

L'informatique débranchée sous le prisme de la cognition incarnée

Cédric Tomasini et Micha Hersch

Haute Ecole Pédagogique Vaud, Av. de Cour 33, 1007 Lausanne

Résumé Alors que les activités d'informatique débranchée s'implantent dans les pratiques scolaires d'enseignement de l'informatique, nous proposons d'appréhender ces activités comme des métaphores incarnées de concepts informatiques. Ceci permet de mobiliser les théories de la métaphore et de la cognition incarnée afin de poser un regard didactique plus fin sur ces activités. Un exemple de la pertinence pratique de cette proposition est proposé en dérivant quatre principes généraux issus des théories sus-mentionnées qui sont la non-neutralité des métaphores, les affordances, la cognition distribuées et l'ancrage corporel. En les appliquant aux activités des cartes binaires et du tri avec balance, deux des activités débranchées les plus connues, nous obtenons plusieurs manières d'affiner ces activités pour les adapter à différents publics ou objectifs pédagogiques et potentiellement faciliter l'appropriation des concepts informatique exposés par ces activités. Cet exemple suggère que les théories de la métaphore et de la cognition incarnée fournissent des concepts permettant de construire des grilles d'analyse et de conception pertinentes pour les activités d'informatique débranchée.

Mots-clés: Informatique débranchée · cognition incarnée · métaphore

1 Introduction

Les approches débranchées de l'informatique ont été développées au début des années 1990 en Nouvelle-Zélande dans le but d'initier des enfants et adolescents à l'informatique, alors que celle-ci n'était pas encore constituée comme discipline scolaire, et que les ordinateurs étaient encore peu présents dans les écoles. Tim Bell et ses collègues ont alors conçu une série d'activités ne nécessitant pas l'utilisation d'ordinateurs qui étaient proposées dans le cadre d'ateliers facultatifs dont le but était de montrer comment pensent les informaticiens et informaticiennes, le type de questions qu'elles se posent et le type de problèmes qu'elles cherchent à résoudre [2].

Bien que le contexte ait changé depuis, avec la généralisation de l'informatique comme discipline scolaire et l'équipement des écoles en infrastructures informatiques, les approches débranchées de l'informatique n'ont pas disparues. Au contraire, elles se sont répandues et ont été intégrées dans les pratiques scolaires d'enseignement de l'informatique, beaucoup d'enseignants et enseignantes reconnaissant leur pertinence didactique pour l'enseignement de l'informatique

aussi bien au primaire qu’au secondaire [7,19]. Plusieurs études ont été menées afin d’évaluer l’efficacité de ce type d’approches par rapport à des approches branchées, avec des résultats contrastés, certaines concluant à un meilleur apprentissage par les méthodes débranchées, alors que d’autres non [24,12,16].

Une des explications possibles de l’absence de consensus est que la dénomination d’informatique débranchées recouvre une grande diversité de pratiques ayant pour point commun l’absence d’ordinateur, mais pouvant diverger sur beaucoup d’aspects. Par exemple, certains auteurs incluent l’utilisation de robots dans les activités débranchées, alors d’autres considèrent des exercices sur papier comme de l’informatique débranchée [1]. Afin de mieux définir ces approches, certains principes clés ont été identifiés par leurs initiateurs, notamment l’absence d’ordinateur et de programmation, un aspect ludique ou de défi, une importante composante kinesthésique, une approche constructiviste, la recherche de la simplicité (conceptuelle et du matériel utilisé), et une composante narrative [17]. Le même article propose une approche par modèles de conception (*design patterns* en anglais) pour la conception d’activités débranchées. L’identification d’une correspondance entre un objet de la vie quotidienne et un concept informatique figure au centre de ce modèle.

Dans cet article, nous proposons de considérer ces activités débranchées à l’aune des théories de la cognition incarnée afin d’enrichir notre compréhension de ce type d’activités et pouvoir potentiellement y intégrer de manière pratique les enseignements de ces théories. L’idée derrière cette démarche est de considérer les activités débranchées comme des *métaphores incarnées* de concepts informatiques. Ceci nous permet de mobiliser tout un corpus théorique autour de la métaphore et de la cognition incarnée afin d’éclairer ces activités.

2 Contexte théorique

2.1 Analogies et métaphores

Les notions d’analogie et de métaphores ont été l’objet d’innombrables réflexions, dans une multitude de champs artistiques et scientifiques. Elles sont en effet au cœur de la notion de modèle, lui-même au fondement de la science moderne. Dans les paragraphes qui suivent, nous présentons brièvement quelques éléments théoriques saillants qui nous semblent pertinents pour l’étude des activités débranchées.

Langage L’ouvrage des linguistes Lakoff et Johnson, *Les métaphores de la vie quotidienne*, paru initialement en anglais en 1980 sous le titre *Metaphors We Live By* [14] a mis la métaphore au centre du processus langagier. Dans ce livre, les auteurs montrent que la métaphore n’est pas qu’un outil utile d’expression à usage pratique ou poétique mais néanmoins indispensable. Au contraire, selon eux la métaphore est un moyen de conceptualisation qui structure notre réalité.

Autrement dit, les métaphores utilisées couramment dans le langage sont des manifestations de nos schémas conceptuels qui structurent nos raisonnements, notre perception et notre socialisation. A l'appui de cette thèse, Lakoff et Johnson montrent que les métaphores de la vie quotidienne forment un système cohérent. Par exemple les expressions « vos affirmations sont indéfendables », « il a attaqué chaque point faible de mon argumentation » ou « ses arguments ont fait mouche » tournent toutes autour de la métaphore de la guerre pour qualifier la discussion argumentative. [14, p.14] Le concept de discussion argumentative est donc défini par analogie avec le concept de guerre. Cela constitue une manière bien particulière de définir un concept, très différente de celle proposée par un dictionnaire, mais qui, selon les auteurs, rend mieux compte de la manière dont les humains prennent prise sur les concepts.

Selon Lakoff et Johnson, les sources des métaphores que nous utilisons sont constituées de nos expériences fondamentales. Ces expériences ne se réduisent pas à une combinaison d'éléments de base, elles forment un tout vécu comme tel, autrement dit des *gestalts*. Ces expériences ont potentiellement des composantes perceptives, motrices, sociales, émotionnelles, etc. La guerre peut être une de ces expériences, tout comme des expériences physiques plus basiques telle que d'avoir un corps délimitant un intérieur et un extérieur. Ces expériences sont ensuite projetées sur d'autres situations afin de pouvoir les appréhender. Ce verbe « appréhender » constitue d'ailleurs un exemple de métaphore issue de l'expérience la préhension manuelle.

Le livre de Lakoff et Johnson insiste sur le fait que l'usage des métaphores n'est pas neutre. Selon la métaphore utilisée, certains aspects seront mis en évidence alors que d'autres seront masqués. Par exemple dans la phrase « le délai se rapproche, je n'ai plus beaucoup de temps », deux métaphores différentes sont utilisées pour qualifier le temps. D'une part la notion de mouvement (le temps est un objet en mouvement dans l'espace) et d'autre part la notion de ressources (le temps est une ressource potentiellement limitée). Ce sont deux manières très différentes de considérer le temps, qui sont toutes deux largement utilisées, parfois dans la même phrase comme ci-dessus. De même la métaphore guerrière déjà évoquée met en lumière l'aspect compétitif de la discussion argumentative au détriment de son aspect coopératif qui pourrait se retrouver dans la phrase « nous avons échangé nos arguments ». De plus, ces exemples indiquent que ces métaphores peuvent influencer la manière dont nous percevons les situations, y compris nos expériences fondamentales, comme par exemple notre expérience du temps, qui, pour une bonne partie d'entre nous, est culturellement imprégnée de la métaphore de la ressource limitée. Les théories séminales de cet ouvrage ont par la suite été développées par de nombreux auteurs et autrices (par exemple [10]) et contribueront à l'émergence des théories de la cognition incarnée.

Informatique A la différence d'autres sciences, l'informatique construit ses objets d'étude sans lien direct avec une réalité naturelle ou sociale. C'est pourquoi, argumentent Colburn et Shute [6], la métaphore joue un rôle spécial en informatique. Selon ces auteurs, en plus de son rôle pédagogique, la métaphore a un rôle de conception, ou *design*, puisque les informaticiens vont s'inspirer de processus familiers pour créer des objets informatiques. On peut mentionner par exemple la notion de *fichier*, l'instruction de *saut*, le *lancement* et la *récupération* d'exception, les *boucles*, ou l'architecture *client-serveur*. Ceci a pour conséquence que le domaine de l'informatique est empli de métaphores qui permettent, non seulement de concevoir des objets, structures et fonctionnalités utiles, mais également de les partager et les expliquer. On peut donc affirmer avec ces auteurs que le champ de l'informatique se construit par métaphores, de façon analogue à l'émergence par analogie des concepts de la pensée. Il semble donc naturel de faire usage de ces métaphores pour l'enseignement de cette discipline, et c'est d'ailleurs une pratique largement répandue et bien documentée chez les enseignants [15] et les apprenants [4], si bien que certains appellent à développer un programme de recherche quant à leur usage pédagogique [21,9].

2.2 Les théories de la cognition incarnée

Partiellement inscrites dans le sillage des travaux de Lakoff et Johnson [13], les théories de la cognition incarnée mettent l'accent sur l'intégration entre la cognition et le corps, se démarquant ainsi des approches computationnelles ou représentationnelles qui, s'inscrivant dans l'héritage cartésien, voient la pensée comme indépendante du corps. Selon ces théories, le cerveau et la cognition ont évolué conjointement avec le reste du corps pour pouvoir le contrôler dans un environnement et cela reste leur fonction première. Il y a donc une intrication étroite entre le corps et cognition qui font système, à l'opposé d'un ordinateur dont le matériel et le logiciel peuvent être considérés séparément. Cela signifie que la cognition ne consiste pas, sur le principe, en l'élaboration d'une représentation objective et objectivante du réel, mais en la régulation de boucles sensori-motrices permettant au système de guider l'action et maintenir son unité dans un processus autopoïétique, c'est-à-dire d'auto-constitution subjective [25]. Les modalités perceptives et motrices sont donc étroitement liées et interdépendantes, car toute perception est active dans une certaine mesure. Cela rappelle le concept d'affordances développé par la psychologie écologique de Gibson qui fait l'hypothèse que la perception est avant tout une perception des possibilités d'action [8]. Par exemple, pour un primate, une surface sera perçue, entre autres, en tant que possibilité de se tenir dessus, ou une pierre sera perçue en tant que possibilité de s'en saisir. Les représentations ne sont donc pas uniquement internes au sujet, mais d'une certaine manière également inscrites dans l'environnement. [22]. De même, certains aspects de la cognition sont externalisés, par exemple pour la représentation visuelle [18] ou lors de l'usage de technologies cognitives telles que l'écriture.

Les expériences du corps dans son environnement ayant un effet structurant sur la cognition, il est aisé de comprendre pourquoi beaucoup de métaphores utilisées dans la vie courante se basent sur des expériences corporelles telles que le mouvement (« une idée m'est venue »), le sens du haut et du bas (« il est tombé bien bas »), et d'autres perceptions sensorielles (« j'ai été frappé par son attitude »).

Selon cette vision, la pensée et les représentations sont ancrées dans des expériences sensori-motrices incarnées dans un corps. Cet ancrage peut être exploité pédagogiquement en associant explicitement des concepts théoriques à des expériences corporelles correspondantes, une pratique pédagogique ancienne proposée déjà par Mary Everest Boole au début du XX^e siècle [5]. Les approches d'informatique débranchée s'inscrivent dans cette tradition en proposant un dispositif permettant aux apprenants d'associer un concept informatique à une expérience incarnée dans laquelle ce concept peut être ancré avant d'être abstrait.

3 Analyses d'activités d'informatique débranchée

Ce bref survol théorique nous permet ainsi déjà de dégager quelques principes permettant de guider l'analyse ou la conception d'activités d'informatique débranchée.

1. **Non-neutralité des métaphores** : les métaphores ne sont pas neutres, elles mettent en lumière certains aspects de l'objet cible et en occultent d'autres. Ainsi le choix d'une métaphore au détriment d'une autre pour une activité débranchée aura un impact sur le type d'erreur ou de mauvaise représentation de la part des élèves. Il peut ainsi être judicieux de mettre en lumière, lors d'une phase d'objectivation, ou d'institutionnalisation, les aspects du phénomène étudié qui sont cachés par la métaphore.
2. **Affordances** : la perception visuelle est surtout une perception des possibilités d'action. Ainsi, une manière de rendre saillant un aspect d'une métaphore informatique consiste à le placer dans une configuration dans laquelle les élèves peuvent agir dessus, de manière conforme à la métaphore. Par exemple, si un objet peut prendre deux états possibles, alors la possibilité pour les élèves d'agir (au niveau de la métaphore) sur son état, rendra cette caractéristique plus saillante.
3. **Cognition distribuée** : la cognition n'est pas uniquement intra-cranienne, elle est également portée par le corps et l'environnement. Ainsi les activités d'informatique débranchée répartissent l'effort cognitif entre l'environnement physique (et potentiellement social) proposé par l'activité et les processus de réflexion propres aux élèves. Il est ainsi possible de calibrer la charge cognitive [23] de l'activité débranchée aux capacités présumées des élèves, afin qu'elle soit adaptée à leur niveau et à leur zone proximale de développement [26].
4. **Ancrage corporel** : les expériences corporelles proposent un répertoire de métaphores propices à de nouvelles conceptualisations. La prégnance

sensorielle de ces expériences, si elle s'intègre de façon cohérente, facilite probablement leur mémorisation et leur mobilisation dans la construction de nouveaux concepts.

Afin d'illustrer en quoi ces principes peuvent éclairer l'analyse ou la conception d'une activité débranchée, nous les appliquons à deux des activités débranchées les plus populaires décrites dans le recueil original de l'informatique débranchée [3], les cartes binaires et le tri avec une balance à plateau. Dans les deux cas, nous proposons des ajustements de l'activité proposée guidés par les principes identifiés ci-dessus. Ces ajustements ne doivent pas être entendus nécessairement comme des améliorations de l'activité, mais plutôt comme un enrichissement du répertoire d'activités dans lesquels les enseignant-es pourront aller puiser selon leur contexte. Certains ont été testés en classe de lycée par les auteurs et leur ont subjectivement paru pertinents, mais une appréciation plus objective serait nécessaire pour formuler une recommandation générale.

3.1 Activité des cartes binaires

Cette activité consiste à distribuer aux élèves une série de cartes contenant 1, 2, 4 et 8 points. Les cartes sont disposées dans cet ordre de droite à gauche, initialement avec la face cachée. On demande aux élèves de retourner certaines cartes pour faire apparaître par exemple 5 points. Les cartes avec la face cachée sont représentées par un 0 et les cartes avec les points apparents par un 1. Pour le nombre 5, seules les cartes à 4 points et 1 point seront tournées avec les points apparents (car $4 + 1 = 5$) ce qui correspond à la configuration 0101. On obtient ainsi la représentation binaire du nombre 5. On peut effectuer la conversion de binaire à décimal en spécifiant une configuration de cartes, par exemple 1100 et compter le nombre de points apparents (dans notre exemple $8 + 4 = 12$). On peut ensuite pousser la réflexion plus loin en s'interrogeant sur l'ensemble des nombres qui peuvent être ainsi représentés, sur l'unicité de cette représentation, ainsi que sur les valeurs des cartes suivantes si l'on désire représenter des nombres plus grands que 15 (le total des points figurant sur les quatre cartes). Cette activité s'inscrit typiquement dans une séquence pédagogique plus large comportant des phases d'exercices, d'objectivation, et d'institutionnalisation.

Non-neutralité des métaphores Cette activité est basée sur la métaphore que les bits sont comme des cartes avec une certaine valeur, et qui peuvent être dans un parmi deux états possibles, 0 (face cachée) ou 1 (face apparente). Par contre, le fait que les cartes doivent impérativement être placées de droite à gauche dans un ordre croissant et correspondent à des puissances de deux, n'est pas particulièrement mis en exergue par le dispositif. De fait, selon notre expérience, à l'issue de cette activité, les élèves font souvent encore des erreurs dans la valeur attribuée à chaque bit, par exemple en prenant les multiples de deux (1,2,4,6). De plus ce dispositif ne fait aucun lien entre le fait que la carte a deux états possibles, et le doublement des valeurs représentées par chaque carte, alors que ce lien, la base, est essentiel dans la représentation positionnelle des nombres entiers.

Affordance L'usage de cartes implique la possibilité de les retourner et en ce sens le dispositif rend bien compte de ce qu'il est possible de faire avec un bit : le passer d'un état à un autre, c'est-à-dire rendre apparente ou pas la valeur qu'il représente.

Cognition distribuée L'usage de points sur chacune des cartes permet de décharger sur l'environnement la valeur associée à chaque bit plutôt que de la garder mentalement en mémoire. L'usage de points plutôt que de nombres permet de pouvoir visualiser directement la valeur associée à une configuration de cartes. Le fait de représenter ces points de façon ordonnée afin de pouvoir rapidement en identifier le nombre rend la valeur des cartes immédiatement accessible, sans nécessairement avoir à les compter, tout en laissant cette possibilité ouverte pour les élèves qui en auraient besoin. Par contre, l'addition des valeurs des cartes est laissée à la charge cognitive des élèves, qui sont soutenus dans cette tâche par la représentation des points. De même, l'ordre dans lequel les cartes doivent être disposées est laissé à la charge des élèves qui doivent faire attention à ne pas mélanger les cartes, ainsi que la correspondance entre les symboles 0 et 1 d'une part et le côté apparent de la carte. Une manière simple de décharger les élèves de la mémorisation de cette correspondance consiste à ajouter dans un coin de chaque carte, un 0 au dos et un 1 sur le côté avec les points apparents. Pour l'ordre des cartes, il est possible de faire correspondre la taille des cartes à leur valeur. Ainsi, la carte à 8 points devient deux fois plus grande que la carte à 4 points qui devient deux fois plus grande que la carte à 2 points qui est elle-même deux fois plus grande que la carte à 1 point. Ceci permet de matérialiser, même lorsque les cartes sont face cachée, le fait que les bits sont représentés (de droite à gauche) dans un ordre croissant et que les valeurs correspondantes doublent à chaque fois.

Ancrage corporel Si l'usage des cartes donne aux élèves une vision globale et surplombante de la représentation des nombres binaires, une version plus immersive proposée dans le recueil [3] inclut la présence physique des élèves. Plutôt que d'avoir les cartes posées sur la table, elles sont tenues chacune par un-e élève qui se tient debout en rang dans l'ordre correspondant à la valeur de leur carte. On indique un nombre, et les élèves doivent retourner leur carte afin de faire apparaître le nombre correspondant de points. Avec ce dispositif, les élèves doivent d'une manière ou d'une autre se synchroniser pour savoir si elles doivent montrer ou cacher les points de leur carte. Cela est susceptible de faire émerger des heuristiques pour la conversion des nombres décimaux en binaire. Par exemple, l'élève tenant la carte à 1 point remarquera assez rapidement qu'elle doit montrer sa carte si le nombre est impair, tandis que l'élève représentant le bit de poids fort comprendra qu'il doit montrer sa carte si le nombre à convertir est supérieur ou égal à la valeur de sa carte. Petit à petit, un algorithme de conversion pourra émerger, dans lequel les cartes seront successivement retournées en commençant par la gauche (poids fort), tant que le nombre de points n'est pas atteint (et sans dépasser ce nombre).

Ce dispositif pourrait ensuite être étendu pour aborder l'addition binaire. Les deux nombres binaires à additionner sont représentés chacun par une rangée d'élèves tenant sa carte face apparente ou cachée. Une rangée d'élève représente le résultat. Chaque élève du résultat, en commençant par la carte à 1 point, récupère les cartes apparentes de sa position et peut échanger deux cartes à n points apparents contre une carte à $2n$ points apparent. L'élève donne la carte à $2n$ points à l'élève à sa droite qui l'intègre dans son calcul et fait, l'échange s'il a deux cartes, etc. Ce dispositif permet d'illustrer l'opération de base de l'addition binaire en colonne, et utiliser la métaphore corporelle de donner quelque chose à quelqu'un pour représenter la retenue. Cette simulation rend explicite qu'il n'y a ni apparition ni disparition de points lors de l'addition, c'est uniquement leur répartition au sein des cartes qui change. Ceci nécessite bien sûr une phase d'objectivation pour que les élèves en prennent conscience.

En résumé, l'activité des cartes binaires peut être ajustée ainsi :

1. Utiliser des cartes de taille proportionnelle au nombre de points pour mieux représenter le doublement du poids de chaque bit.
2. Indiquer les symboles 1 et 0 au recto et verso des cartes pour faire la correspondance avec les symboles de la notation binaire
3. Distribuer une carte par élève pour visibiliser la synchronisation entre les différents bits nécessaires pour une conversion de décimal à binaire et faire émerger l'algorithme correspondant
4. Étendre l'activité à l'addition binaire de deux nombres afin d'identifier les opérations élémentaires de l'addition binaire en colonne.

3.2 Activité de tri avec balance

Cette activité propose d'explorer les algorithmes de tri en utilisant une balance à plateaux ainsi que des petits contenants identiques contenant une quantité légèrement différente de sable, de telle sorte qu'il soit nécessaire de les peser avec la balance pour savoir si l'un est plus lourd que l'autre. Par groupes, les élèves doivent essayer de déterminer une procédure permettant d'ordonner les contenants par leur poids en utilisant la balance pour comparer leur poids. Le décompte des pesées nécessaires permet de se faire une idée de l'efficacité de leur procédure et d'introduire la notion de complexité algorithmique.

Divers algorithmes de tri sont ensuite institutionnalisés et les élèves sont invités à les expérimenter, vérifier qu'ils permettent bien de trier les contenants et les comparer en terme d'efficacité.

Non-neutralité des métaphores. Cette activité est basée sur la métaphore qu'un algorithme de tri s'apparente une procédure permettant de trier des contenants dont on ne connaît pas le poids mais qu'on peut comparer entre eux à l'aide d'une balance à plateau. On illustre ainsi que l'algorithme ne peut s'appuyer sur le souvenir des valeurs à trier et les comparaisons instinctives que ce souvenir

permettrait. Une limite de cette métaphore est que la balance à plateaux permet de dépasser la simple comparaison de valeurs en mettant plusieurs contenants sur un même plateau (et donc comparer des sommes de valeurs).

Selon la manière dont elle s'inscrit dans une séquence pédagogique, cette activité pourrait aussi illustrer l'analogie entre le tri des contenants et le tri d'une liste de nombres par un ordinateur. En ce cas, cette métaphore occulte la question des structures de données utilisées pour le stockage de la liste et son tri. En effet, la table sur laquelle sont disposés les contenants offre une bien plus grande flexibilité qu'une liste ou tableau en programmation.

Affordances. Le dispositif illustre bien que les principales opérations de l'algorithme de tri sont la comparaison (avec la balance) et l'ordonnement des valeurs (en déplaçant les contenants). En utilisant des contenants ne permettant physiquement pas d'en mettre plusieurs sur le même plateau (par exemple des contenants coniques dont la base fait la taille du plateau), on fait mieux correspondre les affordances de la balance avec la comparaison des valeurs deux à deux. Par ailleurs, si l'activité est utilisée comme prélude à la programmation d'un algorithme de tri, il serait sans doute utile d'initier une réflexion autour des structures de données. Ainsi, si le dispositif inclut un support avec une place définie pour chacun des 8 contenants alignés, on orientera sans doute les élèves vers des algorithmes nécessitant uniquement des échanges de positions des valeurs, tel que le tri à bulles ou le tri par sélection. Si le dispositif permet facilement l'insertion d'un contenant entre deux contenants consécutifs, alors le tri par insertion pourra émerger plus facilement chez les élèves. Le tri rapide (quicksort) et le tri par fusion nécessiteront quant à eux une plus grande liberté dans la disposition des contenants (en tas pour le tri rapide, et en utilisant les deux dimensions de la table pour le tri par fusion). On voit donc que les détails du dispositif physique peuvent agir comme une variable didactique sur la tâche de conception d'un algorithme de tri.

Cognition distribuée. Le dispositif peut inclure des marqueurs physiques permettant visualiser et de mémoriser certains éléments nécessaires à l'exécution correcte de l'algorithme de tri. Par exemple, les tris à bulles, par sélection et par insertion nécessitent de séparer la partie de la liste déjà triée de celle qui reste à trier. Ainsi un élément physique (par exemple un contenant d'une autre forme ou couleur et ne devant pas être trié) peut être inclus pour jouer ce rôle. Pour le tri rapide, on peut marquer, soit par leur positionnement, soit par une marque supplémentaire les contenants qui ont déjà servi de pivot et dont la position finale est connue. Par ailleurs, on peut introduire le tri par fusion en préparant des feuilles indiquant le positionnement initial des contenants et leur cheminement au cours du déroulé de l'algorithme. Finalement, l'usage de contenants ne permettant pas de comparer les valeurs d'un simple coup d'oeil, fait que les élèves ne se rendront pas compte avant la vérification finale de leurs éventuelles erreurs de manipulation ou de conception d'algorithme. Pour rendre la phase d'exploration plus facile, on peut, dans un premier temps, indiquer les valeurs correspondant à

chaque contenant afin que les élèves puissent en tout temps vérifier s'ils et elles sont sur le bon chemin. Une fois l'algorithme formalisé, les valeurs sont enlevées et les élèves appliquent l'algorithme en se basant uniquement sur le résultat des pesées. Une alternative est de trier des cartes aux valeurs apparentes en utilisant un « comparateur » sur lequel on pose les deux cartes à comparer, marquant ainsi chaque comparaison effectuée. Une fois l'algorithme formalisé, une élève trie cette fois les cartes retournées (sans en connaître les valeurs), alors qu'un autre élève joue le rôle du comparateur et indique chaque fois laquelle des deux cartes est la plus grande.

Ancrage corporel. Cette activité peut aussi être rendue plus immersive, en donnant à chaque élève une carte avec un nombre que lui seul peut voir. Les élèves doivent se trier de manière autonome selon un algorithme donné et peuvent, lors des comparaisons, se montrer un à un leur carte respective. De cette manière, les élèves matérialisent par leurs déplacements les différents algorithmes de tri et peuvent se rendre compte de leurs différentes dynamiques. Cette variante permet également d'aborder la question de la parallélisation des algorithmes de tri car elle permet d'explorer de manière intuitive et collective diverses stratégies de parallélisation de ces algorithmes.

En somme, l'activité de tri avec les balances peut être déclinée des manières suivantes :

1. choisir des contenant ne pouvant pas être posés à plusieurs sur un plateau ;
2. choisir un support rectiligne pour les contenants permettant ou pas d'insérer un contenant entre deux contenants consécutifs ;
3. utiliser un guide visuel pour le tri par fusion ;
4. mettre à disposition des marqueurs permettant de rendre visibles certains éléments de l'algorithme ;
5. indiquer dans un premier temps, ou pas, les valeurs associées aux contenants pour permettre aux élèves de s'auto-évaluer en continu ;
6. donner à certains élèves le rôle de la balance afin de découpler les comparaisons de l'ordonnement ;
7. distribuer à chaque élève une carte avec certaine valeur et les faire se trier selon un algorithme donné.

4 Conclusion

Si les théories de la cognition incarnée et de la métaphore ont déjà été mobilisées pour justifier globalement la pertinence des approches débranchées de l'informatique [20,11], cet article propose de s'appuyer sur leurs concepts pour étudier, analyser et concevoir des activités d'informatique débranchée considérées comme des métaphores incarnées de concepts informatiques. Les exemples de l'activité des cartes binaires et du tri avec balance nous montrent que les

quatre principes énoncés ci-dessus, issus des théories de la cognition incarnée, ont pu nous servir de grille de lecture pour analyser deux activités débranchées populaires et proposer diverses pistes d'ajustement, notamment pour calibrer la charge cognitive dévolue aux élèves, identifier les éléments nécessitant une attention particulière lors de phase d'objectivation et étendre l'activité pour aborder des notions plus complexes. Ces principes ne représentent pas un absolu, mais servent à illustrer la richesse des théories de la cognition incarnée et leur fécondité pour analyser et concevoir, de manière pratique des activités d'informatique débranchée. Une étude plus approfondie de ces théories, qui dépasserait le cadre du présent article, pourrait potentiellement affiner ces principes ou en dégager d'autres à même de servir de grille d'analyse et de conception pour ce type d'activités. Par exemple, le potentiel impact émotionnel de ces activités pourrait être pris en compte au vu du rôle des émotions dans l'apprentissage et la cognition que ces théories abordent également. Articuler les pratiques d'informatiques débranchées avec ces théories de la cognition incarnée est une manière de dépasser la question de l'efficacité relative de ces activités d'enseignement de l'informatique, par rapport à d'autre types d'activité, pour identifier les conditions et caractéristiques de ces activités qui favorisent, dans une perspective vygostkyenne, la formation, chez les élèves, des concepts scientifique en s'appuyant sur des concepts quotidiens [26]. Cela permettrait d' étoffer les activités d'informatique débranchée comme support de réflexion pour les élèves mais aussi pour les enseignants et enseignantes, tant sur les concepts informatiques que sur leur appropriation et leur manipulation.

Références

1. Battal, A., Afacan Adanır, G., Gülbahar, Y. : Computer Science Unplugged : A Systematic Literature Review. *Journal of Educational Technology Systems* **50**(1), 24–47 (Sep 2021)
2. Bell, T. : CS unplugged or coding classes ? *Communications of the ACM* **64**(5), 25–27 (May 2021)
3. Bell, T., Witten, I.H., Fellows, M. : CS unplugged (2015), <https://www.csunplugged.org>
4. Bettin, B., Ott, L., Hiebel, J. : Semaphore or metaphor? exploring concurrent students' conceptions of and with analogy. In : *Proceedings of the 27th ACM Conference on on Innovation and Technology in Computer Science Education* Vol. 1. pp. 200–206 (2022)
5. Boole, M.E. : *Philosophy and Fun of Algebra*. C.W. Daniel (1909)
6. Colburn, T.R., Shute, G.M. : Metaphor in computer science. *Journal of applied logic* **6**(4), 526–533 (2008)
7. El-Hamamsy, L., Chessel-Lazzarotto, F., Bruno, B., Roy, D., Cahlikova, T., Chevalier, M., Parriaux, G., Pellet, J.P., Lanarès, J., Zufferey, J.D., et al. : A computer science and robotics integration model for primary school : evaluation of a large-scale in-service k-4 teacher-training program. *Education and Information Technologies* **26**(3), 2445–2475 (2021)

8. Gibson, J.J. : The ecological approach to visual perception. Psychology press (2014)
9. Harper, C., Tran, K., Cooper, S. : Conceptual Metaphor Theory in Action : Insights into Student Understanding of Computing Concepts. In : Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1. pp. 463–469. SIGCSE 2024, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (Mar 2024)
10. Hofstadter, D., Sander, E. : L’analogie, cœur de la pensée. Odile Jacob (2013)
11. Hu, W., Huang, R., Li, Y. : Young children’s experience in unplugged activities about computational thinking : From an embodied cognition perspective. Early Childhood Education Journal **52**(4), 769–782 (2024)
12. Huang, W., Looi, C.K. : A critical review of literature on “unplugged” pedagogies in K-12 computer science and computational thinking education. Computer Science Education **31**(1), 83–111 (Jan 2021)
13. Lakoff, G. : Explaining embodied cognition results. Topics in cognitive science **4**(4), 773–785 (2012)
14. Lakoff, G., Johnson, M. : Metaphors we live by. University of Chicago press (1980)
15. Larsson, A. : Metaphors and Gestures in Programming Education. Programming and Computational Thinking in Technology Education. Brill (2023)
16. Mukhirez, E.J., Asqule, M., Hasan, M.S. : Effectiveness of CS Unplugged Program in Developing Programming Skills for Eighth Grade Female Students. IUG Journal of Educational & Psychological Studies **30**(4) (2022)
17. Nishida, T., Kanemune, S., Idosaka, Y., Namiki, M., Bell, T., Kuno, Y. : A CS unplugged design pattern. ACM SIGCSE Bulletin **41**(1), 231–235 (Mar 2009)
18. O’Regan, K. : Solving the " real" mysteries of visual perception : the world as an outside memory. Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie **46**(3), 461 (1992)
19. Petreska von Ritter, B., Edelmann, R., Da Silva, D., Farenc, N., Haussauer, V., Holzer, R., Pellet, J.P., Hersch, M. : Modulo, des moyens d’enseignement de l’informatique à visée participative. Petit x **119**, 7–19 (2023)
20. Romero, M., Lille, B., Viéville, T., Duflet-Kremer, M., De Smet, C., Belhassein, D. : Analyse comparative d’une activité d’apprentissage de la programmation en mode branché et débranché. In : Educodes-Conférence internationale sur l’enseignement au numérique et par le numérique (2018)
21. Sanford, J.P., Tietz, A., Farooq, S., Guyer, S., Shapiro, R.B. : Metaphors we teach by. In : Proceedings of the 45th ACM technical symposium on Computer science education. SIGCSE ’14, New York, NY, USA (2014)
22. Steiner, P. : Énaction, pragmatisme et minimalisme représentationnel, chap. 15, pp. 191–210. De Boeck Supérieur (2011)
23. Sweller, J., Van Merriënboer, J.J., Paas, F. : Cognitive architecture and instructional design : 20 years later. Educational psychology review **31**(2), 261–292 (2019)
24. Thies, R., Vahrenhold, J. : On plugging "unplugged" into CS classes. In : Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education. pp. 365–370. SIGCSE ’13, New York, NY, USA (Mar 2013)
25. Varela, F.J. : Autonomie et connaissance : essai sur le vivant. Seuil (1989)
26. Vygostky, L. : Pensée et langage. La dispute (1985)