environ 4 h ont été dédiées au contenu de la mallette et à l'initiation à l'utilisation de la pascaline et la e-pascaline.

Plus précisément l'utilité des sites web est attestée par les usages des enseignants plus que par leurs déclarations. Le site Plan sciences, présentant la suite de séances de classe est utilisé de façon répétée. On peut donc faire l'hypothèse que ces enseignantes le trouve utile. Cela recoupe leurs déclarations lors des interviews (voir 1. Le rôle clef du scénario pédagogique, page 33). Le site du prototype sur EducMath est peu utilisé, sauf par Mia absente lors de la séance d'initiation.

A propos de leur expérience de l'usage de la mallette et de son transfert possible à d'autres enseignants, les enseignants ont précisé que, afin de pouvoir utiliser le duo d'artefacts, en plus des sites web de la mallette, les futurs utilisateurs auront besoin d'un accompagnement analogue à celui dont eux-mêmes ont pu bénéficier dans le cadre de la présente expérimentation, notamment au moment du séminaire de lancement.

6. Conclusion

Appropriation du duo d'artefacts et de la mallette par les enseignants

A l'issue de cette expérimentation, la mallette apparaît comme un ensemble complexe de ressources. Cependant, la question est de savoir si, malgré la complexité, la proposition de la mallette permet de soutenir le processus d'appropriation du duo d'artefacts par les enseignants, ce processus étant défini en terme de genèses à la fois instrumentales et documentaires. Les développements de ces deux genèses, bien que distincts, sont liés. La genèse instrumentale correspond à la possibilité que développe l'enseignant d'utiliser le duo d'artefacts et chacune de ses composantes, composante matérielle avec la pascaline et composante logicielle avec la e-pascaline et les cahiers d'activité informatisés. La genèse documentaire correspond à la possibilité pour l'enseignant d'organiser et d'implémenter un enseignement avec ses élèves à partir de l'ensemble des ressources disponibles, dont fait parti le duo d'artefacts. Soutenir l'appropriation de la mallette par les enseignants c'est accompagner ces deux processus, tout en étant conscient de leurs différences.

La mallette offre-t-elle des ressources suffisantes pour démarrer et accompagner les genèses instrumentales et documentaires des enseignants ?

Les observations réalisées au cours de cette expérimentation apportent deux arguments pour répondre positivement à cette question.

Le premier argument est lié à l'utilisation du site EducMath en lien avec la genèse instrumentale. Ce site est consulté au début de l'expérimentation, avant les interventions en classe. Le cas de Mia, absente lors du séminaire de lancement, illustre bien le rôle joué par ce site web. Il soutient partiellement le processus de genèse instrumentale relatif à la pascaline, même si cela n'a lieu qu'à partir de la e-pascaline et des cahiers. Mais cela révèle également l'importance de la manipulation de la pascaline physique, dans le contexte de tâches finalisées, comme cela a été fait lors du séminaire de lancement. Le fait que les enseignantes n'aient pas fréquemment consulté le site EducMath, alors que nous avons pu observer une utilisation effective du duo d'artefacts en classe (pascaline et e-pascaline) peut signifier que le séminaire de lancement a fourni suffisamment d'éléments pour initier la genèse instrumentale. De plus, la mallette est considérée par les enseignants comme étant très utile pour commencer à utiliser le duo d'artefacts. Mais au delà de l'initiation, le site ne semble pas aussi utile.

Le second argument fait appel à la genèse documentaire. Le site web « plan sciences en Côte d'Or » offre aux enseignants les ressources dont ils ont besoin pour leurs séances d'enseignement et tirer parti des apports du duo d'artefacts en CP. L'analyse ergonomique a montré que l'utilisabilité de la mallette dépend de l'organisation de ces ressources, notamment de leur présentation selon une chronologie analogue à un déroulement en classe. La genèse documentaire des enseignants s'est développée d'autant mieux et facilement que les ressources présentées sur le plan science étaient organisées selon un déroulement temporel en classe, qui a permis à chaque enseignant de se projeter dans une progression et des activités de classe.

Cependant, le site plan sciences, nécessaire à la genèse documentaire ne suffit pas à la genèse instrumentale. Et réciproquement, le site EducMath nécessaire à la genèse instrumentale est insuffisant pour impulser le développement d'une genèse documentaire. Ainsi, la distribution des informations sur les deux sites, résultant de

l'histoire des projets de recherche ayant conduit à la mallette, introduit une complexité préjudiciable.

L'approche ergonomique a également produit des éléments importants pour cerner l'appropriation de la mallette par les enseignants, en particulier celle du duo d'artefacts. Pour les enseignants, utiliser la mallette passe par différents type de savoirs : savoir utiliser les deux types d'artefacts ainsi que savoir comment faire pour les utiliser en classe, savoir qu'il est légitime de les utiliser en classe et enfin savoir que c'est utile pour les apprentissages mathématiques de leurs élèves. L'utilité de la mallette a été évaluée positivement selon tous ces points de vue. Cependant, elle peut être améliorée par l'adjonction de situations manquantes dans le prototype. Les créations de situations par les enseignants sont une base à partir de laquelle ces situations peuvent être développées. De plus, si les enseignants évaluent positivement l'utilité du duo d'artefacts pour leurs élèves, des recherches supplémentaires sont encore nécessaires pour valider de tels résultats.

La mallette favorise-t-elle l'introduction de la technologie en classe ?

L'analyse ergonomique a montré que le duo d'artefacts est considéré par les enseignants comme étant pertinent pour enseigner les nombres et la numération en CP. Ils ont bien identifié la complémentarité entre les deux artefacts du duo et donc reconnu le rôle de la partie technologique. Le duo, incluant la technologie, est déclaré utile pour enseigner les mathématiques, notamment pour le travail de la dizaine en numération et la résolution de problèmes. D'après les enseignants, l'acceptabilité du duo est liée au fait qu'il permet d'utiliser la technologie en classe avec les élèves, ce qui est requis par l'institution scolaire. C'est à propos de l'utilisabilité du duo d'artefacts, qu'une distinction entre les deux composantes est identifiée. Peu d'inconvénients dans l'usage de la pascaline ont été formulés. En revanche, la e-pascaline et les cahiers d'activité présentaient quelques difficultés d'utilisation et ont suscité des demandes d'évolution. La e-pascaline et les cahiers pouvant être modifiés, une liste d'améliorations a été produite à partir des observations et des demandes des enseignants. Ces modifications à réaliser concernent à la fois la partie informatisée du duo ainsi que les ressources de la mallette.

Lors de l'introduction de la technologie en classe, les enseignants ont eu à résoudre des problèmes d'orchestration instrumentale, c'est à dire de gestion de l'accès et l'utilisation des différents éléments de la mallette par les élèves au cours de la progression du scénario. Tout d'abord, les cahiers d'activité informatisés (e-book) inclus dans le scénario ont été effectivement utilisés. Même si cela résulte d'un accord implicite entre les enseignants, les chercheurs et l'institution, nous aurions pu observer l'utilisation de la pascaline uniquement et la non utilisation des cahiers informatisés. De plus, les enseignants se sont organisés de façons très variées. Ils ont créé diverses configurations didactiques, adaptées à leur contexte, révélatrice de leur créativité pour permettre à leurs élèves d'accéder aux cahiers avec ou sans la pascaline matérielle. En ce qui concerne les vidéos projecteurs et les TBI, certains enseignants n'y ont pas eu recours spontanément, même si cela était requis par la méthodologie didactique du scénario pédagogique qui implique de nombreuses phases de mise en commun pour la discussion collective des procédures. Ces phases sont facilitées par la projection de la e-pascaline. Au cours de l'expérimentation, nous avons noté des évolutions dans l'organisation de ces phases collectives de discussion, notamment avec le recours à une souris wifi permettant à chaque élève de manipuler lui même la e-pascaline projetée. D'après Drijvers, il s'agit là

d'une autre fonctionnalité attribuée à la technologie qui est d'être un environnement pour l'apprentissage.

La mallette offre-t-elle aux enseignants les moyens d'utiliser la technologie pour que leurs élèves apprennent les mathématiques ?

Une fois que les enseignants utilisent la technologie en classe avec leurs élèves, en quoi la mallette favorise-t-elle spécifiquement l'apprentissage des mathématiques ? L'épisode de la flèche qui disparaît est intéressant à ce sujet pour deux raisons. Il rend compte d'une exploration partielle du cahier informatisé par les enseignants, n'en permettant qu'une appropriation succincte, mais suffisante pour l'utiliser avec les élèves (question précédente). Il révèle aussi que la technologie est d'abord utilisée par les enseignants comme un moyen de faire des mathématiques. En effet, il faut d'abord que la e-pascaline permette de faire les calculs, qu'elle soit perçue comme un outil pour ces calculs, avant qu'elle puisse être considérée par les enseignants comme un moyen de faire apprendre. Avec cet unique objectif initial de faire des calculs, la disparition de la flèche est considérée comme un bug. Les enseignants ont eu besoin de l'intervention des expérimentateurs pour pouvoir analyser le comportement du cahier en lien avec une intention didactique et sa fonction d'environnement pour l'apprentissage. Une fois que les choix de fonctionnement de la e-pascaline en terme de variable didactique (la flèche disparaît pour amener l'élève à utiliser une autre procédure) ont pu être identifiés par les enseignants, ces derniers ont transformé l'épisode déstabilisant en opportunité d'apprentissage : « *on va essayer de comprendre pourquoi la flèche disparaît* » propose Stina à ses élèves. Ils ont alors utilisé l'environnement comme un moyen de poser aux élèves un nouveau problème à résoudre. Il y a là un exemple de la troisième fonctionnalité de la technologie qui est de provoquer le changement conceptuel tant pour l'élève (la disparition de la flèche l'oblige à changer de procédure et de point de vue sur le nombre) que pour l'enseignant (la technologie n'est pas seulement un outil pour faire des mathématiques mais aussi un moyen de poser des problèmes et de faire apprendre).

La création de nouvelles activités est un autre point essentiel de la genèse documentaire. Elle révèle la façon dont les enseignants sélectionnent et transforment les ressources de manière à élaborer leur propre document pour l'enseignement. Au cours de cette expérimentation, les enseignants ont produit de nombreuses ressources et tâches pour leurs classes. Même si ces tâches font principalement usage de la pascaline, elles concernent également la e-pascaline, comme dans le cas de Stina.

Ces résultats très positifs à propos de l'appropriation de la mallette par les enseignants doivent cependant être nuancés. En effet, ils sont aussi la conséquence de la méthodologie mise en place pour l'expérimentation. Les enseignants étaient volontaires et ont été recrutés spécialement pour utiliser le duo d'artefacts. Il y avait donc un accord initial d'utilisation, qui n'a pas été remis en cause dans le cadre de l'expérimentation. Les enseignants ont plutôt cherché des arguments positifs qui ne remettent pas en cause l'intérêt de leur propre implication dans l'expérimentation. En conséquence, l'accord général sur l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de la mallette n'a pas été réellement débattu et les conditions pour observer des genèses instrumentales et documentaires étaient rassemblées. Cela constitue un biais de notre étude, essentiellement lié au volontariat des enseignants.

Références bibliographiques

- Assude, T., Grugeon, B., Laborde, C., & Soury-Lavergne, S. (2006). Study of a teacher professional problem: how to take into account the instrumental dimension when using Cabri-geometry? In C. Hoyles, J.-B. Lagrange, S. Le Hung, & N. Sinclair (Eds.), *Proceedings of ICMI Study 17 Technology revisited* (Vol. 2, pp. 317–333). Hanoi Vietnam. Retrieved from http://www.mathunion.org/fileadmin/ICMI/files/Digital_Library/icmi-study-17/ICMI17proceedingsPart2.pdf
- Bara, F., Gentaz, E., & Colé, P. (2008). Littératie précoce et apprentissage de la lecture : Comparaison entre des enfants à risque, scolarisés en France dans des réseaux d'éducation prioritaire et des enfants de classes régulières. *Revue Des Sciences De l'Education*, 34(1), 27–45.
- Charnay, R., Douaire, J., Valentin, D., Guillaume, J.-C., & Colomb, J. (2005). *Apprentissages numériques et résolution de problèmes cycle 2*. Hatier.
- Clark-Wilson, A., Robutti, O., & Sinclair, N. (Eds.). (2014). *The Mathematics Teacher in the Digital Era* (Vol. 2). Springer.
- Drijvers, P. (2012). Digital Technology in Mathematics Education: Why it Works (or doesn't). Presented at the 12th ICME, Seoul, Korea. Retrieved from http://www.icme12.org/upload/submission/2017_f.pdf
- Edwards, L., Radford, L., & Arzarello, F. (Eds.). (2009). Gestures and multimodality in the construction of mathematical meaning. *Educational Studies in Mathematics*, 70(2).
- Gueudet, G., & Trouche, L. (2012). Teachers' Work with Resources: Documentational Geneses and Professional Geneses. In G. Gueudet & L. Trouche (Eds.), *From Text to "Lived" Resources, Mathematics Teacher Education* (Vol. 7, pp. 23–41). Springer.
- Haspekian, M. (2011). The co - construction of a mathematical and a didactical instrument. Presented at the seventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 7), Rzeszow, Poland.
- Hermans, R., Tondeur, J., van Braak, J., & Valcke, M. (2008). The impact of primary school teachers' educational beliefs on the classroom use of computers. *Computers & Education* 51 (2008), 51, 1499–1509. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.02.001>
- Kalenine, S., Pinet, L., & Gentaz, E. (2011). The visuo-haptic and haptic exploration of geometrical shapes increases their recognition in preschoolers. *International Journal of Behavioral Development*, 35, 18–26.
- Mackrell, K., Maschietto, M., & Soury-Lavergne, S. (2013a). The interaction between task design and technology design in creating tasks with Cabri Elem. In C. Margolinas (Ed.), *ICMI Study 22 Task Design in Mathematics Education* (pp. 81–90). Oxford, Royaume-Uni.
- Mackrell, K., Maschietto, M., & Soury-Lavergne, S. (2013b). Theory of didactical situations and instrumental genesis in a cabri elem book. In *Proceedings of CERME 8* (pp. 2654–2663). Antalya, Turquie.
- Maschietto, M., & Soury-Lavergne, S. (2013). Designing a duo of material and digital artifacts: the pascaline and Cabri Elem e-books in primary school mathematics. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education*, 45(7), 959–971. <http://doi.org/10.1007/s11858-013-0533-3>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes & les technologies : approche cognitive des instruments*

contemporains. Paris France: Armand Colin.

Ravenstein, J., & Ladage, C. (2014). Ordinateurs et Internet à l'école élémentaire française. *Education & Didactique*, 8(3), 9–21.

Soury-Lavergne, S., & Maschietto, M. (2013). A la découverte de la « pascaline » pour l'apprentissage de la numération décimale. In C. Ouvrier-Bufferet (Ed.), *XXXIXe colloque de la COPIRELEM Faire des mathématiques à l'école : de la formation des enseignants à l'activité de l'élève*. Quimper, France.

Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G., & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité. Interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In *Proceedings of EIAH* (pp. 391–402). Strasbourg, France.

Trigueros, M., Lozano, M.-D., & Sandoval, I. (2014). Intergrating Technology in the Primary School Mathematics Classroom: The Role of the Teacher. In A. Clark-Wilson, O. Robutti, & N. Sinclair (Eds.), *The Mathematics Teacher in the Digital Era* (Vol. 2, pp. 111–138). Springer.

Trouche, L. (2004). Managing complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding student's command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9(3), 281–307.

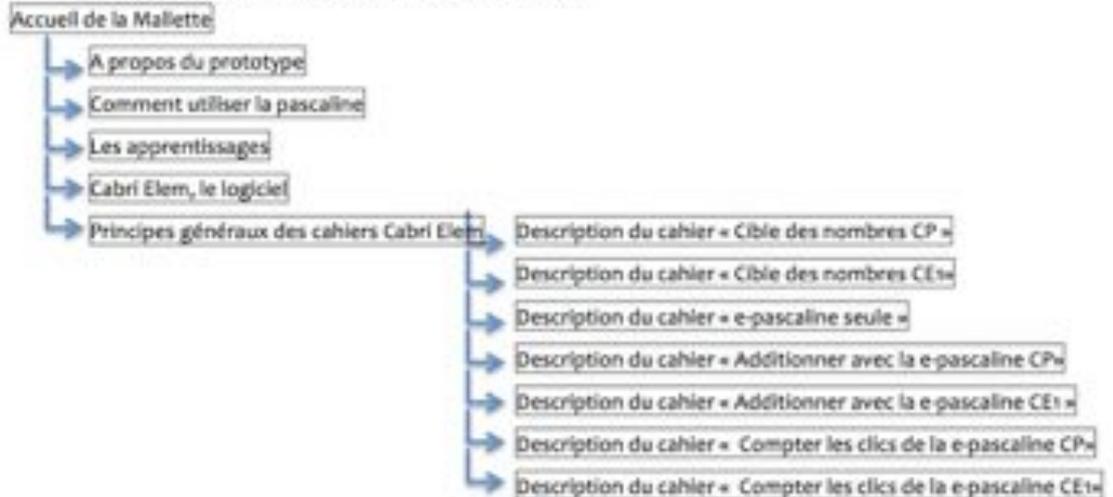
Annexes

Annexe 1. Fiche « ressources consultées »

Fiche « ressources consultées » date de remplissage : _____

Entourer ou surligner les ressources consultées

Les pages du site « prototype » sur EducMath

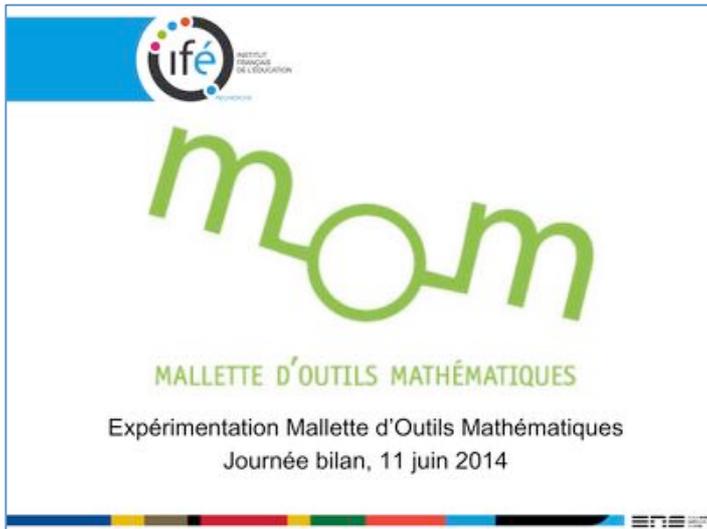


Les vidéos du site « prototype » sur EducMath

- Vidéo live (38s) sur « changement de dizaine » par deux enfants
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-04-11_pascaline_passage_dizaine.webm
- Vidéo tutorielle (2min 24s) sur le cahier « Cible des nombres CP »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-24_cible_des_nombres_CP.webm
- Vidéo tutorielle (1min 52s) sur le cahier « e-pascaline seule »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-09_presentation_e-pascaline_seule.webm
- Vidéo tutorielle (2min 9s) sur le cahier « Les nombres avec la e-pascaline »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-10_e-pascaline_ecrire-nb.webm
- Vidéo tutorielle (3min 35s) sur le cahier « Additionner avec la e-pascaline »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-27_e-pascaline_addition_CE1.webm
- Vidéo tutorielle (2min 53s) sur le cahier « Compter les clics de la e-pascaline CE1 »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-27_e-pascaline_minimum_de_clic_CE1.webm
- Vidéo tutorielle (1min 38s) sur la configuration du choix des nombres cibles du cahier « Compter les clics de la e-pascaline CE1 »
http://educmath.ens-lyon.fr/videos/mallette/2013-10-27_e-pascaline_minimum_de_clic_CE1_parametrisation.webm

Autres ressources consultées

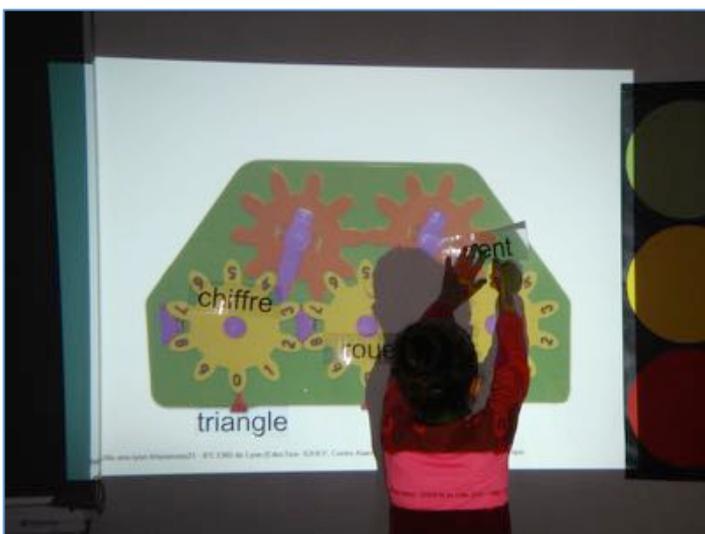
Annexe 2. Diaporama bilan utilisé lors du séminaire final du 11 juin 2014



diapo 1



diapo 2



diapo 3

Utilité, utilisabilité, acceptabilité

A. Tricot et al. 2003

- Utilité : la MOM est-elle utile, c'est-à-dire permet-elle à l'enseignant de remplir son rôle et de faire en sorte que les élèves apprennent (la numération décimale de position, la dizaine...)?
- Utilisabilité : la MOM est-elle utilisable par un enseignant, sans perdre trop de temps, sans erreur et dysfonctionnement, compatible avec les équipements des écoles?
- Acceptabilité : la MOM est-elle cohérente avec les attentes de l'institution scolaire, les contraintes et la culture du système scolaire, les valeurs de l'enseignant, sa représentation de son rôle pour faire apprendre les mathématiques?



diapo 4

1

Points positifs pour les élèves Les notions mathématiques

- Ancrer différemment les notions difficiles unités et dizaines, pas seulement la bande numérique
- Visualisation de la notion mathématique, passage à la dizaine lorsque la roue du milieu se met à tourner,
- Compléments à 10, à 100 à 1000
- Nouveau matériel de numération, utilisable tout au long de l'année
- Aborder de façon ludique le calcul
- Différentes procédures possibles et choisir les procédures économiques
- Se poser des problèmes, des situations problèmes, des situations de recherche



diapo 5

1

Points positifs pour les élèves Le processus d'apprentissage

- Utiliser un matériel agréable, pascaline et e-pascaline
- Appropriation facile, sans se forcer pour se mettre au travail
- Utilisation autonome de la pascaline, la pascaline comme une aide
- Avancer à son rythme avec les cahiers e-pascaline
- Usage de l'informatique
- Complément entre pascaline et e-pascaline

- « J'ai l'impression que les élèves comprennent mieux »
- « Ça fait vraiment avancer »



diapo 6

1

Points positifs pour les enseignants (1) dans leur travail avec les élèves

- Nouveau matériel par rapport aux matériels existants, utilisable avec n'importe quel manuel
- Gestion facile des différents rythmes des élèves (utilisation de différents cahiers simultanément)
- e-pascaline silencieuse
- Cahiers qui permettent l'entraînement et l'évaluation
- Complémentarité avec le programme de maths, approche de la valeur positionnelle des chiffres
- Adaptation des cahiers aux compétences à atteindre



diapo 7

1

Points positifs pour les enseignants (2) dans leur travail avec la MOM

- Le guide constitué par les séances proposées sur le site « Dijon »
- Les ressources du prototype et les vidéos utiles pour se familiariser avec le matériel
- Être incitée et guidée pour l'utilisation de l'informatique, même sans beaucoup de maîtrise de l'outil
- Enrichissement par le projet, amélioration des pratiques, remise en question



diapo 8

1

Point négatifs (1) difficultés rencontrées avec les élèves

- Pascaline comme un jeu et pas un outil d'apprentissage
- La pascaline n'aide pas les élèves en difficulté
- Chronophage avec les élèves
- Difficile de permettre à chaque élève de manipuler lui-même la pascaline et les cahiers
- Taux d'encadrement, gestion des groupes, trop d'élèves dans la salle informatique
- Contrainte de gestion des fichiers des élèves
- Contraintes techniques d'utilisation des ordinateurs (qui se mettent en veille ou font des mises à jour pendant le travail des élèves, vitesse ralentie), absence de tablette



diapo 9

1

Point négatifs (2) sur la e-pascaline

- ❑ Manipulation de la e-pascaline qui n'est pas toujours facile avec des pavés tactiles ou la souris, position de la souris sur les flèches d'action des roues
- ❑ Changement d'opération ou de nombre cible sans résolution préalable
- ❑ Cahier addition :
 - ❑ page 3, possibilité de procédure par itération sans disparition de la flèche unité
- ❑ Cahier « nombre de clics » trop difficile
- ❑ Voir le travail de l'élève d'un seul coup sans ouvrir chaque cahier
- ❑ Réinitialiser un cahier sans le fermer
- ❑ Ecrire le nom de l'élève au moment d'imprimer
- ❑ Pas de version ipad



diapo 10

1

Point négatifs (3) sur la MOM

- ❑ La soustraction n'est pas assez travaillée, il manque un cahier soustraction
- ❑ Le lien entre écriture des nombres/bande numérique d'une part et le calcul d'autre part n'est pas assez développé

- ❑ Dispersion des informations dans les sites
- ❑ Chronophage pour l'appropriation par l'enseignant
- ❑ Il faut un accompagnement pour la prise en main



diapo 11

1

Nos commentaires

- ❑ Les ressources sont utilisables et utilisées, surtout le site de Dijon
- ❑ Les gommettes de couleurs : ne favorisent pas la prise en compte de la position et de la valeur
- ❑ Intégration de la pascaline dans les activités déjà pratiquées et dans les explications
- ❑ Bonne adaptation aux conditions matérielles des écoles
- ❑ Usage du vidéo projecteur ou du TBI pour les phases collectives (démarrage, mise en commun)
 - ❑ Pas toujours spontanée, mais reconnu comme utile



diapo 12



diapo 13

2

Les créations

- Compter de n en n à partir de a (Cynthia, Avignon)
- Complément à 10 (Sylvie, Grenoble)
- Les écrits associés aux travaux
 - Les soleils en CP (Séverine, Chaponost)
 - Les messages en CE1 (Christine, Fontaine Saint Martin)
- Soustraction (Caroline, Saint Fons)
- Gestion des cahiers élèves (Laure, Saint Fons)



diapo 14

2

Compter de n en n à partir de a

Séance n 9 : faire des suites de nombres

Préparation: 30 min

Ressources:

Temps prévu : 60 min

Nombre d'élèves: classe entière



diapo 15

2

Compter de n en n à partir de a



Déroulement:

▪ Défi pascaline: *Comment passer de 22 à 32?*

- tourner la roue des dizaines
- sans toucher la roue des dizaines.



▪ On explique comment compter de 2 en 2 sur la pascaline à partir de 5. (tourner la roue des unités de 2 dans le sens croissant)

▪ Des bandes (cf annexes) leurs sont distribuées. Ils doivent constituer des suites de nombres. Ils doivent aller le plus loin possible avec l'aide de la pascaline. Un enfant écrit le nombre, un enfant fait avancer la pascaline . Pour qu'ils se servent de la pascaline, la deuxième bande concerne un domaine de nombres qu'ils ne maîtrisent pas.

diapo 16

2

Compter de n en n à partir de a

 64 - 67 - 70 - _____ _____
 126 - 132 - 138 - _____ _____
 217 - 226 - 235 - _____ _____



diapo 17



diapo 18

2

Compléments à 10 avec la pascaline (1)

- **Objectif** : mettre en évidence l'utilité du complément à 10 pour faire des calculs en ligne
- 1^{ère} séance :
 - Réalisation d'une série de calculs du type $28 + 8$ avec écriture des réponses au tableau
 - Demande faite aux élèves d'observer à quel moment la « roue du milieu » tourne
 - Demande faite aux élèves d'anticiper à quel moment la « roue du milieu » tourne
 - Dans $28 + 8$, la roue va tourner au bout de 2 clics.
 - Ecriture des anticipations



diapo 19

2

Compléments à 10 avec la pascaline (2)

- 2^{nde} séance
 - Procédure :
 - Retour sur les observations de la 1^{ère} séance avec de nouveaux calculs similaires
 - Les élèves font la remarque qu'on peut utiliser les compléments à 10 pour faire « tourner la roue du milieu »
 - De nouvelles additions en ligne leur sont proposées
 - du type $41 + 9$, $37 + 3$, $54 + 6$, ... pour les CP
 - du type $294 + 6$, $391 + 9$, ... pour les CE1
 - Certains élèves anticipent les réponses, d'autres ont encore besoin d'agir sur la pascaline



diapo 20

2

Compléments à 10 avec la pascaline (3)



CP



CE1

Les élèves commencent à se rendre compte qu'ils utilisent les compléments à 10



diapo 21

2

Soustraction (1) prévision

- **Objectif** : découvrir et expliciter les procédures d'utilisation de la pascaline pour la soustraction.
- Ecrire au tableau une soustraction. Demander aux élèves d'effectuer ce calcul avec la pascaline.
- A l'oral, mise en commun des procédures utilisées. Débat sur la pertinence des procédures utilisées (on s'accordera sur le fait qu'il faut reculer et non avancer).
- Entraînement avec d'autres soustractions.



diapo 25

2

Soustraction (2) Avec les élèves

- Les élèves ont réussi à transposer les procédures utilisées pour l'addition.
 - Ainsi, lorsqu'ils ont expliqué comment ils avaient effectué la soustraction notée au tableau, ils ont dit que c'était la même chose que pour l'addition, sauf que cette fois on recule.
 - Les deux méthodes trouvées :
 - itération de la roue des unités (en reculant)
 - décomposition en dizaines et unités (en reculant).
- A noter que certains élèves « s'embrouillent » avec les deux sens « avancer / reculer ». Par exemple, pour effectuer $31 - 16$, au lieu d'afficher 31 en avançant les roues, ils commencent tout de suite par reculer et n'arrivent donc pas à afficher correctement 31. Ainsi, pour la soustraction, certains pensent qu'il faut toujours reculer, même lorsqu'on écrit le 1^{er} nombre.



diapo 26

2

Soustraction (3) Conclusion

- Cependant, les élèves ne sont pas encore très à l'aise pour effectuer des calculs sur la pascaline.
- Par conséquent, je vais rajouter une séance d'entraînement supplémentaire sur le cahier « additionner avec la e-pascaline ».



diapo 27

2

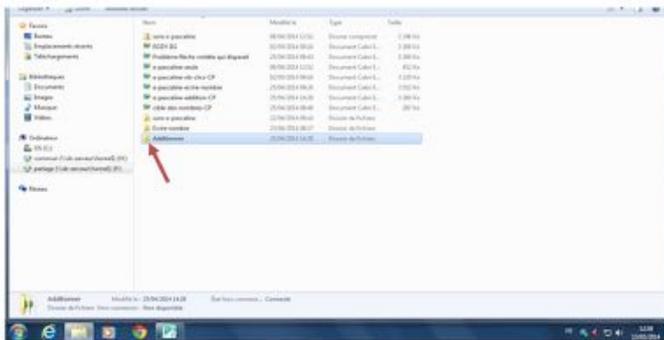
Gestion des fichiers (1)



diapo 28

2

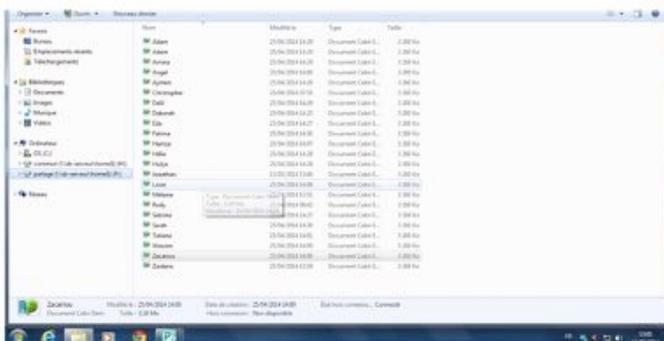
Gestion des fichiers (2)



diapo 29

2

Gestion des fichiers (3)



diapo 30



diapo 31

3 Modifications et ajouts dans la MOM (1)

- Ajouter
 - Une mini doc sur B. Pascal
 - Une image de pascaline, des étiquettes à imprimer
 - La proposition 553 comme façon d'écrire 13 avec la pascaline
- Mieux expliquer
 - Ce qui relève du vocabulaire spontané des élèves et ce qui est l'apport de l'enseignant
 - La disparition de la flèche des unités dans le cahier addition
 - Comment utiliser le cahier « cible des nombres »



diapo 32

3 Les problèmes à discuter

- Le rôle des dessins
- Les mises en commun, comment tirer partie pour l'apprentissage du travail fait individuellement avec la e-pascaline ?
- Différence entre numération et calcul :
 - Afficher un nombre : soit en l'écrivant soit en l'obtenant comme résultat d'un calcul
 - Interpréter les deux procédures d'écriture de 19 dans le cahier minimum de clic : $10-1+10$ et $20-1$



diapo 33

3

Modifications et ajouts dans la MOM (2)

- Ajouter une unité sur les suites de nombres, la génération de suite en +1, +10 à partir de 0 ou d'un autre nombre.
 - Faire un cahier sur écrire le nombre suivant, le nombre d'avant, de même pour +10 et -10, +100 et -100
- Modifier l'introduction de l'addition
 - Sur l'idée que les élèves connaissent le résultat de $8+$ et doivent chercher comment le faire faire à la machine



diapo 34

3

Modifications et ajouts dans la MOM (3)

- Dans les cahiers
 - Un bouton de réinitialisation
 - La numérotation des pages
 - Les smileys qui doivent changer quand l'élève se corrige
 - Obliger l'usage de la e-pascaline pour valider le résultat par un smiley



diapo 35

Annexe 3. Maquette du site web en construction par Canopé

