



HAL
open science

Expérimentation par la conception continuée dans l'usage d'un dispositif pédagogique le cas d'un artefact numérique : la pascaline

Jérôme Lemerrier

► To cite this version:

Jérôme Lemerrier. Expérimentation par la conception continuée dans l'usage d'un dispositif pédagogique le cas d'un artefact numérique : la pascaline. Education. 2021. dumas-03641289

HAL Id: dumas-03641289

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03641289v1>

Submitted on 14 Apr 2022

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

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

Copyright



UNIVERSITÉ D'ORLÉANS

INSPÉ Centre Val de Loire

Mémoire présenté par

Jérôme Lemerrier

Soutenu le

Le mercredi 22 septembre 2021, à Orléans

Pour obtenir le diplôme du :

Master

Métiers de l'Éducation, de l'Enseignement et de la Formation

Mention : Pratiques et Ingénierie de la Formation

**Expérimentation par la conception continuée
dans l'usage d'un dispositif pédagogique
le cas d'un artefact numérique : la pascaline**

Mémoire dirigé par :

Nathalie MAGNERON Maître de conférences en didactique des sciences –
INSPé CVL – Université d'Orléans

JURY :

Juliette RENAUD Docteure en Sciences de l'éducation et de la formation,
formatrice à l'INSPé CVL – Université d'Orléans, Présidente du jury

Nathalie MAGNERON Maître de conférences en didactique des sciences –
INSPé CVL – Université d'Orléans

Remerciements

Je tiens à remercier Nathalie Magneron ma directrice de mémoire pour son suivi et ses précieux conseils durant ces deux dernières années. Son accompagnement rassurant m'a toujours permis d'avancer dans mes travaux et la rédaction des mémoires du master.

Je remercie également mes 5 collègues qui ont accepté de participer à cette expérimentation, de répondre aux entretiens individuels, de réaliser dans leurs classes la séquence sur la pascaline, et d'échanger lors des entretiens collectifs. Avec leur concours, j'ai pu mener à bien ce travail enrichissant d'initiation à la recherche.

Un grand merci à ma compagne pour sa compréhension de mon investissement personnel dans ce parcours de formation. Sans son soutien dans la vie quotidienne et ses encouragements dans les moments difficiles, rien n'aurait été possible.

Sommaire

Remerciements.....	2
Sommaire.....	3
Introduction.....	5
1. Cadre théorique	7
1.1. La numération décimale de position.....	7
1.1.1. Définition	7
1.1.2. Nombres entiers et numération(s).....	7
1.1.3. Savoirs essentiels pour enseigner la numération.....	8
1.1.3.1. Eclairage de la recherche en sciences cognitives.....	8
1.1.3.2. Apports de la recherche en didactiques des mathématiques.....	11
1.2. La conception continuée dans l'usage	16
1.2.1. Origine de la démarche de conception continuée dans l'usage.....	16
1.2.2. Exemples d'une conception continuée dans l'usage d'un outil	17
1.2.3. Étapes d'une conception continuée dans l'usage	19
1.3. Des artefacts aux instruments	21
1.3.1. Concept d'artefact.....	21
1.3.2. Médiations et systèmes d'instruments	23
1.3.3. Aspect formatif de l'action médiatisée par les instruments	24
1.3.4. Un artefact numérique : la pascaline	26
1.4. Problématique et hypothèses	29
2. Protocole de recherche.....	31
2.1. Conception d'un premier prototype.....	31
2.1.1. Connaissances sur l'enseignement-apprentissage de la numération.....	31
2.1.2. Adaptation d'un scénario pédagogique efficace	32
2.1.3. État des pratiques enseignantes ordinaires	35
2.2. Deuxième étape : la co-conception	35
2.2.1. Choix des enseignants co-concepteurs	36
2.2.2. Positionnement des enseignants-concepteurs	37
2.2.3. Formation à la pascaline	38
2.2.4. Entretiens collectifs avec les co-concepteurs	39
2.2.5. Questionnaire final.....	41
2.3. Traitement des données.....	41
2.3.1. Positionnement	41
2.3.2. Formation et entretiens collectifs.....	42
2.3.3. Questionnaire final.....	42
3. Résultats et analyse	43

3.1. Positionnement des enseignants-concepteurs par rapport au modèle théorique de l'utilisateur.....	43
3.1.1. Positionnement de C.....	43
3.1.2. Positionnement de K.....	47
3.1.3. Positionnement de M.....	50
3.1.4. Positionnement de S.....	54
3.1.5. Positionnement de F.....	57
3.2. Utilisabilité, utilité et acceptabilité du 1 ^{er} prototype : le point de vue des enseignants	59
3.2.1. Premiers retours sur la pascaline avant son utilisation en classe.....	59
3.2.2. Point d'étape à l'issue des deux premières séances.....	62
3.2.3. Bilan après les trois dernières séances.....	65
3.3. Vers un second prototype plus utile, utilisable et acceptable : prise en compte des retours des enseignants.....	69
3.4. Vision à moyen terme des enseignants : la pascaline vue comme un outil complémentaire.....	70
4. Discussion.....	72
4.1. Vérification de la 1 ^{ère} hypothèse.....	72
4.2. Vérification de la 2 nd hypothèse.....	73
4.3. Retour sur la méthodologie.....	74
4.4. Projection.....	75
Conclusion.....	77
Bibliographie.....	79
Table des annexes.....	82

Introduction

Durant notre première année du master MEEF Pratiques et Ingénierie de la Formation en 2019-2020, nous avons choisi une option proposée par la Maison Pour la Science. Dans ce cadre, nous avons accueilli dans notre classe de CP deux étudiantes en 3^{ème} année de licence scientifique pluridisciplinaire se destinant au professorat. Cet accueil était une occasion de mener avec ces étudiantes, partenaires scientifiques pour la classe, une séquence liant la démarche d'investigation à l'enseignement-apprentissage des mathématiques. En raison du confinement du printemps 2020, nous avons principalement accompagné ces deux étudiantes dans la conception d'une séquence sur la découverte d'une machine à calculer, la pascaline. La séquence n'aura été menée que très partiellement en classe. À la rentrée 2020, nous disposions donc de ressources pédagogiques constituées du matériel, douze pascalines, et d'une séquence conjointement écrite avec les deux étudiantes. Nous avons donc à minima l'intention de mener dans notre classe cette séquence durant l'année scolaire 2020/2021 avec un nouveau groupe d'élèves.

Enseignant depuis maintenant 4 ans au CP, après de nombreuses années en maternelle, nous nous sommes vivement intéressé dès notre arrivée à l'école élémentaire à l'enseignement des mathématiques. C'est au moment du choix d'une méthode pour le CP que nous avons découvert une auteure, Stella Baruk, qui interroge les liens entre le langage mathématique et la langue française. Lors de l'une de ses conférences¹ à laquelle nous avons assisté, une de ses remarques nous avait particulièrement interpellé : « Dit-on à un enfant ça fait 2 dizaines de fois que je te dis d'aller te laver les mains ! Ou bien encore il y a 3d et 7u de marches à monter dans l'escalier ! ». Contrairement aux mathématiques, dans le langage courant le mot dizaine peut aussi renvoyer à une quantité proche et non exact de dix comme dans l'expression : « c'était il y a une dizaine d'années ». Par ailleurs, les « d » et les « u » employés dès la rentrée du CP par les enseignants relèvent d'un langage mathématique déjà bien abstrait pour des élèves de 7 ans.

En tant que futur formateur, nous avons dans un premier temps voulu partager cet outil innovant qu'est la pascaline. Puis nous nous sommes demandé comment cet artefact qui permet de travailler en classe sur la numération décimale de position, pourrait être une occasion de découvrir autrement au cycle 2 ce que sont les unités de

¹ [Conférence par Stella Baruk Communauté d'Agglomération du Val d'Yerres Val de Seine \(vyvs.fr\)](https://www.vyvs.fr/)

numération ? Et notamment permettrait-il aux enseignants d'appréhender la complexité de ces questions liées à l'enseignement-apprentissage de la numération ?

Afin de limiter les risques liés aux contraintes sanitaires pour mener à bien cette expérimentation, nous avons choisi de la mener dans l'école où nous enseignons avec nos collègues de cycle 2. Après avoir longuement cherché un mode de travail en équipe pour notre expérimentation, notre regard s'est porté sur la conception continuée dans l'usage. Le nom de cette démarche nous avait dans un premier temps semblé assez obscur. C'est en réalisant que nous avons travaillé pendant des années en maternelle avec un outil conçu dans cette démarche que nous avons découvert ses potentialités, ses réussites, et sa possible adéquation avec notre projet.

Dans une première partie, nous présenterons les aspects théoriques de l'enseignement de la numération décimale de position, ceux de la conception continuée dans l'usage, ainsi que la médiation par les instruments. Nous concluons cette première partie en exposant notre problématique avec notre question centrale et ses hypothèses. Dans une deuxième partie, nous présenterons notre protocole de recherche en lien avec la conception continuée dans l'usage d'un outil, et les modalités de traitement des données. Puis nous recueillerons les données et analyserons les résultats dans une troisième partie. Enfin, avant de conclure, notre quatrième partie sera consacrée à la discussion de ces mêmes résultats avec notamment la validation des hypothèses et un retour sur la méthodologie.

1. Cadre théorique

1.1. La numération décimale de position

1.1.1. Définition

Le dictionnaire Le Robert en ligne (2021), nous indique que la numération est « un système permettant d'écrire et de nommer les divers nombres ». Il en existe de nombreux, liés à une ou plusieurs grandes civilisations comme les numérations égyptienne, romaine, chinoise...

Notre système de numération décimale de position est de base 10. Bien d'autres systèmes de numération sont possibles, par exemple le système binaire, de base 2, est utilisé dans le codage informatique. L'importance de l'utilisation de la base 10 en numération est due au simple fait que le « matériel » le plus naturel pour dénombrer est constitué de nos dix doigts des deux mains (Baruk, 1992). La numération décimale recouvre l'apprentissage des désignations orales et écrites des nombres.

Ce sont en fait deux systèmes de numération qui ont des structures très différentes (Charnay, 2005) :

- La numération écrite utilise dix signes pour représenter tous les nombres, que sont les chiffres 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9. Devenue universelle, elle est le fruit d'une longue évolution des concepts mathématiques.

- Les numérations orales sont variables selon les langues. En français, la numération orale est un système hybride associant le nom des groupements (dix, cent, mille, millions ...) et leur nombre (**six-mille-deux-cents**). Elle comporte de nombreuses irrégularités comme pour le nombre quatre-vingt-quinze, à tel point que certains pays francophones préfèrent utiliser nonante-cinq.

1.1.2. Nombres entiers et numération(s)

Aussi curieux que cela puisse paraître, les nombres n'ont pas forcément besoin d'une désignation qu'elle soit orale ou écrite. Dans les premiers apprentissages, par exemple, l'enfant n'a pas besoin d'en connaître les désignations pour comparer deux nombres en associant terme à terme les éléments de leurs collections.

Les mathématiques se sont intéressées au 19^{ème} siècle à définir le nombre sans recourir à leurs désignations orales et écrites. Deux approches avancent chacune une définition du nombre : l'une « utilisant la notion de successeur (Peano) et l'autre de bijections entre ensembles » (Mounier, 2012). Dans la première approche, où l'aspect

ordinal du nombre est privilégié, la suite des nombres entiers naturels peut être générée par itération de l'unité à partir du nombre zéro. Dans la deuxième approche issue de la théorie des ensembles, c'est l'aspect cardinal qui est mis en avant. Ici deux collections ont le même cardinal si on peut associer terme à terme entre elles leurs éléments (Mounier, 2012).

Ainsi, la numération est un système de signes permettant de désigner les nombres, et dans notre cas les nombres entiers naturels. Ces signes fonctionnent entre eux avec des règles d'agencement dans un système, c'est-à-dire avec une grammaire qui leur est propre. « Ce système est tel qu'une numération doit être non redondante, mais aussi non ambiguë, et exhaustive » (Mounier, 2012, p.9). Par conséquent, dans un tel système, un nombre ne peut être désigné par des signes différents. Le même signe ne peut correspondre à plusieurs nombres. Et tous les nombres doivent pouvoir être codés (Mounier, 2012). Comme nous l'avons déjà mentionné, il existe donc de multiples systèmes de numération, autrement dit des numérations.

Dans la suite de notre propos, le mot numération renverra à la numération décimale de position, oralisée en français. Avant d'aller plus loin, il convient de faire un point sur les savoirs essentiels à connaître pour enseigner la numération.

1.1.3. Savoirs essentiels pour enseigner la numération

1.1.3.1. Eclairage de la recherche en sciences cognitives

Dans le triptyque lire, écrire, compter, les connaissances sur le nombre semblent faire partie des plus complexes car elles font appel à une forte composante conceptuelle (Dehaene, 2010). Selon ce psychologue cognitiviste et neuroscientifique, il existe de multiples représentations corticales du nombre organisées en un « triple code » (Figure 1).

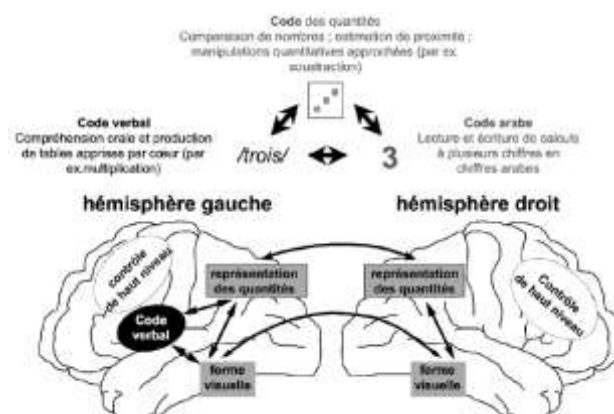


Figure 1 : vue schématique du modèle du triple code pour le traitement des nombres (Dehaene, 2010, p.319)

- Le code analogique renvoie aux quantités, et en permet une première comparaison. Ce code inné permet de discriminer des petites quantités et d'estimer approximativement des collections plus grandes.
- Le code symbolique arabe correspond à la lecture et l'écriture des nombres écrits en chiffres arabes. Ce code culturel permet des calculs complexes à partir de ces derniers.
- Le code symbolique verbal renvoie aux nombres parlés. Ce code culturel permet des calculs précis et simples où par exemple le résultat s'entend : « trente plus sept égale trente-sept ». C'est celui qui est aussi à l'œuvre dans l'apprentissage par cœur des tables de multiplication : « trois fois six, dix-huit ».

S'il est aisé pour un adulte de passer d'une forme écrite à une forme parlée ou analogique d'un nombre donné, il n'en va pas de même pour un enfant qui n'a pas ces automatismes. Cette gymnastique de notre cerveau est très coûteuse cognitivement pour un enfant et lui demande un long temps d'apprentissage. Dehaene (2010) relève plusieurs objectifs à poursuivre pour améliorer l'enseignement de la numération. Un premier objectif serait « d'accroître l'aisance des élèves dans leurs intuitions numériques » en s'appuyant sur le concept de « nombre approximatif » (Dehaene, 2010, p.319). Cette capacité innée de l'enfant à estimer une quantité, capacité en lien avec l'évolution de l'espèce humaine, est prédictive de la réussite en numération à l'école. C'est cette capacité qui nous permet, par exemple, de comparer d'autant plus rapidement deux nombres qu'ils sont distants entre eux. « Le système du nombre approximatif est essentiel à chaque fois que nous faisons appel à notre intuition rapide de la taille numérique » (Dehaene, 2010, p.315).

L'entraînement des différents systèmes cérébraux mais aussi de leurs liens est nécessaire avant de pouvoir être habile en calcul. Un deuxième objectif serait alors d'entraîner les élèves à acquérir des automatismes, autrement dit mettre en mémoire des ressources constituées de faits numériques immédiatement disponibles. Dehaene (2010) souligne également l'importance d'explicitier aux élèves les stratégies cognitives et les systèmes cérébraux utiles. Sur ce point seulement, un accord est possible avec l'approche de l'enseignement de la numération développée par Baruk (2016) où elle met en avant la nécessité d'explicitier les convergences entre le « vu » (code analogique : 37 en barres doigts), le « lu » (code arabe : écriture en chiffres des

nombres 30, 7 et 37), l'« entendu » (code verbal : trente...et...sept et trente-sept) et le « su » (trente et sept font trente-sept, cela s'écrit en mathématiques $30+7=37$).

Un entraînement efficace des élèves aux interactions entre les codes analogique, arabe et verbal participe donc d'une bonne mémorisation des faits numériques et conduit les élèves à les utiliser aisément. Quand les calculs élémentaires sont automatisés, cela libère l'esprit des élèves et leur autorise d'autres tâches. Les élèves ont alors la capacité de vérifier la justesse d'une réponse, d'accéder au sens général d'un problème.

Par ailleurs, la construction du nombre recycle d'anciens circuits cérébraux dévolus primitivement à l'espace. Elle est donc liée à l'espace selon un concept de « ligne numérique ». Entre 6 et 10 ans, les progrès dans les apprentissages des élèves vont témoigner d'une évolution de leur distribution des nombres entre 0 et 100 sur une ligne numérique, d'une distribution logarithmique et approximative en plaçant 10 au milieu du segment entre 0 et 100, à une distribution linéaire et exacte des nombres. Meilleure est la compréhension linéaire des élèves, meilleure est leur réussite en numération. La pratique de jeux simples : jeux de comptage, de boulier, jeu de l'oie..., est un bon moyen d'améliorer cette compréhension linéaire et in fine les compétences numériques des élèves (Dehaene, 2010). Il est à noter que les évaluations nationales CP et CE1 proposées actuellement en France ont été construites sur la base de ces travaux scientifiques. Leur auteur, Dehaene, est d'ailleurs le président du Conseil Scientifique de l'Education Nationale (CSEN), conseil qui est consulté par le Ministère de l'Education Nationale (MEN) pour apporter un éclairage en matière d'éducation sur les dernières avancées de la recherche.

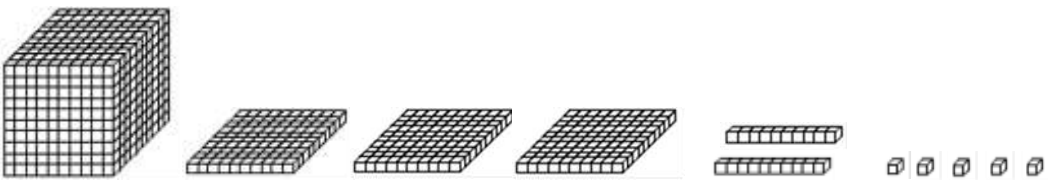
Comme nous l'avons déjà évoqué, selon Dehaene (2010), l'adulte n'a pas conscience de ce jeu de permutations entre différents systèmes cérébraux. Cette apparente facilité pourrait conduire les enseignants à méconnaître les difficultés rencontrées par les élèves dans la construction du nombre.

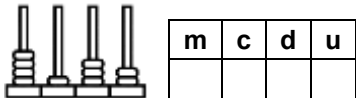
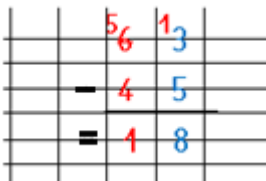
Après nous être placé du côté des élèves, de ce qui facilite leurs apprentissages de la numération d'après les sciences cognitives, plaçons-nous du côté des enseignants. Et essayons d'examiner quelles sont les conséquences de leurs conceptions de l'enseignement de la numération sur les apprentissages des élèves.

1.1.3.2. Apports de la recherche en didactiques des mathématiques

Bednarz & Janvier (1984), didacticiennes des mathématiques dégagent 7 caractéristiques de l'enseignement de la numération au Québec. Et pour chacune d'elles, ces chercheuses donnent les représentations liées à son enseignement. Nous résumons dans le tableau suivant ces caractéristiques, leurs conceptions associées, et leurs conséquences sur les apprentissages, en termes de difficultés rencontrées par les élèves.

Tableau 1 : les 7 caractéristiques de l'enseignement de la numération selon Bednarz et Janvier (1984)

ENSEIGNEMENT DE LA NUMÉRATION			
Caractéristiques	Conceptions associées	Conséquences sur les apprentissages	
1	Grande insistance mise sur le passage de l'écriture symbolique du nombre "chiffre, position" à la symbolisation "unités, dizaines, centaines, ..."	On pense généralement que ce jeu de traduction entre deux écritures aidera l'élève à percevoir la position et son importance (valeur associée).	Cela ne conduit pas à une interprétation véritable de la valeur de position mais à une interprétation en termes de découpage, à une prédominance de l'ordre dans l'écriture.
<p><u>Exemples :</u> 2 centaines, 3 dizaines et 5 unités → c'est Quel est le chiffre des dizaines dans 327 ? Quel est le nombre de dizaines dans 421?</p>			
2	Toute représentation d'un nombre apparaît selon un alignement reprenant l'ordre de l'écriture conventionnelle du nombre.	On impose une présentation ordonnée de chaque image de matériel à laquelle on fait référence pour aider l'élève à comprendre la numération.	Cela conduit à une simple association entre chaque image de matériel et le chiffre qui lui est associé. Cela écarte toute signification de la position du chiffre en termes de groupements.
<p><u>Exemple :</u> représentation du nombre 1325 avec du matériel de numération</p> 			
3,4	Les images de matériel et même le matériel utilisés dans l'enseignement le sont essentiellement à des fins de passage à l'écriture. La manipulation de matériel est essentiellement conçue en fonction d'un travail sur l'écriture.	Le matériel n'est pas utilisé comme support à la perception des groupements. Il est limité à un travail de codage direct. Il sert essentiellement d'illustration pour faire constater quelque chose aux élèves.	Les élèves ne sont pas à même d'opérer concrètement sur les groupements puisque les interventions sur l'écriture n'ont jamais été associées à des actions effectives sur du matériel. Les élèves n'ont donc pas recours d'eux-mêmes au matériel.

Exemple : écris le nombre représenté sur l'abaque		
		
5	Une conception de la complexité du travail sur les nombres fondée exclusivement sur leur taille.	Les élèves éprouvent des difficultés à travailler avec deux groupements différents.
<p><u>Exemple :</u></p> <p>On demande de poser et d'effectuer des soustractions comme 434-186 dans des manuels ² où ici deux groupements sont à défaire et à coordonner alors qu'on ne propose pas par exemple 3436-1225 qui est vraiment moins difficile, car en CE1 ne sont au programme que les nombres <1000.</p>		
6	Le travail dans différentes bases se veut un support à la compréhension de notre système de numération	On donne des consignes de regroupement et on dicte une procédure qui doit aboutir à l'écriture d'un code.
<p>Les élèves ne perçoivent pas l'intérêt de regrouper pour dénombrer rapidement une collection.</p> <p>Ce type d'activités où l'on propose du travail dans d'autres bases comme la base 6 n'est plus rencontré dans les manuels actuellement.</p>		
7	L'enseignement de la numération est détaché de celui des quatre opérations	Les élèves ne conçoivent pas que les règles qu'ils appliquent dans les algorithmes de calcul ont un sens. Ils ne voient pas le lien entre ce qu'ils font au niveau des opérations sur les nombres (procédures de calcul) et ce qu'ils font au niveau des groupements (numération).
<p><u>Exemple :</u></p>  <p>L'enseignant dira classiquement : « trois moins cinq, ça ne se peut pas, je vais emprunter une dizaine, il en reste cinq, treize moins cinq égale huit et cinq moins quatre égale un ».</p>		

Ces constats donnés par Bednarz et Janvier (1984) sont encore malheureusement d'actualité une vingtaine d'années plus tard comme le souligne Tempier (2010).

Parmi les deux aspects de la numération décimale de position à enseigner présentés dans les deux figures ci-dessous par Tempier (2010), celui-ci relate que l'aspect positionnel est largement privilégié dans l'étude des nombres à quatre chiffres,

² Outils pour les maths CE1, édition 2019, page 81 (exercice 6 – item c)

que cela soit dans les programmes ou dans les supports des éditeurs, manuels et guides du maître. Et cela influence les pratiques de l'enseignement de la numération.

Aspect décimal de la numération (ou relations entre unités) : 10 unités d'un certain rang sont égales à une unité du rang supérieur.

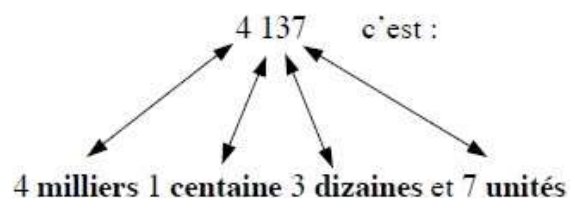
1 dizaine = 10 unités.

1 centaine = 10 dizaines, donc 1 centaine = 100 unités

1 millier = 10 centaines, donc 1 millier = 100 dizaines et 1 millier = 1000 unités.

Figure 2 : aspect décimal de la numération (Tempier, 2010)

Aspect position de la numération : dans l'écriture d'un nombre, la valeur des chiffres dépend de leur position.



Ce que l'on écrit souvent dans un tableau de numération :

M	C	D	U
4	1	3	7

Le chiffre 0 sert à marquer la position des chiffres quand une unité est absente.

Figure 3 : aspect positionnel de la numération (Tempier, 2010)

Négligé dans la pratique, l'aspect décimal de la numération, donne pourtant du sens aux différents algorithmes de calcul des opérations posées notamment dans l'utilisation des techniques de retenues car elle les explique et les justifie. L'enseignement de la numération a donc un rôle à jouer pour contrer le comportement d'« automathe » des élèves qui trouve son origine dans la mise en œuvre de techniques ou de règles de calcul sans que les élèves sachent pourquoi ils les appliquent (Baruk, 2016). De même, la numération est aussi un moyen de résoudre des problèmes. Ainsi dans des problèmes du type : « Combien faut-il de carnets de 10 timbres pour envoyer 397 lettres », la numération n'apparaît pas aux enseignants comme une stratégie de résolution. Pensant que les élèves devront mobiliser la division, et donc que c'est impossible de le leur demander au cycle 2, les enseignants n'envisagent pas la numération comme une stratégie de résolution, alors qu'eux-mêmes répondent au problème en lisant le nombre de dizaines directement. Les

enseignants ne reconnaissent pas ces stratégies comme pertinentes et utiles pour des élèves de cycle 2 (Tempier, 2010).

Une difficulté majeure de l'enseignement-apprentissage de la numération vient de la non-transparence de notre écriture des nombres. En effet, elle met bout à bout des chiffres qui n'ont pas tous la même valeur et n'indique pas le lien de décimalité entre ces chiffres (Tempier, 2010). Un autre point est soulevé par Mounier (2010), celui encore une fois d'une non-transparence, celle du lien entre le nombre écrit en chiffres et le nombre parlé. Mounier (2010) fait état des propriétés de l'écriture chiffrée qui ne se retrouvent pas dans les désignations orales des nombres. Cependant il est à noter qu'il existe des pédagogues comme Baruk (2016) qui tentent de rapprocher les désignations orales et écrites. Dans trente-sept (37), j'entends le "trrr" de trois, donc il s'agit d'un 3 qui vaut trente. Mais cette approche est marginale dans l'offre éditoriale de manuels qui s'offrent aux enseignants. Ainsi au CP, l'écriture chiffrée est fréquemment confondue avec le nombre parlé si bien que celle-ci n'est pas constituée en un objet d'étude à part entière (Mounier, 2010).

Pour les élèves, l'apprentissage de la numération est donc complexe. À contrario, comme l'ont expliqué les sciences cognitives, « notre système de numération écrit est un objet très naturalisé chez les adultes » (Tempier, 2010, p.59) et par conséquent chez les enseignants. Il n'est donc pas étonnant que ces derniers rencontrent des difficultés à s'approprier les enjeux de la numération décimale de position, et plus précisément son aspect décimal. Tempier (2010) fait état dans son article de ressources officielles, programmes 2008 et documents d'application des programmes de 2002, centrées sur l'aspect position de la numération, ne favorisant pas l'appropriation de l'enjeu de l'aspect décimal par les enseignants. Pour autant certains manuels (figure 4) conformes aux dits programmes, sur lesquels s'appuient préférentiellement les enseignants, peuvent tout de même favoriser ce dernier aspect dans quelques activités proposées.

4 Recopie et complète ce tableau.

Nombre	Chiffre des milliers	Nombre de milliers	Chiffre des centaines	Nombre de centaines	Chiffre des dizaines	Nombre de dizaines
5 423	5	5	4	54	2	542
8 764
9 070
7 301
6 845

Figure 4 : extrait du manuel « la tribu des maths, CE2 » (Magnard, 2008, p.35)

Cependant, comme l'indique Tempier (2010), le guide du maître accompagnant cet exercice met en avant une procédure de lecture pour trouver le « nombre de ... ». Il s'agit de faire lire aux élèves ce nombre en leur faisant mémoriser qu'il est formé par tous les chiffres à gauche du rang demandé, ce rang étant compris. Ce moyen n'encourage donc pas une véritable compréhension de l'aspect décimal de la numération. Et qui plus est, si l'enseignant n'a « pas identifié ce savoir comme essentiel pour l'apprentissage de la numération, il risque de ne pas avoir une gestion adaptée de la situation » comme être en incapacité d'analyser et exploiter l'erreur d'un élève (Tempier, 2010, p.79).

Les programmes de 2018 ainsi que le récent guide du MEN intitulé « Pour enseigner les nombres, le calcul et la résolution de problème au CP » fondé sur l'état de la recherche mettent bien en avant l'importance d'aborder les deux aspects de la numération décimale de position. Si ces précisions de l'institution sont nécessaires et devraient s'accompagner de leur traduction dans les fichiers, manuels et guides du maître, leur mention suffit-elle à ce que les enseignants s'emparent individuellement voire collectivement de ce point précis dans leurs préparations ? Il apparaît de notre expérience du terrain que les documents institutionnels sont nettement moins consultés que les manuels et guides du maître. En outre, selon une étude par questionnaire de Métoudi et Duchauffour (2001), 36,4% des enseignants d'école élémentaire de 63 classes déclarent ne pas recourir au guide du maître de mathématiques en leur possession. Cela pose un certain nombre de questions quant au rapport qu'entretiennent les enseignants avec les ressources pour préparer la classe en mathématiques.

Leroyer (2013) interroge le rapport au support dans le travail de préparation en mathématiques des enseignants du primaire. Elle propose une typologie différenciant les enseignants selon leur rapport aux ressources : utilisateur, adaptateur ou bien encore concepteur. Dans cette étude, il apparaît que le niveau d'enseignement est un indicateur pertinent dans cette typologie. Ainsi Leroyer (2013) avance que les enseignants du cycle 2, particulièrement ceux du CP, s'autorisent moins à adapter et créer des supports que les enseignants du cycle 3. Est-ce à dire que les enseignants du cycle 2 considèrent que l'enseignement des mathématiques est trop complexe et nécessite de faire confiance aux auteurs de supports édités tels que les fichiers et manuels ?

Une perspective possible serait alors d'orienter la réflexion sur la conception de ressources permettant d'améliorer l'enseignement-apprentissage de la numération

(Tempier, 2010). C'est dans le cadre d'une ingénierie didactique de développement d'une ressource que Tempier (2014) a poursuivi ses travaux de recherche. Ceux-ci ont abouti à un constat de besoins de formation des enseignants liés à des manques de connaissances didactiques pour enseigner la numération (Tempier, 2014). L'auteur conclut en envisageant une collaboration plus forte avec les enseignants dans ses futures expérimentations afin de mieux appréhender leurs besoins des savoirs essentiels pour enseigner la numération et comment les surmonter.

Une des résistances des enseignants que Tempier (2014) a rencontré dans son ingénierie didactique est celle du « changement de contexte », c'est-à-dire du non-transfert des savoirs mis en œuvre dans la situation de référence proposée par le chercheur à d'autres situations. Dans l'optique d'une collaboration plus étroite avec les enseignants, examinons en quoi une démarche de conception continuée dans l'usage servirait une amélioration de la pratique des enseignants.

1.2. La conception continuée dans l'usage

1.2.1. Origine de la démarche de conception continuée dans l'usage

Ce à quoi est confronté Tempier correspond à un renversement de logique de la recherche actuelle. Très souvent centrées sur les avancées scientifiques dans un domaine, les recherches fonctionnent plutôt avec des « schémas applicationnistes » (Fougères, 2016 cité par Goigoux, 2017) et ne sont donc pas suffisamment « intégrées à la pratique » (Goigoux, 2017). L'engagement dans un dispositif pédagogique innovant des acteurs de terrain que sont les enseignants ou les formateurs n'est pas considéré par les décideurs. Goigoux (2017) s'efforce depuis une quinzaine d'années de promouvoir en France des recherches sur l'enseignement « intégrées à la pratique », d'origine américaine, et nommées *Practice Embedded Educational Research* PEER. Elles ont pour objectif d'améliorer les apprentissages des élèves et sont basées sur quatre principes. Premièrement, toute réforme scolaire demande du temps car elle est systémique. L'évolution des pratiques s'inscrit dans des contextes variés où s'exercent des contraintes multiples. Les pratiques innovantes, face à la complexité du réel, ont besoin de temps pour se développer et porter leurs fruits. Deuxièmement, ces recherches s'inscrivent dans une compréhension mutuelle entre enseignants et chercheurs des contraintes qui s'exercent respectivement sur eux : la connaissance du terrain et les exigences de la recherche. Troisièmement, les problèmes professionnels que les enseignants rencontrent devraient être à l'origine

des questions de recherche soulevées. Enfin, l'intérêt porté aux innovations pédagogiques, à leur mise en œuvre dans des contextes variés est majeur. Les écarts constatés dans la mise en œuvre des dispositifs sont une source d'informations à considérer positivement comme des leviers d'amélioration de ces mêmes dispositifs (Goigoux, 2017).

Dans cet esprit, la conception continuée dans l'usage est le nom donné par Goigoux et Cèbe (2009) à leur démarche construite afin d'aider les enseignants à améliorer leurs pratiques en participant à un processus itératif de conception d'un outil innovant en phase avec les dernières avancées scientifiques. Selon ces auteurs, il est « plus efficace d'agir directement sur les pratiques des enseignants pour modifier leurs conceptions, plutôt que l'inverse » (Goigoux et Cèbe, 2009, p.2). Ils proposent donc aux enseignants de nouveaux outils, qui sont en quelque sorte un compromis entre ce qu'il serait judicieux de développer comme pratiques innovantes dans les classes au regard des dernières avancées scientifiques de la recherche, et ce qui concrètement peut être réalisé au regard des praticiens, de leurs contextes d'exercice professionnel, de leurs habitudes ou encore de leurs représentations (Goigoux et Cèbe, 2009). Bien entendu cette démarche se veut in fine au service des élèves les plus fragiles. Illustrons maintenant cette démarche.

1.2.2. Exemples d'une conception continuée dans l'usage d'un outil

C'est en la suivant que les auteurs ont publié en 2004 *Phono* (Goigoux, Cèbe et Paour, 2004) un manuel à destination des enseignants de GS permettant de développer les compétences phonologiques. Le succès commercial de ce manuel atteste aujourd'hui que l'outil a répondu aux besoins et aux attentes des enseignants. Peu d'outils existaient alors dans ce domaine. Pour aider les élèves à « prendre conscience des réalités sonores de la langue » (MEN, 2002, p.22), les enseignants étaient plutôt encouragés par les programmes de l'école primaire de 2002 à faire jouer leurs élèves avec les « constituants du langage » (MEN, 2002, p.22) au gré des chants, poèmes et comptines rencontrés en classe. Le genre professionnel des enseignants de l'école maternelle ne semblait pas alors ouvert à un entraînement plus systématique des compétences phonologiques, jugé trop scolaire et relevant de l'école élémentaire. Pourtant un consensus scientifique s'est imposé dans les années quatre-vingt-dix pour indiquer combien les compétences phonologiques des élèves à l'entrée au CP sont prédictives de leur réussite dans l'apprentissage de la lecture (Goigoux, 2014). Les prescriptions institutionnelles à elles seules n'ont pas suffi à convaincre,

montrant ainsi que des injonctions ne suffisent pas à transformer des pratiques. Ayant enquêté auprès d'enseignants de maternelle, Goigoux et Cèbe (2003) ont montré que si ces derniers admettaient volontiers qu'il était important de travailler la phonologie avec les élèves, ils n'en percevaient pas la portée sur l'apprentissage de la lecture au CP. De même les auteurs ont relevé que si les enseignants exprimaient des difficultés à gérer l'hétérogénéité des élèves dans l'acquisition des compétences phonologiques, c'était en fait parce qu'ils leur manquaient des outils pour savoir que faire avec des élèves qui ne discriminent pas les sons. La conception continuée dans l'usage de l'outil *Phono* a permis de tenir compte à la fois de l'éclairage de la psychologie cognitive sur l'apprentissage de la lecture, du genre professionnel des enseignants de maternelle en proposant essentiellement des situations d'apprentissage en classe entière, et des élèves fragiles tant dans la programmation des activités que dans une offre de différenciation en petit groupe leur permettant de reprendre avec l'enseignant les tâches les moins réussies. À l'issue des étapes de la conception continuée dans l'usage, *Phono* est devenu un outil dont l'utilisation dans la durée par un grand nombre d'enseignants de GS a montré qu'il était utile, utilisable et acceptable. Les critères d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité sont ceux de l'ergonomie de conception à laquelle répond l'outil (Goigoux, 2017). Il aura fallu quatre années de 2001 à 2004 de conception continuée dans l'usage de l'outil *Phono* avant sa publication par ses auteurs. Quatre années pour parcourir les étapes de leur démarche qui articule la didactique disciplinaire et l'ergonomie.

Plus récemment, Renaud (2020a) fait état de l'avancée de ses travaux de conception continuée dans l'usage d'un outil *#LectureDoc*. Comme l'outil *Phono*, *#LectureDoc* veut répondre à des besoins identifiés dans un domaine, ici celui de la lecture de documentaires numériques. Différents résultats d'évaluations, comme les évaluations nationales du Cycle des Evaluations Disciplinaires Réalisées sur Echantillons (CEDRE) en 2015 et internationales comme celles du Programme International de Recherche en Lecture Scolaire (PIRLS) en 2016, montrent une réelle difficulté des élèves à lire des documentaires, d'autant plus grande si ces derniers sont donnés à lire numériquement (Renaud, 2020b). Les outils conçus selon cette démarche visent une amélioration des résultats des élèves qui s'accompagne d'une inflexion des pratiques enseignantes les plus communes. Cette inflexion est susceptible de modifier leurs conceptions de l'enseignement dans un domaine précis. Par exemple, des enseignants ordinaires, en utilisant l'outil *#LectureDoc* avec leurs élèves, sont amenés à enseigner explicitement des stratégies de compréhension de

textes documentaires. Et ce faisant ils prendraient conscience de l'existence de stratégies de lecture d'un texte documentaire et de la nécessité de les enseigner. Notamment ils pourraient réaliser que la prédominance de la stratégie de lecture intégrale et linéaire d'un texte est directement liée à l'importance donnée à la lecture des textes narratifs à l'école élémentaire (Renaud, 2020b). Le développement des compétences des élèves dans la lecture de textes documentaires qui nécessite, par exemple, des stratégies de survol des textes serait à même d'être mieux perçu des enseignants. En plus de proposer un outil opérationnel, un outil conçu dans une démarche de conception continuée dans l'usage offre un accompagnement des enseignants d'un point de vue didactique en leur explicitant les derniers apports de la recherche, en leur proposant des scénarios didactiques utiles de ce point de vue, mais aussi utilisables et acceptables au regard de leurs pratiques. Dans le souci d'améliorer la démarche développée par Goigoux et Cèbe dans leurs publications, les travaux de Renaud (2020b) visent, au-delà de la conception continuée dans l'usage de l'outil #LectureDoc, à remédier au « vide méthodologique » (Renaud, 2020a, p.77) de la deuxième étape de la démarche. À ce moment-là, pour traiter les nombreux retours des premiers utilisateurs en termes d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité, Renaud (2020b) définit 15 indicateurs permettant de les classer. Ils donneraient la possibilité, en leur attribuant une plus grande portée, d'évaluer n'importe quel outil didactique empruntant ou non les étapes de la conception continuée dans l'usage. Intéressons-nous maintenant à ces étapes. Quelles sont-elles ?

1.2.3. Étapes d'une conception continuée dans l'usage

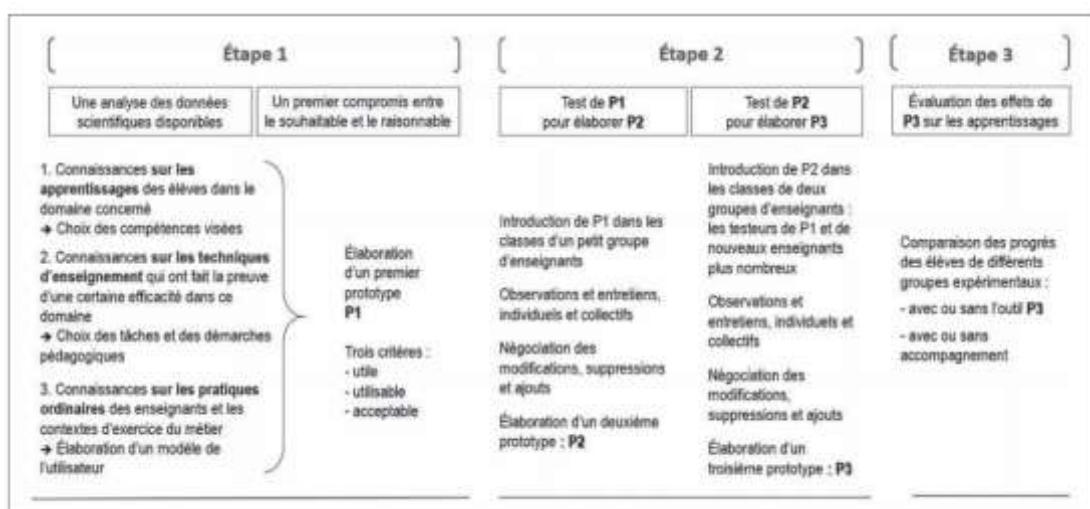


Figure 5 : les 3 étapes d'une conception continuée dans l'usage (Cèbe, Goigoux, 2018)

La première étape appartient au concepteur qui va élaborer un prototype dont la conception cherchera à satisfaire des consensus scientifiques dans le champ de la didactique propre à chaque discipline et dans celui de la didactique professionnelle. D'une part, un éclairage sur le versant des apprentissages des élèves, de leurs difficultés rencontrées dans un domaine considéré, permettra d'en expliciter les compétences et savoirs essentiels à cibler, d'autre part un relevé des pratiques des enseignants les plus efficaces dans la discipline concernée servira à caractériser les aspects didactiques et pédagogiques à privilégier. Enfin un état des lieux des pratiques habituelles, des outils communément employés permettra de mieux cerner un modèle théorique de l'utilisateur et sa zone proximale de développement professionnel (Renaud, 2020a). Les critères d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité susmentionnés sont donc au centre des préoccupations des concepteurs qui vont « veiller à ce que l'organisation de cet apprentissage soit compatible avec les schèmes professionnels des enseignants » (Renaud, 2020a, p.67).

Avant la dernière étape de cette démarche qui consiste en une évaluation de l'outil à grande échelle et qui de fait ne concernera pas notre recherche, nous allons nous intéresser tout particulièrement à la deuxième, qui est le cœur du processus de conception continuée dans l'usage. Un processus itératif, mis en place durant deux années dans le souci d'une amélioration continue des prototypes dont les versions successives visent à rendre progressivement l'outil de plus en plus utile, utilisable et acceptable des enseignants. Un groupe d'enseignants volontaires plus restreint la première année, élargi la seconde, testent en classe les prototypes qui se succèdent au cours de l'expérimentation. Engagés dans un dialogue avec les didacticiens-concepteurs à l'origine du projet, les enseignants deviennent alors des co-concepteurs. « L'enjeu est d'explorer, dans un même cadre, les logiques et les positions hétérogènes des enseignants et des concepteurs pour faire œuvre commune » (Goigoux, 2017, p.139). Un nouvel équilibre s'instaure entre enseignants et chercheurs où les savoirs de chacun sont légitimes. Dans cette démarche, le pouvoir d'agir des enseignants est ainsi valorisé par les chercheurs qui veillent à ne pas se placer dans une position de supériorité (Goigoux, 2017). Les désaccords ne sont pas à envisager par les chercheurs comme des obstacles mais bien comme des leviers de modification des outils les rendant plus acceptables par tout le groupe des co-concepteurs (Goigoux, 2017). Ces outils, doublement pertinents car opérationnels et scientifiquement fondés, sont des leviers efficaces pour changer les pratiques

enseignantes et in fine améliorer l'apprentissage des élèves, notamment celui des plus fragiles.

La conception continuée dans l'usage relève donc d'une démarche « dialogique d'apprentissages mutuels » (Béguin, 2003, p.152). Cela ne doit pas être réduit à un dialogue mais être considéré comme « un processus dont la structure est dialogique : le résultat du travail de l'un est remis en travail dans l'activité de l'autre, donnant lieu à une réponse » (Béguin, 2003, p.152). La conception continuée dans l'usage emprunte au champ de l'ergonomie de l'activité les termes qu'elle utilise comme prototype ou encore instrument. Dans ce type de recherche, l'attention est portée d'une part sur la manière dont les enseignants vont le mettre à leur main et d'autre part sur celle dont l'outil va influencer sur leurs pratiques (Renaud, 2020a). Ce phénomène « d'objectivation de la réalité du travail de l'enseignant » (Renaud, 2020a, p.68) relève d'une « genèse instrumentale » théorisée par Rabardel (1995). C'est ce que nous nous proposons d'examiner plus précisément dans la suite de notre propos.

1.3. Des artefacts aux instruments

1.3.1. Concept d'artefact

Folcher et Rabardel (2004) modélisent les rapports que les hommes entretiennent avec les machines. Ils distinguent dans leurs travaux 3 grands types d'approches. Le premier correspond à des approches centrées sur « l'interaction entre l'homme et la machine » (Folcher et Rabardel, 2004, p.251). Le deuxième considère « l'homme et la machine comme un système engagé dans une tâche. » (Folcher et Rabardel, 2004, p.251). Enfin le troisième regroupe les approches qui s'appuient sur « la médiation de l'activité par l'usage des artefacts » (Folcher et Rabardel, 2004, p.251). Si ces types d'approches sont différents, ils n'en sont pas moins complémentaires et mis en œuvre conjointement dans la pratique.

C'est dans le troisième type d'approche qu'apparaît le concept d'artefact. L'artefact est ici à considérer, dans une perspective vygotskienne, comme un outil culturel. Il n'est pas seulement un outil à l'état brut mais bien ce qu'en font les hommes dans leurs activités. Les artefacts sont de nature différente : matériel, sémiotique, symbolique, et pour une large part des ressources très diverses (Folcher et Rabardel, 2004). Ils font « l'objet de transmission, d'appropriation, et de développement au sein

des communautés, dans des contextes professionnels comme dans ceux de la vie quotidienne » (Folcher et Rabardel, 2004, p.254).

Nous allons illustrer ce propos à partir d'un exemple : l'appareil photo numérique dans un contexte d'utilisation de la vie quotidienne.

L'optimisation de la lisibilité de l'écran, selon qu'il est placé en pleine lumière ou dans l'obscurité, correspond ainsi à une approche relevant de l'interaction entre l'utilisateur et l'appareil photo numérique.

Les réglages pour la prise de vue témoignent quant-à-eux de l'engagement d'un système formé par l'utilisateur et l'appareil photo numérique, à la tâche ensemble au travers de ces réglages qui peuvent être manuels, semi-automatiques ou entièrement automatisés, au choix de l'utilisateur.

Le développement du numérique dans la photographie a notamment changé notre rapport au cliché. Dans l'usage des appareils argentiques, il ne fallait pas gâcher la pellicule avec de mauvais clichés. Avec le numérique, ceux-ci ne posent plus de problème puisqu'ils peuvent être observés instantanément sur un écran, supprimés et refaits à loisir. L'appareil photo numérique avec son écran induit un nouveau rapport au cliché, qui lui-même participe à une transformation de l'activité (Folcher et Rabardel, 2004).

Afin de mieux comprendre ce qui se joue entre un utilisateur et un artefact, Rabardel (1995) nous amène à distinguer l'artefact de l'instrument. L'instrument est composé à la fois d'une partie matérielle ou symbolique (l'artefact) et d'une partie psychologique où l'utilisateur élabore et s'approprie respectivement des schèmes d'utilisation personnels et sociaux relatifs à l'artefact. L'auteur conçoit l'instrument comme « une entité mixte formée d'un artefact et d'un schème » (Rabardel, 1995, p. 47). Les schèmes d'utilisation ont une double nature, une nature individuelle puisqu'ils appartiennent à un sujet singulier, et une nature sociale puisqu'ils émanent d'un processus collectif auquel participent les utilisateurs et les concepteurs d'un artefact. Un sujet peut potentiellement s'approprier ces schèmes d'utilisation sociaux alors transmis selon différentes modalités allant d'un mode d'emploi jusqu'à une formation (Rabardel et Samurçay, 2006).

C'est au cours de ce que Rabardel (1995) appelle une « genèse instrumentale » que le sujet construit l'instrument, celui-ci n'étant pas donné de prime abord. Dans la genèse d'un instrument par un sujet, deux processus sont simultanément à l'œuvre : « l'instrumentation » et « l'instrumentalisation ».

L'instrumentation est dirigée vers le sujet. Elle est la manière dont l'artefact va structurer l'action d'un sujet pour réaliser une tâche à travers « l'appropriation de schème sociaux d'utilisation, l'émergence et le développement de schèmes privés » (Rabardel et Samurçay, 2006, p.44).

L'instrumentalisation est dirigée vers l'artefact. Elle est la manière dont le sujet va personnaliser l'artefact, le mettre à sa main. En particulierisant certaines propriétés de l'artefact ou encore en en développant de nouvelles, le sujet lui « donne un statut de moyen pour l'action et l'activité » (Folcher et Rabardel, 2004, p.261).

Les forts progrès technologiques de ces dernières décennies ont aussi gagné le champ de la formation. Concomitamment, de nombreuses recherches ont été réalisées sur « l'apprentissage, le développement des connaissances et des compétences, et sur la conception des artefacts et des environnements d'apprentissage et d'enseignement » (Rabardel et Samurçay, 2006, p.31). Rabardel et Samurçay (2006) avancent qu'il est réducteur de penser la médiation des activités uniquement par les artefacts. Quand on se place du côté de l'apprenant, il est plus judicieux de penser une médiation par les instruments. Ces précisions sur le concept d'artefact nous amènent à nous questionner sur les différents modes de médiation de l'activité par l'instrument.

1.3.2. Médiations et systèmes d'instruments

Un utilisateur n'est pas seulement un être qui interagit avec un artefact. Il est à considérer comme une personne volontairement impliquée à la fois dans des « activités productives » c'est-à-dire des tâches à réaliser, et dans des « activités constructives », des ressources à élaborer (Rabardel et Samurçay, 2006, p. 31). Trois axes principaux de la médiation par les instruments se distinguent et orientent ces deux types d'activités. Les médiations sont respectivement dirigées : « vers l'objet de l'activité, vers les autres sujets, et enfin vers soi-même » (Folcher et Rabardel, 2004, p.256).

Les médiations qui correspondent à une activité du sujet orientée vers l'objet sont premières. Elles sont composées à la fois de médiations « épistémiques » et de médiations « pragmatiques ». Les médiations épistémiques sont relatives à la prise de connaissance des propriétés de l'objet. Reprenons l'exemple que nous avons déjà évoqué concernant le cliché photographique. Instantanément l'utilisateur a la possibilité de l'enregistrer dans la mémoire de l'appareil photo numérique ou de le

refaire à partir d'une prise d'informations sur le cliché supprimé. Les médiations pragmatiques renvoient quant-à-elles à une action sur l'objet. La suppression d'un cliché par une action de l'utilisateur sur une commande tactile à l'écran en est un exemple (Folcher et Rabardel, 2004, p.256).

Au-delà, quand l'activité de l'utilisateur est dirigée vers les autres, on parlera de médiations « interpersonnelles », voire « collaboratives » lorsque le travail est collectif. Enfin quand l'activité du sujet est dirigée vers lui-même, on parlera cette fois de médiations « réflexives ». C'est ainsi par exemple qu'un sujet photographié est dans un rapport à lui-même lors d'une séance chez le photographe, quand il examine seul sa propre image. Mais quand il l'examine à l'aune du regard porté par le photographe, le photographié est alors dans une médiation interpersonnelle (Folcher et Rabardel, 2004).

Toutes ces médiations sont interdépendantes. De plus elles sont liées à des instruments différents qui ne sont pas isolés. Examinons maintenant ce que Rabardel appelle « systèmes d'instruments » (Folcher et Rabardel, 2004).

Il est ici question de la nature systémique des liens entre les instruments. L'observation de l'utilisation des outils dans le domaine de la mécanique a permis de mettre en évidence une variété de l'organisation de l'outillage par les opérateurs. En fonction de leur expérience, les opérateurs structurent et réorganisent l'ensemble des outils à leur disposition pour rendre leur action plus économique et efficace (Lefort, 1982, cité par Folcher et Rabardel, 2004). Ainsi le développement des systèmes d'instruments comme des instruments va de pair avec l'expérience grandissante des utilisateurs et les progrès dans le domaine d'activité concerné (Folcher et Rabardel, 2004). Ce sont des catégories de situation ou des domaines d'activité qui permettent d'organiser les instruments en systèmes (Folcher et Rabardel, 2004).

Après avoir examiné les concepts développés dans le cadre d'une action médiatisée par les instruments, nous allons nous intéresser à son caractère formatif.

1.3.3. Aspect formatif de l'action médiatisée par les instruments

Deux éléments permettent d'attribuer à l'activité médiatisée par les instruments un aspect formatif : « la gestion des contraintes et l'ouverture du champ des possibles » (Rabardel et Samurçay, 2006, p.33).

Rabardel (1995) distingue trois formes de contraintes. Certaines renvoient à l'existence même de l'artefact en tant qu'objet et donc à ses spécificités. D'autres

contraintes sont liées à la nature des objets de l'activité sur lesquels l'artefact rend possible une action, voire une transformation. Et enfin, d'autres encore correspondent aux modalités d'action inscrites par les concepteurs dans la structure de l'artefact (Rabardel, 1995).

Rabardel et Samurçay (2006) montrent comment un changement de l'interface de hauts fourneaux a permis d'en améliorer la conduite. Les contraintes que la nouvelle interface (l'artefact) impose à l'opérateur lui ont permis d'avoir une meilleure qualité d'analyse des situations rencontrées mais aussi d'agrandir le nombre de phénomènes identifiés. Il s'agit bien là pour l'opérateur de disposer d'un éventail plus large d'actions possibles. Les contraintes de l'artefact et le champ des possibles qui s'ouvre sont complémentaires.

Comme nous l'avons vu, pour un sujet, la médiation par les instruments n'est pas réduite à l'artefact « nu », elle passe bien évidemment par les autres sujets : pairs, concepteurs, formateurs. Examinons le rôle du formateur dans ce type de médiation de l'activité par les instruments.

Rabardel et Samurçay (2006) présentent leur recherche sur des formations à la conduite collective de centrale nucléaire qui se déroulent sur un simulateur. Ils distinguent trois temps dans l'élaboration et la mise en œuvre des simulations. Ce sont tout d'abord les formateurs qui, outillés d'une méthode d'analyse de l'activité de conduite, conçoivent pour les opérateurs des situations d'apprentissage médiatisées par le simulateur. Puis vient dans un deuxième temps, la séance de formation proprement dite où le formateur et le groupe d'apprenants sont en coactivité. Le formateur est dans deux types d'activités : d'une part le contrôle et l'intervention sur l'activité productive du groupe d'apprenants, et d'autre part le recueil de divers éléments prélevés dans l'activité qui lui permettent d'agir sur l'activité constructive du groupe d'apprenants. Les apprenants quant-à-eux sont engagés collectivement d'une part dans une activité productive de résolution du problème simulé dirigée vers l'objet, et d'autre part dans une activité constructive dirigée vers eux-mêmes qui les place dans une analyse réflexive de leur activité. Le troisième temps est un bilan de la séance de formation. Une simple évocation de l'activité par les apprenants ou encore un apport technique limité du formateur ne sont pas des situations assez riches. Une manière d'enrichir l'analyse en termes d'activités est de proposer une grille de lecture aux apprenants pour qu'ils se saisissent de leur activité comme d'un objet de travail. L'étude montre que les activités réflexives sont bien plus riches en termes

d'apprentissage que les activités qui consistent en une répétition de l'action (Rabardel et Samurçay, 2006).

Pour conclure cette partie, revenons sur les trois principaux rapports que les hommes entretiennent avec les machines. Si l'interaction homme-machine ou les systèmes hommes-machines s'attachent à adapter les systèmes techniques à l'homme, les approches formatives de l'activité médiatisée visent le développement des instruments par les sujets. « Au travers des genèses instrumentales, les utilisateurs contribuent dans l'usage à la conception à la fois des artefacts, des schèmes d'utilisation, des usages et de leurs conditions » (Folcher et Rabardel, 2004, p.265)

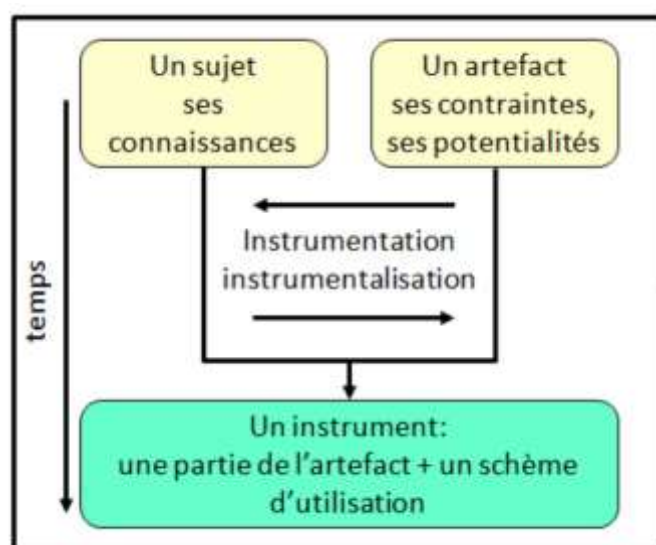


Figure 6 : genèse instrumentale (Maschietto et Batolini Bussi, 2013, p.3)

Parmi de nombreux artefacts numériques, nous avons porté notre attention sur une machine à calculer, la pascaline. En effet celle-ci semble posséder les caractéristiques permettant à un enseignant, avec ses connaissances, d'engager une activité réflexive sur la numération, et plus particulièrement son aspect décimal. Regardons plus précisément l'intérêt d'un tel instrument.

1.3.4. Un artefact numérique : la pascaline

La pascaline (figure 7) commercialisée sous le nom « zéro+1 » est un artefact arithmétique conçu à des fins didactiques et pédagogiques. Elle s'inspire de la célèbre machine à calculer du philosophe et mathématicien Pascal (1623-1662), d'où sa dénomination.

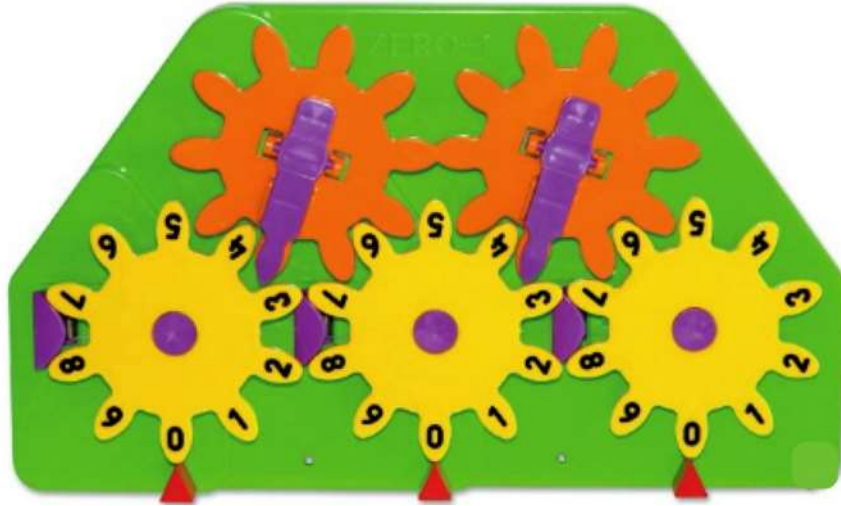




Figure 7 : la machine « zéro+1 » fabriquée par la société italienne Quercitti

Les dimensions historique et culturelle de cet artefact sont très fortes puisque la pascaline est considérée comme l'une des toutes premières machines à calculer. Ces dimensions historique et culturelle constituent, avec le contenu mathématique et les schèmes d'utilisation, les trois éléments du « potentiel sémiotique de la machine » (Maschietto et Batolini Bussi, 2013, p.12) que nous présentons dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : potentiel sémiotique de la pascaline, d'après Soury-Lavergne et Maschietto (2013)

<p>Dimensions historique et culturelle</p>	<p>Développement des machines automatiques à calculer :</p> <div style="text-align: center;">   </div> <p>La pascaline historique (1645) → une calculatrice grand public (2021)</p>
<p>Contenu mathématique embarqué</p>	<p>L'itération de l'unité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la suite des nombres entiers générés par +1 ; - un nombre n vu comme n fois (+1) . <p>L'aspect positionnel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la distinction entre chiffre et nombre avec la présentation des dix chiffres sur chacune des roues dentées ; - l'utilisation des chiffres pour l'écriture symbolique des nombres en notation décimale positionnelle avec de la droite vers la gauche les roues des unités, des dizaines et des centaines ; - la valeur d'un chiffre dépend de sa position dans l'écriture du nombre : un même chiffre dans deux positions différentes désigne deux valeurs différentes ;

	<ul style="list-style-type: none"> - le signifié du zéro même s'il indique un manque d'unité a une valeur d'étiquette sur une dent et de position dans l'écriture d'un nombre ; - un nombre $n \leq 999$ vu comme c fois (+100) et d fois (+10) et u fois (+1) avec c, d et u, chiffres de 0 à 9 . <p>L'aspect décimal :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la composition des unités en dizaine, des dizaines en centaine, dans l'addition avec l'automatisme de la retenue ; - la décomposition d'une centaine en dizaines, d'une dizaine en unités avec l'automatisme de la retenue. <p>Les opérations :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le lien entre addition et soustraction comme opérations inverses ; - la commutativité de l'addition ; - la non-commutativité de la soustraction, contrairement à l'addition ; - la multiplication vue comme une addition itérée ; - la division vue comme une soustraction itérée.
Schèmes d'utilisation	<p>L'action de base est la rotation d'une dent à la fois.</p> <ul style="list-style-type: none"> - le comptage est fait par itération de l'action de base sur la roue des unités ; - le comptage en avant s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre ; - le comptage en arrière s'effectue dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ; - le nombre est lu en correspondance des dents placées au-dessus des prismes rouges ; - l'écriture d'un nombre par itération s'effectue par l'action de base uniquement sur la roue des unités ; - l'écriture par décomposition s'effectue en réalisant l'action de base successivement sur chacune des roues ; - lors de l'automatisme de la retenue, la machine oppose une certaine résistance par rapport à l'action habituelle sur les autres dents et on entend un bruit plus fort ; - la résistance et le bruit sont encore plus forts quand toutes les roues sont actionnées dans les passages de (.99) à (.00) ; - l'initialisation de la machine est une action importante ; - l'addition de plusieurs termes: écrire le premier terme sur la pascaline, puis agir sur les roues dans le sens des aiguilles d'une montre pour les termes suivants, la machine affichant les résultats ; - le choix du premier terme à écrire permet de réduire le coût de la procédure (commutativité de l'addition) ; - mêmes actions pour la soustraction à condition de tourner les roues dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et d'écrire le plus grand terme avant d'agir pour les suivants (non-commutativité de la soustraction) ; - la multiplication et la division utilisent respectivement les actions de l'addition et de la soustraction mais nécessitent une mémoire extérieure à la machine (mentale, écrite ou mettant en jeu les doigts de la main).

La pascaline, comme le montre l'analyse du potentiel sémiotique de cet artefact, semble pleine d'intérêt pour l'enseignement de la numération. Elle nécessite de la part de l'utilisateur bon nombre d'actions et de contrôles en lien avec son « contenu

mathématique embarqué » (Maschietto et Batolini Bussi, 2013, p.12). Ce qui en fait son intérêt principal dans notre recherche, c'est la possibilité qu'offre la pascaline aux enseignants de médier l'aspect décimal de la numération grâce à la rotation automatique de roues d'ordre supérieur qu'entraînent par exemple la composition de dix unités en une dizaine, ou encore celles de dix dizaines en une centaine. Pour rappel, l'importance de l'enseignement de l'aspect décimal est peu ou mal perçue des enseignants (Tempier, 2010).

Mais la pascaline montre aussi des limites quand l'utilisateur l'actionne en dehors de son domaine de fonctionnement. Les nouvelles configurations rencontrées au gré des manipulations des utilisateurs demandent alors à être interprétées pour leur donner du sens (Soury-Lavergne et Maschietto, 2012). Par exemple, la pascaline ne peut pas calculer le résultat d'une somme dont le résultat serait supérieur à 999 et aurait quatre chiffres, alors même qu'il est possible d'écrire le premier terme et d'agir sur la machine pour le second. Du sens pourrait être donné à cet état obtenu, en imaginant le résultat écrit avec une pascaline qui aurait quatre roues.

Savoir utiliser cet instrument pour effectuer des calculs, en connaître le domaine de fonctionnement, ne signifie pas pour autant savoir l'utiliser pour enseigner la numération.

1.4. Problématique et hypothèses

Afin de développer le pouvoir d'agir des enseignants dans l'enseignement de la numération, nous avons souhaité associer à la pascaline, l'artefact matériel, un second artefact : une proposition de séquence d'exploitation de la machine à calculer, à considérer comme le premier prototype d'une conception continuée dans l'usage de ce duo d'artefacts.

En effet, dans ses derniers travaux, Tempier (2015) qui a développé une ressource pour enseigner [la numération du CE2 à la 6^{ème}](#)³ en adoptant la méthodologie d'ingénierie didactique pour le développement d'une ressource, indique qu'il « pourrait y avoir un intérêt à chercher une véritable collaboration avec les enseignants » dans le travail de préparation (Tempier, 2015, p.109). La conception continuée dans l'usage semble répondre au besoin identifié par Tempier (2015). En l'occurrence, elle permet l'ouverture d'un dialogue constructif entre chercheurs et praticiens dans la conception

³ [Accueil Numération du CE2 à la 6eme : ressources pour les enseignants \(free.fr\)](#)

d'un dispositif d'enseignement. C'est bien d'une véritable collaboration dont il s'agit puisque les connaissances issues de la recherche comme celles des praticiens sont ici considérées comme pareillement légitimes (Renaud, 2020). De plus, les travaux de Renaud (2020) ont apporté une méthodologie permettant de « traiter les retours des enseignants qui testent un outil didactique dans un processus de conception continuée dans l'usage » (Renaud, 2020, p.77). Pour ce faire, Renaud (2020) a construit une grille d'indicateurs à propos de l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de l'outil #LectureDoc dont elle indique qu'ils pourraient être utilisés au-delà de sa recherche afin de vérifier s'ils permettent d'expliquer les réussites ou les échecs d'autres outils innovants. Ainsi, face à un outil innovant comme la pascaline, nous nous sommes demandés :

En quoi la mise en œuvre par des enseignants d'une démarche de conception continuée dans l'usage à partir d'une proposition de séquence d'exploitation d'un artefact numérique tel que la pascaline, avec son savoir « embarqué » sur la numération décimale de position rendrait cet outil plus utile, utilisable et acceptable ?

À partir des éléments définis dans le cadre théorique, nous pouvons formuler une première hypothèse :

- La mise en œuvre d'une démarche de conception continuée dans l'usage à partir d'une proposition de séquence d'exploitation d'un artefact numérique tel que la pascaline, avec son savoir « embarqué » sur la numération décimale de position, permettrait aux enseignants de s'approprier cet outil en le rendant plus utile, utilisable et acceptable.

Après avoir examiné ce que seraient les pratiques enseignantes avec ce duo d'artefacts constitué de la pascaline et de la séquence qui lui est associée, c'est-à-dire leur instrumentalisation par les enseignants, nous nous proposons donc, dans une seconde hypothèse relevant de l'instrumentation, de vérifier si :

- La mise en œuvre d'une démarche de conception continuée dans l'usage à partir d'une proposition de séquence d'exploitation d'un artefact numérique tel que la pascaline, avec son savoir « embarqué » sur la numération décimale de position, serait utile aux enseignants de cycle 2 parce qu'elle leur permettrait d'aller questionner les savoirs de la numération à enseigner.

En effet ces savoirs, comme nous l'avons relevé, sont mal perçus des enseignants, notamment l'aspect décimal, car « notre système de numération écrit est un objet très

naturalisé chez les adultes » (Tempier, 2010, p.59) et les enseignants n'échappent pas à cette règle. Autrement dit, engagés avec leurs connaissances dans une genèse instrumentale (Rabardel, 1995) à propos de ce duo d'artefacts, nous nous demandons ce que les enseignants questionneraient des savoirs de la numération à enseigner et ce qu'il en est plus particulièrement de l'aspect décimal.

2. Protocole de recherche

Pour répondre à notre question, notre méthodologie emprunte à celle de la conception continuée dans l'usage. Nous nous situons à l'étape 1 et au début de l'étape 2 de cette démarche. Notre recherche exploratoire interroge l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité d'un duo d'artefacts : la pascaline et une séquence d'exploitation qui lui est associée et qui reste à concevoir. Dorénavant quelques points importants de notre étude seront mis en valeur dans des entrefilets.

2.1. Conception d'un premier prototype

Selon Renaud (2020), la conception d'un premier prototype s'appuie sur un état de l'art réalisé à trois niveaux. En lien avec la thématique de notre recherche qui porte sur l'enseignement de la numération, nous avons examiné :

- les connaissances sur l'enseignement-apprentissage de la numération ;
- les méthodes efficaces pour l'enseigner ;
- le constat dans ce domaine des pratiques enseignantes ordinaires et de leur possible évolution.

2.1.1. Connaissances sur l'enseignement-apprentissage de la numération

Dans un premier temps, nous avons déterminé ce qui sera visé par l'outil en termes de compétences à atteindre et de connaissances à enseigner. La synthèse des connaissances sur les processus d'apprentissage des élèves et sur leurs difficultés en numération montrent que les difficultés rencontrées par les élèves sont étroitement liées aux conceptions des enseignants sur l'enseignement de la numération (Bednarz & Janvier, 1984). Notamment l'importance d'enseigner l'aspect décimal de la numération est mal perçue des enseignants qui privilégient l'enseignement de son aspect positionnel (Tempier, 2010). Nous avons fait le choix d'un premier outil innovant, la pascaline, dont l'objet principal est d'aller au-delà de l'enseignement du

seul aspect positionnel de la numération pour amener les élèves à comprendre ce que cache l'écriture chiffrée, c'est-à-dire le lien décimal entre les valeurs des chiffres.

.....
Une cible : utiliser des écritures en unités de numération et leurs relations (principe décimal).

Un outil innovant au service de la cible : la pascaline.
.....

2.1.2. Adaptation d'un scénario pédagogique efficace

Dans un deuxième temps, nous avons élaboré un premier prototype, une proposition de séquence sur la pascaline, en nous appuyant sur un canevas de séquence de l'Institut Français de l'Éducation (IFÉ). Ce canevas composé de quatre unités (figure 8) est intitulé « La pascaline : de la machine à la tablette numérique »⁴. Il appartient à un panel de séquences proposées par l'IFÉ qui répondent dans leur conception aux critères d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité. Sur son site, l'IFÉ indique que :

« Les séquences d'enseignement proposées ont fait l'objet d'un travail collaboratif s'appuyant sur l'expertise complémentaire des enseignants, formateurs et chercheurs impliqués dans le projet. La conception de ces ressources s'appuie sur une méthodologie de type design based research qui repose sur des boucles itératives de conception, expérimentation, analyse, amélioration. Une telle méthodologie vise à produire des ressources adaptées, utiles et utilisables par d'autres acteurs de terrain. »⁵



Figure 8 : organisation de la séquence de l'IFÉ « La pascaline : de la machine à la tablette numérique » (Colas, Golay, Henry, Soury-Lavergne)

⁴ [La pascaline : de la machine à la tablette numérique — Sciences en Côte d'or \(ens-lyon.fr\)](#)

⁵ [Séquences d'enseignement et outils d'aide à la conception — Sciences en Côte d'or \(ens-lyon.fr\)](#)

Les choix didactiques et pédagogiques opérés dans le premier prototype (annexe 1) respectent ceux de l'organisation de la séquence donnée par l'IFÉ, ce qui leur garantit une certaine légitimité scientifique. Notamment dans l'unité 1, la séquence permet d'engager les élèves dans une démarche d'investigation, propice selon les auteurs aux apprentissages en mathématiques. L'IFÉ propose également une modélisation informatisée de la pascaline, appelée e-pascaline (figure 9) très ressemblante à la machine. L'e-pascaline permet à la fois des retours collectifs avec le support d'un tableau blanc interactif et des entraînements individuels des élèves sur un ordinateur ou une tablette. Elle est complémentaire à la pascaline mais n'a pas vocation à s'y substituer (Soury-Lavergne et Maschietto, 2013). Nous avons donc logiquement privilégié dans notre adaptation l'utilisation de la pascaline avec les élèves en classe. Par ailleurs, nous avons fait le choix de réserver l'usage de l'e-pascaline aux seuls moments collectifs de retour et d'échange entre les élèves sur leurs procédures. En effet, les classes du cycle 2 de l'école dans laquelle s'est déroulée notre recherche sont bien équipées en vidéoprojecteurs interactifs, et les enseignants les utilisent quotidiennement ; tandis qu'elles ne sont pas pourvues de tablettes mais seulement d'un ordinateur en fond de classe rarement mis en service. L'utilisation des cahiers d'entraînement individuel sur ordinateur aurait alors pu constituer un obstacle à la mise en œuvre du dispositif en risquant d'être trop éloignée des pratiques habituelles des enseignants associés à notre recherche. Nous avons donc préféré ne pas les proposer afin de rendre plus acceptable le premier prototype.

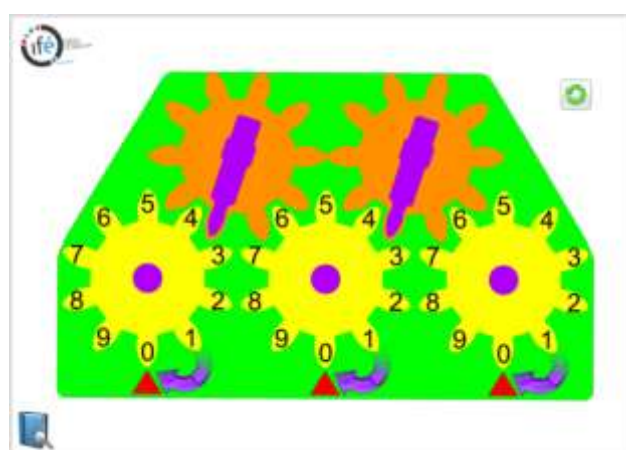


Figure 9 : unique page du cahier e-pascaline seule ⁶ (IFÉ)

⁶ [Les cahiers Cabri Elem — Educmath \(ens-lyon.fr\)](http://www.ens-lyon.fr)

Chaque unité proposée par l'IFÉ correspond à une séance du premier prototype. La séquence de l'IFÉ étant destinée à des élèves de CP, il nous a fallu l'adapter à l'ensemble du cycle 2. Quand cela le nécessitait, nous avons donc différencié les contenus du premier prototype selon deux entrées, l'une pour un niveau CP et l'autre pour un niveau CE1-CE2. Pour autant nous avons gardé des scénarios identiques quelle que soit l'entrée (figure 10) afin de permettre aux co-concepteurs de travailler sur un objet commun.

<p>10 min</p>	<p>phase 5 : découverte et débat : première soustraction</p>	<p>Demander aux élèves de calculer avec la pascaline la différence : CP 17-9 CE1-CE2 65-27</p> <p>S'appuyer sur les découvertes survenues aux phases précédentes pour permettre aux élèves d'explicitier leur procédure : - Écrire 17 puis tourner la roue des unités 9 fois dans le sens inverse du sens croissant des nombres (sens décroissant) "</p> <p>« Quand on soustrait des nombres entiers, on n'a pas le droit de changer l'ordre des termes car alors cela n'a pas de sens. Le premier terme est toujours plus grand ou égal au deuxième »</p> <p>Faire observer la décomposition d'une dizaine en unités. « N'avez-vous pas entendu un son, un dé clic plus fort ? à quoi correspond -il ? »</p>	<p>Les élèves manipulent la pascaline.</p> <p>Les élèves s'interrogent et comparent le fonctionnement de la pascaline à celui d'une calculatrice.</p> <p>Les élèves découvrent les procédures justes pour soustraire deux nombres sur la pascaline. Ils les explicitent.</p> <p>Répondre : c'est la retenue, on a besoin de « casser » (décomposer) la dizaine en unités</p> <p>(individuel et collectif)</p>	<p>Une pascaline pour 2</p>	<p>- découvrir et expliciter la procédure d'utilisation de la pascaline pour la soustraction</p>
---------------	--	--	---	-----------------------------	--

Figure 10 : extrait de la séance 3 (annexe 1, p.8)

Enfin, d'après Tempier (2010), les enseignants du cycle 2 n'envisagent pas les propriétés de la numération comme une stratégie que les élèves peuvent utiliser pour résoudre certains problèmes. C'est pourquoi nous avons choisi d'ajouter une dernière séance, la cinquième, intitulée « résoudre des problèmes avec la pascaline » qui remet en jeu les propriétés de la numération dans la résolution de problèmes. Cet ajout est un élément supplémentaire permettant de vérifier si les représentations des co-concepteurs au sujet de leur reconnaissance de l'utilité des propriétés de la numération ont évolué au cours de la recherche.

.....
Un premier prototype : une conception d'un scénario didactique commun à l'ensemble du cycle 2 qui est composé de 5 séances.

Une caution didactique : une conception adossée à une proposition de l'IFÉ.

Dans la conception continuée dans l'usage, au moment de l'élaboration du premier prototype à l'étape 1, la prise en compte des utilisateurs, les enseignants, est

très importante. Il s'agit de définir un profil type, « un modèle théorique de l'utilisateur » (Rabardel et Pastré, 2005, cités par Renaud, 2020a, p.67). Dans notre recherche, l'utilisateur type est un enseignant fictif dont les pratiques correspondraient aux pratiques communément rencontrées dans les classes au sujet de l'enseignement de la numération. Intéressons-nous maintenant à ces pratiques ordinaires.

2.1.3. État des pratiques enseignantes ordinaires

Dans un troisième temps, nous nous devons de réaliser un état des pratiques enseignantes ordinaires concernant l'enseignement de la numération au cycle 2. Pour définir ce modèle théorique de l'utilisateur, nous nous sommes appuyés sur les travaux de Tempier (2010) sur la numération décimale au CE2 à travers son étude des programmes et des manuels. Ce dernier, à la suite des recherches de Bednarz et Janvier (1984), fait état de pratiques des enseignants de CE2 qui malheureusement ont peu évolué. Il relate que l'institution dans les programmes de 2008 met exclusivement en avant l'aspect positionnel de la numération, alors que certains manuels proposent des activités mettant en jeu l'aspect décimal (Tempier, 2010). Il existe donc des possibilités pour les enseignants de s'emparer de l'enseignement de l'aspect décimal à la condition d'avoir « identifié ce savoir comme essentiel pour l'apprentissage de la numération » (Tempier, 2010, p.79). Même si les programmes actuels mentionnent maintenant l'aspect décimal, son lien avec les écritures en unités de numération, Tempier (2014) identifie des besoins significatifs de formation chez les enseignants sur ces différents points.

.....
Le modèle théorique de l'utilisateur : un enseignant qui pourrait potentiellement proposer des activités mettant en jeu l'aspect décimal sans pour autant mesurer l'importance d'enseigner explicitement cet aspect.
.....

2.2. Deuxième étape : la co-conception

Les outils innovants, comme la pascaline, sont souvent utilisés par un public restreint d'enseignants initiés et risqueraient d'être mal exploités par des enseignants ordinaires. Le modèle théorique de l'utilisateur, parce qu'il identifie la zone proximale de développement professionnel de l'enseignant ordinaire, lui offre la possibilité de s'emparer d'outils innovants dans le respect des intentions premières des concepteurs (Goigoux et Cèbe, 2009). Ainsi, dans cette démarche, le choix des enseignants co-concepteurs est important.

2.2.1. Choix des enseignants co-concepteurs

Dans ces travaux de conception continuée dans l'usage du prototype #LectureDoc, Renaud (2020a) mentionne qu'elle a choisi 12 enseignants suffisamment expérimentés, une dizaine d'années d'ancienneté dans la profession, pour qu'ils puissent émettre des avis constructifs à propos du test du premier prototype. Dans notre recherche, en raison des conditions sanitaires liées à la pandémie de la covid-19, les enseignants n'ont pas été choisis selon ce critère d'ancienneté. Afin que notre recherche puisse se réaliser dans ce contexte si particulier, nous avons décidé de la mener à l'école élémentaire dans laquelle nous exerçons. Nous avons fait clairement un choix de proximité pour limiter autant que faire se peut le risque de ne pas pouvoir mener à bien notre recherche. Nous sommes donc allés naturellement vers les collègues du cycle 2 de l'école (Tableau 3). Il s'agit de 5 enseignants expérimentés voire très expérimentés. Dans la suite de nos travaux, nous les désignerons par l'initiale de leur prénom. Deux enseignants sont spécialisés et deux autres exercent des missions d'accueil d'étudiants se destinant au professorat des écoles. Ils semblent donc pouvoir être en capacité vu leur expérience dans le métier d'apporter des avis constructifs lors de la phase de co-conception.

Tableau 3 : caractéristiques des co-concepteurs

Enseignant-concepteur	Genre	Niveau(x) d'enseignement	Expérience du cycle 2	Ancienneté générale	Spécialisation
Initiale du prénom	Femme Homme	Cours Préparatoire Cours Élémentaire Unité Locale d'Inclusion Scolaire	En années	En années	Maître d'Accueil Temporaire Maître E / difficulté scolaire Maître D / handicap
C	F	CE2	1	12	non
F	H	ULIS (cycle 2)	15	15	Maître D
K	F	CE1	25	30	MAT
M	F	CP	4	17	MAT
S	F	CE1-CE2	7	19	Maître E

.....
La population : 5 enseignants expérimentés d'une équipe de cycle 2.

Un choix de proximité : en raison du contexte sanitaire nous avons mené la recherche dans notre école.

2.2.2. Positionnement des enseignants-concepteurs

En amont de la phase de test du prototype, nous avons positionné les enseignants-concepteurs quant à leurs connaissances et leurs conceptions de l'enseignement de la numération, et l'état de leurs pratiques dans ce domaine. En effet ce positionnement nous permet de situer les enseignants-concepteurs par rapport au modèle théorique de l'utilisateur que nous avons défini précédemment. Pour ce faire nous avons analysé, d'une part le discours des enseignants-concepteurs lors d'un entretien de positionnement, et d'autre part les outils qu'ils utilisent.

Concernant l'entretien de positionnement, nous avons choisi d'effectuer des entretiens semi-directifs permettant de questionner de manière ouverte les enseignants-concepteurs sur l'enseignement de la numération et leurs pratiques habituelles dans ce domaine. Ce type d'entretien nous semble approprié à notre recherche exploratoire à visée compréhensive. L'entretien vise un recueil des représentations des enseignants-concepteurs sur ces différents aspects. Un guide d'entretien (annexe 2) propose différentes entrées permettant de les questionner :

- Définition de la numération ;
- Numération et programmes officiels ;
- Numération dans les outils de préparation de la classe ;
- Numération et affichages de référence ;
- Tableau de numération ;
- Numération dans le rituel « chaque jour compte » ;
- Numération et manipulation ;
- Numération et calculs ;
- Numération et résolution de problèmes.

Par ailleurs nous nous sommes appuyés sur les travaux de Tempier (2010) pour analyser les manuels et les guides du maître utilisés par les enseignants-concepteurs selon la place qu'ils accordent au principe décimal dans les apprentissages. En effet, comme le souligne Tempier (2014), cela influence les pratiques des enseignants ordinaires d'autant plus que l'aspect décimal reste bien souvent implicite dans les remarques données aux enseignants figurant dans les guides pédagogiques. Nous avons également prélevé des traces dans leur activité, dans les cahiers des élèves

par exemple, pour nous renseigner sur leur façon de prendre en main les outils, afin de définir leur profil d'utilisateur selon Leroyer (2013). Ces données quant aux profils des enseignants-concepteurs sont comparées à celles recueillies dans la suite de notre recherche pour nous aider à répondre à notre première hypothèse, à savoir vérifier si les enseignants-concepteurs arrivent à s'approprier l'outil en le rendant plus utile, utilisable et acceptable.

Un positionnement des enseignants-concepteurs par rapport au modèle théorique de l'utilisateur réalisé selon une analyse :

- des entretiens individuels semi-directifs ;
 - des outils pédagogiques utilisés ;
 - de leurs profils (utilisateur, adaptateur, concepteur).
-
-

2.2.3. Formation à la pascaline

Afin d'initier chez les enseignants-concepteurs une genèse instrumentale de l'artefact matériel, la machine à calculer, nous avons proposé une formation courte de 45 minutes sur le fonctionnement de la pascaline. Nous avons conçu le conducteur de la formation (annexe 3) pour placer les enseignants-concepteurs dans une genèse instrumentale de la pascaline semblable à celle vécue par les élèves. Les enseignants-concepteurs ont donc suivi les mêmes étapes que celles proposées aux élèves mais en accéléré (Soury-Lavergne et Maschietto, 2013). Pour rappel, les différentes étapes proposées sont :

- Une première exploration de la machine ;
- L'écriture des nombres sur la machine ;
- Additionner et soustraire avec la machine ;
- Calculer de manière réfléchie.

Cette courte formation a été filmée et retranscrite (annexe 4) pour recueillir des premiers éléments quant à l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de la pascaline pour les enseignants-concepteurs.

Nous avons conclu la formation par une brève présentation du premier prototype de la séquence que les enseignants ont menée avec leurs élèves. Nous avons à l'issue de cette formation renseigné un planning hebdomadaire permettant d'organiser un roulement entre les différentes classes pour le prêt des deux mallettes

comportant chacune 6 pascalines. Avec l'aimable autorisation de Madame Soury-Lavergne de l'IFÉ qui nous a donné les codes d'accès aux cahiers d'activités de l'e-pascaline, nous avons installé sur l'ordinateur portable relié au vidéoprojecteur interactif de chacune des classes le cahier « e-pascaline seule », et montré à chaque enseignant comment l'utiliser. La réalisation des séances dans les classes s'est déroulée de mars à juin 2021.

.....
Prise en main de la pascaline :

- initier la genèse instrumentale chez les enseignants-concepteurs;
 - recueillir des premiers éléments en termes d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité de la pascaline.
-

2.2.4. Entretiens collectifs avec les co-concepteurs

Un point d'étape sous la forme d'un entretien collectif a été effectué à mi-parcours après la mise en œuvre par l'ensemble des enseignants des deux premières séances. Un dernier entretien collectif a permis de faire le point sur les trois dernières séances. Ces deux entretiens collectifs ont été enregistrés et retranscrits intégralement (annexes 5 et 6). Lors de ces entretiens, les enseignants sont invités à partager la durée de chacune des séances, ce qui les a surpris, leurs réussites ou les difficultés qu'ils ont rencontrées dans la mise en œuvre des séances. Ils sont incités à s'exprimer sur les changements qu'ils ont opérés dans le scénario pédagogique, sur ce qu'ils ont gagné en agissant de la sorte mais aussi sur ce qu'ils ont perdu (Renaud, 2020a). Pour mieux animer ces entretiens collectifs, nous avons mené nous-même la séquence dans notre classe de CP afin de pouvoir mieux identifier les passages à risque et ainsi nous aider à préparer les questions. Pour chacune des séances de manière générale, et plus précisément pour chacune des phases de chaque séance, nous avons ainsi élaboré un guide d'entretien en lien avec les 15 indicateurs (Tableau 4) sur les critères d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité que Renaud (2020b) a définis.

Tableau 4 : indicateurs d'analyse de l'utilisabilité, de l'utilité et de l'acceptabilité d'un outil didactique (Renaud, 2020a)

UTILISABLE (A)	<ul style="list-style-type: none"> • A1. Facilité pour comprendre l'outil • A2. Confort d'utilisation (simple, maniable) • A3. Charge de travail (durée de la préparation, charge cognitive, ressources attentionnelles) • A4. Flexibilité : outil modifiable et/ou adaptable (par le professeur) • A5. Ajustement : ajusté et/ou ajustable au public d'élèves
-------------------	---

UTILE (B)	<ul style="list-style-type: none"> • B1. Pertinence des objectifs poursuivis et/ou redéfinis • B2. Pertinence de la nature et de l'ordre des tâches proposées et des choix de supports* • B3. Pertinence de la temporalité de l'enseignement (durée des tâches, séances, séquences) • B4. Apports de l'outil par comparaison avec les autres outils ou techniques disponibles • B5. Constats d'intérêt, d'attention et de motivation des élèves • B6. Constats de progrès des élèves <p>* Ici des documents et contenus disciplinaires utilisés pour enseigner les stratégies de lecture ; tension entre les objectifs disciplinaires et ceux de lecture</p>
ACCEPTABLE (C)	<ul style="list-style-type: none"> • C1. Compatibilité avec l'éthique et les valeurs de l'enseignant • C2. Compatibilité avec la prescription : programme, horaires, méthodes... • C3. Compatibilité avec le style pédagogique de l'enseignant, ses démarches habituelles et son organisation pédagogique • C4. Favorable au développement professionnel de l'enseignant : ses propres apprentissages, son intérêt personnel, sa reconnaissance ou valorisation, le sens de son travail

Ce guide des entretiens collectifs (annexe 7) est le support du debriefing. Les questions sont posées à l'ensemble des enseignants-concepteurs, chacun est invité à y répondre. Ces entretiens collectifs sont un moment d'échange où chacun contribue à faire « œuvre commune » (Renaud, 2020a, p.69) en étant actif dans les choix à opérer pour améliorer collectivement le premier prototype. Si les questions appellent bien les jugements des enseignants-concepteurs selon les trois critères cités précédemment, elles ne préjugent pas des réponses qui sont données. À titre d'exemple, voici les questions posées lors de la première phase de la première séance où les élèves découvrent la machine à calculer sans savoir quel est cet objet mystérieux.

Tableau 5 : extrait des questions du debriefing de la séance 1 (annexe 7, p2)

Questions du debriefing
<p>Durée de la phase ? De quelle manière les élèves ont-ils accueilli ce nouvel objet ? (B5/motivation des élèves) Avez-vous pu observer comment les élèves manipulaient la pascaline ? Si oui, qu'avez-vous observé ? Si non, pourquoi ? (A3/ressources attentionnelles)</p>

Les données recueillies lors des entretiens collectifs ont nourri l'analyse de l'utilité, de l'utilisabilité, et de l'acceptabilité de la pascaline et du premier prototype, aux moments du point d'étape et de la fin de l'expérimentation.

.....
Entretiens collectifs :

- des debriefings permettant de mesurer l'appropriabilité du dispositif
-

2.2.5. Questionnaire final

Nous avons choisi de soumettre un questionnaire final (annexe 8) aux enseignants-concepteurs pour juger la profondeur de leur appropriation du dispositif. En effet, en plus de questionner en fin d'expérimentation et de manière générale, l'utilisabilité, l'utilité et l'acceptabilité du dispositif, deux questions permettent aux enseignants-concepteurs de se projeter l'année suivante, à savoir s'ils envisagent ou non d'utiliser à nouveau la pascaline et la séquence améliorée par le travail de co-conception.

.....
Questionnaire final :

- Un dernier éclairage sur les résultats obtenus et l'appropriabilité du dispositif
.....

2.3. Traitement des données

2.3.1. Positionnement

Nous avons extrait manuellement des entretiens individuels les données relatives aux représentations des enseignants-concepteurs à propos de l'enseignement de la numération. Nous avons utilisé l'outil « nuage de mots ⁷ » pour les illustrer. Nous avons confronté les représentations de chacun des enseignants aux 7 caractéristiques de Bednarz et Janvier (1984) sur l'enseignement de la numération et aux derniers apports de Tempier (2010) sur la non-transparence de la décimalité.

L'analyse des manuels et guides du maître des enseignants-concepteurs nous a permis de les classer quant au caractère implicite ou explicite donné au principe décimal de leurs outils pédagogiques. De plus, selon la typologie de Leroyer (2013), à partir des données recueillies lors des entretiens et des traces prélevées dans leur activité, nous avons classé les enseignants-concepteurs selon leur profil, à savoir s'ils sont plutôt des utilisateurs, des adaptateurs ou bien des concepteurs dans la manière dont ils utilisent les outils pédagogiques.

Tous ces éléments brossent en quelque sorte un portrait de chacun des enseignants quant à l'importance d'enseigner le principe décimal de la numération. Cela nous a permis finalement de positionner chaque enseignant par rapport au modèle théorique de l'utilisateur que nous avons défini : « un enseignant qui pourrait

⁷ [Générateur de nuage de mots clés gratuit en ligne et Générateur de nuage de tags. - NuagesDeMots.fr](#)

potentiellement proposer des activités mettant en jeu l'aspect décimal sans pour autant mesurer l'importance d'enseigner cet aspect ».

2.3.2. Formation et entretiens collectifs

Nous avons emprunté la méthodologie élaborée par Renaud (2020b), c'est-à-dire que nous avons utilisé ses 15 indicateurs pour traiter les retours des enseignants qui ont testé notre dispositif. Pour rappel, ce dispositif est constitué pour les enseignants-testeurs d'une courte formation accompagnant la prise en main de la pascaline, et d'une séquence d'exploitation en lien avec cet outil innovant à mettre en œuvre avec des élèves de cycle 2. À la suite de la formation et des entretiens collectifs, la méthodologie de Renaud (2020b) a permis de classer les propos des enseignants qui ont testé notre dispositif selon les critères d'utilisabilité, d'utilité et d'acceptabilité. Nous avons extrait manuellement de la formation et des entretiens collectifs les données relatives aux remarques des enseignants. Les données relevant de l'utilisabilité, de l'utilité et de l'acceptabilité sont respectivement surlignées dans les verbatims en jaune, violet et vert. Ce classement a donné lieu à 3 séries de 3 tableaux. La première série correspond à la courte formation, la deuxième au premier entretien collectif, et la troisième au second entretien collectif. Les tableaux permettant pour chaque critère de comparer les données ayant un caractère positif de celles en ayant un négatif et, pour celles qui sont négatives, de relever des propositions d'amélioration. Ainsi nous avons été en mesure de vérifier notre première hypothèse, à savoir si au cours de la démarche de co-conception continuée dans l'usage, les enseignants ont permis de rendre l'outil plus utile, utilisable et acceptable.

Les données concernant l'utilité du dispositif correspondent aux perceptions que les enseignants ont de l'utilité de mettre en œuvre un tel outil avec les élèves. Selon une focale, la décimalité, ces données ont été comparées dans un second temps avec celles du positionnement des enseignants-concepteurs. Ceci afin d'éclairer l'utilité du dispositif d'un point de vue didactique pour le développement professionnel des enseignants-concepteurs et ainsi répondre à notre seconde hypothèse.

2.3.3. Questionnaire final

Nous avons croisé les réponses des enseignants-concepteurs au questionnaire avec les données du positionnement, de la formation et des entretiens collectifs. Ce

croisement a pour objectif de donner un dernier éclairage sur les résultats obtenus et principalement d'alimenter la discussion.

3. Résultats et analyse

3.1. Positionnement des enseignants-concepteurs par rapport au modèle théorique de l'utilisateur

Des nuages de mots successifs pour chacun des enseignants co-concepteurs nous ont permis d'analyser de plus en plus finement leur discours à propos de l'enseignement de la numération avant l'expérimentation afin de les positionner par rapport au modèle théorique de l'utilisateur défini précédemment. Chaque ligne d'un nuage de mots correspond à un mot ou un groupe de mots utilisés par un enseignant.

3.1.1. Positionnement de C



Figure 11 : nuage de mots de C relatif aux mathématiques



Figure 12 : nuage de mots de C relatif à la numération

Le nuage de mots (figure 11) réalisé à partir des propos de C à son entretien initial fait apparaître très majoritairement le mot « nombre(s) », vingt-six fois. Les mots de la numération (unités, dizaines, centaines, milliers...) sont comparativement peu utilisés. Ce qui pourrait nous laisser à penser que C n'est pas trop à l'aise dans ce domaine. Intéressons-nous maintenant plus finement aux expressions employées par C pour parler de numération (figure 12). Les groupes de mots mis en avant dans le nuage de mots de C témoignent des conceptions de l'enseignante. Selon les 7 caractéristiques de Bednarz et Janvier (1984), il est à noter que ses préoccupations sont principalement tournées vers la lecture des nombres (caractéristiques n°1 et 2), leur taille (caractéristique n°5) ou encore leur décomposition. Concernant les décompositions, il nous faut vérifier dans les outils utilisés par C, si elles ne sont abordées qu'en

référence à la valeur des chiffres en fonction de leur position ou si elles mettent en jeu aussi l'aspect décimal de la numération. Pour cela observons les outils utilisés par C dans sa pratique.

C indique qu'elle utilise le fichier « Les nouveaux outils pour les maths au CE2 » (Magnard, 2016b) avec son guide pédagogique (annexe 9, p.2). Le guide donne quelques éléments (figure 13) de compréhension de l'aspect décimal de la numération distillés au fil des chapitres dans des encarts intitulés « connaissances pour le maître » ou encore « difficultés éventuelles » (Magnard, 2016a).

« La recherche du « nombre de » (en opposition au « chiffre des ») peut aussi poser problème : il s'agit de faire le lien entre la procédure automatisée et le contexte. Le sens a de l'importance. Par exemple, il faut comprendre que la recherche du nombre de groupes de 100 dans une quantité donnée correspond au nombre de centaines. » Dans ce cas, proposer des échanges « 10 contre 1 » (avec des « cartes 1, 10, 100, 1 000 ») pour redonner du sens à la numération **décimale** de position.

– la seconde variante est centrée sur la numération **décimale**.
Ex. : Dans 162×24 , on calcule 162×4 unités (on se place dans la colonne des unités), puis 162×2 dizaines (on se place dans la colonne des dizaines et on marque la non-utilisation de la colonne des unités par un point). C'est cette méthode qui est exploitée dans le fichier.

Ajouter, additionner des multiples de 10

Cette compétence est directement liée à notre numération **décimale** de position. Il sera donc particulièrement important de montrer aux élèves qu'ajouter 10, par exemple, c'est ajouter une dizaine et que, par conséquent, on ajoute 1 au chiffre des dizaines.

Le passage à la centaine supérieure est une difficulté à identifier : par exemple, ajouter 10 à 292, c'est ajouter 1 à 9 et, par anticipation, c'est repérer que 10 dizaines, c'est une centaine. Il en est de même pour ajouter 100.

L'outil de plusieurs dizaines ou centaines est également travaillé, suivant les mêmes principes de numération.

Soustraire des multiples de 10

Cette compétence est directement liée à notre numération **décimale** de position. Comme pour l'addition, il sera donc particulièrement important de montrer aux élèves que soustraire 10, c'est retrancher une dizaine et que, par conséquent, on enlève 1 au chiffre des dizaines.

Le passage à la centaine inférieure est une difficulté à identifier. Ex. : soustraire 10 à 307, c'est retrancher 1 à 30 et par anticipation, c'est repérer qu'une centaine, c'est 10 dizaines.

Il en est de même pour soustraire 100.

Le retrait de plusieurs dizaines ou centaines est également travaillé, suivant les mêmes principes de numération.

Figure 13 : extraits du guide pédagogique « Outils pour les maths CE2 » (Magnard, 2016a, p.36 ; p.66 ; p.159 ; p.162)

Le fichier quant à lui comporte des rubriques « Je retiens » à destination des élèves. L'aspect décimal n'y est jamais institutionnalisé. Le fichier contient également de nombreux exercices et problèmes de numération. Nous les avons quantifiés et nous avons identifié ceux qui relèvent de l'aspect décimal (tableau 6).

Tableau 6 : l'aspect décimal dans les exercices de numération du fichier « Outils pour les maths au CE2 » (Magnard, 2016b)

	Nombre d'exercices ou problèmes de numération	Nombre d'exercices ou problèmes de numération mettant en jeu l'aspect décimal
Les nombres jusqu'à 999	89	3
Les nombres jusqu'à 9999	39	1
Total	128	4

Seulement 3% des exercices ou problèmes de cette méthode mettent véritablement en jeu l'aspect décimal dans l'enseignement de la numération. Cependant la correction proposée (figure 14) dans le guide du maître ne le dévoile pas comme en témoigne l'exemple ci-dessous :



Figure 14 : problème 5 page 11 du fichier (Magnard, 2016b) et sa correction page 15 du guide du maître « Outils pour les maths au CE2 » (Magnard, 2016a)

De fait, en utilisant les unités de numération, on aurait pu répondre autrement au problème en disant qu'un sac contient 10 badges soit 1 dizaine de badges (1dizaine = 10 unités / aspect décimal). Pour nos 150 nageurs, il faudra donc 15 dizaines de badges, 15 sacs. Et on peut compter 16 sacs sur l'image. Comme $15 < 16$, il y a assez de badges. Dans la correction proposée dans le guide du maître, l'écriture $(16 \times 10) + 4$ permettant de recomposer le nombre de badges détourne l'enseignant d'un enseignement de l'aspect décimal de la numération. Elle l'oriente aussi vers la division euclidienne. Nous constatons ainsi que C identifie certains problèmes de partage dont la résolution est possible en utilisant les unités de numération à une division trop difficile pour ses élèves « Mais eux ils le feront pas parce qu'ils ne la connaissent pas » (annexe 9, p.8). La grande majorité des exercices est donc centrée sur la lecture et l'écriture des nombres jusqu'à 9999 en lien avec l'aspect positionnel et puis leur ordre. La décomposition mise en exergue est la décomposition canonique en puissances de 10 présentée comme dans cet exemple : $5863 = (5 \times 1000) + (8 \times 100) + (6 \times 10) + 3$.

C sélectionne les exercices dans le fichier, les photocopie et les distribue aux élèves sur des petites fiches. Une fois les exercices et problèmes réalisés, les élèves les collent respectivement dans leur cahier du jour et dans un cahier intitulé « Atelier énigmes ». Les 4 exercices repérés dans le fichier mettant en jeu l'aspect décimal n'ont pas été observés dans les cahiers des élèves de C. Il est à noter que C propose quelquefois d'autres exercices et problèmes ne provenant pas du fichier. Nous relevons que C selon la typologie de Leroyer (2013) est une adaptatrice des ressources puisqu'elle sélectionne ce qui lui semble pertinent dans la méthode qu'elle a choisie et la complète ponctuellement. Cependant dans sa sélection, C reste

cohérente avec les choix didactiques du guide du maître. À titre d'exemple, voici un problème proposé par C au mois de décembre (Figure 15) ne provenant pas du fichier.

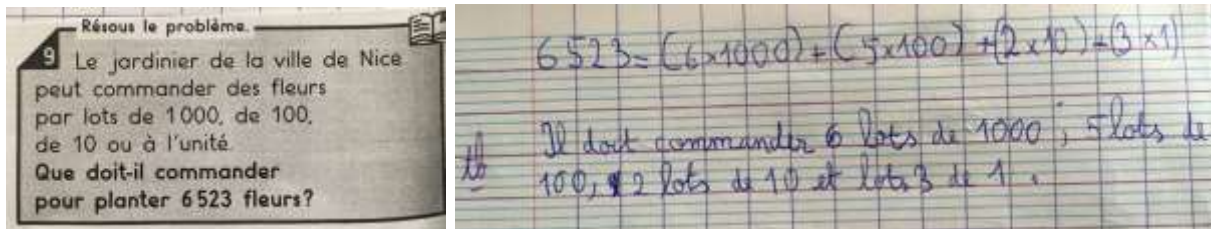


Figure 15 : Problème proposé par C et la réponse d'une élève.

Ce problème met uniquement en jeu l'aspect positionnel. La phrase réponse suffirait. La décomposition canonique en puissances de 10 du nombre 6523 qui n'était pas utile pour répondre montre la prégnance de cette écriture mathématique dans les pratiques de C. L'importance du principe de décimalité ne semble pas identifiée, l'enseignante ne mentionne aucunement les groupements dans ses propos. En ce qui concerne l'utilisation des propriétés de la numération dans le calcul, dans le droit-fil de ce que nous venons d'exposer, l'enseignante n'est pas à l'aise. Quand nous lui demandons si elle « voit ce que c'est ? » (annexe 9, p.6), elle répond de manière générale et peu sûre « Euh, le système décimal, tout ça, c'est ça ? » (annexe 9, p.7). Avec seulement 55 % des mots prononcés durant l'entretien, l'enseignante n'est pas volubile. C n'est visiblement pas à l'aise avec l'aspect décimal de la numération, ce qui est confirmé lorsque nous lui demandons d'explicitier comment elle s'y prend avec les élèves concernant la règle de multiplication par 10 « Alors bah quand on fait 15 fois 10, on garde la dizaine et l'unité, 15. Hum, 10 n'a qu'un seul zéro, donc on met le 0 du 10 à côté du 15 et donc chaque nombre change de position dans le tableau de numération et on obtient 150 » (annexe 9, p.7). La règle de calcul utilisée par l'enseignante (multiplier par 10 revient à ajouter un zéro à droite) cache l'aspect décimal de la numération. Dans ces conditions, le changement de position des chiffres dans le tableau de numération évoqué à juste titre par l'enseignante n'est cependant pas justifié. Ainsi les élèves ne peuvent s'approprier « l'idée de groupements successifs par dix que sous-tend notre écriture des nombres » (Tempier, 2010, p.69). Par ailleurs C a le sentiment que ses élèves « en numération, sont assez bons » (annexe 9, p.4) . C'est ainsi qu'elle limite la manipulation du matériel de numération au début du CE2 à la révision des nombres à 3 chiffres, puis plus tard dans l'année aux seuls élèves à besoin (annexe 9, p.4). Mais jamais elle ne mentionne la manipulation comme un support à la perception des groupements pour tous les élèves.

.....
Positionnement de C :

- C n'a pas identifié l'importance d'enseigner le principe de décimalité ;
 - Les outils utilisés par C ne mettent pas en avant l'aspect décimal de la numération ;
 - C a un profil d'adaptateur des ressources.
-

3.1.2. Positionnement de K



Figure 16 : nuage de mots de K relatif aux mathématiques



Figure 17 : nuage de mots de K relatif à la numération

Comparativement au nuage de mots de C, celui de K (figure 16) est plus étoffé. L'emploi du mot « nombres » certes majoritaire laisse cependant une place aux autres mots. Avec 71% des mots prononcés, K répond de manière fluide et avec des réponses souvent longues aux questions de l'entretien (annexe 10). Intéressons-nous maintenant plus précisément aux mots employés par K pour parler de numération. Le nuage de mots (figure 17) montre que les préoccupations de K ont à voir avec les représentations du nombre, leur décomposition ou encore la manipulation. Lors de l'entretien, l'enseignante s'est à plusieurs reprises questionnée sur le lexique de la numération, « déjà mon lexique à moi, il est très certainement approximatif » (annexe 10, p.6). Ce questionnement nous montre que l'enseignante est déjà engagée dans une démarche réflexive au sujet de la numération. D'ailleurs l'expression « unités de numération » (MEN, 2020, p.57) utilisée plusieurs fois dans les programmes l'interpelle « Euh, changer d'unité de numération de référence, ça voudrait dire qu'on est plus en base 10, c'est ça ? » (annexe 10, p.2). Passé l'étonnement de la désignation en unités de numération, des unités, des dizaines et des centaines « C'est comme ça qu'on les nomme ? » (annexe 10, p.2), l'enseignante réalise au cours de l'entretien que son

enseignement de la numération s'inscrit parfaitement dans les programmes. Questionnée sur la pertinence d'un problème de CE1 mettant en jeu l'aspect décimal, l'enseignante indique qu'elle « le proposerait immédiatement puisque qu'on travaille ce genre de problème depuis déjà plusieurs semaines » (annexe 10, p.6). Afin d'obtenir un nuage de mots plus fidèle aux pratiques de K, nous avons choisi de regrouper (tableau 7) les expressions utilisées par K durant l'entretien quand elles mettent en jeu de manière explicite l'aspect décimal de la numération.

Tableau 7 : l'aspect décimal relevé dans les propos de K (annexe 10)

Aspect décimal (8 occurrences)
6 fois 10 ça veut dire 6 dizaines
La moitié de 120, c'est la moitié de 12 dizaines
L'équivalent d'une dizaine en 10 unités
Savoir que 10 dizaines ça va faire une centaine
Il y a dix pailles, on va faire l'échange
Casser une centaine, une dizaine
Le passage à la centaine

L'aspect décimal apparaît donc comme un élément saillant dans la pratique de K même si cette dernière ne nomme pas explicitement ce savoir « Et ça on l'utilise, ça on l'utilise tout le temps » (annexe 10, p.6). C'est ce qui nous a conduit au regroupement ci-dessus. Le nuage de mots retravaillé ainsi (figure 18) est plus fidèle aux conceptions de K.



Figure 18 : nuage de mots de K relatif à la numération incluant l'aspect décimal

L'analyse du discours de K montre que l'aspect décimal de la numération est travaillé au travers des activités mettant en jeu les différentes représentations des nombres, leur décomposition, mais aussi en manipulant le matériel de numération. En cela l'enseignement de la numération de K ne semble pas relever des 7 caractéristiques de Bednarz et Janvier (1984).

Analysons les outils utilisés par K. L'enseignante indique qu'elle suit « de manière rigoureuse » (annexe 10, p.2) le guide du maître « Maths au CE1 » (Accès, 2019a). Selon la typologie de Leroyer (2013), K est une utilisatrice des ressources. Ainsi ses élèves sont équipés du fichier de la méthode qu'ils ne renseignent « qu'à partir du moment où la notion a été travaillée, entraînée, manipulée » (annexe 10, p.2) en amont comme le préconise le guide de l'enseignant. La couverture du guide du maître (Figure 19) est révélatrice des choix didactiques des auteurs de l'ouvrage.

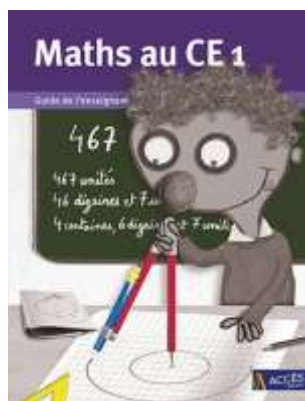


Figure 19 : couverture du guide de l'enseignant « Maths au CE1 » (Accès, 2019a)

On observe sur la couverture la mise en avant des unités de numération. L'aspect décimal quant à lui n'a pas été oublié en montrant l'équivalence des 46 dizaines et 7 unités avec les 4 centaines, 6 dizaines et 7 unités. Le guide du maître contient une double page « comprendre et utiliser le nombre » (Accès, 2019a, p.18) où les savoirs essentiels à l'enseignement de la numération sont exposés clairement. Une progression dans la compréhension du principe décimal est même proposée aux enseignants de CE1 (figure 20).

Progression

- Au CP, les élèves ont découvert un premier aspect du fonctionnement de la numération écrite pour les nombres à deux chiffres. Ce principe permet d'écrire le nombre de cubes d'une collection les organisant de façon maximale en dizaines et unités et d'en rendre compte par l'écriture de deux chiffres correctement ordonnés.
- Au CE1, l'enseignant introduit un nouvel aspect de la numération écrite, celui d'une nouvelle unité de numération obtenue en considérant 10 fois l'unité précédente. 10 dizaines sont groupées pour obtenir une centaine. Il s'agit de comprendre que 10d 3d 8u équivaut à 1c 3d 8u. Nous avons choisi de débiter par une première étude des nombres jusqu'à 199 pour bien assoir ce principe avant d'aborder les nombres jusqu'à 999.

Figure 20 : extrait du guide de l'enseignant « Maths au CE1 » (Accès, 2019a, p.19)

Par ailleurs le principe décimal est institutionnalisé deux fois dans le fichier, « 1 dizaine = 10 unités » (Accès, 2019b, p.6) et « Je sais qu'une centaine, c'est dix dizaines. C'est aussi cent unités. » (Accès, 2019b, p.38). En ce qui concerne le contenu du fichier, nous en avons quantifié les nombreux exercices et problèmes de numération et nous avons identifié ceux qui relèvent de l'aspect décimal (Tableau 8).

Tableau 8 : l'aspect décimal dans les exercices de numération du fichier « Maths au CE1 » (Accès, 2019b)

	Nombre d'exercices ou problèmes de numération	Nombre d'exercices ou problèmes de numération mettant en jeu l'aspect décimal
Les nombres jusqu'à 199	78	20
Les nombres jusqu'à 999	26	13
Total	104	33

31% des exercices et problèmes proposés dans le domaine des nombres mettent en jeu l'aspect décimal de la numération. Il est donc tout à fait logique que ce dernier n'ait pas échappé à K.

Positionnement de K :

- K enseigne l'aspect décimal sans nommer ce savoir. Elle lui accorde de l'importance dans sa pratique.
- Les outils utilisés par K mettent en avant l'aspect décimal de la numération ;
- K a un profil d'utilisateur des ressources.

3.1.3. Positionnement de M



Figure 21 : nuage de mots de M relatif aux mathématiques



Figure 22 : nuage de mots de M relatif à la numération

Avec 73% des mots prononcés durant l'entretien (annexe 11), M semble tout à fait à l'aise pour répondre aux questions. Nous avons extrait du discours de M, les mots relatifs à son enseignement des mathématiques. Le nuage de mots (figure 21) créé à partir de ce corpus a la particularité de mettre en avant le mot « dizaines » contrairement à C et K pour lesquelles le mot « nombres » est nettement majoritaire.

La préoccupation de M semble se porter sur la dizaine. L'enseignante a bien identifié la difficulté majeure dans l'apprentissage de la numération au CP, le fait que 10 forme une nouvelle unité, la dizaine : « Je vois bien que pour certains, dizaines, c'est encore abstrait » (annexe 11, p.6). Il est curieux d'observer que le mot « unité » ne soit pas considéré lui-même comme étant tout aussi, voire encore plus abstrait. Le mot « dizaine » semble prendre beaucoup de place. L'enseignante a-t-elle pour autant identifié l'importance d'enseigner le principe de décimalité lié à cette difficulté ? Intéressons-nous maintenant à travers les propos de M à la manière dont elle appréhende avec ses élèves cette difficulté communément appelée par les enseignants de CP, le passage à la dizaine. Pour ce faire, nous nous sommes intéressé plus précisément aux groupes de mots employés par M quand elle parle de numération. En observant ce nuage de mots (figure 22), nous remarquons que la désignation de la dizaine en « paquets de 10 » apparaît au même titre que « décomposer le nombre ». Notons qu'à plusieurs reprises au cours de l'échange, nous avons dû recentrer le discours de M sur l'objet de l'entretien, à savoir la numération. Nous observons que M intègre les activités de décomposition des petits nombres au champ de la numération, « en activité de numération, on a appris à décomposer 1, 2, 3, 4 ... jusqu'à 10 » (annexe 11, p.1). Quand l'enseignante parle de décomposer un nombre, il ne s'agit pas de la décomposition canonique en puissance de 10. La numération semble pour elle correspondre au domaine des nombres du programme alors qu'elle en est un élément. Elle n'a pas identifié ce que sont les propriétés de la numération et comment les utiliser dans le domaine du calcul (annexe 11, p.6). Comme K, M ne connaît pas l'expression « unités de numération ? C'est quoi ? ça veut dire ? » (annexe 11, p.2). Afin d'obtenir un nuage de mots (figure 23) plus précis facilitant l'analyse du discours de M, nous avons effectué deux regroupements (Tableau 9) concernant les expressions utilisées par l'enseignante durant l'entretien. Un regroupement pour les désignations matérialisées de la dizaine et un autre à propos de l'aspect décimal.

Tableau 9 : désignations de la dizaine et aspect décimal relevé dans les propos de M (annexe 11)

Désignations matérialisées de la dizaine (15 occurrences)
Les groupes de 10
Les boîtes de 10
Les paquets de 10
Les boîtes de Picbille
Les bâtons dizaines
Aspect décimal (9 occurrences)
On fait les échanges (4 occurrences)

10 dizaines et 4 unités, tu viens de faire un nombre en cent
Le passage par 10
On l'enlève des unités et on va le mettre chez les dizaines
Dans 564, il y a 56 dizaines
67, 6 dizaines, donc il faut 6 paquets et un de plus

L'aspect décimal (Figure 23) apparaît bien comme un élément travaillé par l'enseignante. Toutefois le vocabulaire utilisé manque de précision « tu viens de faire un nombre en cent » et non une centaine.



Figure 23 : nuage de mots de M relatif à la numération incluant les désignations de la dizaine et l'aspect décimal

L'idée de groupement n'est pas non plus perceptible dans le discours de M, ce sont les échanges que l'enseignante met en avant. Ainsi dans la manière dont l'enseignante mène le rituel « chaque jour compte » (annexe 11, p.4), le groupement par 10 est imposé arbitrairement par l'enseignante au dixième jour d'école : « au dixième jour, j'ai un paquet de 10 (bâtons) que j'enroule avec du scotch » (annexe 11, p.4). L'enseignante ne fait pas éprouver à ses élèves la nécessité d'organiser le comptage du fait que le dénombrement un à un des bâtons devient fastidieux et source d'erreur les jours s'écoulant. Si les groupements par 10 sont imposés comme s'ils allaient de soi, l'enseignante met bien en jeu les échanges lorsqu'il n'y a plus de place dans le pot des dizaines « Et là, bah c'est chouette parce qu'il y a forcément un enfant qui dit on pourrait les échanger. On pourrait changer les 10 bâtons contre un bâton dizaine » (annexe 11, p.4). Pour mettre en scène ces échanges, l'enseignante utilise du matériel de numération varié (constellations, bâtons, boîtes, cubes, jetons, carré). Son intention est d'offrir différentes représentations du nombre notamment pour venir en aide aux élèves à besoin (annexe 11, p.3). Cependant elle risque de les perdre dans cette multiplicité car elle n'utilise pas un matériel de numération de référence.

Intéressons-nous maintenant aux outils de préparation de l'enseignante. M utilise la même collection d'ouvrages que K. Depuis 2 ans elle suit le guide pédagogique « Maths au CP » (Accès, 2018a) qu'elle a choisi sur les conseils de sa

collègue. Les élèves sont également équipés du fichier et ont un cahier de mathématiques comme il est préconisé dans la méthode. Curieusement dans « Maths au CP » (Accès, 2018a), il n'est fait aucune présentation des savoirs liés à la numération. Les auteurs font référence une seule fois dans leur présentation de l'enseignement du calcul, à la nécessaire compréhension de la numération décimale pour comprendre le sens de l'algorithme de l'addition posée (Figure 24).



Figure 24 : extrait du guide de l'enseignant « Maths au CP » (Accès, 2018a, p.12)

Les éléments de progressivité (figure 20) donnés dans le guide de l'enseignant « Maths au CE1 » (Accès, 2019a) ne figurent pas dans « Maths au CP » (Accès, 2018a). L'étude des nombres entiers au CP allant jusqu'à 99, la présentation de la décimalité à ce niveau est réduite au fait que 10 unités forment une dizaine, c'est-à-dire à ce seul échange. Le groupement par 10 qui de rang en rang fonde tout échange, où 10 unités d'un certain rang sont égales à une unité du rang supérieur, n'est pas mis en perspective dans le guide pédagogique. Dans ces conditions, M n'est pas amenée à identifier clairement l'aspect décimal de la numération que ses élèves devront pourtant appréhender de manière plus systémique dans la suite de leur scolarité. Selon les 7 caractéristiques de Bednarz et Janvier (1984), M accorde une grande importance à l'aspect positionnel « on a la valeur en fonction de la position des chiffres » (annexe 11, p.2). Cependant au détour d'une question sur une proposition de problème pour des élèves de CP (figure 25) pouvant être résolu par l'utilisation des propriétés de la numération, M répond : « je pourrais le proposer et je pense que j'ai des gamins, ils te le font en 2 secondes » (annexe 11, p.6).

Pour carreler une pièce, il faut 67 carreaux. Les carreaux sont vendus par paquets de 10. Combien de paquets faut-il commander ?

Figure 25 : problème niveau CP proposé à M durant l'entretien

Interrogée alors sur la procédure de résolution de ces élèves, M indique qu' « ils ont bien compris la position de ce chiffre-là (le 6) et que c'était des paquets de 10 » (annexe 11, p.7). La deuxième partie de sa réponse témoigne du fait que l'enseignante perçoit l'aspect décimal comme une procédure de résolution d'élèves avancés. Si les problèmes de ce type sont fréquemment proposés en CE1, nous n'en avons observé aucun dans le fichier du CP. L'aspect décimal est utilisé à deux reprises dans le fichier. D'une part il est demandé dans un exercice de colorier plusieurs désignations du nombre 36 qui est écrit une fois sous la forme 2d 16u (Accès, 2018b, p.65), d'autre part l'aspect décimal est aussi utilisé en fin d'année pour justifier la retenue dans l'algorithme de l'addition posée (Accès, 2018b, p.124).

.....
Positionnement de M :

- M présente ponctuellement des activités mettant en jeu l'aspect décimal mais celles-ci ne semblent concerner que les élèves avancés ;
 - Les outils utilisés par M mettent peu en avant l'aspect décimal de la numération, en partie parce que l'étude des nombres ≤ 99 au CP ne s'y prête pas ;
 - M a un profil d'utilisateur des ressources.
-

3.1.4. Positionnement de S



Figure 26 : nuage de mots de S relatif aux mathématiques



Figure 27 : nuage de mots de S relatif à la numération

Durant l'entretien, S prononce 72% des mots. L'enseignante s'exprime ouvertement sur sa pratique dans le domaine de la numération. Le nuage de mots relatifs au langage mathématique (figure 26) semble équilibré. Les mots : nombres, numération, paquets, calcul, sont également présents dans le discours de

l'enseignante (annexe 12). Examinons maintenant de plus près les groupes de mots employés par S pour parler de numération (figure 27). L'enseignement de S semble bien correspondre aux 7 caractéristiques de Bednarz et Janvier (1984). L'aspect positionnel est très bien identifié par l'enseignante qui nomme ce savoir en parlant d'un enfant : « faut qu'il ait compris la numération de position » (annexe 12, p.1). Cependant la compréhension de la numération semble se limiter à ce seul aspect mis en lien avec des activités de lecture des nombres. La numération est seulement considérée par l'enseignante comme un prérequis aux activités de calcul. Elle indique ainsi qu'elle « dissocie la numération et le calcul », et elle est donc surprise à la lecture des programmes (annexe 2, p.4) qui préconisent d'utiliser les propriétés de la numération dans le calcul : « J'ai l'impression que cela se fait en même temps. Que la numération se fait en même temps que le calcul » (annexe 12, p.2). S est une enseignante qui a une spécialisation de maître E chargé des aides à dominante pédagogique. Elle a travaillé dans un RASED (Réseau d'Aides Spécialisées aux Élèves en Difficulté). Elle est pour un an dans une classe de CE1-CE2 avant de rejoindre un poste qui correspond à sa spécialisation. C'est ainsi que nous analysons l'attention toute particulière qu'elle porte à une élève rencontrant des difficultés de compréhension liées à la numération orale en langue française avec ses fameux nombres irréguliers (annexe 12, p.1). Arrivée fin août 2020 dans l'école, S n'a pas choisi les fichiers « Maths au CE1 » (Accès, 2019b) et « Maths au CE2 » (Accès, 2020b) qui ont été commandés par l'école pour sa classe (annexe 12, p.2). S n'utilise que les fichiers sans les guides du maître. Elle trouve le fichier CE1 bien adapté, mais celui du CE2 « va vite » (annexe 12, p.2), alors elle puise des activités sur le Net pour entraîner ses élèves de CE2 avant de les mettre en activité sur leur fichier. Alors que l'enseignante juge les élèves « bons » puisque « la position des nombres, tout ça, ils ont bien compris » (annexe 12, p.3), elle trouve que dans le fichier du CE2, « ça passe trop vite, on enchaîne trop vite sur les grands nombres » (annexe 12, p.3). S conformément à la caractéristique n° 5 de Bednarz et Janvier (1984) lie la complexité de la numération à la taille des nombres (annexe 12, p.2). Elle est soucieuse de ne pas perdre ses élèves les plus fragiles mais ne réalise pas que les difficultés auxquelles se heurtent les élèves ne sont pas liées à la taille des nombres mais à l'aspect décimal. En effet, 22% des exercices ou problèmes du fichier CE2 du domaine des nombres mettent en jeu cet aspect (Tableau 10), ce qui est bien plus que dans le fichier « Outils pour les maths au CE2 » (Magnard, 2016b) de C qui n'en proposait pas véritablement.

Tableau 10 : l'aspect décimal dans les exercices de numération du fichier « Maths au CE2 » (Accès, 2020b)

	Nombre d'exercices ou problèmes de numération	Nombre d'exercices ou problèmes de numération mettant en jeu l'aspect décimal
Les nombres jusqu'à 1000	46	10
Les nombres jusqu'à 10000	29	7
Total	75	17

L'aspect décimal est d'ailleurs institutionnalisé dans le fichier (Accès, 2020b, p.34). Si S à plusieurs reprises mentionne les paquets de 10, le passage à la dizaine, il semble qu'à ses yeux l'aspect décimal soit limité au groupement de 10 unités en 1 dizaine. L'idée de groupements successifs par 10 fondant notre écriture des nombres n'est pas perçue au-delà du seul passage à la dizaine.

Pour carreler une pièce, il faut 8564 carreaux. Les carreaux sont vendus par paquets de 100. Combien de paquets faut-il commander ?

Figure 28 : problème niveau CE2 proposé durant l'entretien

En fin d'entretien, au moment où nous lui présentons un problème (Figure 28) pouvant être résolu en utilisant les propriétés de la numération, l'enseignante se demande « si d'ailleurs dans le fichier y avait pas eu quelque chose comme ça » (annexe 12, p.6). Si elle-même dit résoudre ce problème par une division par 100, elle indique que les élèves qui avaient réussi « étaient passés par des paquets » (annexe 12, p.6). Au lieu d'en conclure que cette procédure de résolution devrait être rendu accessible pour tous les élèves en travaillant la décimalité, S indique qu'elle pourrait le proposer comme un « challenge » (annexe 12, p.6). Cette proposition nous indique que S destine ce type de problèmes aux seuls élèves avancés et n'en fait pas un objectif d'apprentissage pour tous.

.....
Positionnement de S :

- S n'a pas identifié l'importance d'enseigner le principe décimal ;
 - Les outils utilisés par S mettent en avant l'aspect décimal de la numération ;
 - M a un profil d'adaptateur des ressources.
-

3.1.5. Positionnement de F



Figure 29 : nuage de mots de F relatif aux mathématiques



Figure 30 : nuage de mots de F relatif à la numération

Avec 74% des mots prononcés durant l'entretien, F est volubile et semble être à l'aise pour parler de son enseignement de la numération. F est un enseignant spécialisé d'un dispositif ULIS (Unité Locale d'Inclusion Scolaire) présent dans notre école. Le nuage de mots (figure 29) relatif aux mathématiques laisse apparaître les mots « nombres » et « numération » de manière équilibrée, ce qui confirme l'assurance de F pour parler de numération. Le mot « dizaine » est très présent également, probablement parce que les élèves de l'ULIS sont principalement concernés par les apprentissages du début du cycle 2 en numération. Intéressons-nous plus précisément aux groupes de mots prononcés par F au sujet de la numération. Le nuage de mots de F relatif à la numération (figure 30) place nettement en avant le matériel de numération que F met à disposition des élèves de l'ULIS, ce qui n'est pas surprenant compte tenu de la place accordée à la manipulation auprès de ces élèves. F indique clairement qu'il utilise un matériel de numération de référence constitué de jetons unités, d'œufs Kinder contenant 10 jetons pour les dizaines, et de boîtes de 10 œufs pour les centaines (annexe 13). F a inventé son propre matériel de numération en s'inspirant de la boîte à œufs de Valentin (2005) qui initialement est prévue pour représenter la dizaine et dans laquelle les élèves de maternelle placent des marrons, les unités. Selon la typologie de Leroyer (2013), il apparaît que F a un profil de concepteur vis-à-vis des ressources. Le nuage de mots témoigne également de la richesse du vocabulaire de F concernant les nombres entiers et la numération. Sont cités les deux aspects du nombre (ordinal et cardinal), la notion de successeur, les nombres entiers, différents systèmes de numération comme la numération égyptienne, l'existence de différentes bases dont la base 10, la valeur de position des chiffres, les unités de numération... Seul l'aspect décimal de la numération n'est pas

nommément désigné. Cependant lors de l'entretien, l'enseignant expose comment en utilisant son matériel de référence (figure 31), les élèves parviennent à donner du sens aux techniques opératoires de l'addition et de la soustraction : « On commence donc par les unités, donc ils vont tout prendre en unités. Là donc, ils vont compter. Ils vont se rendre compte que ça fait 12 que, là on a notre dizaine et nos unités, que la dizaine on peut pas la laisser chez les unités » (annexe 13, p.7). L'enseignant très inventif utilise même des œufs Kinder orangés pour les retenues.



Figure 31 : manipulation de F pour la technique opératoire de l'addition

Poursuivant sur un exemple de soustraction à retenue, l'enseignant indique : « Après c'est le même principe, donc là, y avait 3 (dizaines), il en a pris une. Il l'a vidée là » (annexe 13, p.8). Le principe de décimalité s'il n'est pas nommé est bien mis en œuvre pour justifier les retenues dans les techniques opératoires de l'addition et de la soustraction. Par ailleurs le classeur des savoirs de la classe institutionnalise bien l'aspect décimal (figure 32) même s'il ne présente pas l'aspect décimal en lien avec les unités de numération, 326 c'est aussi 30 dizaines et 26 unités.

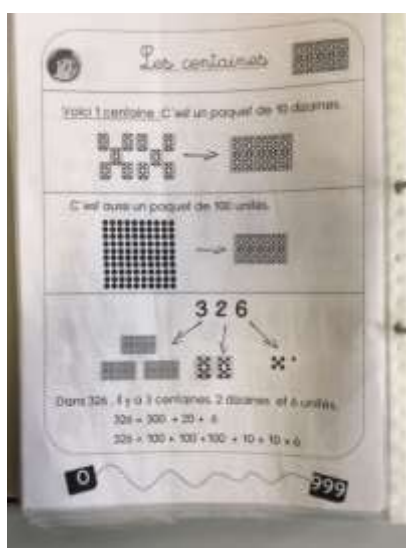


Figure 32 : extrait du classeur de F

Si l'essentiel des savoirs de la numération sont perçus par l'enseignant, nous observons que l'aspect positionnel est tout de même prépondérant dans son discours : « en numération, c'est ça, le côté passage au nombre suivant, le changement d'unité, et puis le gros travail sur la valeur des chiffres » (annexe 13, p.3) sous-entendu en fonction de leur position.

.....
Positionnement de F :

- F perçoit l'importance d'enseigner l'aspect décimal en lien avec les techniques opératoires même si l'aspect positionnel reste prépondérant dans son enseignement;
 - Les outils utilisés par F mettent en avant l'aspect décimal de la numération ;
 - F a un profil de concepteur des ressources.
-

3.2. Utilisabilité, utilité et acceptabilité du 1^{er} prototype : le point de vue des enseignants

3.2.1. Premiers retours sur la pascaline avant son utilisation en classe

Cette courte séance de formation, rappelons-le, initie la genèse instrumentale de chacun des enseignants au sujet de la pascaline. Ce premier contact avec l'artefact qui a eu lieu le 9 mars 2021 appelle plusieurs remarques des enseignants sur son utilisabilité (tableau 11), son utilité (tableau 12) et son acceptabilité (tableau 13).

Tableau 11 : indicateurs d'utilisabilité de la pascaline au cours de la formation et distribution des retours selon les enseignants

		Utilisabilité de la pascaline (en nombres d'occurrences)																				Total				
		A1 Facilité				A2 Confort				A3 Charge				A4 Flexibilité				A5 Ajustement								
+		2				0				0				0				0				2				
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S		C	F	K	M
				1	1																					
-		9				0				4				1				1				15				
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S		C	F	K	M
			3		5	1														2	2				1	

15 occurrences concernant l'**utilisabilité** ont été relevées durant la séance témoignant d'une prise en main de la pascaline pour le moins délicate. F signale que la lecture des nombres sur la pascaline demandera aux élèves « une compréhension préalable des curseurs rouges » (annexe 4, p.2). Lors de la découverte de la procédure

d'initialisation de la pascaline, pour éviter d'engrener des roues en remettant à zéro, F dit « Attends ! » (annexe 4, p.5) pour qu'on lui redonne la procédure. M et F lors de leur rencontre avec l'addition sur la pascaline se sont heurtés à la difficulté de ne pouvoir afficher le second terme de la somme sur la pascaline comme sur une calculatrice. La découverte de la multiplication et de la division sur la pascaline amène des remarques de K et M sur la difficulté à mener ces opérations car il faut alors faire appel à une mémoire externe : « Ah oui, c'est vrai parce que le résultat on l'a dans la tête » (annexe 4, p.11). S propose quant à elle de placer deux pascalines en série pour afficher des nombres à 4 chiffres, ce qui n'est techniquement pas possible. Comme l'indique F, « une phase d'appropriation du matériel » (annexe 4, p.9) est nécessaire.

Concernant l'**utilité** (Tableau 12), les enseignants en manipulant la pascaline se questionnent sur les savoirs mathématiques qu'elle véhicule.

Tableau 12 : indicateurs d'utilité de la pascaline au cours de la formation et distribution des retours selon les enseignants.

		Utilité de la pascaline (en nombres d'occurrences)																								Total											
		B1 Objectifs					B2 Tâches					B3 Temporalité					B4 Apports					B5 Attention Motivation					B6 Progrès										
+		7					5					0					7					0					0					19					
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S		C	F	K	M	S
		1	2	1	3	2	2	1						1	2	3	1																				
-		0					1					0					2					0					0					3					
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S		C	F	K	M	S
										1							1																				

19 occurrences montrent que les enseignants ont perçu un intérêt à utiliser la pascaline et 3 font part d'un certain scepticisme. S repère comment les roues présentent les 10 chiffres de notre numération décimale et lie bien la retenue au passage automatique d'une roue. En observant pour la première fois ce passage mettant en jeu l'aspect décimal, M dit « Il se passe un truc effectivement, la flèche violette, elle fait tourner les roues, ah, ah ! » (annexe 4, p.1). Le premier doute est soulevé par F qui pressent que les élèves pourraient y voir « un côté magique » (annexe 4, p.12). L'idée de dévoiler le mystère, de rendre transparent l'aspect décimal n'est pas envisagée. A contrario, F repère parfaitement l'aspect positionnel véhiculé par l'outil, et la possibilité de travailler en changeant d'unité de référence : « on travaille sur 30, et après on travaille sur 8 dizaines » quand on fait la somme de 30 et 80. M confirme l'intérêt de la pascaline pour « additionner les dizaines » (annexe 4, p.7). K

montre la traduction de ses actions sur la machine en unités de numération, 1 dizaine et 3 unités pour écrire 13. Collectivement les enseignants sont dans une impasse quand nous leur demandons comment les élèves pourraient écrire 13 autrement et sans faire d'erreur. C finit par demander : « Écrire 13 ou avoir 13 en tout ? » (annexe 4, p.2). Cette question montre qu'elle distingue le fait d'écrire un nombre sur la machine (aspect positionnel) de celui de le composer par itérations de l'unité avec la mise en jeu de l'aspect décimal. M doute du fait que cette procédure où seule la roue des unités est actionnée pour écrire un nombre puisse être employée par les élèves. Cette impasse montre une nouvelle fois la forte influence de l'aspect positionnel. Ces premiers résultats en termes d'utilité sont en adéquation avec les données recueillies lors des entretiens individuels, ce qui vient conforter les positionnements respectifs des enseignants.

Examinons maintenant l'**acceptabilité** (Tableau 13) de la pascaline à travers cet première prise en main de l'artefact.

Tableau 13 : indicateurs d'acceptabilité de la pascaline au cours de la formation et distribution des retours selon les enseignants.

Acceptabilité de la pascaline (en nombres d'occurrences)																				Total					
C1 Éthique					C2 Prescription					C3 Style pédagogique					C4 Développement professionnel										
0					1					1					14										
+	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	16				
								1					1			1	2	4	5	2					
-	0					0					2					2					2				
	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S					
													1												

Les enseignants manifestent collectivement de l'intérêt pour la pascaline et même de la surprise concernant les potentialités de l'outil comme en témoigne la remarque de C : « C'est super en fait ! » (annexe 4, p.9). M et F prennent régulièrement des notes au cours de la séance. K semble reconnaître que le travail avec la pascaline s'inscrit dans les programmes « Pour moi, on est dans la numération pure » (annexe 4, p.12). Elle est à l'aise dans les possibilités offertes par l'outil autour des jeux d'écritures des nombres en unités de numération. L'outil est proche de sa démarche habituelle dans ce domaine. Des observations de F et S pointent deux limites de l'outil en termes d'acceptabilité. Au regard des élèves aux troubles des fonctions cognitives et mentales qu'il suit, de leurs besoins de manipuler des quantités,

F trouve justement qu'avec l'outil « on ne perçoit pas la notion de quantité. Là on travaille juste avec des chiffres. » (annexe 4, p.12). De son côté, S compare la soustraction sur la pascaline avec celle qui est posée. Selon elle, les élèves risquent d'être perdus si on leur indique qu'ils peuvent soustraire en retirant les unités et les dizaines dans l'ordre qu'ils veulent puisque dans la technique opératoire de la soustraction posée, on insiste auprès des élèves sur le fait de commencer par les unités (annexe 4, p.8). On observe dans cette dernière remarque l'importance donnée par F à l'algorithme de la soustraction.

3.2.2. Point d'étape à l'issue des deux premières séances

Les deux premières séances se sont déroulées fin mars et début mai. L'avancement des vacances de printemps en lien avec la gestion de la crise sanitaire a perturbé le début de la séquence. Certaines classes avaient commencé avant, d'autres non. Nous nous sommes retrouvés les 18 et 25 mai pour échanger à propos des deux premières séances. Examinons les retours des enseignants selon les critères d'utilisabilité (Tableau 14), d'utilité (Tableau 15) et d'acceptabilité (Tableau 16).

Tableau 14 : indicateurs d'utilisabilité à propos des deux premières séances et distribution des retours selon les enseignants

		Utilisabilité à propos deux premières séances (en nombres d'occurrences)																				Total					
		A1 Facilité				A2 Confort				A3 Charge				A4 Flexibilité				A5 Ajustement									
+		0				8				1				1				0				10					
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S		C	F	K	M	S
							2	1	1	3	1						1			1							
-		10				2				9				0				4				25					
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S		C	F	K	M	S
		2	2	2	2	2								2													
		1	1				1			1		1			3	4								4			

Concernant l'**utilisabilité**, les enseignants trouvent collectivement que les fiches des séances sont aisées à prendre en main. La e-pascaline permettant des retours collectifs au tableau est appréciée également. A contrario, dans un premier temps, la pascaline n'est pas facile à manier par les élèves et les enseignants : « Je tâtonnais un peu, mes élèves aussi » (annexe 5, p.2) nous dit S. Côté élèves, leur instrumentalisation de l'outil est déjà en marche et ceux-ci peuvent bloquer des roues

pour afficher un nombre, ce qui surprend les enseignants. La nécessité de faire un point avec les élèves pour montrer les bons gestes, comment manipuler l'outil correctement, est évoquée par K. La vérification des actions des élèves sur la pascaline même s'ils travaillent en binômes avec une machine pour deux nécessite beaucoup de ressources attentionnelles. Collectivement les enseignants ont utilisé le vidéoprojecteur avec l'e-pascaline comme support pour la phase d'institutionnalisation autour du vocabulaire contrairement à ce qu'indiquait la séance 1 qui proposait de réaliser une affiche. Mais l'e-pascaline ne correspond pas tout à fait à la pascaline. Il manque par exemple les taquets. Les dessins de la pascaline réalisés par les élèves n'ont pas été faciles à exploiter. Plusieurs enseignants ont aussi rencontré des difficultés à guider les élèves lors de la phase d'élimination de l'hypothèse de l'horloge. L'espace entre les chiffres de la pascaline formant un nombre constitue un obstacle à la lecture du nombre pour quelques élèves de l'ULIS relève F. C'est pourquoi l'enseignant propose pour la séance 2 de renforcer la lecture de nombres sur la pascaline en demandant aux élèves de les écrire sur une ardoise.

Les données concernant l'**utilité** (Tableau 15) montrent que la temporalité de l'enseignement est l'indicateur où les remarques ayant un caractère négatif sont plus importantes que celles ayant un caractère positif.

Tableau 15 : indicateurs d'utilité à propos des deux premières séances et distribution des retours selon les enseignants

		Utilité à propos des deux premières séances (en nombres d'occurrences)																												Total						
		B1 Objectifs					B2 Tâches					B3 Temporalité					B4 Apports					B5 Attention Motivation					B6 Progrès									
+		3					30					4					3					9					5					44				
	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C		F	K	M	S
							2																			2	2	1	1	1						
				3	2	6	9	8	3	2				1	1	1										2					1	2			2	
-		0					16					12					1					4					2					35				
	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C		F	K	M	S
						1	6	4	3	2	2	2	2	2	3	3						1					1						2	1		

Les séances sont jugées trop longues et collectivement les enseignants s'accordent sur le fait de les voir scindées en deux ou trois parties. Plusieurs remarques portent aussi sur la temporalité de la séquence. M pense « qu'on aurait dû la mettre en place plus tôt dans l'année pour justement ce passage par la dizaine » (annexe 5, p.2) au CP . Si F dans un premier temps partageait cet avis, celui-ci indique qu'il est difficile d'aborder les unités de numération dès le début de l'année au CP

(annexe 5, p.17). Nous nous apercevons que le caractère métacognitif sur la numération décimale voulu dans cette séquence volontairement placée au deuxième semestre du CP n'est sans doute pas assez présent dans notre préparation. Si K indique que la pascaline « est une autre façon de comprendre comment on arrive à 10 et pourquoi on a 10 » (annexe 5, p.2), M la conçoit juste comme un outil pour s'entraîner. Nous pensons renforcer la perception de cette "coloration" métacognitive donnée à la séquence en reconsidérant par exemple la phase de dessin de la pascaline à la séance 1. Nous avons noté que F est agréablement surpris alors que M est déçue par les dessins produits. Pourquoi ces perceptions opposées ? Ces dessins ne devraient pas être jugés subjectivement à un instant t par les enseignants. Présentés dans la préparation comme des marqueurs des progrès des élèves dans la compréhension du système décimal tout au long du cycle 2, ils pourraient être perçus de manière plus objective. Collectivement les enseignants ont constaté un blocage des élèves sur le fait qu'ils voient dans la machine une horloge. Outre un meilleur guidage vers la preuve évoquée au niveau de l'utilisabilité, au vu des remarques des enseignants, il pourrait être intéressant de les aviser par un commentaire sur cette question. En effet, K voudrait « surtout être sûre que les représentations initiales ont disparu » (annexe 5, p.8), or il est normal que des représentations initiales resurgissent alors même qu'elles ont semblé dépassées. Les enseignants ont choisi de mener la phase d'institutionnalisation du vocabulaire associé à la pascaline en préférant se servir du vidéoprojecteur plutôt que de réaliser un affichage en classe. Néanmoins ils reconnaissent qu'un affichage didactique présentant le vocabulaire de l'outil est nécessaire. Par ailleurs, F indique que la mémorisation du vocabulaire peut se faire durant les rituels en manipulant des étiquettes.

Du point de vue de **l'acceptabilité** (Tableau 16), les enseignants trouvent collectivement que les séances s'inscrivent pleinement dans les programmes de mathématiques du cycle 2. Le croisement avec la démarche d'investigation est relevé par C. La majorité des remarques concernent le style pédagogique. Un large consensus des enseignants se porte vers une organisation pédagogique différente. Des ateliers où les élèves peuvent manipuler chacun une pascaline, et où les enseignants peuvent mieux les observer, seraient à certains moments préférables au travail en classe entière avec une pascaline pour deux. La phase de réflexion dans le silence dont l'objet est de permettre à tous les élèves de préparer une réponse à donner oralement est éloignée du style pédagogique de 3 enseignants : M, K et S. Ces derniers ne l'ont pas suivie préférant une phase orale collective plus classique.

Tableau 16 : indicateurs d'acceptabilité à propos des deux premières séances et distribution des retours selon les enseignants

		Acceptabilité à propos des deux premières séances (en nombres d'occurrences)																				Total			
		C1 Éthique					C2 Prescription					C3 Style pédagogique					C4 Développement professionnel								
+		0					5					3					4					12			
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S				
-		1					0					20					0					21			
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S				

La phase 3 de la séance 2 (annexe 1) pose un problème éthique à F. L'apport culturel très ponctuel dans la séance 2 du nom de la machine en lien avec son inventeur Blaise Pascal dérange F qui dit : « là ça fait je déverse mon savoir » (annexe 5, p.12). Cette remarque ouvre un plus large débat en lien avec l'histoire qui mériterait d'être développé selon C, S et M. Le personnage historique semble avoir suscité l'intérêt des élèves et donnait envie aux enseignants d'explorer cette piste.

3.2.3. Bilan après les trois dernières séances

Les trois dernières séances ont été menées dans les classes au mois de juin 2021. Examinons les retours des enseignants à l'aune du premier critère : **l'utilisabilité** (Tableau 17).

Tableau 17 : indicateurs d'utilisabilité à propos des trois dernières séances et distribution des retours selon les enseignants

		Utilisabilité à propos des trois dernières séances (en nombres d'occurrences)																				Total								
		A1 Facilité					A2 Confort					A3 Charge					A4 Flexibilité						A5 Ajustement							
+		4					3					2					3					2					14			
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S				
-		8					0					7					1					3					19			
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S				

Une fois la machine bien prise en main, la charge de travail ne se situe pas tant dans la préparation des séances mais bien dans leur mise en œuvre. Comme aux deux premières séances, la gestion des binômes est rendue difficile par les ressources attentionnelles que les enseignants doivent mobiliser pour observer et revenir sur les procédures utilisées. L'e-pascaline est toujours appréciée pour son confort d'utilisation dans les phases collectives mais également pour sa flexibilité. En effet elle peut permettre à tout moment à l'enseignant de revenir collectivement sur une procédure qu'il aura jugée intéressante à exploiter. Ainsi lors de la phase bilan de la séance 4, si C a préféré faire un point collectif avec l'e-pascaline après chaque calcul demandé sur la pascaline, d'autres ont préféré faire le point à la fin de tous les calculs ou ne revenir que sur quelques calculs selon les difficultés rencontrées. F fait une remarque sur la mobilisation du contrôle inhibiteur que demande la pascaline aux élèves pour additionner ou soustraire. En effet, ce qu'ils se disent oralement ou mentalement lors d'un ajout ou d'un retrait ne correspond pas à ce qu'ils manipulent. Pour ajouter 6 à 8, l'élève va compter 1,2,3... alors qu'il manipule 9,0,1... Si ce contrôle inhibiteur est vu comme un obstacle pour F, nous lui faisons remarquer qu'ajouter ou soustraire avec la pascaline est une bonne activité d'entraînement à cette fonction essentielle aux apprentissages. F relève aussi que la pascaline peut poser quelques problèmes de praxie aux élèves de l'ULIS. Si S estime que le travail avec la pascaline est trop abstrait pour une de ses élèves à besoin, elle indique bien qu'il s'agit d'un cas isolé dans sa classe. Collectivement les enseignants s'accordent à dire que le schème d'action correspondant à la soustraction est assez intuitif : « Ils ont tourné instinctivement dans l'autre sens » (annexe 6, p.6) nous dit C à propos de ses élèves. La pascaline permet d'agir par itération de l'unité. Ainsi écrire 17 sous la forme $1+1+\dots+1$ (17 fois) qui peut sembler laborieuse correspond à une procédure au côté « rassurant » (annexe 6, p.9) pour certains élèves à besoin témoigne M. Le prototype ne semble pas suffisamment mettre en avant le travail sur les unités de numération. Ainsi S nous dit « J'avais pas compris ça honnêtement, j'avais plus compris une histoire de centaines, dizaines et unités, toute simple » (annexe 6, p.13).

S'il paraît nécessaire d'améliorer l'utilisabilité du prototype concernant les unités de numération, c'est bien parce que **l'utilité** (Tableau 18) de ces dernières ne semble pas bien perçue. Le fait que les dizaines et les centaines peuvent aussi se penser comme des unités est complexe pour les élèves. L'unité qui compte des uns s'appelle unité et l'unité qui compte des dix, la dizaine. Pour K notre remarque ne relève plus vraiment du domaine des mathématiques : « à moins que je comprenne pas du tout,

on est dans le lexique en fait » (annexe 6, p.12). Le langage de la numération n'est pas perçu comme relevant des mathématiques. C'est ce que nous confirme S en disant : « Mais le lexique là comme tu viens de l'expliquer je l'ai pas vu » (annexe 6, p.13).

Tableau 18 : indicateurs d'utilité à propos des trois dernières séances et distribution des retours selon les enseignants

		Utilité à propos des trois dernières séances (en nombres d'occurrences)																								Total						
		B1 Objectifs					B2 Tâches					B3 Temporalité					B4 Apports					B5 Attention Motivation					B6 Progrès					
+		7					14					1					3					1					6					32
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	
		1	1	4	1		2		6	4	2			1			2			1				1			3		2	1		
-		7					17					26					5					2					4					61
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	
		1		4		2	3	1	4	2	2	4	1	9	7	5	3		1		1			1		1				2	2	

Concernant la temporalité, les remarques sont quasiment toutes négatives. Elles sont identiques à celles données lors du premier entretien collectif. Les séances sont trop longues en raison d'une sous-estimation dans le prototype de la durée d'observation des procédures des élèves par les enseignants lors des manipulations de la pascaline. Lors de cet entretien, il apparaît que F compte tenu des élèves de l'ULIS s'est arrêté à la fin de la séance 3. M et K quant à eux n'ont pas fini entièrement la séance 4. Seule C a fait la séance 5. Un essoufflement certain des enseignants-concepteurs est à noter, très vraisemblablement lié à la mauvaise estimation de la durée des séances dans le prototype. Des remarques concernant la temporalité de la séquence arrivée trop tardivement dans l'année reviennent à nouveau. Par conséquent certaines tâches ne seraient utiles qu'aux élèves à besoin, et les élèves avancés seraient quant à eux « moins investis » (annexe 6, p.2) signale K. M nuance ces derniers propos en disant : « En même temps expliciter leur démarche même aux bons élèves j'ai trouvé que c'était intéressant » (annexe 6, p.3). Il est relevé que des calculs proposés conduisent certains élèves à les effectuer mentalement puis à écrire le résultat sur la pascaline. Dans ces situations ces élèves perçoivent la pascaline comme « une contrainte » (annexe 6, p.11) nous indique K. Cependant, dans d'autres circonstances C nous fait part du besoin des élèves d'utiliser leur ardoise en plus de la pascaline, pour imaginer quelle roue va tourner automatiquement et à quel moment dans le calcul de la différence de 467 et 282. M et C relèvent des progrès chez leurs

élèves en ce qui concerne « le fonctionnement des dizaines et des unités » (annexe 6, p.8) au CP et le fait de « très bien raisonner avec la pascaline » (annexe 6, p.13) au CE2.

Concernant l'**acceptabilité** (Tableau 19), les enseignants confirment ce que nous avons déjà relevé lors des deux premières séances.

Tableau 19 : indicateurs d'acceptabilité à propos des trois dernières séances et distribution des retours selon les enseignants

		Acceptabilité à propos des trois dernières séances (en nombres d'occurrences)																				Total
		C1 Éthique					C2 Prescription					C3 Style pédagogique					C4 Développement professionnel					
+		0					1					3					0					4
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	
											1					3						
-		0					1					8					0					9
		C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	C	F	K	M	S	
											1	4				2	1	1				

Le travail avec de petits groupes serait plus acceptable car il permettrait à tous les élèves d'avoir une pascaline et aux enseignants de mieux gérer les phases de manipulation. Toutefois nous rappelons la richesse des phases collectives pour la confrontation des procédures. Nous relevons que la procédure d'écriture $1+1+\dots+1$ (17 fois) est jugée fastidieuse par C et M : « Que c'était long ! Et c'est ce qu'ont dit les enfants d'ailleurs. C'est pour ça qu'ils ont pas écrit $1+1+\dots$ » (annexe 6, p.9). Cette écriture qui permet d'établir que 17 est égal à 17 unités n'a pas été valorisée par les enseignants qui ont plutôt mis en avant les procédures par décomposition plus proches de leurs démarches habituelles et plus efficaces que l'itération de l'unité. K fait plusieurs fois le lien entre le travail proposé dans le prototype et le contenu du fichier (Accès CE1, 2019b) qu'elle suit : « Ces calculs-là en fait, on a les mêmes calculs dans le fichier de maths, les mêmes énoncés » (annexe 6, p.10). S considère quant à elle la pascaline compatible avec sa méthode, la même que K, puisqu'elle permettrait de faire aussi ce que le fichier propose à la condition que les élèves fassent « le transfert » (annexe 6, p.11) entre les deux. Alors que K reconnaît que « ce type de problème avec les timbres » (annexe 6, p.15) peut être résolu mentalement par les élèves en utilisant les propriétés de la numération, C associe sa résolution à l'écriture d'une division en ligne. D'ailleurs, comme son guide pédagogique (Outils pour les Maths CE2, 2016a) l'y incitait, c'est une procédure qu'elle a beaucoup utilisée : « Oui ça faisait un petit

moment qu'on était là-dessus » (annexe 6, p.16) et qu'elle associe aux élèves les plus à l'aise. Quand nous lui faisons remarquer que la procédure de lecture directe du résultat en utilisant les propriétés de la numération est plus experte, elle répond « parce que toi tu penses par rapport à la pascaline » (annexe 6, p.16). Cette dernière remarque montre que C ne s'est pas véritablement approprié l'outil. La pascaline n'a pas modifié ses représentations qui sont renforcées par le guide pédagogique qu'elle utilise et qui constitue sa référence.

3.3. Vers un second prototype plus utile, utilisable et acceptable : prise en compte des retours des enseignants

De nos échanges avec les enseignants-concepteurs, nous pouvons apporter quelques améliorations susceptibles de rendre l'outil plus utile, utilisable et acceptable. Ces améliorations ont pu être directement formulées par les enseignants-concepteurs ou bien ont été déduites de l'analyse de leurs propos. Ces retours analysés avec les indicateurs de Renaud (2020a) nous ont permis de classer ces améliorations dans un tableau selon les trois critères de l'ergonomie de conception auxquelles elles renvoient. Certaines constituent de véritables axes, d'autres sont à considérer comme des points plus spécifiques (tableau 20).

Tableau 20 : Améliorations du 1^{er} prototype classées selon les critères de l'ergonomie de conception

Améliorations de l' utilisabilité du 1 ^{er} prototype
<p><u>Axes</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - faciliter l'observation des élèves en proposant dans le prototype des temps de manipulation de la pascaline sous la forme d'ateliers ; - mettre plus en avant dans le prototype les possibilités offertes par l'e-pascaline pour gérer les phases collectives de comparaison des procédures des élèves ; - expliciter notre cible dans le prototype : les écritures en unités de numération et leurs relations (aspect décimal). <p><u>Points spécifiques</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - adjoindre à la préparation de la séance 1 quelques dessins d'enfants de la pascaline caractéristiques pour aider les enseignants à mieux les analyser et les exploiter ; - réécrire la phase d'élimination de l'hypothèse de l'horloge de la séance 2 en incitant explicitement les enseignants à faire comparer par les élèves le cadran d'une horloge et la pascaline afin de mettre plus en avant la justification par les nombres 10, 11 et 12 ;

- proposer une image de la pascaline à projeter pour la phase d'institutionnalisation sur le vocabulaire de la machine ;
- créer un tutoriel vidéo montrant les bons gestes pour manipuler l'outil et prévoir un temps pour exploiter ce support ;
- adjoindre à la préparation de la séance 2, le conseil donné par F sur l'obstacle que peut constituer la lecture des nombres sur la machine ;
- prévoir une information sur le contrôle inhibiteur dans la préparation de la séance sur l'addition.

Améliorations de l'**utilité** du 1^{er} prototype

Axes :

- revoir la temporalité des séances en les scindant en deux parties voire trois parties ;
- renforcer le caractère métacognitif de la séquence ;
- partager les références théoriques présentant l'intérêt du travail sur les unités de numération en lien avec l'aspect décimal.

Points spécifiques :

- ajouter à la préparation une note sur les représentations initiales ;
- créer un affichage didactique de référence au format A3 pour la mémorisation du vocabulaire associé à la pascaline avec des étiquettes mobiles à manipuler lors des rituels ;
- reconsidérer les données numériques pour limiter le recours au calcul mental.

Améliorations de l'**acceptabilité** du 1^{er} prototype

Axes :

- proposer des ateliers de manipulation en petits groupes lors des phases de prise en main de la pascaline ou d'entraînement ;
- illustrer avec quelques exemples donnés dans le prototype ce que sont les propriétés de la numération, et leur lien avec les programmes.

Points spécifiques :

- proposer la phase de réflexion dans le silence comme une variante d'une phase orale collective plus classique ;
- proposer différentes pistes d'exploitation en lien avec le personnage historique de Blaise Pascal à recueillir auprès des collègues qui se sont saisis de la question.

3.4. Vision à moyen terme des enseignants : la pascaline vue comme un outil complémentaire

Collectivement les enseignants reconnaissent la nécessité d'une formation à la prise en main de la pascaline. L'outil n'était pas connu d'eux. La découverte de son fonctionnement durant une courte formation « a permis de mieux comprendre la séquence » (annexe 14, p.1) nous indique C. La durée de la formation est trop courte selon S, et F met en avant le « besoin d'un apport théorique et d'un guide du maître » (annexe 18, p.1). Ces éléments montrent un besoin de compréhension voire de formation à propos de la pascaline. La séquence est appréciée des enseignants pour

sa clarté. Conformément aux données recueillies en entretien, les enseignants sont tous enclins à réutiliser la pascaline et la séquence associée mais plus tôt dans l'année. Lorsque nous leur demandons quels objectifs ils poursuivraient l'année prochaine en utilisant la pascaline, aucun enseignant n'emploie le terme de « principe décimal » ni même celui d'« unités de numération ». Leurs préoccupations sont tournées vers l'écriture des nombres par décomposition, l'addition et la soustraction. La pascaline est vue comme un nouvel outil permettant de travailler en numération et calcul, s'ajoutant à ceux déjà utilisés en classe. Ainsi pour F la pascaline est un « outil parmi tant d'autres avec ses avantages et ses inconvénients » (annexe 18, p.1). Elle ne change pas son regard sur l'enseignement de la numération. M non plus ne voit pas d'apport supplémentaire de la pascaline par rapport à ses propres outils. Elle l'envisage comme un complément. S observe que « les élèves se rendent mieux compte que la valeur d'un chiffre dépend de sa position » (annexe 17, p.2) en manipulant la pascaline. K voit dans la pascaline « une manière de faire autrement » (annexe 15, p.2) pour enseigner la numération. C a semble-t-il repéré que la procédure de la division euclidienne en ligne a orienté les réponses de ses élèves au problème pouvant être résolu par les propriétés de la numération. Cependant plutôt que d'interroger la pertinence de ses outils où aucune place n'est donnée à l'enseignement des propriétés de la numération, elle trouve une réponse à ce problème en termes de temporalité : « Il me semble plus approprié d'utiliser à nouveau la pascaline plus tôt dans l'année afin que les élèves ne soient pas influencés par d'autres notions étudiées » (annexe 14, p.2). C a trouvé l'expérience enrichissante. Elle dit qu'elle a construit par le biais de cet outil de nouvelles connaissances sans toutefois préciser lesquelles. L'outil est donc perçu dans sa globalité avec ses potentialités saillantes liées à l'aspect positionnel de la numération. Même si l'aspect décimal est perceptible lors des manipulations de la pascaline, celui-ci reste secondaire aux yeux des enseignants. Et la séquence n'a pas permis de montrer l'intérêt d'enseigner l'aspect décimal qui reste opaque pour les enseignants. L'analyse des données du questionnaire est en adéquation avec une des propositions d'amélioration du premier prototype donnée précédemment, à savoir mieux expliciter la cible visée: l'utilisation des unités de numération et leurs relations (principe décimal).

4. Discussion

4.1. Vérification de la 1^{ère} hypothèse

Pour rappel, nous formulions qu'une mise en œuvre d'une démarche de conception continuée dans l'usage à partir d'une proposition de séquence d'exploitation d'un artefact numérique tel que la pascaline, avec son savoir « embarqué » sur la numération décimale de position, permettrait aux enseignants de s'approprier cet outil en le rendant plus utile, utilisable et acceptable.

Lors de l'analyse des résultats, nous avons constaté l'engagement des enseignants dans la mise en œuvre de la séquence. Les 15 indicateurs de Renaud (2020b) ont permis de classer les retours des enseignants en termes d'utilisabilité, d'utilité et d'acceptabilité de notre dispositif. Ces retours ont donné suite à des propositions directement formulées par les enseignants-concepteurs au cours des entretiens collectifs ou qui ont été déduites de notre analyse. Deux de leurs remarques ont été unanimes. Elles ont pu être reprises en propositions d'amélioration. Premièrement, les séances du deuxième prototype seront plus courtes, souvent divisées en deux parties par rapport à celles du premier prototype. Deuxièmement, l'organisation en classe entière, les élèves répartis en binômes, sera remplacée à certains moments par la mise en place d'ateliers permettant aux élèves, dans un petit groupe, d'être mieux accompagnés dans leur genèse instrumentale de la pascaline. La réécriture du scénario pédagogique concernant la phase d'élimination de l'hypothèse de l'horloge s'avère nécessaire pour un meilleur guidage des élèves. Certaines données numériques demanderaient à être reconsidérées pour éviter aux élèves de calculer mentalement et d'écrire le résultat sur la machine. À la suite d'autres remarques des enseignants, le scénario pédagogique gagnerait à être ponctué de quelques informations sur le contrôle inhibiteur que demandent les schèmes d'action pour calculer, ou encore sur le concept des représentations initiales. Nous ne citerons pas toutes les améliorations issues de la conception continuée dans l'usage de notre outil. Ces nombreux exemples montrent que cette démarche a bien permis de rendre celui-ci plus utile, utilisable et acceptable. D'ailleurs tous les enseignants envisagent de conduire à nouveau la séquence améliorée la prochaine année scolaire. Ils ont réussi à s'approprier à la fois la pascaline et la séquence. Nous pouvons donc conclure que notre première hypothèse est vérifiée. La démarche de conception continuée dans l'usage a permis aux concepteurs de se saisir du dispositif, de l'améliorer collectivement en vue de le reconduire. Cependant la démarche de conception

continué dans l'usage aura-t-elle permis aux enseignants-concepteurs de questionner les savoirs de la numération à enseigner ? Observons l'utilité de notre dispositif selon cette focale.

4.2. Vérification de la 2nd hypothèse

Pour rappel nous formulons que la mise en œuvre d'une démarche de conception continuée dans l'usage à partir d'une proposition de séquence d'exploitation d'un artefact numérique tel que la pascaline, avec son savoir « embarqué » sur la numération décimale de position, serait utile aux enseignants de cycle 2 parce qu'elle leur permettrait d'aller questionner les savoirs de la numération à enseigner.

Tous les enseignants reconnaissent que la prise en main de la pascaline nécessite une formation. Certains même l'ont jugée trop courte. D'autres ont trouvé que l'artefact matériel n'est pas facile à s'approprier et nécessiterait un manuel de l'utilisateur. Le besoin d'aide exprimé correspond à la prise en main de l'artefact matériel. En effet sans une maîtrise suffisante de l'outil, les enseignants ne peuvent le concevoir comme un instrument pour enseigner la numération. Cependant une fois l'outil maîtrisé celui-ci semble les conforter dans une vision de la numération limitée au seul aspect positionnel. Malgré notre dispositif, comme le souligne Tempier (2010), parmi les savoirs essentiels de la numération, l'importance de l'aspect décimal continue d'être mal perçue. En effet à aucun moment de nos échanges les enseignants ne nomment ce savoir. Pourtant comme le montrent les positionnements des enseignants, certains de leurs outils ont évolué pour prendre en compte l'enseignement de l'aspect décimal comme il est demandé dans les programmes depuis 2016. Notre recherche montre que les enseignants-concepteurs peuvent donc au mieux l'enseigner mais sans le recul didactique nécessaire. Le dispositif n'aura pas permis de montrer une prise de conscience de l'importance d'enseigner l'aspect décimal. C'est pourquoi nous pouvons affirmer que notre seconde hypothèse n'est pas vérifiée. À travers cette expérimentation, nous relevons donc comme Tempier (2014) un besoin de formation des enseignants concernant les savoirs essentiels pour enseigner la numération, et notamment son aspect décimal. Mais pourquoi notre dispositif n'a-t-il pas atteint sa cible sur le principe décimal ? Discutons maintenant des limites méthodologiques.

4.3. Retour sur la méthodologie

Pour suivre la méthodologie liée à la conception continuée dans l'usage, nous avons choisi de nous appuyer sur une séquence de l'IFÉ pour élaborer notre prototype. Cela nous assurait déjà que ce dernier répondrait à minima aux critères d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité. Au regard de la conception continuée dans l'usage de notre premier prototype nous constatons que notre cible, à savoir l'utilisation des écritures en unités de numération et leurs relations (aspect décimal) n'est pas assez présente dans les 4 premières séances. Comme nous l'avons vu, la pascaline à elle seule ne suffit pas pour que les enseignants se questionnent davantage sur la décimalité. Les enseignants y voient ce qu'ils y reconnaissent, c'est-à-dire le principe de position. L'aspect innovant de notre dispositif ne doit donc pas se situer dans l'artefact matériel mais bien dans le prototype. Ceci est un écueil que nous n'avons malheureusement pas anticipé. Aussi nous pouvons nous demander si pour servir la cible que nous avons définie, la pascaline est finalement un atout. Si l'aspect décimal est bien présent dans la machine, qui transforme 9 unités + 1 unité en 1 dizaine ou encore 90 unités + 1 dizaine en 1 centaine avec la rotation automatique de roues d'ordre supérieur, elle est néanmoins limitée aux nombres à 3 chiffres. C'est d'ailleurs pour cette raison que Tempier (2010) a fait porter sa recherche au niveau du CE2, où l'étude des nombres à 4 chiffres avec l'introduction des milliers est plus riche en ce qui concerne les relations entre les unités de numération. Nous relevons également que les enseignants ne sont pas assez nombreux dans notre étude pour valider nos résultats. Toutefois la comparaison de leurs positionnements avec les pratiques enseignantes ordinaires concernant l'enseignement de la numération laisse à penser que le modèle théorique de l'utilisateur que nous avons défini est juste. Pour le choix des enseignants-concepteurs, les contraintes sanitaires n'ont pas permis qu'ils enseignent au même niveau de classe. Nous nous sommes adapté à la situation en élaborant une séquence avec deux entrées selon les niveaux CP et CE. Cela a pu constituer un frein dans les échanges. Nous connaissons les enseignants-testeurs ce qui est un biais véritable de notre recherche. Si nous avons cherché à être le plus objectif possible, l'analyse de leur positionnement par exemple reste empreinte d'une part de subjectivité. De même leur engagement n'a pas été volontaire. De plus le problème d'enseignement relevé par Tempier (2010) en ce qui concerne l'importance d'enseigner l'aspect décimal, non identifié des enseignants, n'est pas un problème professionnel. Il « ne permet pas de partir des préoccupations des enseignants » (Goigoux, 2017, p.137). Ceci constitue aussi un biais par rapport à la méthodologie

de la conception continuée dans l'usage. Par ailleurs nous n'avons pas mené d'observations dans les classes suivies d'entretiens individuels comme cela est pratiqué dans la conception continuée dans l'usage (Renaud, 2020a). Nous avons toutefois essayé de limiter ce manque en identifiant les passages à risque par la mise en œuvre des séances dans notre classe. Cependant nous savons bien que notre protocole reste très allégé comparativement à d'autres outils conçus avec cette démarche et qu'il n'en représente qu'un petit aspect. Nous en arrivons au rôle difficile que constitue l'animation des entretiens collectifs dans la démarche de conception continuée dans l'usage. De notre expérience nous retenons que cette démarche doit être mieux explicitée que nous ne l'avons fait aux enseignants-concepteurs. De plus l'animation des entretiens collectifs n'est vraiment pas évidente. Nous avons eu le sentiment de n'avoir pas su assez écouter les enseignants-concepteurs car nous étions trop préoccupé par les questions à poser et le temps qui passe. Les 15 indicateurs de Renaud (2020a) ont été une aide précieuse pour préparer des questions et analyser les retours des enseignants. Certaines remarques qui peuvent sembler anodines en première lecture, passées au crible des indicateurs, prennent sens. Les lignes directrices qui se sont dégagées de l'analyse des retours ont permis de formuler des améliorations au premier prototype. Toutefois il n'est pas toujours évident de classer certaines remarques. Nous sentons ici que ce travail de classement s'il était mené à plusieurs gagnerait en objectivité.

4.4. Projection

Cette initiation à la recherche nous aura permis d'acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine des mathématiques et plus particulièrement celui de l'enseignement de la numération à l'école élémentaire. Cette étude nous rappelle aussi combien un formateur d'enseignants devrait rester modeste face à l'étendue du champ des savoirs essentiels à enseigner. Il suffit de s'intéresser à quelques lignes des programmes comme nous l'avons fait sur la numération pour se rendre compte que de nombreuses recherches y sont associées. Nous avons poursuivi nos lectures sur le sujet et découvert avec Chambris (2012) que la difficulté actuelle des enseignants à percevoir l'importance d'enseigner l'aspect décimal s'expliquait historiquement. Avec la réforme des « maths modernes », l'enseignement classique des unités de numération a été abandonné. Ces dernières ont été alors dénigrées au profit des

écritures chiffrées des puissances de dix. La disparition des unités de numération a entraîné celles des conversions en numération qui justement mettent en jeu l'aspect décimal. Si après la réforme les unités de numération ont progressivement fait leur retour dans l'enseignement élémentaire, notamment avec le tableau de numération, les conversions sont quant à elles restées oubliées ou plutôt associées au seul système métrique. Nous voyons ici comment le partage des références théoriques est essentiel à la profession de formateur. Nous pensons ajouter cet éclairage au deuxième prototype. Nous nous questionnons aussi sur la définition des problèmes professionnels. Dans la conception continuée dans l'usage de *#LectureDoc* (Renaud, 2020b) les enseignants sont confrontés à un véritable problème professionnel. Les enseignants souhaitant se conformer à la prescription de l'enseignement de la lecture documentaire en cycle 3 se trouvent démunis ne sachant que faire ni vers quels outils se tourner. Le problème professionnel est ici identifié et mis en mots par les enseignants. Puisque l'importance d'enseigner l'aspect décimal n'est pas un problème professionnel venant des enseignants, formulé par eux-mêmes, comment les amener à prendre en compte cet aspect, ce problème d'enseignement ? Par ailleurs nous mesurons combien la mise en mots d'un problème professionnel est un levier important d'engagement des enseignants dans une démarche de formation. Et c'est un point fort de la conception continuée dans l'usage que de « changer les pratiques des enseignants pour changer leurs conceptions » (Goigoux et Cèbe, 2009, p.2). Nous aimerions poursuivre dans la conception continuée dans l'usage d'outils tant cette démarche nous a séduit. Nous y voyons un moyen efficace de mettre en œuvre les compétences du référentiel de formateur. Cette démarche trouverait pleinement sa place dans les nouvelles modalités de formation continue du 1^{er} degré que sont les constellations en français et mathématiques, si tant est que les moyens d'accompagner les équipes soient suffisants.

Conclusion

Le travail d'initiation à la recherche que nous avons mené pour écrire ce mémoire nous a conduit à nous demander en quoi, pour des enseignants de cycle 2, la conception continuée dans l'usage d'une séquence d'exploitation d'un artefact numérique tel que la pascaline, avec son savoir « embarqué » sur la numération décimale de position rendrait cet outil plus utile, utilisable et acceptable.

Pour répondre à notre question, à la suite d'une revue de littérature sur l'enseignement de la numération décimale de position, nous avons défini un modèle théorique de l'utilisateur pour notre outil : un enseignant qui pourrait potentiellement proposer des activités mettant en jeu l'aspect décimal sans pour autant mesurer l'importance d'enseigner explicitement cet aspect. Nous avons positionné chacun des 5 enseignants participant par rapport à ce modèle en nous appuyant sur une analyse de leurs pratiques professionnelles au travers d'entretiens individuels et d'une observation de leurs outils de préparation de classe. D'après un canevas de séquence proposé par l'IFÉ, nous avons écrit une séquence d'exploitation de la pascaline qui constitue le premier prototype d'une conception continuée dans l'usage de notre outil. À l'aide des 15 indicateurs de Renaud (2020a), nous avons analysé les retours des enseignants qui ont mené l'expérimentation lors d'entretiens collectifs selon les critères d'utilité, d'utilisabilité et d'acceptabilité. Cette analyse a permis de dégager des axes d'amélioration permettant de rendre l'outil plus utile, utilisable et acceptable. D'une part il est nécessaire de revoir la temporalité de la séquence avec des séances plus courtes, et d'autre part la mise en place de temps de manipulation de la pascaline en petits groupes sous la forme d'atelier faciliterait l'observation des schèmes d'action des élèves par les enseignants. En l'état le premier prototype n'aura pas suffi à faire évoluer les représentations des enseignants-concepteurs sur l'enseignement de la numération, notamment en ce qui concerne l'importance d'enseigner l'aspect décimal. Ce qui nous a principalement conduit à considérer que notre cible, l'utilisation des unités de numération et de leurs relations qui mettent en jeu l'aspect décimal, n'était pas assez explicite dans la séquence proposée. Introduire un outil innovant comme la pascaline qui met pourtant bien en avant l'aspect décimal avec la rotation automatique de roues d'ordre supérieur n'est pas suffisant. En plus de la formation à la prise en main de l'artefact matériel, un fort accompagnement didactique dans la séquence semble nécessaire. Ainsi, dans un second prototype, l'accent devrait être mis sur le

partage des références théoriques au sujet de la cible et l'explicitation de son lien avec les programmes.

Nous avons relevé différentes limites à notre initiation à la recherche. Le faible nombre de participants et notre proximité avec le terrain amenuisent la portée de nos résultats. L'adaptation de la séquence selon deux entrées, l'une au CP et l'autre au CE, n'a pas facilité les échanges entre les co-concepteurs. Le choix de cet artefact numérique, limité à l'étude des nombres à 3 chiffres, était-il finalement un atout au service de notre cible ? Par ailleurs, nous nous questionnons sur les limites de la conception continuée dans l'usage quand un problème d'enseignement repéré par des chercheurs ne correspond pas à un problème professionnel identifié des enseignants.

Au cours de ce mémoire nous avons davantage pris conscience des enjeux de la formation continue et notamment le nécessaire partage des références théoriques avec les enseignants. Nous avons pu nous exercer à l'analyse de manuels, à l'utilisation d'indicateurs pour analyser des données selon les critères de l'ergonomie de conception. Enfin, nous avons été séduit par la démarche de conception continuée dans l'usage d'un outil didactique dans la mesure où elle rapproche véritablement les praticiens du monde de la recherche. Nous y voyons un moyen efficace d'accompagner l'individu et le collectif que nous aimerions utiliser dans nos prochaines fonctions de Professeur des Ecoles Maître Formateur (PEMF).

Bibliographie

Articles :

Bednarz, N. E., & Janvier, B. (1984). La numération : les difficultés suscitées par son apprentissage. *Grand N*, 33, 5-31.

Cèbe, S., & Goigoux, R. (2018). Lutter contre les inégalités: outiller pour former les enseignants. *Recherche formation*, (1), 77-96.

Chambris, C., Mounier, E., Nebout, P., & Perrin-Glorian, M. J. (2012). Éclairages sur l'enseignement des nombres et de la numération à l'école primaire.

Charnay, R., Douaire, J., Valentin, D., & Guillaume, J. C. (2005). *Ermel-Apprentissages numériques et résolution de problèmes CP Ed. 2005*. Hatier.

Dehaene, S. (2010). Le cerveau calculeur. *Dossier Math et Psycho, revue APMEP*.

Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). Hommes, artefacts, activités : perspective instrumentale. *Ergonomie*, 251-268.

Fougères, R. (2016). Rapport Final Mission Institut Carnot de l'Éducation. *Définition-expérimentation-Essaimage (165 p.)*. Report of Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, MNESER.

Goigoux, R. (2017). Associer chercheurs et praticiens à la conception d'outils didactiques ou de dispositifs innovants pour améliorer l'enseignement. *Éducation et didactique*, 11(11-3), 135-142.

Goigoux, R., & Cèbe, S. (2009, Juin). Un autre rapport entre recherche, pratique et formation. Les instruments didactiques comme vecteur de transformation des pratiques des enseignants confrontés aux difficultés d'apprentissage des élèves. In *Les instruments didactiques comme vecteur de transformation des pratiques des enseignants confrontés aux difficultés d'apprentissage des élèves*.

Goigoux, R., Cèbe, S., & Paour, J. L. (2003). Favoriser le développement de compétences phonologiques pour tous les élèves en grande section de maternelle. *Repères. Recherches en didactique du français langue maternelle*, 28(1), 71-92.

Goigoux, R., Cèbe, S., & Paour, J. L. (2004). Phono. *Développer les compétences phonologiques en grande section et début de CP*.

Leroyer, L. (2013). Le rapport au support dans le travail de préparation en mathématiques des enseignants du premier degré. *Éducation et didactique*, 7(7-1), 147-164.

Maschietto, M., & Bartolini, M. G. (2013). Des scénarios portant sur l'utilisation d'artefacts dans l'enseignement et apprentissage des mathématiques à l'école primaire. In *XXXIX Colloque de la COPIRELEM'Faire des mathématiques à l'école : de la formation des enseignants à l'activité de l'élève'* (pp. 34-51). IREM de Brest.

Rabardel, P., & Samurçay, R. (2006). De l'apprentissage par les artefacts à l'apprentissage médiatisé par les instruments. *Sujets, activités, environnements. Approches transversales*, 31-60.

Renaud, J. (février 2020a). Évaluer l'utilisabilité, l'utilité et l'acceptabilité d'un outil didactique au cours du processus de conception continuée dans l'usage. *Education didactique*, 14(2), 65-84.

Renaud, J. (novembre 2020b). *Processus de conception d'un outil didactique d'enseignement de la lecture documentaire numérique au cycle 3* (Doctoral dissertation, Université Clermont Auvergne (UCA), FRA.).

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

Tempier, F. (2010). Une étude des programmes et manuels sur la numération décimale au CE2.

Tempier, F. (2014, June). De la conception d'une ressource pour enseigner la numération décimale à l'identification de besoins pour la formation des enseignants.

Tempier, F. (2015, March). La numération décimale de position à l'école primaire. Une ingénierie didactique pour le développement d'une ressource. In *Séminaire national de didactique des mathématiques ARDM*.

Ouvrages :

Baruk, S. (2016). *Les chiffres ? Même pas peur !*. Presses Universitaires de France.

Duprey, G., Mauffrey, F., Mauffrey, I., Drocourt, V., & Duprey, S. (2018a). *Maths au CP : guide de l'enseignant*. ACCES éditions.

Duprey, G., Mauffrey, F., Mauffrey, I., Drocourt, V., & Duprey, S. (2018b). *Maths au CP : cahier de l'élève*. ACCES éditions.

Duprey, G., Mauffrey, F., Mauffrey, I., Godet, V., & Duprey, S. (2019a). *Maths au CE1 : guide de l'enseignant*. ACCES éditions.

Duprey, G., Mauffrey, F., Mauffrey, I., Godet, V., & Duprey, S. (2019b). *Maths au CE1 : cahier de l'élève*. ACCES éditions.

Duprey, G., Mauffrey, F., Mauffrey, I., Godet, V., Duprey, S., & Grisward, G. (2020a). *Maths au CE2 : guide de l'enseignant*. ACCES éditions.

Duprey, G., Mauffrey, F., Mauffrey, I., Godet, V., Duprey, S., & Grisward, G. (2020b). *Maths au CE2 : cahier de l'élève*. ACCES éditions.

Gros, P., Frey-Tournier, M. L., & Reale-Bruyat, F. (2016a). *Les nouveaux outils pour les maths CE2 : guide pédagogique*. Magnard.

Gros, P., Frey-Tournier, M. L., & Reale-Bruyat, F. (2016b). *Les nouveaux outils pour les maths CE2 : fichier de l'élève*. Magnard.

Métoudi, M., & Duhauffour, H. (2001). *Des manuels et des maîtres*. Savoir livre.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.

Rabardel, P., & Pastré, P. (2005). *Modèles du sujet pour la conception*. Octarès Éditions.

Valentin, D. (2005). *Découvrir le monde avec les mathématiques: situations pour la grande section de maternelle*. Hatier.

Documents Web :

MEN (2002, février 14). Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire. *BOEN, Le Bulletin Officiel de l'Education Nationale*.

Consulté à : <https://www.education.gouv.fr/bo/BoAnnexes/2002/hs1/hs1.pdf>

MEN (2020, juillet 30). Programmes d'enseignement des apprentissages fondamentaux (cycle 2).

BOEN, Le Bulletin Officiel de l'Education Nationale.

Consulté à :

https://cache.media.education.gouv.fr/file/31/88/5/ensel714_annexe1_1312885.pdf

Table des annexes

Annexe 1 : premier prototype de la séquence sur la pascaline (13 pages)

Annexe 2 : guide des entretiens individuels (4 pages)

Annexe 3 : conducteur de la formation à la prise en main de la pascaline (3 pages)

Annexe 4 : verbatim de la formation à la prise en main de la pascaline (14 pages)

Annexe 5 : verbatim de l'entretien collectif 1 (19 pages)

Annexe 6 : verbatim de l'entretien collectif 2 (16 pages)

Annexe 7 : guide des entretiens collectifs (12 pages)

Annexe 8 : questionnaire final (2 pages)

Annexe 9 : verbatim de l'entretien de C (8 pages)

Annexe 10 : verbatim de l'entretien de K (7 pages)

Annexe 11 : verbatim de l'entretien de M (7 pages)

Annexe 12 : verbatim de l'entretien de S (6 pages)

Annexe 13 : verbatim de l'entretien de F (9 pages)

Annexe 14 : réponses au questionnaire de C (2 pages)

Annexe 15 : réponses au questionnaire de K (2 pages)

Annexe 16 : réponses au questionnaire de M (2 pages)

Annexe 17 : réponses au questionnaire de S (2 pages)

Annexe 18 : réponses au questionnaire de F (2 pages)

Jérôme LEMERCIER

**Expérimentation par la conception continuée dans l'usage
d'un dispositif pédagogique**
le cas d'un artefact numérique : la pascaline

Résumé :

Enseigner la numération décimale de position se réduit bien souvent dans les pratiques ordinaires des professeurs des écoles à n'enseigner que son aspect positionnel. L'importance d'enseigner la décimalité est mal perçue. Afin de modifier ces représentations des enseignants constatées par Tempier (2010), nous avons choisi d'emprunter la conception continuée dans l'usage (Goigoux et Cèbe, 2009, Renaud, 2020a) parce qu'elle propose d'abord d'introduire de nouveaux outils pour ensuite infléchir les pratiques. Nous avons proposé à 5 enseignants de cycle 2 un dispositif composé d'une séquence mettant en œuvre un artefact numérique, la pascaline, dont l'intérêt concernant la décimalité a été relevé par Soury-Lavergne et Maschietto (2013). Nous nous sommes demandé en quoi la co-conception d'une telle séquence sur la pascaline rendrait le dispositif, plus utile, utilisable et acceptable. Nous avons suivi les premières étapes de la conception continuée. L'analyse des entretiens individuels des enseignants participant à l'expérimentation et celle de leurs outils de préparation nous ont permis de les positionner par rapport au modèle théorique de l'utilisateur. Pour mesurer l'appropriabilité du dispositif et l'évolution des représentations des enseignants sur la décimalité, nous avons analysé leurs retours lors d'entretiens collectifs avec les 15 indicateurs définis par Renaud (2020a). La co-conception a permis de dégager des axes d'amélioration : la scission des séances en deux et l'introduction de nouvelles modalités de travail des élèves en atelier. Les représentations des enseignants n'ont pas évolué durant l'expérimentation. Ce constat nous conduit à expliciter davantage la décimalité dans notre dispositif.

Mots clés : conception, numération décimale, utilité utilisabilité acceptabilité, pascaline

**Experimentation through continuous design in the use of an
educational device**
the case of a numerical artifact: the pascaline

Abstract:

Teaching positional decimal numbering is very often reduced in the ordinary practices of school teachers to teaching only its positional aspect. The importance of teaching decimality is misperceived. In order to modify these representations of the teachers noted by Tempier (2010), we have chosen to borrow the continuous design in use approach (Goigoux et Cèbe, 2009, Renaud, 2020a) because it proposes first to introduce new tools and therefore to change the practices. We proposed to 5 cycle 2 teachers a device composed of a sequence implementing a numerical artefact, the pascaline, whose interest concerning decimality has been noted by Soury-Lavergne and Maschietto (2013). We wondered in what way the co-design of such a sequence on the pascaline would make the device more useful, usable and acceptable. We followed the first steps of the continuous design. The analysis of the individual interviews of the teachers participating in the experimentation and of their preparation tools allowed us to position them in relation to the theoretical model of the user. To measure the appropriability of the device and the evolution of the teachers' representations of decimality, we analyzed their feedback during collective interviews with the 15 indicators defined by Renaud (2020a). The co-design enabled us to identify areas for improvement: splitting the sessions in two and introducing new ways of working with the pupils in small groups. The teachers' representations did not change during the experimentation. This observation leads us to make decimality more explicit in our device.

Key words: design, decimal numbering, usefulness, usability, acceptability, pascaline