

LES ENSEIGNANTS FACE A L'ENTREE DE L'ALGORITHMIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT
DES MATHÉMATIQUES AU LYCEE SCIENTIFIQUE EN FRANCE

Mariam HASPEKIAN¹, Claver NIJIMBERE²
EDA, Université Paris Descartes

Résumé – Après avoir interrogé le prescrit et interviewé un groupe d'enseignants sur leurs rapports à l'enseignement des savoirs algorithmiques dans les nouveaux programmes de mathématiques en seconde en France, il se dégage deux représentations de l'algorithmique : l'une tournée vers la logique mathématique, en dehors de tout contexte technologique, l'autre tournée vers la programmation. Ces deux approches se retrouvent dans les programmes officiels où les notions algorithmiques sont présentées dans une tension mathématiques-informatique, ainsi que dans les propos des enseignants. Les pratiques des enseignants et celles de leurs élèves sont très influencées par ces représentations. Une confusion de terminologie chez les enseignants atteste des frontières floues entre algorithmique et programmation qui méritent d'être précisées au cours des formations.

1. Contexte

1.1. Introduction

Les programmes des mathématiques en France ont été récemment réformés avec une évolution qui semble en rapport avec les utilisations grandissantes de l'informatique. En effet, selon Modeste (2009), c'est l'évolution des mathématiques elles-mêmes et la présence croissante de l'informatique et de ses applications qui incitent à requestionner l'enseignement des mathématiques. Il en est de même pour Vagost, pour qui le développement technologique renforce de plus en plus le voisinage existant entre les mathématiques et l'informatique et la nécessité de donner un caractère algorithmique à l'enseignement des mathématiques (Vagost, 2010). L'introduction des éléments de l'algorithmique et de la programmation au lycée est effectivement une grande caractéristique de ces nouveaux programmes, en vigueur au lycée depuis la classe de seconde, dès la rentrée 2009/2010 et qui se sont depuis étendus à tout le lycée dans leur enseignement. Nous nous interrogeons alors d'une part sur les contraintes et difficultés de ce nouvel enseignement, d'autre part sur les pratiques des enseignants face à ces nouveautés : comment les enseignants, spécialistes des mathématiques, se sont-ils approprié cet enseignement ? Comment parviennent-ils à mettre en application ces nouveaux programmes ? Quels savoirs et quelles formations supplémentaires nécessite cet enseignement ? Quels changements exige-t-il ? Quelles sont les pratiques des élèves et les difficultés majeures qu'ils rencontrent ?

Cet article, qui reprend certains éléments issus de notre travail de mémoire de master 2, Nijimbere (2011) interroge donc à la fois les programmes et cherche à avoir une

1 mariam.haspekian@univ-paris5.fr

2 claver.nijimbere@etu-paris5.fr

première idée des pratiques des enseignants en algorithmique en tentant de les croiser avec leurs effets sur l'apprentissage des élèves.

1.2. Corpus et Méthodologies appliquées

Afin de pouvoir répondre à ces questions, nous nous sommes tournés vers deux ensembles de corpus et avons utilisé une méthode qualitative propre à chacun de ces deux volets : une analyse du prescrit pour ce qui concerne les programmes et des entretiens semi-directifs pour ce qui concerne les pratiques.

Le prescrit comporte deux documents : le programme proprement dit et le guide d'accompagnement de ce programme. Ce programme de mathématiques en seconde présente, en introduction, d'une part, sur une demi-page, les objectifs généraux prescrits, le raisonnement et le langage mathématique recommandé, et, d'autre part, sur une page, les outils logiciels proposés, les diverses activités de l'élève, l'organisation du programme et le mode d'évaluation des élèves.

Nous avons ainsi analysé les textes officiels de mathématiques en classe de seconde (programme et guide d'accompagnement). Ce programme comporte des éléments d'algorithmiques valables pour les trois classes (seconde, première et terminale) du lycée scientifique.

Le prescrit est analysé d'abord selon les champs lexical et sémantique des termes utilisés, les méthodes d'enseignement et les types d'activités proposés, l'expression langagière utilisée, les langages ou logiciels de programmation proposés, les savoirs enseignés et savoir-faire comme les compétences visées, les modes et formes d'évaluation proposés...

Pour les entretiens, nous avons choisi des lycées ayant une section concernée par la réforme. Cinq enseignants, provenant de trois lycées différents, ont accepté de participer à nos entretiens.

La méthode d'entretiens semi-directifs a été privilégiée dans le sens où elle offre des opportunités aux différents interviewés d'exprimer leur point de vue (Darricarrère et Bruillard, 2010). Ces derniers, en répondant librement aux thèmes en question, révèlent d'autres points auxquels l'intervieweur n'avait pas pensé dans la construction de la grille d'entretien. L'intervieweur, quant à lui, a aussi les possibilités de relancer des questions pour avoir plus de précisions sur les nouveaux points évoqués qu'il juge importants.

Des enregistrements audio d'entretiens, d'une heure environ chacun, avec ces 5 enseignants ont été faits. Les entretiens ont été transcrits, codés et analysés. Après une lecture répétée de ces transcriptions, une grille d'analyse de ces entretiens a été construite et structurée.

Dans la suite, nous présentons les analyses et résultats respectifs à ces deux volets avant de lancer quelques pistes de discussion.

2. Analyse du prescrit

2.1. Méthode d'analyse

La procédure de notre analyse est d'abord lexicale. Elle a consisté à repérer dans les textes officiels les notions en rapport avec l'algorithmique ou faisant référence à

l'algorithmique. Ces notions ou expressions ont été classifiées dans les catégories, constituées selon leur champ sémantique : technique, activité, outil...

Nous avons aussi repéré dans les textes les termes ou expressions relatifs aux TIC et les noms de logiciels proposés. Nous avons finalement mis en relation la terminologie soulignée précédemment et les savoirs et savoir-faire comme compétences attendues de l'élève selon le prescrit des textes officiels. Cela nous a permis de déterminer la place qui revient à l'enseignement de l'introduction de l'algorithmique dans le nouveau programme de mathématiques au lycée.

Enfin, nous avons repéré des expressions langagières qui montrent l'importance à donner à l'argument proposé. Ces expressions ont un sens qui va de la recommandation à une plus forte incitation : « dans la mesure du possible... », « le cas échéant », « il serait souhaitable... », « une piste intéressante est... », « il est intéressant de... », « on aura intérêt à... », « ... peut avantageusement avoir... », « ... gagne à être mise en œuvre... », « ... l'accent est systématiquement mis sur... », « il est indispensable de... », « ... en particulier... », « il est important de... », « il importe particulièrement que... », « il convient de... », « il conviendrait de... », etc.

2.2. Résultats de l'analyse

Sur huit pages, se trouve une description des contenus du programme, disposée en trois colonnes intitulées respectivement : « contenus », « capacités attendues » et « commentaires ». Le programme est découpé en 3 parties : Fonctions, Géométrie, et Statistiques et probabilités.

Pour chaque partie, les capacités attendues sont identifiées et l'accent est systématiquement mis sur le type de problème que les élèves doivent savoir résoudre. L'acquisition de techniques est présentée comme indispensable, mais il est souligné qu'elle doit être au service de la pratique du raisonnement qui est la base de l'activité mathématique des élèves.

Bien que l'algorithmique ne soit pas une partie à part entière, on remarque qu'à côté des objectifs généraux de ce programme et des objectifs spécifiques pour chacune de ses parties, sont précisés, à part, les objectifs spécifiques de l'algorithmique.

2.2.1. Une argumentation pour l'introduction de l'algorithmique

Dans les programmes et le guide d'accompagnement, une argumentation est proposée, pour justifier l'introduction de l'algorithmique et l'étude des algorithmes dans l'enseignement de mathématiques. On note dans cette argumentation, le souci de relier le domaine de l'algorithmique aux mathématiques (et non à l'informatique) en utilisant divers points de vue. Les programmes montrent du point de vue historique, un lien originel entre ces deux champs, du point de vue de la pratique des mathématiques une omniprésence des algorithmes, et du point de vue de l'enseignement et de l'apprentissage, les vertus et apports de l'algorithmique pour l'apprentissage du raisonnement et de toutes les autres parties du programme de mathématiques.

Cependant, malgré ce souci, les programmes mettent également en avant le lien entre l'algorithmique et l'usage des technologies dans notre univers actuel ; à ce titre l'algorithmique pourrait être vue comme étant un domaine plutôt à rapprocher de la programmation et de l'informatique. Cette tension qui existe dans les programmes entre « algorithmique-informatique » et « algorithmique-mathématiques » se révélera être une

difficulté pour les enseignants ainsi que pour les formateurs en charge de concevoir des formations sur l'algorithmique.

Un lien originel entre mathématique et algorithmique

Plusieurs expressions renvoient à un lien originel entre les mathématiques et l'algorithmique :

L'algorithmique a une place naturelle dans tous les champs des mathématiques et les problèmes posés doivent être en relation avec les autres parties du programme (fonctions, géométrie, statistiques et probabilités, logique) mais aussi avec les autres disciplines ou la vie courante. (Programme, p.11, souligné par nous).

La démarche algorithmique est, depuis les origines, une composante essentielle des mathématiques. (Programme, p.11, souligné par nous).

C'est un lien originel, que l'on retrouve dans l'enseignement de mathématiques lui-même :

Dans le cours de mathématiques, les algorithmes apparaissent très tôt dans la scolarité. (Guide d'accompagnement, p.3, souligné par nous).

Au collège, les élèves ont rencontré des algorithmes (algorithmes opératoires, algorithme des différences, algorithmes d'Euclide, algorithme de construction en géométrie) » (Programme, p.11, souligné par nous).

Une omniprésence des algorithmes

Une autre justification repose sur l'omniprésence des algorithmes dans les mathématiques de la vie courante. Un paragraphe intitulé : « présence universelle des algorithmes » l'explique :

Les mathématiques sont partout présentes dans la vie courante : traitement de données, statistiques, codage, simulation numérique... Mais cette présence qui se renforce, est souvent occultée aux yeux du public qui ne voit que le produit fini. Cette observation s'applique parfaitement aux algorithmes dont on voit plus souvent les résultats que les principes fondamentaux. (Guide d'accompagnement, p.3).

Cependant, un autre paragraphe explique la « présence d'algorithme » en la reliant cette fois à notre « univers technologique » dans la vie courante (Guide d'accompagnement, p.3) :

La présence d'algorithmes dans l'univers technologique qui nous entoure n'est plus à démontrer. Depuis l'automate le plus simple jusqu'aux systèmes les plus complexes, les algorithmes ordonnent beaucoup de nos gestes quotidiens.

Des capacités transversales et des compétences clairement identifiées

Ces deux arguments sont renforcés par le fait que, dans le nouveau programme, l'introduction de l'algorithmique ne constitue pas une section à part entière du programme mais, est intégrée dans chacune des trois parties (fonctions, géométrie, statistiques et probabilités). Cette forme est justifiée par un argument de transversalité des capacités attendues en algorithmique :

Les capacités attendues dans le domaine de l'algorithmique d'une part et du raisonnement d'autre part, sont transversales et doivent être développées à l'intérieur de chacune des trois parties. (Programme, p.4)

Un dernier argument est plutôt pratique et tourne là encore les algorithmes vers leur implémentation dans des machines. Les méthodes manuelles dans la résolution de certains problèmes peuvent en effet s'avérer insuffisantes, d'où le besoin de méthodes plus performantes dont l'utilisation de la machine :

L'introduction de chaque nouvel élément (variable, boucle, itération, etc.) devrait apparaître lors de la résolution des problèmes pour lesquels les démarches habituelles sont trop longues ou peu performantes : par exemple dans le cas de répétition d'une tâche, ou dans le cas d'un traitement trop long pour être envisagé « à la main ». (Guide d'accompagnement, p.4)

La présence de « machines » et de la programmation se confirme par la suite dans les activités auxquelles les élèves doivent « être suffisamment entraînés » que les textes officiels listent :

- décrire certains algorithmes en langage naturel ou dans un langage symbolique ;
- en réaliser quelques-uns à l'aide d'un tableur ou d'un petit programme réalisé sur une calculatrice ou avec un logiciel adapté ;
- interpréter des algorithmes plus complexes. (Programme, p.11)

2.2.2. Une description des contenus à enseigner

De même, les contenus à enseigner naviguent là encore entre un apprentissage purement mathématique de l'algorithmique et conjointement une traduction « machine » de ces algorithmes, sans faire la part des choses claire entre ce qui relève des mathématiques et ce qui relève d'une « extension », laissant l'enseignant dans un flou au final sur ce qu'est l'algorithmique :

Dans le cadre de l'algorithmique, les objectifs prescrits et poursuivis par le programme sont les suivants :

* formalisation en langage naturel propre à donner une traduction sur une calculatrice ou à l'aide d'un logiciel ;

*familiарiser les élèves avec les grands principes d'organisation d'un algorithme : gestion des entrées, affectation d'une valeur et mise en forme d'un calcul.» (programme, p.11, c'est nous qui soulignons)

Il en est de même dans le guide d'accompagnement. Sur les trente-trois (33) pages qui le composent, vingt-cinq (25) sont réservées aux contenus à enseigner dans lesquelles le guide :

- rappelle les définitions, les principes et les notions de base de l'algorithmique : « instructions », « variables », « structures de contrôle », etc. Bref, il donne un cours synthétique et complet.
- donne des illustrations (d'affectation des données dans des variables, de lecture (entrée) des données et d'écriture (sortie) des résultats) dans un pseudo-langage.
- donne des illustrations dans deux des logiciels préconisés dans le programme : Scratch et Xcas.

Ces illustrations concernent les notions d'affectation de données dans des variables, de sortie de résultats et de structures de contrôle.

Avec Scratch cela prend l'allure suivante : [...]. (Guide d'accompagnement, p.7).

[...]dans Xcas, l'instruction « input (A) ; » va affecter dans la variable nommée A un nombre ou une expression tapés au clavier. (Guide d'accompagnement, p.7).

- donne une illustration imagée de l'affectation :

On peut comparer l'affectation de valeur à une variable comme le rangement d'un objet dans un petit tiroir (ne pouvant contenir qu'un objet à la fois); sur la façade du tiroir figure un nom, c'est l'identificateur qui permet de parler du tiroir lui-même. Cette notion est très proche de celle de variable au sens mathématique. (Guide d'accompagnement, p.7)

On voit aux citations précédentes que le souci d'un rapprochement avec les mathématiques est noyé dans des instructions propres à un langage machine (« *input* », *lecture* à l'entrée de l'algorithme, *écriture* à la sortie...) qui côtoient pourtant l'introduction d'un pseudo-langage dans les textes officiels.

Le guide d'accompagnement introduit en effet l'utilisation d'un pseudo langage français pour la description formelle des algorithmes :

[...] identificateur prend la valeur valeur [...]. Ainsi l'instruction « A prend la valeur 2 » affecte la valeur 2 à la variable dont A est l'identificateur et ceci quelle que soit la valeur contenue au préalable dans la variable A (laquelle sera perdue). (Guide d'accompagnement, p.7)

Mais dans le même pseudo langage, est précisé que l'entrée et la sortie des données peuvent respectivement être traduites :

Saisir identificateur [...]. Afficher identificateur. (Guide d'accompagnement, p.7)

Or ces instructions n'ont strictement aucune utilité d'un point de vue « algorithmique » (c'est-à-dire au sens mathématique). Elles sont par contre nécessaires bien entendu d'un point de vue « programmation » de l'algorithme. Les termes « Saisie » et « Afficher » proviennent du monde « calculatrice » et « programmation » mais ne se justifient pas du point de vue strict de l'algorithme. Ils constituent d'ailleurs une erreur fréquente d'écriture des algorithmes chez les étudiants de première année universitaire. Notre propos n'est pas de contester la présence de ce point de vue, un enseignement uniquement formel serait sans doute déraisonnable, mais de montrer que les textes officiels n'aident pas les enseignants à faire la part des choses précisément entre ces différents points de vue, à délimiter clairement ce qui relève de l'algorithmique au niveau des raisonnements de ce qui relève des nécessités de son implémentation technologique.

2.2.3. Usage des TIC

Enfin, il est souligné dans le programme (p.11) que : «Aucun langage, aucun logiciel n'est imposé », mais les langages et outils logiciels sont néanmoins largement introduits dans les textes avec là encore aucune précision sur le fait qu'on entre là dans un travail distinct de celui du travail de l'algorithme pur, travail qui engendre des questions propres et nouvelles purement liées à la programmation (interaction avec un utilisateur, capacités de calcul, limitations de mémoire, complexité en temps, etc.).

Des logiciels recommandés non obligatoires

Les textes donnent une liste de logiciels libres et de langages, pouvant être utilisés : « Scratch », « Xcas », « Linotte », « Maxima », « Python », « Scilab », « Execalco » et il est précisé qu'il est possible d'employer d'autres logiciels :

[...] cette liste n'est pas limitative et rien n'empêche que d'autres logiciels existants ou à venir puissent être employés pour illustrer l'algorithmique. (Guide d'accompagnement, p.31)

Le choix est laissé libre aux enseignants, aucun logiciel ne fait l'objet d'une plus forte préconisation :

La liste ne suit pas un ordre particulier (mais le premier logiciel [Scratch] est un peu à part) [...]. L'environnement SCRATCH se distingue de ceux qui suivent par sa capacité à gérer la programmation événementielle voire parallèle : un projet SCRATCH ne se réduit pas à un seul algorithme, il inclut généralement des éléments multimédias (sons, images animées) ainsi qu'une multiplicité d'algorithmes s'exécutant tour à tour. (Guide d'accompagnement, p.31)

Les logiciels utilisés sont variés et semblent répartis selon les domaines mathématiques sans qu'il n'y ait d'outil logiciel ou langage strictement réservé à une notion ou à un domaine. En effet, certaines classes d'instruments sont transversales aux domaines mathématiques. C'est le cas :

- des calculatrices (TI et CASIO) qui sont mentionnées dans tous les trois domaines ;
- du tableur qui est dans les fonctions comme en statistiques et probabilités ;
- du langage Python en géométrie comme dans les fonctions ;
- Scilab en statistique et probabilités comme dans les fonctions ;
- Scratch dans les fonctions comme en géométrie ;
- Xcas en statistique et probabilités comme en géométrie.

Enfin, les calculatrices programmables peuvent être utilisées également, mais au final si le choix de l'outil est à la liberté de l'enseignant, il serait néanmoins impensable, vu l'insistance et le foisonnement d'exemples des préconisations officielles, de ne pas en choisir un. Le guide donne même diverses informations pratiques de sites où on peut télécharger gratuitement des logiciels et des systèmes d'exploitation :

Les logiciels proposés sont «libres» au sens où leur téléchargement, leur installation sont autorisés sans aucune restriction. (Guide d'accompagnement, p.31-32)

Par ailleurs, il est précisé que certaines activités d'élèves nécessiteront l'usage de l'ordinateur :

Les calculatrices graphiques programmables seront exploitées grâce à leur commodité d'usage en classe entière. Cependant, leurs limites dues à leur petite taille et leur capacité mémoire incitent à proposer aux élèves des activités s'appuyant sur des logiciels utilisables sur ordinateur. (Guide d'accompagnement, p.5)

On voit ici clairement soulevées de réelles problématiques liées à la programmation et non plus à l'algorithmique, telles que la rapidité d'exécution : certains logiciels ou langages de programmation présentent l'intérêt d'être plus rapides que d'autres notamment s'ils doivent effectuer un grand nombre de calculs :

Jeu du lièvre et de la tortue : [...] L'intérêt d'un langage de programmation devient évident : l'itération est très rapide aussi bien à écrire qu'à exécuter (ce qui n'est pas le cas avec un tableur). On pourra noter, à cette occasion, que certains langages sont beaucoup plus rapides que d'autres. (Guide d'accompagnement, p.28)

Le seul endroit où une nuance est évoquée est non pas pour distinguer clairement les aspects liés à la programmation mais pour souligner simplement que l'algorithmique ne consiste pas seulement en l'écriture de programme (ce qui laisse entendre que l'écriture de programmes est partie intégrante de l'activité algorithmique). Le guide d'accompagnement précise en effet que les activités à proposer aux élèves dans le cadre de l'algorithmique doivent être variées et ne pas consister seulement à rédiger des programmes :

La pratique de l'algorithmique ne se résume pas à l'écriture de programmes ; il serait même judicieux de ne pas commencer par là. Il convient donc de proposer aux élèves des situations, activités et organisations pédagogiques variés (...). Les travaux pratiques seront conçus dans une perspective d'action de l'élève et lui seront présentés le plus souvent possible dans un cadre plus large que celui de la simple réalisation isolée d'un programme. Ce sont notamment des travaux qui s'inscrivent dans la durée et dans une organisation individuelle et/ou collective. (Guide d'accompagnement, p.4, souligné par nous).

2.2.4. Un discours du changement des méthodes pédagogiques

Enfin, l'expression « algorithmique » ou « algorithmique » est souvent accolée dans les textes officiels à une idée de changement dans les rapports de l'élève aux mathématiques mais si l'on regarde bien, ce n'est pas par l'algorithmique elle-même qu'il y a changement mais parce que l'algorithmique est dans les instructions inmanquablement accolée aux outils technologiques.

Le programme de seconde a été conçu pour être enseigné et mis en œuvre en s'appuyant assez largement sur les progrès de la science et de la technique informatique, qu'il s'agisse de logiciels ou de la pensée algorithmique. (Guide d'accompagnement, p.3, souligné par nous).

L'algorithmique modifiera profondément le rapport entre l'élève et les outils ou instruments auxquels il sera confronté dans son environnement scolaire et particulièrement ceux habituellement identifiés comme issus du monde des TIC dans l'enseignement (calculatrices, ordinateurs, logiciels mais aussi les divers objets comme les appareils photos numériques, etc.).(Guide d'accompagnement, p.4, souligné par nous)

L'utilisation de logiciels (calculatrice ou ordinateur), d'outils de visualisation et de représentation, de calcul (numérique ou formel), de simulation, de programmation développe la possibilité d'expérimenter, ouvre largement la dialectique entre l'observation et la démonstration et change profondément la nature de l'enseignement. (Programme, p.4, souligné par nous).

2.3. Conclusion sur les textes officiels

L'analyse du prescrit montre clairement une argumentation en faveur de l'introduction de l'algorithmique, appelée à être enseignée à l'intérieur des autres parties des mathématiques. Le lien originel entre les mathématiques et l'algorithmique, l'omniprésence des algorithmes, les capacités transversales de l'algorithmique à l'ensemble de l'enseignement semblent les principales raisons de ce choix de présentation. Mais ce souci d'inscrire l'algorithmique pleinement dans une activité mathématique est noyé dans une autre visée officielle, celle d'utiliser les technologies informatiques. Le domaine de l'algorithmique subit alors une tension entre « pensée algorithmique » et problématiques de programmation sans que les textes officiels n'aident les enseignants à faire la part des choses entre ces enjeux de natures différentes. Il nous semble que pour un enseignant non expert qui situerait l'algorithmique complètement du côté informatique, les programmes et documents d'accompagnement ne constituent pas une aide et contribuent au contraire à entretenir l'amalgame. Enfin, le guide d'accompagnement, structuré comme un cours et mis à la disposition des enseignants, modélise fortement un enseignement de l'algorithmique incapable de se détacher de l'implémentation informatique.

Quelle perception les enseignants de mathématiques ont-ils alors de ce nouvel enseignement suivant qu'ils associent algorithmique à mathématiques ou bien

seulement à TIC, programmation et informatique ? De nombreuses études ont montré déjà la difficile intégration des TIC elles-mêmes dans l'enseignement des mathématiques (voir par exemple les travaux sur les calculatrices symboliques dans Artigue 2002 et sur le tableur dans Haspekian 2005). De manière analogue, nous faisons l'hypothèse que les enseignants associant « algorithmique » uniquement à « TIC » ou ayant des représentations de l'algorithmique comme étant trop éloignées des mathématiques, pour reprendre une idée de distance telle qu'évoquée dans (Haspekian 2005) pour le cas du tableur, intégreront difficilement cet enseignement dans leurs pratiques. A l'inverse, les enseignants ayant une représentation de l'algorithmique proche des mathématiques s'approprièrent plus facilement cet enseignement. Ces hypothèses ont une importance cruciale en termes de formations. Si elles s'avèrent exactes, alors une formation sur l'algorithmique aura plus ou moins d'impact sur les pratiques suivant qu'elle situe l'activité algorithmique comme partie intégrante des mathématiques en la distinguant bien d'une activité de programmation, sans pour autant occulter cette dernière, ou bien qu'elle présente l'algorithmique d'emblée comme partie intégrante de l'informatique.

Ces questions font l'objet de notre recherche actuelle et nous n'y apportons pas ici de réponse prématurée. Nous en avons néanmoins une première idée à travers les entretiens que nous avons menés avec 5 enseignants de mathématiques quant à leurs représentations et pratiques de l'algorithmique. Ces enseignants n'ont pas été réticents à introduire l'algorithmique dans leur enseignement des mathématiques, avec cependant des motifs divers d'« adhésion ». Leurs discours montrent que la plupart ont une représentation de l'algorithmique intégrée aux mathématiques et sans confusion avec la programmation. Seul l'un d'eux rapproche fortement algorithmique d'informatique mais comme il est par ailleurs très favorable à l'intégration de l'informatique, cela n'est donc pas un frein à l'introduction de l'algorithmique, au contraire !

3. Entretiens : les enseignants face aux nouveaux programmes

Les entretiens ont concerné un échantillon très limité de cinq enseignants de mathématiques en classe de seconde, dont deux hommes (H1, H2) et trois femmes (F1, F2, F3). Ils proviennent de trois lycées différents : deux dans un même lycée, deux dans un autre et un dans un troisième. Nous donnons ci-après les analyses de ces entretiens et leurs résultats. Les pages indiquées réfèrent aux annexes de notre mémoire de Master, dans lequel figurent les transcriptions de ces entretiens (Nijimbéré, 2011).

Dans ces entretiens, on notera a priori une image plutôt positive du nouveau programme qui se révèle au final pas si nette que cela ; les tensions du programme que nous avons évoquées plus haut se reflétant dans les propos des enseignants, tension qui finit par montrer que l'algorithmique reste en débat, même chez ces enseignants a priori très volontaires. Nous terminerons évoquant des éléments de pratiques déclarés, notamment les contraintes et difficultés rencontrées.

3.1. Des représentations et des pratiques : premiers éléments

Les enseignants affichent des représentations différentes de l'algorithmique. Pour certains, l'algorithmique n'a d'intérêt en seconde que par son côté logique, la programmation n'y ayant aucune place :

Moi, j'apprécie l'algorithmique en tant que logique. Ce qui m'intéresse moi dans l'introduction de l'algorithmique est l'introduction à la logique parce que c'est très logique l'algorithmique, je trouve que c'est très bien. Par contre, ce que je trouve totalement ridicule c'est d'aller jusqu'à la programmation pour les élèves de seconde [...]. (F2, p.11-12)

Selon leurs représentations et leurs goûts pour l'informatique, d'autres enseignants vont se situer complètement, contrairement aux précédents, dans la programmation qui devient le centre de l'algorithmique :

[...] j'ai toujours apprécié l'informatique et le côté programmation surtout, c'est ça qui m'intéresse en informatique [...] si je leur donne un travail par exemple à faire à la maison, un devoir où il faut construire un algorithme, ils écrivent l'algorithme puis m'écrivent aussi le programme qu'ils doivent entrer sur la calculatrice. [...] il y en a qui, tout de suite, se sont passionnés pour la chose et qui arrivent très bien à faire un programme, assez simple à réaliser quoi ! [...] (H1, p.8)

La conception de H1 de l'algorithmique détachée des mathématiques et proche de l'informatique se confirme par la suite, lorsqu'il évoque le travail qu'il a fait faire à ses élèves d'écrire l'algorithme qui calcule les coordonnées du milieu d'un segment :

C'est pas parce qu'on va utiliser l'algorithme que ça dispense de connaître à temps les mathématiques, puisque on a besoin quand même de, pour connaître les coordonnées du milieu, de savoir qu'il faut additionner les coordonnées des extrémités et diviser par deux, donc faire la demi-somme. Ben, si on sait pas ça on peut pas avancer ! (H1, p.10)

Les propos de H1 montrent clairement que dans sa conception, la partie « algorithme » de ce travail n'est pas considéré comme faisant partie des mathématiques telles qu'il les entend : le travail mathématique qui est nécessaire se situe en amont : savoir additionner les coordonnées des extrémités et diviser par deux pour connaître celles du milieu.

Les représentations qu'ont les enseignants sur l'algorithmique influencent son enseignement. Pour F3, H1 et H2, des exercices concernant la construction des algorithmes simples et leur programmation de la calculatrice sont déjà proposés aux élèves. F3 raconte :

Dans le cas de la résolution de problème, les élèves doivent être capables d'écrire un programme permettant un calcul, un programme calculant et donnant la valeur d'une fonction ainsi que les instructions d'entrée sortie nécessaires au traitement. (F3, p.5)

Les pratiques d'enseignement sont diverses. Trois d'entre eux F1, F2 et H1 introduisent directement les notions algorithmiques dans d'autres parties du programme. Comme en témoigne F2 « Il n'y a pas de séance d'algorithmique » (F2, p.15)

Contrairement à eux, les deux enseignants, F3 et H2, introduisent l'algorithmique dans quelques séances préalables dites de « familiarisation », consacrées à l'enseignement des notions algorithmiques qui seront par la suite utiles dans les chapitres du programme.

Les contenus algorithmiques à enseigner semblent bien identifiés de tous les enseignants interviewés. Prévus pour tout le lycée, ils vont de la notion de variable aux boucles itératives en passant par les instructions simples, mais aussi leur utilisation dans la résolution des problèmes. Une différence revient à l'appréciation de chaque enseignant concernant des notions à aborder dans chaque classe. F3 revient sur ces contenus et explique ce qu'elle compte aborder en seconde :

[...] ce qu'on est sensé apprendre aux élèves de seconde sont les instructions élémentaires d'affectation, calcul d'entrée sortie. [...] On a aussi la boucle itérative, c'est à dire faire

faire des petites instructions en boucle et puis les instructions conditionnelles donc les élèves dans le cas d'une résolution de problème. Il doit être capable de programmer un calcul itératif dont le nombre d'itérations est déjà donné, de programmer une instruction conditionnelle, un calcul itératif avec une fin de boucle conditionnelle. Voilà ça, c'est pour le lycée or je vais probablement cette année en seconde peut être abordé les deux. Je ne sais pas si je vais aller jusqu'à l'instruction de boucle. (F3, p.5-6)

Pour s'y retrouver dans les contenus, les textes officiels n'aident pas. Dans les ressources utilisées, on trouve plutôt une domination des manuels. Dans leur préparation des cours en rapport avec des notions algorithmiques, tous les enseignants disent avoir, pour s'aider, davantage recours aux manuels scolaires qu'aux textes officiels. Trois principaux manuels « Maths x », « Transmath » et « Repères » sont les plus utilisés :

Essentiellement le livre parce qu'il est bien fait ! (F2, p.4)

J'ai trouvé un peu plus difficile sur l'algorithmique le guide d'accompagnement par rapport à nos élèves, un peu trop ambitieux par rapport à nos élèves. J'ai trouvé des choses beaucoup plus simples dans les livres après. (H1, p.4)

Si un seul enseignant dit n'avoir pas besoin d'autres ressources en plus des manuels pour sa préparation (H2, p.6) : « Moi, il me semble que c'est suffisant ! », d'autres au contraire, complètent les manuels par d'autres ressources. Quatre d'entre eux consultent, en complément du manuel, différents sites Internet : sites personnels de leurs collègues, ou d'autres professeurs, sites d'associations d'enseignants comme l'APMEP. Ils affirment néanmoins qu'ils n'ont pas de site privilégié (H1, p.4). Deux enseignants, F1 et F3 s'inspirent aussi des cours des autres niveaux d'enseignement, notamment de terminale L ou d'université, le cas échéant. Dans leur préparation, ils se préoccupent à prévoir une activité simple, intéressante et concrète qui leur permet d'introduire des notions algorithmiques à enseigner. Les activités prévues (exercices, figures...) sont photocopiées pour permettre à chaque élève d'avoir sa copie afin de bien suivre en classe.

3.2. Une tension qui se reflète dans les propos des enseignants

Les enseignants ressentent le caractère obligatoire des outils informatiques dans ce nouveau programme :

Jusqu'au nouveau programme, il est conseillé d'utiliser le matériel informatique, maintenant, ce n'est plus un conseil, c'est une obligation ! Parce qu'il faut qu'absolument les élèves aient une familiarité avec l'outil informatique. Alors, moi, je le fais à travers tous les logiciels qui sont géoplan, géospace et puis géogebra, là ça sera essentiellement la partie géométrie, [...] et puis une partie calculatoire avec la TI et puis je vais utiliser Excel. (H2, p. 2-3)

L'utilisation des logiciels dépend de la partie du cours en question. La géométrie et la statistique semblent les domaines du programme qui amènent le plus les enseignants à aller dans la salle informatique. Mais l'utilisation de l'ordinateur pour les notions algorithmiques est quasi absente pour les enseignants interrogés ici, seule la calculatrice est utilisée. Par exemple, F2 projette l'usage de la salle informatique pour l'algorithmique plus tard dans l'année et F1 ne compte pas l'utiliser en 2^{de} l'année en cours. Pour les enseignants qui ne l'utilisent pas, des raisons diverses sont données. F1 par exemple explique :

Pour l'instant, je n'ai pas fait de séance en salle informatique, je n'ai fait que des exercices en classe. [...] parce que ces salles sont prises en priorités par les Terminales STGM (Sciences technologies gestion et mécanique). Ils sont prioritaires et moi, je ne

peux y emmener que la demi-classe. Je peux pas emmener 35 élèves dans une salle d'ordinateurs, je ne peux pas. Je n'ai pas beaucoup de choix, tous les mardis matins, toutes les salles sont réservées et je ne les emmènerai jamais cette année. (F1, p.4)

La mise en demi-groupe des élèves en salle informatique semble une pratique commune des enseignants. Deux raisons sont données : l'insuffisance des postes informatiques, et surtout la volonté d'un bon encadrement des élèves en travail individuel, sont principales (H2, p.8). La calculatrice est alors plus accessible comme outil pour tester l'exactitude sinon des algorithmes du moins de leur programmation, tout en soulignant qu'elle ne remplacera jamais une démonstration mathématiques papier-crayon :

Ça introduit un objet qui fait foi, la calculatrice. [...] le professeur va s'appuyer là-dessus. Il dira « tu vois, t'as mal programmé les choses parce que la calculatrice te répond pas correctement ! ». (H1, p.10)

[...] pouvoir constater par soi-même qu'on s'est trompé avec la calculatrice. (H1, p.3)

[...] l'outil informatique est une aide, ça ne remplacera jamais une démonstration mathématique. Ça leur permet de voir si oui ou non, ce qu'ils ont fait est juste. (H2, p.10)

3.3. Une tendance à la résistance des enseignants

Le manque de formation et les contraintes matérielles, techniques et un travail excessif que nous verrons au §3.4 sont surtout les principales difficultés des professeurs. Néanmoins, une forme d'inquiétude des enseignants de mathématiques, révélatrice d'une certaine résistance à l'enseignement de l'informatique, accompagne ces contraintes. L'enseignante F1 s'exprime à propos :

La crainte c'est qu'on devient de plus en plus prof d'informatique alors qu'on pouvait être prof de maths sans faire l'informatique. Donc il y a cette inquiétude là mais je trouve que si on se contente de l'approche de l'algorithmique, ça peut au contraire être profitable aux élèves et ça peut leur apporter quelque chose pour faire des maths. (F1, p.6)

Mais alors pourquoi utiliser les TIC ? La raison principale semble être que l'utilisation des outils informatiques motive les élèves. Cette motivation, bien que soulignée par tous les enseignants, est variable. Un d'eux, H2, précise qu'elle est limitée seulement à la partie informatique du cours et se perd en revenant au travail « à la main » des mathématiques :

[...] je leur fais suffisamment d'exercices. S'il n'y avait pas la partie informatique, alors là, ça serait la désolation ! Ils veulent utiliser cet outil-là quoi ! [...] Voilà, de taper le programme mais avant de taper un programme, il faut qu'on cherche, il faut qu'on sache quel type de traitement [...]. (H2, p.14)

Certains élèves de H1 et F3, motivés, sont déjà capables de construire de petits algorithmes et de les faire tourner sur une calculatrice. Pour H1, certains de ses élèves ne sont pas seulement motivés par l'usage des outils informatiques, mais, sont aussi passionnés pour l'algorithmique. Cette situation a d'effets sur leurs apprentissages des mathématiques :

Ban, oui, oui, oui, il y en a qui, tout de suite, se sont passionnés pour la chose et qui arrivent très bien à faire un programme, avec un algorithme assez simples à réaliser quoi ! Ban, c'est le cas par exemple, on a fait les coordonnées du milieu d'un segment, un algorithme qui pourra, ayant donné les coordonnées des extrémités, nous donne les coordonnées du milieu par exemple. Bon, ça, il y en a qui ont fait très très rapidement. (H1, p.8)

3.3. L'algorithmique en débat

Tous les enseignants interviewés placent l'algorithmique au service des mathématiques. Leurs appréciations positives de ce programme concernent d'une part, le caractère innovant de l'algorithmique d'autre part, son caractère formateur. Mais dans les deux cas, les discours des enseignants montrent que ces caractères sont pensés en relation avec les outils et la programmation des algorithmes.

Le caractère innovant participe au renouveau des mathématiques :

J'aime la nouveauté, je suis un prof particulier, j'aime ce programme. J'ai 57 ans, j'ai encore 5 ans à faire. Ce programme me plaît parce qu'il introduit la nouveauté dans mon métier, je n'ai aucune raison de le rejeter parce que j'ai horreur de la routine ! (F3, p.11)

Mais il est immédiatement après mis en regard du manque de mesures matérielles d'accompagnement :

[...] Le programme est innovant mais ne s'accompagne pas de mesures matérielles qui permettent l'égalité de chances de tous. (F3, p.19)

Le caractère formateur pour acquérir esprit logique et rigueur :

«ça peut obliger à avoir un peu plus de rigueur dans leur façon de raisonner, de bien détailler chaque étape. (...) Peut être que ça leur a donné un peu plus de rigueur dans leur travail » (F1, p.7)

Mais là encore associée à la calculatrice :

Je crois que l'algorithmique au démarrage est surtout une gymnastique pour faire des petits raisonnements rigoureux, pour pouvoir constater par soi-même qu'on s'est trompé avec la calculatrice. (H1, p.3)

[...] Le professeur va s'appuyer là-dessus. Il dira « tu vois, t'as mal programmé les choses parce que la calculatrice te répond pas correctement ! ». (H1, p.10)

Ça leur permet de voir si oui ou non, ce qu'ils ont fait est juste. (H2, p.10)

La place accordée à l'algorithmique dans le programme est plutôt contrastée : en général petite, de l'ordre de 10 %, elle varie selon le rapport personnel de chacun des enseignants à l'algorithmique. Pour les uns, elle est une aide parmi les autres et ne changera pas fondamentalement beaucoup de choses dans le rapport des élèves aux mathématiques. Pour les autres, elle apporte un renouveau dans l'enseignement des mathématiques et une motivation des élèves. Le professeur F3 donne son point de vue :

J'y accorde du poids, enfin du poids, un petit peu, parce que ça fait la nouveauté, c'est des choses qui sont concrètes. [...] moi, je dirai que, si vous voulez, dans les programmes, le poids est un peu fonction des dadas des profs. Je suppose que vous avez dû interviewer des passionnés de l'algorithmique : ben eux, ça va devenir le centre de leur programme de seconde. (F3, p.8)

Malgré la volonté d'innover en introduisant l'algorithmique et l'informatique dans l'enseignement, des critiques du programmes ne manquent pas chez les enseignants. F3 évoque les difficultés de l'autorité compétente en matière de la mise en place des programmes d'enseignement, des choix de priorités entre « tête bien faite et tête bien pleine » pour proposer des programmes raisonnables afin de sortir de la « culture de mille feuilles » en France. Selon elle, des programmes, à la fois innovants et surchargés, mettent les enseignants dans la course permanente sans fondamentalement changer grand chose. F2, compare ces réformes incessantes à un « amusement » du fait qu'elles ont lieu sans études préalables des effets des programmes précédents. Trois des enseignants, F1, F2 et H1, s'interrogent sur le caractère plus formateur de

l'algorithmique pour les élèves que celui de la géométrie, du fait que cette dernière s'est vue amputée d'une grande partie de ses contenus au profit de l'algorithmique.

Et finalement, au fil des entretiens, les enseignants reviennent même sur l'idée de renouveau au départ positivement perçue. A la question de savoir si l'introduction de l'algorithmique et des outils informatiques vont changer le rapport des jeunes aux mathématiques, les enseignants ne sont pas tout à fait d'accord. Selon H1, ces outils ont une condition vitale et efficace en mathématiques après le travail papier et crayon :

Bon, moi j'en suis pas persuadé que la culture mathématique... On n'est pas toujours avec un ordinateur sur soi, une calculatrice avec soi, donc dans ces moments-là. Il faut toujours avoir un papier et un crayon sur soi pour pouvoir faire le travail. Si on sait pas le faire avec le crayon et le papier, on sera toujours démuni. Disons que ça peut être une aide parmi d'autres mais je pense pas qu'on n'a pas à attendre la panacée quand on ne sait pas, parce qu'il y a toujours ce côté recherche, rigueur, se casser la tête qu'on aura toujours en mathématiques quels que soient les supports qu'on a à faire face. (H1, p.11)

Et on finit par se demander si ça a un intérêt, tant, pour les enseignants interrogés, l'algorithmique pose également beaucoup de difficultés conceptuelles et peut paraître prématurée pour les élèves de seconde :

Il me semble que c'est un peu dur quand les élèves sont un peu plus âgés, peut être que je me trompe. Il me semble que là on les prend un peu jeunes et que c'est un peu dur pour eux. Pourquoi non plus ne pas les faire faire des choses un peu dures, je sais pas vraiment si ça a un intérêt. (F2, p. 14)

3.4. Les pratiques : contraintes et difficultés rencontrées

La mise en œuvre de ce programme occasionne des contraintes et difficultés nouvelles. La perte de temps dans la mise en place des matériels didactiques informatiques qui doivent être déplacés, beaucoup de temps exigé par les notions algorithmiques au détriment des autres notions mathématiques, plus de temps de travail qu'avant; manque de matériel didactique et le travail excessif... sont les quelques-unes des difficultés soulevées par les enseignants.

3.4.1. Un surcroît de travail pour les enseignants

Certains enseignants trouvent le temps de travail largement augmenté avec ce nouveau programme de mathématiques de seconde. Les expressions comme « augmenté considérablement », « tension permanente », « quasiment étranglé », sont utilisées par les enseignants F3 et H1 pour qualifier l'augmentation de leur temps de travail avec ce programme. F3 témoigne :

C'est clair et net, ça je vais le témoigner, c'est vraiment très important à le dire à tout le monde. Moi, j'ai vraiment une pratique professionnelle de 35 ans, [...] l'introduction de l'informatique et de l'algorithmique, nous a, en tant que profs de mathématiques, augmenté considérablement le temps de préparation. Donc, actuellement, nous sommes quasiment étranglés ! (F3, p.21)

H2 explique comment il passe assez de temps à la correction des travaux d'élèves :

Moi, j'ai beaucoup de difficultés à corriger des erreurs mathématiques, etc. Sur l'écran. Comme j'ai pas d'imprimante chez moi, je le fais au lycée. Je l'imprime au lycée, je le lis et je fais mes corrections sur ça. Ça, ça prend du temps que si je le faisais sur papier, mais bon, c'est pas de difficultés insurmontables ! (H2, p.14)

3.4.2. Un manque de formation en algorithmique

Bien que les enseignants soient satisfaits de ce programme, ils affirment ne pas disposer de formation requise pour l'enseigner. En effet, sur les cinq enseignants qui ont participé aux entretiens, ont une formation universitaire, deux seulement sont formés en informatique. Les trois autres ont une formation universitaire en mathématiques avec quelques connaissances en informatiques acquises en tant qu'autodidactes :

Je fais partie de la génération des profs qui a vécu et qui a aimé les maths à travers le programme du groupe Bourbaki [...] j'ai aimé les maths parce que moi à mon époque il y avait une réforme et non seulement on nous enseignait au fait les programmes extrêmement théoriques en algèbre et du coup l'algorithmique est, pour moi, totalement décalée par rapport à ma formation initiale. [...] je me sens compétente en algorithmique beaucoup moins puisque la formation que j'ai est une formation d'autodidacte. (F3, p.2-3)

D'autres enseignants, par manque de formation, sont obligés à travailler durement pour se former et s'informer. C'est le cas de cet enseignant qui explique sa situation de la formation en informatique et comment il essaie de la gérer :

Ah, essentiellement en autodidacte, dirais-je. La formation, bon, parce que, moi, j'ai quitté il y a pas mal d'années la fac qu'à l'époque il n'y a tellement de cours d'informatique où après j'ai participé à quelques formations au sein de la MAFPEN, le dispositif de stage sur trois ou quatre jours dans l'année. Mais, bon, ça passe très loin quoi ! On est obligé de travailler par semaine énormément quoi ! Surtout donc, avec des livres et avec des collègues qui ont passé du temps sur les logiciels, qui connaissent et qui peuvent t'indiquer comment on pourrait l'utiliser quoi. (H1, p.2)

3.4.3. Des insuffisances techniques et matérielles

Certains enseignants affirment travailler dans des environnements matériels difficiles. Le manque d'ordinateurs en nombre suffisant dans les salles informatiques, la non disponibilité de la salle quand ils en ont besoin et les pannes techniques qui restent non réparées, sont les principaux problèmes mis en évidence. Si F2 affirme ne pas avoir de difficultés majeures avec les matériels didactiques utilisés, tous les enseignants soulignent qu'il faut d'abord réserver à temps la salle informatique parce que sollicitée par leurs collègues. Le manque des personnels de maintenance rend aussi le peu de postes disponibles non utilisables faute de réparation.

3.4.4. L'algorithmique, difficultés conceptuelles des élèves et pratiques d'enseignants : premiers éléments

Les difficultés rencontrées par les élèves en algorithmique sont surtout d'ordre conceptuel. Les enseignants interrogés comparent les difficultés des élèves en algorithmique à celles habituellement vécues par les élèves débutants en algèbre et en géométrie. Suites à ces difficultés conceptuelles chez certains, H1 craint à d'éventuels écarts entre élèves, créés par l'algorithmique, comme c'est le cas dans certaines autres parties des mathématiques, dont la géométrie :

[...] en donnant des exercices où on doit avoir à construire un algorithme, où on doit avoir à programmer. C'est ce qui est en train de se mettre actuellement en place. Donc, il y en a qui déjà ont un bon niveau de pratique : en quelques minutes, certains arrivent à programmer leur calculatrice, à faire que leur algorithme tourne. Ils arrivent à donner des données aux variables de façon intelligente... alors que d'autres ont, à peine débuté quand les autres finissent (rires). Je crois que l'algorithmique risque de créer autant de différences que l'enseignement de la géométrie, pareil ! (H1, p.7)

F2 quant à elle rapproche ces difficultés conceptuelles nouvelles des élèves à celles posées non pas par la géométrie mais par l'algèbre au collège :

Curieusement, pour des gamins qui sont habitués à manipuler les ordinateurs, l'algorithmique leur pose de vrais problèmes, je dirais conceptuels [...]. Finalement l'algorithmique leur fait le même effet que l'algèbre en 4e. [...] c'est le genre de difficulté conceptuelle qui est vraiment difficile à mesurer. (F2, p.12)

Pour certains enseignants, une autre difficulté des élèves en algorithmique est l'agencement de leurs idées pour pouvoir résoudre un problème. Cette difficulté, liée à la précédente, consiste à associer les différentes actions élémentaires pour constituer un tout cohérent. H1 s'exprime en donnant aussi quelques raisons à l'origine de cette difficulté :

Je crois que c'est mettre en ordre la pensée toujours, arriver à construire un schéma rigoureux pour pouvoir arriver au résultat qui est demandé ! Alors déjà, il y a beaucoup qui n'ont pas compris la consigne, qui ne savent pas à quel résultat on doit aboutir. (H1, p.10)

Selon H2, les difficultés des élèves en algorithmique se situent au niveau de la construction de l'algorithme, ici pis au sens directement de « programme » :

Il y a le programme purement informatique qu'ils devraient taper et tout ce qui est traitement, tout ce qu'il faut faire, etc. Pour eux, c'est toujours le barrage insurmontable, eux, ce qu'ils voudraient c'est qu'on donne directement le programme. (H2, p.10)

Une affectation des variables qui pose problème

Une des notions conceptuelles d'algorithmique qui semble difficile à appréhender par les élèves (et les enseignants) est la notion d'affectation de variables. Une enseignante qui a choisi de passer beaucoup de temps avec les élèves au travail « à la main » sur des notions algorithmiques, affirme avoir déjà fait quelques structures que ça soit les structures de branchement ou itératives. Elle précise que ses élèves ont eu des difficultés à comprendre l'opération d'affectation :

J'ai commencé très simple, puis petit à petit j'ai commencé doucement des algorithmes tous simples « faire ceci », « faire cela », « afficher », « terminer »... Prend la valeur x étal temps, dans le livre, ils l'appellent ça prend la valeur, le fait d'affecter quelque chose. Ça, ça leu a posé curieusement de problèmes le fait de mettre une donnée dans une zone. Après on a passé un temps sur « Si... Alors... Sinon » puis aux boucles « Pour » et « Jusqu'à ». (F2, p.4)

On notera que là encore dans sa description, l'instruction propre à la programmation « afficher » est citée sans discernement à côté des autres notions. L'enseignante a-t-elle conscience d'être d'emblée dans la programmation ? Est-ce ce qu'elle a souhaité ? Pourtant F2 est bien celle qui disait (voir §3.1) « trouver totalement ridicule d'aller jusqu'à la programmation »...

Face à ces difficultés, les enseignants adoptent alors quelques changements dans leurs pratiques.

En salle de classe, des exercices concernant la lecture, la compréhension, la correction, la complétude et la modification d'un algorithme et l'exécution d'un algorithme avec des valeurs données, sont proposés en pratique aux élèves par tous les enseignants. A ce propos, celle-ci s'exprime :

Soit on lit des algorithmes, on les comprend, on les complète, ou on les corrige, je n'en ai pas encore écrit un. J'ai fait un exercice sur les modifications d'un algorithme, ça c'est

bien passé. [...] Quelques fois ce sont des algorithmes qui sont faux qu'il faut corriger, quelques fois ce sont des algorithmes incomplets qu'il faut compléter, quelques fois ce sont des questions de type « que fait cet algorithme ? ». (F3, p.3)

Une pratique de « devoirs à la maison »

Tous les enseignants axent beaucoup sur le travail à la maison (sous forme individuelle le plus souvent). Mais pour les uns, ce sont des exercices d'application à l'instar de F2 alors que d'autres donnent des exercices qui demandent un peu plus de réflexion. H2 explique ses prescriptions :

[...] quand je donne un exercice en devoir à la maison, je le trouve dans la partie du livre qui s'appelle « exercices d'approfondissement » où là vraiment il y a une petite recherche à faire, c'est pas une simple application. (H2, p.11)

Les élèves se retrouvent ainsi avec beaucoup de travaux à faire à domicile. Là encore, la forme et les outils à utiliser changent selon les représentations des enseignants. Si pour certains, les travaux à faire à domicile peuvent nécessiter la programmation de la calculatrice, pour d'autres, ils sont limités à des travaux à faire « à la main ». H1, intéressé par la programmation explique ce qu'il fait :

[...] si je leur donne un travail par exemple à faire à la maison, un devoir où il faut construire un algorithme, ils écrivent l'algorithme puis m'écrivent aussi le programme qu'ils doivent entrer sur la calculatrice. Ce sont de petits programmes en cours de démarrage [...] mais, même en fin d'année, ça ne prendra pas plus de 7 lignes les programmes tels que je les vois dans les manuels. (H1, p.7)

Contrairement à H1, F2 justifie pourquoi elle se limite seulement aux travaux maison à faire avec du papier et crayon :

[...] Je peux pas leur donner un exercice à faire sur calculatrice à la maison, c'est pas raisonnable. Je leur demande de faire des exercices qui sont sur papier pour l'instant et je peux même pas demander de faire des exercices sur ordinateur non plus. Je ne sais pas ceux qui ont un ordinateur, et donc, je ne peux pas leur donner un exercice à faire à la maison que sur papier. (F2, p.10)

Une entrée en douceur pour les élèves, favorable par une activité

Pour les enseignants interrogés, les élèves ont des difficultés à assimiler les connaissances algorithmiques données théoriquement. Si l'assimilation est difficile, la transmission est aussi difficile pour les enseignants lorsque l'enseignement est fait sous forme de cours, décontextualisé des autres parties du programme. Selon les enseignants interrogés, introduire ces notions par une activité semble moins difficile pour les élèves :

C'est pas facile mais si on explique, ils arrivent à comprendre : [...] de toute façon, c'est plus facile que de faire un cours. Je me suis aperçu que c'est mieux. J'ai testé les deux : faire un cours en disant il se passe ceci, puis cela, ça passe pas, ils en ont pas l'habitude, ils ne comprennent pas bien ! C'est comme, c'est un peu comme si je démarrais l'algèbre quoi ! J'ai rencontré le même genre de difficultés que j'ai rencontrées quand j'étais en collège quand je démarrais l'algèbre. (F2, p.8)

Les enseignantes F1 et F2 ont choisi de passer beaucoup de temps à faire travailler leurs élèves sur des exercices sous forme de travaux dirigés ou pratiques « à la main » avec du papier et du crayon. L'écriture d'un algorithme est rare, et encore plus la

programmation d'un algorithme sur un logiciel. F2 trouve cette façon de faire efficace pour aborder les concepts algorithmiques :

[...] on fait beaucoup d'exercices, on lit des algorithmes, pour l'instant, on s'est pas rendu une seule fois en salle informatique pour les écrire, j'attends ! [...] la prochaine étape, je vais demander d'en écrire quelques uns quand on aura fini de lire et d'analyser ceux qu'on a, je leur demanderai d'en écrire les plus faciles sur papier et on ira les faire en salle informatique. Je vais longuement passer sur cette étape d'écrire par crayon [...]. (F2, p. 4)

De nouvelles pratiques d'évaluation

L'introduction de l'algorithmique et les outils relatifs proposés pour cet enseignement des mathématiques n'ont pas seulement influencé les pratiques de préparation et d'enseignement, mais aussi celles d'évaluation. Les enseignantes F2 et F3 témoignent de leurs pratiques en ce sens. Selon F2, l'algorithmique, comme son enseignement, est évaluée de façon transversale :

[...] j'ai pris l'habitude et dans chaque contrôle, je mets un exercice d'algorithmique, des choses simples évidemment, du type « que fait cet algorithme ? ». J'ai pas encore demandé de faire des corrections d'algorithmes. (F2, p.5)

Des changements dans le système de notations traditionnelles des copies d'évaluation des élèves sont aussi adoptés, et les notes chiffrées ne sont plus d'actualité dans ce nouveau programme. A ce propos, F3 témoigne :

Moi, j'ai modifié la manière de corriger : je ne note plus... ces copies ne sont plus notées au quart de point près. [...] maintenant, je note avec le codage des lettres A, B, C, D. Un élève dont je sais qu'il ne maîtrise pas, qui est quand même allé au CDI, je peux pas lui mettre D, je le mets B en disant « c'est bien » pour l'encourager mais, je suis obligée d'utiliser un système pour lui montrer que tout n'est pas parfait [...]. (F3, p. 21)

3.5. Conclusion sur les entretiens

Pour les professeurs interviewés, l'enseignement des notions algorithmiques en classe de seconde s'installe petit à petit. Dans les pratiques de classe, l'algorithmique est enseignée à l'intérieur des autres parties du programme de mathématiques sans constituer de chapitre à part. Dans une leçon, ces notions sont introduites par une activité, non nécessairement mathématique, mais bien choisie au cours de la préparation. Cette dernière utilise essentiellement les manuels, complétés par les ressources en ligne des collègues ou avec leurs échanges directs.

Une différence fondamentale des pratiques d'enseignement de ces notions permet de classer les enseignants interviewés en deux groupes : celui de deux enseignants, d'un même lycée, qui ont quelques séances de cours formels. Pour eux, ces séances sont une occasion pour introduire ces notions théoriques et pour amener les élèves à se « familiariser » avec elles avant qu'ils n'interviennent dans les autres parties du programme. Un autre groupe est celui de trois autres, de deux lycées, qui n'ont pas ces séances théoriques de l'algorithmique. Ces derniers introduisent progressivement et en douceur ces notions et les expliquent directement sur le tas au fur et à mesure qu'il s'avère opportun de les introduire à travers une activité dans les différentes parties du programme.

L'essentiel des activités proposées concerne surtout des exercices « à la main » sur des algorithmes donnés. Certains algorithmes sont ensuite programmés et exécutés sur

une calculatrice, qui occupe une place centrale dans les pratiques de classe des élèves. Des écarts dans les pratiques informatiques des élèves sont notables : elles sont en relation avec le rapport personnel de l'enseignant avec l'algorithmique. Certains vont jusqu'à la construction de petits algorithmes et de leur exécution sur la calculatrice alors que d'autres, en plus du travail au papier-crayon, programment la calculatrice pour des algorithmes proposés. Ces différences de mises en activité des élèves sont conséquentes des représentations des enseignants de ce qu'est l'algorithmique. Par contre, ceux ayant de l'algorithmique une vision de la programmation, ont déjà proposé à leurs élèves des exercices dont ils doivent concevoir eux-mêmes des algorithmes simples avant de les programmer et les exécuter sur leurs calculatrices. Les autres insistent, en classe comme en devoir maison, sur le travail en papier-crayon des élèves si bien que la calculatrice est quelques fois utilisée mais peu. Pour tous ces enseignants, il n'y a pas d'usage d'un langage ou d'ordinateur avec l'algorithmique, la salle informatique est ainsi réservée à d'autres parties du programme de mathématiques. Bien que l'algorithmique n'occupe qu'une petite place, environ 10% du programme selon les dires des enseignants, elle exige plus de temps de travail des enseignants, en préparation, en enseignement en classe comme dans la correction des travaux d'élèves : certains enseignants se disent débordés.

Les effets notés par les enseignants sont, grâce à l'usage des outils informatiques que ce nouveau programme véhicule, la motivation des élèves, même une passion pour certains, un travail sur la preuve, l'outil aidant la vérification, les calculatrices « font foi » pour reprendre l'expression d'un des enseignants. A côté de ces effets positifs, l'algorithmique pose aussi de sérieuses difficultés conceptuelles déjà notées dans de précédentes recherches (voir par exemple Rogalski, 1985) : logique, rigueur, déconstruction d'un problème en éléments élémentaires... Les difficultés d'affectation des valeurs dans les variables, soulevées par les enseignants, chez les élèves sont par exemple bien confirmées dans le travail de Nguyen (2005).

La mise en œuvre de ce programme ne manque pas de contraintes mais aussi de difficultés du côté des enseignants comme des élèves. Les contraintes ressenties telles que l'usage obligé des outils informatiques dans un contexte généralisé de manque de formation surtout en informatique sont avancées par les enseignants comme des arguments qui limitent leur épanouissement dans l'exercice de leur travail.

4. Discussion et perspectives

Deux ans après la mise en œuvre de ce nouveau programme, l'enseignement des notions algorithmique est variable chez les enseignants et laisse voir beaucoup d'écarts avec les textes officiels.

Les résultats obtenus ne sont pas généralisables parce que, d'une part, la population expérimentale est trop petite pour représenter la population enseignante de mathématiques en seconde, et d'autre part, les enseignants interrogés avaient une longue ancienneté (plus de 10 ans d'expérience). Nous supposons que cette variable «ancienneté» dans le métier peut influencer le rapport enseignant/algorithmique, ce qui peut conduire à d'autres résultats avec des enseignants plus jeunes dans le métier. De plus, les enseignants interviewés se sont proposés volontaires, ce qui peut laisser supposer que l'étude a porté sur un groupe particulièrement motivé, et donc non représentatif de la population enseignante concernée. Enfin, la recherche n'a pas suffisamment eu de temps et s'est contentée seulement des entretiens avec les

enseignants. Une recherche plus vaste convoquant, en plus des entretiens, des observations systématiques des séances de cours, aussi bien en classe qu'en salle informatique, mais aussi analysant à fond les manuels scolaires, et croisant avec les apprentissages des élèves, est nécessaire. Nos perspectives de recherche portent également sur l'observation de formations et de leurs effets sur les pratiques.

En effet, comme nous l'avons vu, pratique de l'algorithmique et écriture de programmes sont indistinctement mêlés et l'analyse des instructions officielles montrent que les programmes et documents d'accompagnement eux-mêmes entretiennent la confusion, étant régulièrement ponctués d'aspects technologiques.

Nous voyons dans les analyses des entretiens effectués que cette pollution technologique n'aide pas les enseignants à clarifier ce qui relève des mathématiques de ce qui relève de la programmation informatique. Nous l'avons constaté avec les cinq enseignants interrogés ici qui, dans leurs propos, naviguent entre ces deux aspects, confondent même parfois les deux en ne signalant jamais par exemple une nette prise de conscience des distinctions entre une activité algorithmique d'un point de vue mathématique et des questions liées aux interactions avec un utilisateur.

Bien qu'ils restent cependant majoritairement volontaires pour s'approprier ce programme, nous faisons l'hypothèse que pour d'autres enseignants, cette pollution technologique peut ne pas aider non plus, en amont même, à adhérer à cette partie du programme. Des effets de « résistance » devraient pouvoir s'observer, suivant que les conceptions des enseignants sur l'algorithmique sont plus ou moins proches des mathématiques ou de l'informatique. Les enseignants de mathématiques montrent en effet des difficultés à intégrer les outils informatiques et ces difficultés ont été analysées en didactique des mathématiques (voir Artigue 2002) comme provenant de la non neutralité de ces outils sur les mathématiques à enseigner (techniques, objets et symbolisations modifiées, apparition de nouveaux objets et symboles, de nouvelles techniques...). Dans le cas du tableur, nous avons avancé, dans (Haspekian 2005), l'idée que les résistances des enseignants seraient dues à une trop grande distance, dite instrumentale (générée par l'instrument), entre les mathématiques telles qu'ils les conçoivent et celles que font vivre l'instrument. Des aspects sociaux, culturels et épistémologiques contribuent à créer de la distance. L'algorithmique n'est pas un « nouvel outil », mais un nouveau domaine à enseigner, en ce sens, elle ne génère pas elle-même une distance comme le fait l'outil tableur, mais si elle est, dans les conceptions des enseignants, plus proche de l'informatique que des mathématiques, des phénomènes de résistance analogues à ceux créés par la distance instrumentale devraient pouvoir s'observer. Les enseignants se sentiraient tout aussi « complexés » ou peu « légitimes » à enseigner l'algorithmique et nous avons vu avec le tableur à quel point ce sentiment de légitimité a un rôle dans les questions d'intégration du tableur. Ces hypothèses font l'objet de notre travail en cours et interrogent d'emblée les formations. En effet, l'approche adoptée quant aux contenus de formations en algorithmique serait alors cruciale pour que les enseignants adhèrent et par suite s'approprient cette partie du programme. Une formation axée sur des aspects techniques, des langages de programmation, sans mise à distance avec l'informatique, ni mise en exergue de ce qui relève de l'activité algorithmique mathématique par rapport à ce qui relève du monde de la programmation et des machines serait a priori moins efficace à « décomplexer » les enseignants. La formation des enseignants longtemps évoquée dans beaucoup de recherches (Baron et Bruillard, 2011) est la seule à rapprocher les représentations et les pratiques des enseignants.

REFERENCES

- Artigue, M. (2008) L'influence des logiciels sur l'enseignement des mathématiques : contenus et pratiques, Actes du séminaire DGESCO de février 2007, http://eduscol.education.fr/D0217/actes_math_et_tice.pdf
- Artigue, M. (2002) Learning mathematics in a CAS environment : The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7, 245-274.
- Baron, G.-L. et Bruillard, E. (2011) L'informatique et son enseignement dans l'enseignement scolaire français : enjeux de pouvoir et de savoirs In J. Lebeaume, A. Hasni et I. Harlé (dirs.) : Recherches et expertises pour l'enseignement scientifique : technologie, sciences, mathématiques (pp.79-90). Paris : De Boeck,
- Darricarrère, J. et Bruillard, E. (2010) Utilisation des TIC par des professeurs de mathématiques de collège : discours et représentations. *Bulletin de la Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences*, 39.
- Haspekian, M. (2005) Intégration d'outils informatiques dans l'enseignement des mathématiques, Etude du cas des tableurs. (Thèse de Doctorat, Université Paris 7, France. tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011388/en/
- Ministère de l'Education Nationale (2009) Programme d'enseignement des mathématiques de la classe de seconde générale et technologique. Bulletin officiel N°30 du 23 juillet 2009.
- Ministère de l'Education Nationale (2009) Guide d'accompagnement pour la classe de Seconde : algorithmique. DGESCO.
- Modeste, S. (2009) La place et le rôle de l'algorithme dans l'enseignement : vers un apprentissage de la preuve. Mémoire de Master, Université Joseph Fourier – Grenoble, p.69
- Modeste, S., Gravier, S., Ouvrier-Buffet, C. (2010) Algorithmique et apprentissage de la preuve. *Repères-Irem*, 79.
- Nguyen, C-T. (2005). Etude didactique de l'introduction d'éléments d'algorithmique et de programmation dans l'enseignement mathématique secondaire à l'aide de la calculatrice. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Nijimbere, C. (2011) L'enseignement de l'algorithmique en classe de seconde en France : étude exploratoire, Mémoire tutoré de Master 2, ENS de Cachan.
- Rogalski, J. (1985) « Alphabétisation informatique », *Bulletin APMEP*, 347, 61-74.
- Vagost, D. (2010) L'algorithmique en seconde : un exemple de mise en œuvre dans la classe. *Bulletin APMEP*, 486.

Manuels

- Barra, R. & al. (2010) Transmath. Paris Nathan.
- Choquer-Raoult, H. & al. (2010) Maths repères. Paris Hachette Education.
- Gastin, H., Guignard, M., Guillemet, D. (2010) Math'x. Paris Didier.