

Repères IREM

numéro 116

Juillet 2019

revue
des Instituts
de Recherche
sur l' Enseignement
des Mathématiques

publiée sous le patronage de
l'Assemblée des Directeurs d'IREM

TOPIQUES éditions

SOMMAIRE

Editorial	3
<i>Qu'est-ce qu'un algorithme ?</i> Malika MORE, Irem de Clermont Ferrand	5
<i>Point de vue : Choix raisonné d'un langage de programmation pour l'apprentissage de l'Informatique au lycée</i> Valéry BRUNIAUX, Irem d'Aix-Marseille	18
<i>Usages de la variable informatique et Scratch</i> Vanéa CHIPRIANOV, Georges SALIBA, Grégory TRAIN	23
<i>Une analyse des exercices d'algorithme et de programmation du brevet 2017</i> Commission Inter-Irem Informatique	47
<i>Rubrique</i> Multimedia	82
<i>Rubrique</i> Agenda	88
<i>Rubrique</i> Parutions	89
Abonnements, réabonnements	94
Liste des Irem	95
Sommaire du prochain numéro	96

EDITORIAL

Des mathématiques à l'informatique et retour

Un numéro de la revue Repères Irem consacré aux sciences du numérique, qu'est-ce que ça cache ? Nulle volonté du comité éditorial de souffler sur les braises enfin refroidies du débat sur les relations entre les deux disciplines : les professeurs de toutes disciplines engagés dans les formations SI (la nouvelle spécialité Numérique et sciences informatiques) confirment que les sciences du numérique ont bien leurs problèmes propres, leurs concepts et leurs méthodes, leur didactique et leur épistémologie. Ce n'est pas dans un esprit hégémonique, mais d'ouverture, de collaboration que ce numéro est conçu. Ce champ disciplinaire récent, en place dans notre système éducatif depuis seulement quelques décennies, et non sans éclipses, pose des questions que les usages séculaires ont émuossées ou cachées aux yeux des praticiens des mathématiques. Il est à tout le moins intéressant de confronter les questionnements.

L'algorithme est l'un des liens forts entre mathématiques et informatique. L'article de Malika More, de l'Irem de Clermont-Ferrand, apporte à cette notion la clarté préalable à toute réflexion. « Le but de ce document est de donner quelques points de repère sur la notion d'algorithme et son utilisation avec

les élèves. » Ce numéro pouvait-il mieux débuter que par une telle ligne ?

On entend beaucoup l'affirmation « programmer des fonctions Python aidera à la compréhension des fonctions en mathématiques » après avoir entendu que « les variables en mathématiques et en informatique ne sont pas les mêmes ». De tels propos ne doivent pas rester des slogans mais doivent être éprouvés. Il devient bien connu qu'une même notion peut être développée en concepts différents. L'article « Usages de la variable informatique et Scratch », consacré au cycle 4, analyse les multiples visages de la variable informatique. Du grain à moudre pour les professeurs de mathématiques qui voudraient s'appuyer sur les enseignements connexes pour améliorer la compréhension des différents statuts de la lettre. Mais sachons rester vigilants devant des expressions comme « construction... d'une expertise informatique en classe de mathématique ».

La question de l'enseignement est souvent mieux abordée par la fin et par les fins : Quelles compétences sont visées et comment les évaluer ? L'article « Une analyse des exercices d'algorithme et de programmation du bre-

EDITORIAL

vet 2017 » proposé par la Commission inter Irem informatique aborde de telles questions, contribuant de manière essentielle à la construction d'une culture commune.

Enfin, la question du choix d'un langage de programmation est de celles qui relèvent le moins des mathématiques. Nous avons choisi de publier un point de vue (qui n'engage bien sûr que son auteur, au style piquant) car il témoigne d'une analyse structurée qui peut être exemplaire.

Certes, d'autres études seront encore nécessaires, qui nécessiteront la synergie des compétences, par exemple sur la notion de « fonction difficilement inversible », clé de la cryptographie, et dont la conceptualisation requiert une définition de la notion de complexité, et trouve la plupart de ses réalisations dans le cadre des mathématiques. Ce numéro spécial n'est pas « la fois pour toutes » : les pages de cette revue resteront ouvertes...

Alex Esbelin

QU'EST-CE QU'UN ALGORITHME ?

Malika MORE
Irem de Clermont-Ferrand
Groupe Informatique de la
Commission Inter-Irem Lycée

Le but de ce document est de donner quelques points de repères sur la notion d'algorithme et son utilisation avec les élèves. Pour les exemples, nous nous appuyons sur une activité d'algorithmique débranchée appelée « Le crêpier », que nous décrivons brièvement dans l'encadré de la page suivante. Ensuite, dans un premier temps, nous définissons le mot algorithme, puis nous différencions un algorithme générique et un algorithme instancié, puis nous évoquons les liens et les différences entre algorithmes et programmes et la façon d'écrire les algorithmes. Enfin, nous montrons que tous les algorithmes sont construits à partir d'un petit nombre de structures de contrôle et d'instructions élémentaires.

1. — Définition

Le terme algorithme est de plus en plus fréquemment utilisé dans la vie courante, en général dans le sens de méthode, de recette, ou encore de mode d'emploi détaillé pour réaliser une certaine tâche. Pour aborder cette notion avec un objectif pédagogique, nous devons préciser certains aspects de l'utilisation de ce terme en informatique.

Tous les informaticiens et les mathématiciens s'accordent pour reconnaître quels objets sont ou pas des algorithmes, mais les définitions rencontrées dans les ouvrages et les articles scientifiques peuvent varier légère-

QU'EST-CE QU'UN
ALGORITHME ?

Le crêpier (voir <http://www.irem.univ-bpclermont.fr/Algorithmique>)

Les ordinateurs sont souvent utilisés pour classer des listes selon un certain ordre, par exemple des noms par ordre alphabétique, des rendez-vous ou des messages par date, etc. Les mathématiciens appellent cela ranger, tandis que les informaticiens appellent cela trier, le terme que nous utiliserons. Le tri des listes nous permet d'en retrouver rapidement les éléments, et il facilite par exemple la recherche des valeurs extrêmes. Si vous n'utilisez pas une bonne méthode, trier une longue liste peut prendre beaucoup de temps, même avec un ordinateur rapide. Heureusement, il existe plusieurs méthodes efficaces de tri.

À la fin de sa journée, un crêpier dispose d'une pile désordonnée de crêpes. Il décide de trier sa pile de crêpes, de la plus grande (en bas) à la plus petite (en haut).

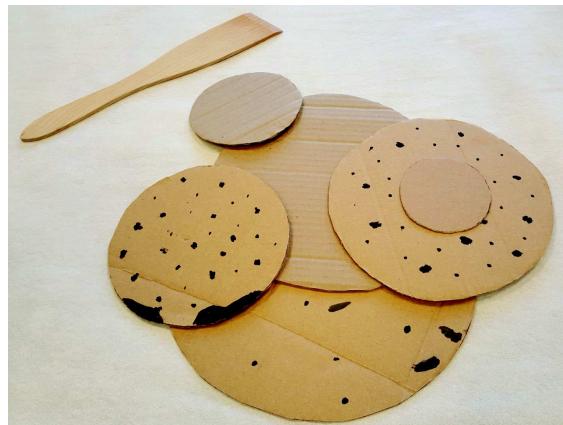
Pour cette tâche, le crêpier peut faire une seule action : glisser sa spatule entre deux crêpes et retourner le haut de la pile.

Il ne peut pas utiliser le reste de son plan de travail. Comment doit-il procéder pour trier toute la pile ?

Cette activité amène les élèves, en plusieurs étapes, à élaborer et à rédiger un algorithme du type :

1. place la spatule sous la plus grande crêpe non triée et retourne la ou les crêpe(s)
2. retourne toute la pile de crêpes non triées
3. recommence à partir de l'étape 1 pour la pile non triée
4. arrête quand toute la pile est triée

Cet algorithme est construit en quatre étapes qui, au fur et à mesure, permettent de mettre en évidence la nécessité d'être précis lors de la formulation des différentes instructions et lors du choix du vocabulaire employé (voir paragraphe 4.2).



ment. Pour autant, les différentes versions s'accordent heureusement sur les traits les plus importants. Sans entrer dans des aspects trop techniques, examinons la définition proposée par le didacticien de l'algorithmique Simon Modeste dans sa thèse en 2012 (<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00783294/file/Modeste-these-TEL.pdf>) :

294/file/Modeste-these-TEL.pdf) :

« Un algorithme est une procédure de résolution de problème, s'appliquant à une famille d'instances du problème et produisant, en un nombre fini d'étapes [...], la réponse au problème pour toute instance de cette famille. »

Précisons quelques-uns des termes employés :

- En informatique, un *problème* est constitué d'un ensemble d'instances (pouvant être décrites par plusieurs paramètres) et d'une question portant sur ces instances.
- Une *instance* d'un problème est obtenue en spécifiant des valeurs précises pour tous les paramètres. Les valeurs des paramètres qui constituent une instance sont aussi appelées *données d'entrée* ou simplement *entrées*.
- La réponse obtenue à l'issue de l'exécution est aussi appelée *sortie de l'algorithme*.
- Toute exécution de l'algorithme doit se terminer (*un nombre fini d'étapes*) en donnant un résultat correct (*la réponse au problème*).

Exemple

Nous présentons ci-dessous un des problèmes les plus classiques en algorithmique, auquel se rattache l'activité « Le crêpier » : *Le problème du tri*.

- L'ensemble des instances est l'ensemble des listes finies de nombres entiers.
- Une instance particulière est par exemple la liste 5 ; 8 ; 1 ; 25 ; 46 ; 7 ; 9.
- La question est : « Quelle est la liste ordonnée dans l'ordre croissant des éléments de la liste donnée en entrée ? ».
- La sortie correspondant à l'instance 5 ; 8 ; 1 ; 25 ; 46 ; 7 ; 9 est la liste 1 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 ; 25 ; 46.
- Il existe de nombreux algorithmes très différents les uns des autres pour résoudre le problème du tri. Parmi les plus connus, citons le tri à bulles, le tri par sélection, le tri par insertion, le tri fusion, le tri rapide, le tri par tas, etc. (voir https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_tri).

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_tri). L'algorithme sur lequel est basée l'activité « Le crêpier » s'appelle le tri par retournement de préfixe, il ne fait pas partie des plus classiques.

Soulignons encore une fois que, quand nous parlons de *résoudre un problème*, il ne s'agit pas de le résoudre pour une instance particulière comme par exemple de trier la liste de nombres 5 ; 8 ; 1 ; 25 ; 46 ; 7 ; 9, autrement dit de répondre 1 ; 5 ; 7 ; 8 ; 9 ; 25 ; 46. Il s'agit de le traiter d'une manière générale, c'est-à-dire pour toutes les instances du problème. Par exemple : trouver un algorithme qui permet de trier n'importe quelle liste de nombres.

2. — Algorithmes instanciés

Comme nous l'avons vu ci-dessus, un point clé de la définition de la notion d'algorithme est la « généréricité », c'est-à-dire le fait qu'il n'est pas destiné à répondre à une question portant sur une instance particulière, mais à toute une famille de questions similaires portant chacune sur une des instances du problème.

Dans le cas contraire, Simon Modeste parle d'algorithme « instancié ». En Scratch, il peut s'agir d'un programme (non interactif) faisant sortir le lutin du labyrinthe dessiné sur l'arrière-plan. Bien entendu, ce programme ne permettra pas de faire sortir le lutin d'un autre labyrinthe. Il existe plusieurs algorithmes permettant de sortir de n'importe quel labyrinthe, comme par exemple l'algorithme de Pledge (https://interstices.info/jcms/c_46065/l-algorithme-de-pledge), mais la difficulté de cet algorithme est bien plus grande.

La distinction entre algorithme et algorithme instancié est importante pour l'enseignant. En effet, parmi les premiers exemples d'algo-

rithmes rencontrés par les élèves, il y aura en réalité de nombreux algorithmes instanciés, comme par exemple les algorithmes de déplacement du type « Robot Idiot » (voir par exemple <https://pixees.fr/dis-maman-ou-papa-cest-quoi-un-algorithme-dans-ce-monde-numerique>), la plupart des exercices de tracé de figure vus dans les manuels de mathématiques de cycle 4, ou encore les divers jeux et animations réalisés en Scratch.

Concrètement, les programmes de calcul sont des exemples d'algorithmes non instanciés qui se rencontrent assez souvent. Ils sont intéressants du point de vue de la générnicité, mais ils ont le défaut d'être en général très pauvres d'un point de vue algorithmique. En effet, ils consistent le plus souvent uniquement en une séquence d'instructions, et ne comportent aucune des structures de contrôle (branchements et boucles) qui font la richesse de l'algorithmique.

D'autre part, les manuels proposent aussi des algorithmes non instanciés utilisant des variables pour lesquelles une valeur est demandée à l'utilisateur, comme la longueur du côté d'un carré à tracer. Un exercice de ce type est intéressant et particulièrement important car il permet d'introduire les variables informatiques et le fait qu'elles sont presque indispensables pour apporter une générnicité.

Enfin, il peut également arriver qu'un algorithme non instancié soit attendu, alors même que le problème est présenté à partir d'un exemple, c'est-à-dire d'une instance du problème. C'est un point qui prête très souvent à confusion pour les élèves, et auquel il est nécessaire de porter attention.

Ainsi, dans l'activité du crêpier, les élèves commencent par travailler à partir d'une certaine pile de crêpes. Le problème est donc instancié au départ, mais la production attendue est

bien un algorithme générique, c'est-à-dire non instancié, qui permettra de trier n'importe quelle pile de crêpes. Il est donc nécessaire, à un moment ou à un autre, que l'enseignant précise que ce qui est attendu, c'est bien une méthode qui marche pour n'importe quel état de départ de la pile de crêpes.

3. — Faut-il distinguer algorithme et programme ?

Les deux notions sont bien entendu proches, mais notons qu'un programme n'est pas exactement un algorithme. Plus précisément un programme est la mise en œuvre d'un ou plusieurs algorithmes dans un langage de programmation donné, et cela fait intervenir beaucoup d'autres notions (syntaxe du langage, techniques de programmation, etc.). Une autre façon de le dire est de noter qu'un programme est destiné à être exécuté par une machine, alors qu'un algorithme est destiné à être compris par un être humain.

La plupart des manuels de mathématiques de cycle 4 différencient les deux notions, à partir de cette dichotomie humain/ordinateur. Dans les derniers programmes scolaires de mathématiques de cycle 4, ainsi que dans les documents d'accompagnement, la distinction entre les deux est également faite. Le document d'accompagnement (page 3) commente ainsi :

« Le programme définit comme attendu de fin de cycle : « *Écrire, mettre au point et exécuter un programme simple.* » Il met l'accent sur l'analyse d'un problème en vue de concevoir un algorithme, mais aussi sur la phase de programmation effective, indissociable d'une étape de mise au point. Cependant, il ne faut pas nécessairement insister sur une chronologie précise, ces trois phases avançant souvent en parallèle : la mise au point

comprend la phase d'essais-erreurs où l'élève construit petit à petit un programme qui répond au problème qu'il s'est posé. De même, au moment de la programmation effective l'élève peut se retrouver confronté à une question algorithmique qu'il n'avait pas prise en compte dès le départ. »

Il nous semble également intéressant de commencer à distinguer dès le début le raisonnement algorithmique de l'activité de programmation. La distinction entre algorithme et programme devient encore plus importante au lycée, et bien entendu dans les études supérieures d'informatique.

L'activité du crêpier est ainsi une occasion de se concentrer sur l'aspect algorithmique, indépendamment de tout objectif de programmation. Les activités sans ordinateur font partie des préconisations du document d'accompagnement (page 2) :

« Les modalités de l'apprentissage correspondant peuvent être variées : travail en mode débranché, c'est-à-dire sans utilisation d'un dispositif informatique, individuel ou en groupe, en salle informatique ou en salle banale, sur tablette ou sur ordinateur. »

Il existe de nombreuses propositions d'activités d'informatique sans ordinateur, pas seulement orientées vers l'algorithmique. Citons d'abord les deux tomes de l'ouvrage *L'informatique sans ordinateur*, téléchargeable en pdf sur le site de médiation scientifique de l'INRIA Interstices (https://interstices.info/jcms/c_47072/enseigner-et-apprendre-les-sciences-informatiques-a-lecole). Il s'agit de la traduction française du pionnier anglophone *Computer Science Unplugged*, dont le site compagnon demeure une référence mondiale (<https://www.csunplugged.org>). De nombreuses activités pensées pour le système scolaire fran-

çais sont proposées par le groupe *Algorithmique* de l'Irem de Grenoble (<http://www-irem.ujf-grenoble.fr/spip/spip.php?rubrique15>) et le groupe *Informatique Sans Ordinateur* de l'IREM/MPSA de Clermont-Ferrand (<http://www.irem.univ-bpclermont.fr/informatique-sans-ordinateur-140>). Les pages décrivant les activités de médiation scientifique de Marie Duflot, de l'Université de Lorraine (<https://members.loria.fr/MDuflot/files/mediation.html>), ou de Martin Quinson, de l'ENS de Rennes (<http://people.irisa.fr/Martin.Quinson/Mediation/SMN/>), fourmillent également d'idées. Un numéro spécial du magazine *Tangente Éducation* sur l'informatique débranchée (numéro double 42-43) est récemment paru (http://www.tangente-education.com/TE_info.php).

Pour conclure, il est évidemment nécessaire de distinguer les notions d'algorithme et de programme à tous les niveaux de l'enseignement. Pour autant, il ne s'agit pas de les séparer en exigeant systématiquement d'abord un algorithme finalisé sur papier, puis un programme sur machine. Au contraire, les activités des élèves, surtout les plus jeunes, les amèneront souvent à faire alterner des phases de réflexion algorithmique et de programmation effective.

4. — Écriture d'algorithmes.

4.1 Sous quelle forme écrire un algorithme ?

Comme nous l'avons vu précédemment, la personne qui écrit un algorithme s'adresse à un être humain : elle-même, un peu plus tard, quand elle écrira un programme mettant en oeuvre cet algorithme, ou bien quelqu'un d'autre. C'est pourquoi l'écriture d'un algorithme doit faire apparaître au mieux son fonctionnement et sa structure : les entrées, l'enchaînement des instructions et les struc-

QU'EST-CE QU'UN ALGORITHME ?

tures de contrôle, et enfin la sortie. Autrement dit, l'important dans l'écriture d'un algorithme, c'est de faire en sorte que l'aspect sémantique (le sens) se trouve le plus possible mis en évidence et dissocié de l'aspect syntaxique (la forme) lié aux langages de programmation. Nous présentons plusieurs possibilités dans ce paragraphe, sans pour autant préconiser l'utilisation exclusive de l'une d'entre elles, bien au contraire !

Très souvent, les algorithmes sont écrits en « pseudo-code », c'est-à-dire sous une forme proche de celle d'un programme, en simplifiant un peu les contraintes syntaxiques. De nombreuses variantes sont possibles, nous proposons deux exemples ci-dessous. La première utilise un pseudo-code classique, du type de ceux qui sont utilisés dans l'enseignement supérieur, tandis que la seconde utilise une syntaxe proche de celle du langage Scratch.

début
 répéter
 placer la spatule sous la plus grande crêpe pas encore bien placée
 retourner les crêpes au-dessus de la spatule
 si *la face « jolie » de la crêpe du dessus est visible* alors
 placer la spatule sous la crêpe du dessus
 retourner cette crêpe
 placer la spatule sous l'ensemble des crêpes pas encore bien placées
 retourner les crêpes au-dessus de la spatule
 jusqu'à ce que *les crêpes soient toutes bien placées*

Exemple 1

quand ça commence
 répéter jusqu'à *les crêpes sont toutes bien placées*
 placer la spatule sous *la plus grande crêpe pas encore bien placée*
 retourner les crêpes au-dessus de la spatule
 si *la face « jolie » de la crêpe du dessus est visible*
 placer la spatule sous *la crêpe du dessus*
 retourner les crêpes au-dessus de la spatule
 placer la spatule sous *l'ensemble des crêpes pas encore bien placées*
 retourner les crêpes au-dessus de la spatule

Exemple 2

L'utilisation d'un pseudo-code a pour avantage de simplifier le passage à la programmation, du moins si les conventions d'écriture utilisées sont proches de celles du langage de programmation visé. Cependant, cette façon de faire tend à introduire un langage relativement formalisé pour écrire les algorithmes. Une telle contrainte est quelque peu en contradiction avec la notion d'algorithme vu comme une méthode abstraite de résolution d'un problème, qui peut donc être mis en œuvre dans n'importe quel langage de programmation (ou pas). Par ailleurs, notons que le pseudo-code exige un minimum d'apprentissage. Finalement, retenons que le pseudo-code unifie d'une manière simple l'écriture des algorithmes mais que son danger est que des éléments de programmation et d'algorithme sont souvent mélangés.

Il n'y a pas que le pseudo-code qui permet de dissocier (au moins relativement) le sens de la forme. Toute écriture d'un algorithme pas trop contrainte par une syntaxe particulière le permet. Par exemple, des schémas appelés « organigrammes », « logigrammes » ou « algorithgrammes », qui permettent de représenter des algorithmes simples à l'aide de quelques conventions graphiques, sont parfois utilisés.

Ces représentations graphiques peuvent être très formalisées : il existe une norme ISO 5807 régissant leur écriture. Elles sont très répandues surtout dans les milieux industriels (et parmi les enseignants de technologie au collège et de sciences industrielles au lycée), mais très peu utilisées par les informaticiens. Il existe des logiciels graphiques spécifiques pour les dessiner. Nous proposons (voir page suivante, exemple 3) un exemple qui, pour simplifier, ne respecte pas l'ensemble des conventions graphiques de la norme ISO 5807.

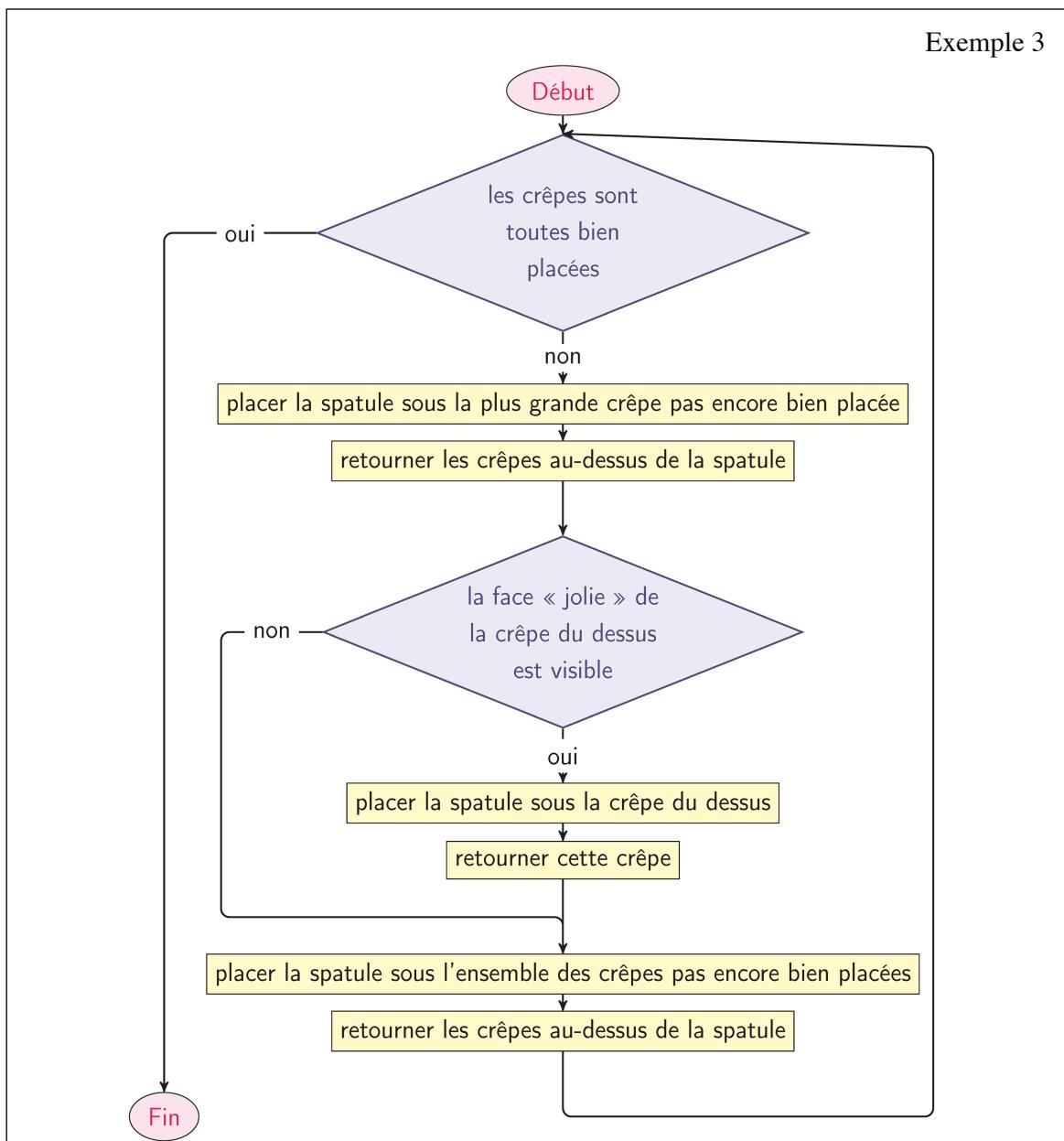
L'utilisation d'une représentation graphique a pour avantage de permettre de visualiser facilement le déroulement de l'algorithme, du moins tant qu'il reste très court. Cependant, si l'objectif final est d'écrire un programme, le schéma obtenu en est encore assez éloigné, en particulier pour la gestion des boucles.

Finalement, pour écrire un algorithme sans être limité par des contraintes de forme, il est possible de simplement l'écrire avec des phrases, comme par exemple pour une démonstration en mathématiques. Il y a évidemment de multiples formulations possibles, nous en proposons une ci-dessous (exemple 4) :

Exemple 4

Pour commencer, on place la spatule sous la plus grande crêpe, et on retourne les crêpes au-dessus de la spatule. Si la face « jolie » de la crêpe du dessus est visible, on place la spatule sous la crêpe du dessus, et on retourne cette crêpe. Ensuite, on place la spatule sous l'ensemble des crêpes, et on les retourne. Puis on ne s'occupe plus de la plus grande crêpe qui est à sa place tout en bas, et on recommence avec les crêpes qui restent, jusqu'à ce que toutes les crêpes soient bien placées. Et c'est fini.

QU'EST-CE QU'UN ALGORITHME ?



Du point de vue pédagogique, cette façon de faire a cependant le défaut de rendre plus difficile la mise en évidence de la structure de l'algorithme. Par exemple, dans l'activité du crêpier,

si les élèves utilisent des formulations différentes pour chaque étape, il sera plus difficile de les amener à reconnaître la boucle. À partir d'une rédaction de ce type, l'enseignant peut engager

un travail pour faire identifier les différentes parties de l'algorithme, puis les faire mettre en évidence grâce à la mise en forme (passage à la ligne, indentations, etc.).

Pour conclure, il n'y a pas un « langage algorithmique » unique et il nous semble particulièrement important de confronter les élèves à une variété d'écritures d'algorithmes et de les habituer à lire et écrire des algorithmes sous différentes formes, en utilisant des conventions variées. Soulignons encore que l'essentiel est d'amener progressivement les élèves à faire la différence entre la conception et l'étude d'un algorithme et sa programmation effective. Les activités débranchées permettent de travailler ce point.

4.2 *Et le crêpier ?*

D'un point de vue pédagogique, les activités algorithmiques sont de plusieurs types, comme par exemple lire ou exécuter un algorithme donné, modifier un algorithme connu pour répondre à une variante du problème initial, corriger un algorithme supposé répondre à un problème donné, déterminer à quel problème connu répond un algorithme donné, et enfin concevoir et écrire un algorithme répondant à un problème. Ce dernier type d'activité est de loin le plus fondamental en informatique, mais aussi le plus difficile. C'est pourquoi il nous semble particulièrement important de faire pratiquer toutes ces variantes par les élèves de tous niveaux.

Justement, l'objet de l'activité sur le crêpier est d'amener progressivement les élèves à formuler un algorithme permettant de ranger une pile de crêpes par ordre de taille, c'est-à-dire un algorithme de tri. Cet objectif est ambitieux et c'est pour cette raison qu'il est décomposé en quatre étapes.

1. Il est d'abord demandé aux élèves d'expérimenter pour les amener à inventer et pratiquer un algorithme sans pour autant mettre en mots les actions qu'ils réalisent. Ils manipulent plusieurs fois, à partir d'états de départ différents de la pile de crêpes, jusqu'à arriver à une méthode qui fonctionne à chaque fois. Les trois autres étapes de l'activité ont pour objet d'arriver à une formulation écrite de l'algorithme implicite qu'ils ont inventé.
2. Pour la deuxième étape, il est demandé à un élève de dire à un autre élève quelles sont les manipulations à effectuer. À cette étape, des expressions comme « Mets la spatule sous cette crêpe » seront spontanément utilisées par les enfants, en pointant du doigt. L'enseignant peut commencer à suggérer l'utilisation d'un vocabulaire plus précis, comme par exemple « les crêpes déjà triées/pas encore triées », « la plus grande crêpe », « la troisième crêpe », etc.
3. Lors de la troisième étape, celui qui donne les consignes à l'élève qui manipule ne voit pas la pile de crêpes, cachée derrière un paravent en carton. Pendant cette phase, l'utilisation du vocabulaire précédent devient plus importante. Par ailleurs, commence à se poser la question de l'arrêt de l'algorithme. Comment sait-on que c'est terminé ? Le plus souvent, l'élève manipulateur s'arrête de lui-même et dit que c'est fini, mais l'enseignant peut faire remarquer que ce n'est pas le cas d'une machine. Que se passe-t-il si on continue de manipuler alors que la pile est déjà triée ? Le plus souvent, les élèves ne s'aperçoivent pas spontanément que les manipulations inutiles ne sont pas nuisibles au résultat final, mais l'enseignant peut le faire remarquer. Il est possible aussi d'autoriser l'élève qui manipule à répondre à la question « Est-ce que c'est terminé ? ».

Attention à ne pas laisser les élèves utiliser des conditions d'arrêt erronées, comme par exemple « ...jusqu'à ce que la plus petite crêpe soit sur le dessus ». Par ailleurs, c'est parfois à ce stade que la notion de répétition commence à apparaître.

- La consigne pour la dernière partie de l'activité est de rédiger un algorithme générique que d'autres élèves pourront exécuter pour trier n'importe quelle pile de crêpes. À ce stade, l'utilisation d'un vocabulaire précis et relativement standardisé permet de faire émerger la notion de répétition, qui se traduit sous forme de boucle dans l'algorithme, pour raccourcir la formulation. Il est important d'utiliser au moins six crêpes pour s'assurer que le besoin de boucle apparaîtra. Dans la fiche d'activité, l'algorithme est rédigé avec des phrases, ce qui nous semble le plus adapté dans le premier degré. Pour des élèves plus âgés ou qui ont déjà une certaine pratique, il est bien entendu possible de présenter une version en pseudo-code ou un schéma.

Enfin, il est possible de prolonger l'activité pour faire utiliser une structure conditionnelle, en demandant que les faces brûlées (« pas jolies ») des crêpes soient toutes vers le bas à la fin de l'exécution.

5. — Les composants des algorithmes

Les algorithmes les plus simples comme les plus élaborés peuvent tous être écrits à partir de quelques instructions élémentaires et de quelques structures de contrôle (la séquence, le branchement, la boucle).

Ainsi, un des objectifs principaux de l'enseignement de l'algorithme est de faire en sorte que, à terme, les élèves (et les étudiants !) identifient ces composants des algorithmes quand ils les rencontrent, et sachent les utiliser à bon escient, et ce, indépendamment d'un langage de programmation.

5.1 Instructions élémentaires

Dans l'activité du crêpier, des instructions comme « Retourner la pile de crêpes au dessus de la spatule » et « Placer la spatule sous la plus grande crêpe de la partie non triée de la pile » (ou d'autres formulations semblables) sont des instructions élémentaires de l'algorithme : elles ne sont pas décomposées.

D'une façon générale en algorithmique, les instructions élémentaires concernent la manipulation des données. Il s'agit par exemple de l'affectation des variables, de l'évaluation des expressions, etc.

Pour faire de l'algorithme sur papier, chacun est libre de choisir les instructions élémentaires qui lui paraissent les mieux adaptées. Ainsi, pour l'activité « Le crêpier », un jeu d'instructions élémentaires naturelles peut être « *placer la spatule sous une crêpe donnée* » et « *retourner les crêpes au-dessus de la spatule* ». Au contraire, au moment de la programmation, il y a beaucoup moins de liberté, puisque les instructions élémentaires sont forcément choisies parmi celles proposées par le langage de programmation utilisé. Par exemple, pour programmer un robot qui trie une pile de crêpes, il est possible que l'instruction « *placer la spatule sous la plus grande crêpe pas encore rangée* » ne fasse pas partie de celles qui sont disponibles dans le langage de programmation du robot. Dans ce cas, elle devra être décomposée en instructions plus simples jusqu'à ne plus avoir que des instructions autorisées. En particulier, certains langages de programmation ne contiennent pas comme instruction élémentaire la détermination du maximum ou du mini-

mum d'une liste de valeurs. Dans ce cas, le programmeur serait obligé de programmer lui-même un algorithme de recherche du maximum pour arriver à ses fins. Notons que l'objectif de ce paragraphe est simplement d'évoquer la relativité de la notion d'instruction élémentaire. Il n'est pas question d'aborder ici la programmation d'un véritable robot, qui poserait bien d'autres questions, à la fois concernant les interactions avec des objets réels et concernant la modélisation de la situation.

5.2 Séquences d'instructions

Il s'agit tout simplement de spécifier dans quel ordre une série d'instructions doit être exécutée. Le plus souvent, on se contente de les écrire les unes après les autres dans l'ordre d'exécution souhaité, en veillant à bien identifier le début et la fin de chacune d'entre elles.

5.3 Structures conditionnelles (« branchements »)

Les structures conditionnelles sont des structures de contrôle permettant de décrire un comportement différent de l'algorithme selon qu'une certaine condition est ou non vérifiée.

Elle se présente généralement sous la forme « *si* ... *condition* ... *alors* ... *bloc 1* ... *sinon* ... *bloc 2* ... », où *condition* représente la condition à tester, *bloc 1* représente un bloc d'instructions à effectuer dans le cas où la condition est vérifiée et *bloc 2* représente le bloc d'instructions à effectuer dans le cas où la condition n'est pas vérifiée.

Il peut arriver que la partie *sinon* n'apparaisse pas : dans ce cas, si la condition n'est pas vérifiée, l'algorithme passe directement à l'instruction suivante sans rien faire. La condition est une expression qui doit toujours pouvoir être évaluée comme vérifiée (vraie) ou non vérifiée

(fausse), comme par exemple un test d'égalité de deux expressions. Dans le cas du crêpier, la condition peut-être par exemple « *la face « jolie » de la crêpe du dessus est visible* ». Si c'est vrai, il faut retourner la crêpe du dessus avant de continuer l'algorithme, si c'est faux, il n'y a rien à faire.

5.4 Structures itératives (« boucles »)

Les boucles sont des structures de contrôle permettant de décrire la répétition d'une séquence d'instructions. Elles sont de plusieurs types, voici quelques exemples :

1. « *répéter n fois* ... *bloc* ... ». Ici, *n* peut être un nombre concret comme 4, ou bien une variable à laquelle une valeur numérique, éventuellement obtenue à l'issue d'un calcul, a été affectée au préalable dans l'algorithme, et *bloc* représente la séquence d'instructions à répéter.
2. « *pour i allant de 1 à n, faire* ... *bloc* ... ». Ici, l'entier *i* est un *indice de boucle* qui augmente automatiquement de 1 à chaque passage dans la boucle, en commençant à 1 et en allant jusqu'à *n*. Cet indice *i* peut être utilisé dans les instructions du *bloc* formant le corps de la boucle.
3. « *tant que* ... *condition* ... *répéter* ... *bloc* ... ». Ici, le *bloc* d'instructions sera répété tant que la condition est vérifiée. Si la condition n'est pas vérifiée au départ, le bloc d'instructions n'est pas exécuté du tout. Si la condition est vérifiée au départ, le bloc d'instructions est exécuté au moins une fois, et la condition est testée de nouveau à chaque sortie de la boucle, pour savoir si c'est terminé. Ce type de boucle est un peu plus délicat à manier que les précédents car il est possible d'écrire involontairement une boucle qui

QU'EST-CE QU'UN
ALGORITHME ?

ne se termine jamais. C'est par exemple le cas si les paramètres qui déterminent la valeur de vérité de la condition ne sont pas modifiés dans le corps de la boucle.

4. « *jusqu'à ... condition ... répéter ... bloc ...* ». Notons qu'il est possible de passer d'une boucle *tant que* à une boucle *jusqu'à* en pre-

nant la négation de la condition. Il s'agit d'un exercice qui n'est pas toujours facile pour les élèves.

Pour trier six crêpes, les divers types de boucles peuvent être utilisés. Nous avons déjà donné une version avec une boucle *jusqu'à*, en voici deux avec des boucles *répéter* et *tant que*.

Exemple 5

```

début
  répéter 5 fois
    placer la spatule sous la plus grande crêpe pas encore bien placée
    retourner les crêpes au-dessus de la spatule
    si la face « jolie » de la crêpe du dessus est visible alors
      placer la spatule sous la crêpe du dessus
      retourner cette crêpe
    placer la spatule sous l'ensemble des crêpes pas encore bien placées
    retourner les crêpes au-dessus de la spatule

```

Exemple 6

```

début
  tant que les crêpes ne sont pas toutes bien placées faire
    placer la spatule sous la plus grande crêpe pas encore bien placée
    retourner les crêpes au-dessus de la spatule
    si la face « jolie » de la crêpe du dessus est visible alors
      placer la spatule sous la crêpe du dessus
      retourner cette crêpe
    placer la spatule sous l'ensemble des crêpes pas encore bien placées
    retourner les crêpes au-dessus de la spatule

```

6. — Conclusion

L'un des concepts fondamentaux de la science informatique est celui d'algorithme. Nous avons montré que sa définition rigoureuse va bien au delà de l'idée de « recette de cuisine » qui est parfois mise en avant. En particulier, les algorithmes instanciés, qui sont très présents dans les exemples destinés aux élèves, ne correspondent qu'à une version très affaiblie de la notion d'algorithme. Pour enseigner l'algorithmique, il est indispensable de recourir à des algorithmes génériques, qui seuls capturent toute la richesse de cette notion.

Ensuite, nous avons vu qu'un algorithme n'est pas un programme, bien que les deux notions soient indissolublement liées. Un algorithme est destiné à être compris par

un être humain, et pour cette raison, il n'y a pas une seule bonne façon de l'écrire. Nous recommandons d'habituer les élèves à diverses possibilités, et nous en avons proposé plusieurs. De même, il nous semble souhaitable de varier le plus possible les activités algorithmiques proposées aux élèves : les exercices d'exécution, de modification, de correction, d'interprétation d'algorithmes sont tout aussi importants que la conception d'algorithmes.

Enfin, nous avons vu que les algorithmes sont composés à partir d'instructions élémentaires, dont le choix fait partie de l'activité algorithmique. Ces instructions sont liées entre elles à l'aide de structures de contrôle que les élèves apprennent progressivement à reconnaître et à utiliser.

Sources

Cet article est rédigé à partir de la fiche scientifique d'accompagnement de l'activité d'algorithmique débranchée pour le cycle 3 appelée « *Le crêpier* », qui sert de fil conducteur pour tous les exemples. Cette fiche a été rédigée par le groupe *Informatique Sans Ordinateur* de l'Irem de Clermont-Ferrand et de la Maison pour la Science en Auvergne. Elle est téléchargeable à l'adresse : <http://www.irem.univ-bpclermont.fr/Algorithmique>.

La fiche précédente est elle-même adaptée du début du document intitulé « *Algorithmique et programmation au cycle 4 : Commentaires et recommandations du groupe Informatique de la CII Lycée* », qu'on peut télécharger à l'adresse : <http://www.univ-irem.fr/spip.php?article1414>. Ce document aborde les diverses notions informatiques des programmes de mathématiques du cycle 4. Il contient des notes scientifiques et pédagogiques pour les enseignants, ainsi que des propositions d'activités branchées et débranchées. En outre, il contient des remarques portant sur les traces écrites à destination des élèves et sur des exercices. Il comporte des références à la plupart des manuels de mathématiques de cycle 4, et il est conçu pour pouvoir être utilisé en complément des manuels choisis par les enseignants.