
LA TÉLÉ-VISION : L'INFORMATIQUE DÉBRANCHÉE AU SERVICE DU CONCEPT D'INFORMATION

Jean-Marc VINCENT¹

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Inria, Grenoble INP, LIG

Maryline ALTHUSER²

Enseignante et Professeure Formatrice Académique - Académie de Grenoble, IREM de Grenoble

Résumé. Les enseignements de l'informatique, de l'école primaire au lycée, sont structurés par « les quatre concepts ou facettes » des objets de l'informatique et du numérique : l'information, l'algorithmique, les langages de programmation et les machines informatiques. L'objectif de l'activité *Télé-vision* analysée dans cet article est d'introduire les concepts fondamentaux de la facette « information » grâce à une séquence d'activités débranchées. Cette activité met en scène la transmission d'images d'un élève à un autre à l'aide de jetons bicolores. À l'aide de jetons, puis de faces d'un dé qui matérialisent l'information, les élèves conviennent d'un code, assurent l'encodage, la transmission et le décodage de l'information. Ils évaluent l'ensemble du protocole de transmission (correction du protocole, efficacité...). Une analyse réflexive des expérimentations pratiquées en cycle 3 (6^e) est menée pour identifier les savoirs enseignés ainsi que les compétences mises en jeu. L'activité est enfin considérée dans une perspective plus large (autres niveaux ou autres concepts).

Mots-clés. *Télé-vision*, informatique débranchée, information, codage, jeton, dé.

Abstract. Computer science teaching, from elementary school to high school, is structured around the “four concepts or facets” of computer science and digital objects: information, algorithms, programming languages and computing machines. The aim of the Tele-vision activity analyzed in this article is to introduce the fundamental concepts of the “information” facet through a sequence of unplugged activities. The sequence involves the transmission of images from one student to another, using two-colored tokens and next with 6-faced dices. Students design the transmission protocol, establish the standard property of correctness and evaluate the efficiency of the coding/decoding algorithms. An analysis of the experiments done in classes at the level “cycle 3” provides the knowledge and skills involved. Finally, the activity is considered from a broader perspective, extensions to other concepts and other levels of students.

Keywords. *Télé-vision*, unplugged activities, information, coding, token, dice.

Introduction

Objectif de l'article

L'objectif de cet article est d'analyser une activité conçue pour introduire au cycle 3 les concepts fondamentaux de l'information dans le domaine de l'informatique. Le but est d'enrichir progressivement le schéma classique de transmission de l'information (*cf.* figure 1) avec les termes de *code*, d'action d'*encoder/décoder*, de *représentation symbolique*.

La matérialisation des concepts grâce à des objets (jetons, paravents, grilles de papier, etc.) permet d'identifier les difficultés (choix de convention, mécanisme de représentation, complexité d'un code, etc.). Nous avons constaté de manière empirique qu'une approche d'informatique débranchée, par son côté manipulateur, conduit à une acquisition des concepts (code

¹ jean-marc.vincent@univ-grenoble-alpes.fr

² maryline.brue@ac-grenoble.fr

symbolique, encodage/décodage, complexité) et des savoirs faire (choix d'une représentation, construction d'un protocole de transmission, test de codes, etc.).

Cet article analyse l'ensemble de la démarche, du concept à la création de l'activité, sa mise en œuvre en classe et les procédés utilisés par les élèves.

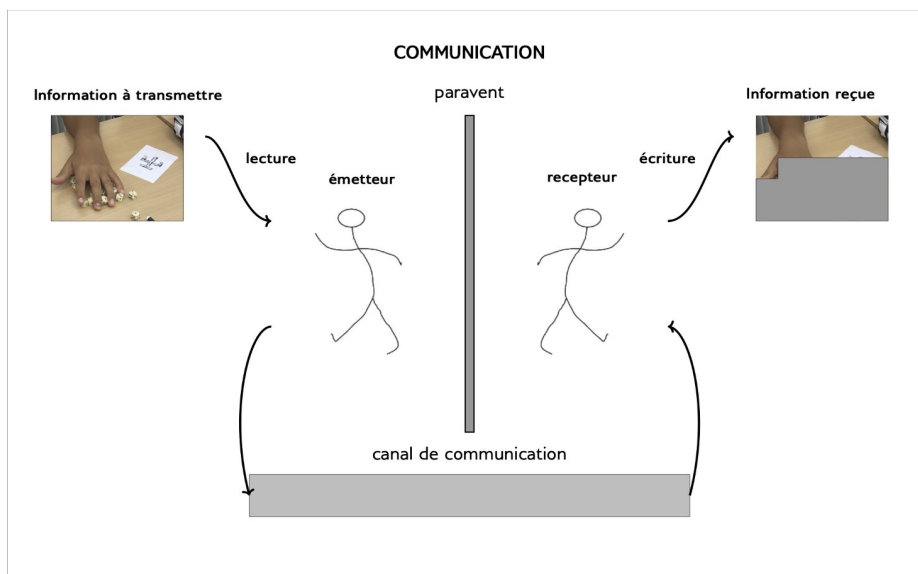


Figure 1 : Schéma de transmission de l'information.

Science informatique et technologies du numérique à l'école

Pour la plupart des personnes, et en particulier les élèves, l'informatique, les données, les objets numériques forment un monde *magique* avec lequel nous interagissons grâce à des interfaces (magiques également) de plus en plus sophistiquées, surfaces tactiles, agents conversationnels, lunettes augmentées. La prise de conscience du manque de compréhension de ce monde numérique omniprésent a généré un besoin social et sociétal de formation aux concepts de la science informatique et aux technologies du numérique. Engagée simultanément dans de nombreux pays, la formation en informatique est devenue un enjeu politique important qui n'a été que faiblement anticipé. En 2014 l'opération *One Hour of Code*, initiée par Barak Obama aux États-Unis, engage tout citoyen à apprendre à « programmer » et génère, au niveau mondial, une vague de travaux sur l'éducation à l'informatique. En Ontario, au Canada, les programmes conçus dès 2008 intègrent l'étude de l'informatique au lycée et de la programmation en primaire et au lycée³.

Par contre, au Royaume-Uni, le programme national élaboré en 2013 touche les élèves depuis l'école primaire jusqu'au lycée et explore les quatre piliers de l'informatique⁴.

En France la place de l'informatique croît dans l'ensemble des programmes, à l'école élémentaire (par exemple l'usage de robots et leur programmation), au collège (utilisation de *Scratch* pour réaliser de mini applications), au lycée filière générale avec SNT⁵ (enseignement

³ <https://www.dcp.edu.gov.on.ca/fr/curriculum/sciences-technologie/>

⁴ <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study>

⁵ Sciences numériques et technologie.

obligatoire en seconde) puis NSI⁶ comme enseignement de spécialité. Des évolutions similaires sont constatées dans la plupart des pays européens. Une tentative d'homogénéisation européenne dans un référentiel pour l'éducation à l'informatique a été proposée par l'association *Informatics for All*⁷.

Cependant, la construction de nouveaux curriculums cohérents de formation et leur mise en œuvre ont nécessité une réflexion en amont sur les contours de la « science informatique ». Celles-ci, engagées par la communauté scientifique, ont été formalisées par Dowek (2011) qui dégage quatre concepts fondamentaux de l'informatique : machine, algorithme, langage (au sens de langage de programmation) et information. Ces concepts sont précisés dans chaque préambule des programmes scolaires de lycée de SNT et NSI^{8,9,10}. Ils servent ainsi d'ossature pour la structure des enseignements en informatique. Au cycle 4, les quatre concepts ne sont pas tous traités : la programmation est étudiée conjointement en Technologie et en Mathématiques et la partie machine est traitée en Technologie. Ces deux matières ont inclus une partie « Informatique et Programmation » à leurs curriculums depuis 2016.

La pensée informatique en cycle 3

En parallèle de cette définition de la science informatique, d'autres chercheurs se sont interrogés sur la spécificité de la *pensée informatique* (*computational thinking*), qui s'appuie sur l'expérience, les raisonnements, les approches de conception qui se sont développées dans le monde de l'informatique et du numérique. Ceci concerne principalement les méthodes empiriques de résolution de problèmes complexes. Ces idées sont présentes dans d'autres domaines scientifiques, en particulier en mathématique. Un des textes initiant cette réflexion a été écrit par Wing (2006). Parmi les traits importants de cette pensée que nous exploiterons dans notre activité, sont présents le choix d'une représentation appropriée pour un problème, la recherche de pire cas, la notion de parallélisme, le fait de considérer le code comme une donnée et des données comme du code, d'utiliser l'abstraction et la décomposition pour réduire un problème. Ces approches correspondent aux objectifs décrits dans le document d'accompagnement *Algorithmique au cycle 3*¹¹ qui précise « *qu'il s'agit surtout d'initiation à la pensée algorithmique, plus qu'à la programmation* ».

Didactique de l'informatique

Certains aspects de l'informatique, par exemple les apprentissages en algorithmique et programmation, ont déjà été abordés par des didacticiens en informatique (travail autour de la notion de variable et d'affectation, de la notion d'itération). Par contre les concepts d'information nous semblent, à notre niveau de connaissance, peu abordés dans le domaine de la didactique. Par exemple, en mathématique des études se sont concentrées sur la représentation symbolique des nombres et ne se généralisent pas à tout type d'information. La représentation du nombre par une numération de position dans le système décimal présentant déjà un champ d'étude très important.

⁶ Numérique et sciences informatiques.

⁷ <https://www.informaticsforall.org/the-informatics-reference-framework-for-school-release-february-2022/>

⁸ <https://eduscol.education.fr/document/23494/download>

⁹ <https://eduscol.education.fr/document/30007/download>

¹⁰ <https://eduscol.education.fr/document/30010/download>

¹¹ <https://eduscol.education.fr/document/18475/download>

Selon Declercq (2021),

L'absence, à l'heure actuelle, de cadre de référence unique pour une didactique de l'informatique scolaire incite à emprunter des références aux sciences de l'éducation, aux didactiques voisines, à la psychologie et à l'ergonomie (Declercq, 2021, p. 3).

Les grandes orientations du colloque DIDAPRO-9¹² indiquent que :

L'enjeu est non seulement de poursuivre la confrontation des regards sur l'enseignement et l'apprentissage de l'informatique entre praticiens, informaticiens et spécialistes de l'éducation (didacticiens, psychologues de l'apprentissage, sociologues des usages du numérique, linguistes, SIC, etc.) mais aussi, de mettre en lumière en quoi l'informatique en tant qu'objet d'enseignement peut contribuer à la construction d'une culture nécessaire pour mieux appréhender notre société numérique.

Cet article tente de participer à l'enrichissement du panel d'expériences réflexives afin de contribuer, à sa modeste mesure, à la didactique de l'informatique, mais notre article ne sera pas basé sur une démarche didactique établie.

Organisation

Dans une première partie de cet article, nous présentons les différents concepts scientifiques liés à la facette « information » qui induisent les objectifs de la séquence d'activités construite. Une deuxième partie abordera le choix pédagogique d'utiliser l'informatique débranchée pour incarner les différents concepts. La description des activités proposées et leur positionnement par rapport aux concepts seront détaillés dans la troisième partie, chaque phase de l'activité sera présentée avec une analyse *a priori* et un retour sur l'expérimentation. Enfin, une analyse *a posteriori* est proposée, à partir de la synthèse effectuée par les enseignants et le retour sur les productions des élèves.

1. Concepts

1.1. Le concept d'information : définition et propriétés

Afin d'éviter les incompréhensions, il est indispensable d'explicitier rapidement aux élèves la définition du mot « information » dans le contexte de l'informatique. En effet, le mot « information » est polysémique, dépendant du contexte dans lequel il est employé (philosophie, médias, juridique). Dans l'enseignement de l'informatique, nous utilisons la définition proposée par l'Éducation Nationale : « *élément de connaissance susceptible d'être représenté à l'aide de conventions pour être conservé, traité ou communiqué* » (B.O.E.N. n°8 du 26 février 1981)¹³.

Dans le dictionnaire *Le Robert* :

Information - III Sciences - Ce qui peut être transmis par un signal ou une combinaison de signaux (message) selon un code commun et par un canal ; ce qui est transmis (objet de connaissance, de mémoire). Traitement informatique de l'information.

La notion d'information sous-entend donc l'utilisation d'une « machine » assurant le traitement, le stockage et la transmission, ces opérations étant réalisées par des programmes. Dans le cas de

¹² Grandes orientations du colloque DIDAPRO-9, Le Mans, 2022. Comité d'organisation : C. Declercq, INSPÉ de l'académie de la Réunion ; J. Lehuen, P. Leroux, V. Renault, Le Mans Université ; A. Séjourné, INSPÉ de l'académie de Nantes.

<https://www.didapro.org/9/objectifs-et-themes/>

¹³ <https://www.cnrtl.fr/lexicographie/information>

l'informatique, la connaissance se présente sous *forme symbolique*, les symboles appartenant à un *alphabet fini*. Les symboles sont associés dans des séquences permettant d'assurer leur stockage ou transmission grâce à des dispositifs physiques. En particulier, l'alphabet constitué des deux symboles 0 et 1 est utilisé, et l'information circule sous la forme de séquences de 0 et de 1. Des *conventions* permettent également de structurer l'information en fonction du sens que l'on veut donner à la séquence de symboles et débouche sur la notion de langage informatique.

Dans le langage courant, l'activité de représentation symbolique d'une information est souvent décrite comme le codage de l'information, le code étant parfois la représentation ou également la méthode de représentation. Par exemple, le terme « code secret » est utilisé pour décrire une table de substitution de symboles. Il faut être attentif car le terme de « coder » est également utilisé pour l'activité de programmation d'un ordinateur et un code correspond dans ce cas à un programme informatique.

Dans cet article, nous utiliserons le terme « code » pour décrire la méthode de représentation de l'information sous forme symbolique, l'action d'*encoder* construit une représentation symbolique d'une information à partir d'un code, l'action de *décoder* reconstruit l'information à partir du code et d'une représentation symbolique.

Pour correspondre à une situation classique de communication, nous appellerons « émetteur » l'acteur qui encode l'information en vue de la transmettre, « récepteur » l'acteur qui décode la représentation symbolique de l'information et la restitue et « canal de communication » le support qui assure physiquement la transmission de la séquence de symboles. Dans un premier temps nous supposons que le canal est *fiable*, c'est-à-dire que les symboles sont reçus tels qu'ils ont été émis, (le même nombre de symboles, dans le même ordre et sans modification des symboles). Dans un deuxième temps, en continuité de cette activité et avec le même matériel, la notion de *canal non fiable* sera abordée pour l'introduction des codes correcteurs et de redondance d'information.

Pour être « utilisable », un code doit être *non-ambigu*, c'est-à-dire que deux informations différentes ne doivent pas être représentées par la même séquence de symboles. En termes plus formels, l'action d'encodage doit être injective. Un code sera dit *correct* lorsque la composition de l'action d'encodage et de décodage reconstruit l'information initiale. On peut remarquer que l'encodage et le décodage ne sont pas nécessairement des bijections entre un ensemble d'informations et un ensemble de séquences de symboles. Par exemple, on propose un codage binaire de longueur fixe (5) des lettres de l'alphabet. Il y a $2^5=32$ séquences possibles, mais seulement 26 sont utilisées.

La comparaison de codes différents résolvant un même problème de transmission d'information nécessite des critères d'évaluation d'un code.

- un premier critère est la *complexité algorithmique* des actions d'encoder et de decoder, c'est-à-dire la difficulté d'encoder/décoder qui peut nécessiter un grand nombre d'opérations ;
- un deuxième critère est l'*efficacité* du code, c'est-à-dire la ou les longueurs des séquences produites par l'action d'encodage : ceci représente l'utilisation de la ressource « canal » ; lorsque l'information est représentée par des séquences de même longueur, le code est dit *de longueur fixe*, sinon il est dit *de longueur variable* (on peut alors étudier la longueur minimale, maximale, la moyenne...) ;
- un troisième critère est la *fiabilité* du code, c'est-à-dire la capacité du code à faciliter la

reconstruction l'information lorsque le canal est défaillant. Cet aspect ne sera évoqué dans cet article que pour anticiper des prolongements de cette activité.

Enfin, une question fondamentale est posée : pour une information donnée, quelle est la quantité minimale de symboles nécessaires pour pouvoir la transmettre (incluant le code) ? C'est le concept de *quantité d'information*, introduit par Shannon (1948), qui sera le fondement de la théorie de la communication (Le Boudec *et al.*, 2015), et qui débouchera sur la construction de protocoles de communication, d'algorithmes de compression et de manière plus générale sur la notion de complexité au sens de Kolmogorov¹⁴.

1.2. L'informatique sans ordinateur

Un des principaux obstacles dans l'apprentissage de l'informatique est parfois l'ordinateur. Objet technique complexe, en général assez cher, accompagné d'un jargon souvent obscur pour le néophyte, l'ordinateur nécessite un effort considérable pour une première prise en main et l'utilisateur peut avoir le sentiment d'être dépassé, de perdre sa confiance en soi et peut finalement rejeter cet objet.

Pour surmonter cette réticence et aider à comprendre les principes de l'informatique, plusieurs membres de la communauté scientifique se sont appuyés sur des manipulations d'objets usuels, détournés de leur usage traditionnel et permettant d'illustrer les concepts classiques de l'informatique. L'équipe du *Computer Science Education Research Group* de l'Université de Canterbury, en Nouvelle-Zélande, pilote le projet CS Unplugged (CS Unplugged, 2022) et a développé un ensemble d'activités destinées au premier regard à la médiation scientifique. Une première version en français a été coordonnée par l'équipe d'*Interstices*¹⁵ en 2009 et régulièrement actualisée depuis¹⁶. Des travaux proposent des adaptations à différents niveaux de classes avec des ressources les accompagnant, à destination des enseignants (Bell & Vahrenhold, 2018). Cette initiative a reçu un accueil enthousiaste de la communauté éducative et scientifique, le site a été traduit dans plusieurs langues, le document français a été traduit par l'équipe d'*Interstices*, accessible sur leur site avec une mise en perspective (Cosmo, 2014). Un groupe de travail national, soutenu par la *Société Informatique de France* assure la diffusion de telles activités (SIF, 2022). Un premier ensemble d'activités en informatique sans ordinateur a été présenté dans le numéro spécial de tangente éducation n° 42-43, contenant un ensemble de pistes et de références vers des activités de niveau collège.

Cependant, peu d'expérimentations ont été menées sur les apprentissages en informatique avec des activités débranchées en contexte de classe. Drot-Delange (2013) mène une analyse de plusieurs activités de ce type. Les expérimentations sont très diverses, et les résultats obtenus tout autant ; une expérimentation montre :

qu'il n'y a pas de gain significatif en termes de confiance ou d'intérêt pour l'informatique, ni en termes de compréhension des contenus. Les auteurs émettent plusieurs hypothèses pour expliquer ce résultat : les activités basées sur les jeux et la manipulation conviendraient mieux aux plus jeunes élèves qu'aux plus âgés (Drot-Delange, 2013, p. 6).

La conclusion d'une autre expérimentation montre que lors de cette activité débranchée, les élèves ne font pas le lien avec les concepts informatiques abordés. En conclusion de cet article,

¹⁴ <https://www.cristal.univ-lille.fr/~jdelahay/pls/111.pdf>

¹⁵ Revue de culture scientifique en ligne, créée par des scientifiques de l'Inria pour inviter à explorer les sciences du numérique.

¹⁶ <https://interstices.info/wp-content/uploads/2018/01/csunplugged2014-fr-comp.pdf>

Béatrice Drot-Delange (2013) constate : « *Les travaux existants sont peu comparables et non cumulables par la diversité des situations étudiées* » (p. 12) et met en perspective :

C'est un programme de recherche qui s'ouvre, mais qui nécessite des réflexions concernant les protocoles à mettre en œuvre. La recherche sur ces apprentissages ne pourra pas faire l'impasse sur la réflexion à conduire en parallèle sur la didactique de l'informatique et ses champs conceptuels (ibid., p. 12).

Les activités sans ordinateur ne peuvent pas être décorréelées des activités avec ordinateur. En effet, certaines des études menées précédemment se basaient sur des curriculums n'utilisant que des activités sans ordinateur. Cependant les activités CS Unplugged sont conçues pour être utilisées en conjonction de leçons de programmation plus conventionnelle, donc avec l'utilisation d'un ordinateur (Bell & Vahrenhold, 2018). Là aussi, il nous semble important de pouvoir disposer de plus d'études scientifiques évaluant la complémentarité entre l'informatique débranchée et la programmation. Les communautés scientifiques et didactiques pourront à l'avenir s'emparer de ce domaine de recherche.

L'usage de manipulation d'objets pour des apprentissages est une idée ancienne. Par exemple, Gentaz et Bara (2021) affirment :

Un nombre important de recherches comportementales montrent que les systèmes cognitif et sensorimoteur sont intimement liés et que l'interaction entre le corps et l'environnement favorise les apprentissages dans différents domaines tels que le langage, la lecture, le nombre, la géométrie, et la résolution de problème (Gentaz & Bara, 2021, p. 21).

Dans le domaine de l'informatique, citons l'ouvrage de Crozet et Groperrin (1987) qui, dès les premiers enseignements d'informatique dans les cursus scolaires français, soulignait l'importance de faire agir physiquement les élèves pour comprendre l'informatique. Actuellement, le *rapport Torossian-Villani*, qui a été remis en 2018, propose 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques. La cinquième mesure concerne les étapes d'apprentissage, fondée sur la manipulation et l'expérimentation, la verbalisation et l'abstraction¹⁷. Les attendus des programmes de mathématiques de cycle 4 proposent actuellement de manière explicite que les élèves réalisent des activités débranchées¹⁸.

1.3. Positionnement de l'activité dans le contexte institutionnel

À l'école élémentaire, les programmes nationaux intègrent une initiation à la programmation dès le cycle 3, notamment par la programmation des déplacements d'un personnage sur un écran, puis par la construction de figures géométriques¹⁹.

Dans ce cas, l'alphabet est constitué des instructions correspondant aux différents déplacements. Les déplacements sont exprimés dans un référentiel absolu, liés à l'environnement (« aller vers l'ouest », « aller vers la fenêtre », ...) ou relatif, liés à la position et l'orientation du personnage (« avancer », « tourner d'un quart de tour à gauche », ...) :

- les élèves vivent des situations où ils doivent encoder un déplacement, c'est-à-dire qu'ils doivent écrire une séquence de symboles correspondant à ce déplacement,
- ou bien décoder une séquence de symboles, c'est-à-dire qu'ils doivent lire une séquence de symboles pour effectuer le déplacement correspondant. Cette activité se décline en

¹⁷ <https://www.education.gouv.fr/21-mesures-pour-l-enseignement-des-mathematiques-3242>

¹⁸ <https://eduscol.education.fr/document/14068/download>

¹⁹ <https://eduscol.education.fr/document/14026/download>

mode débranché. Le groupe *Informatique de l'école jusqu'à l'université* de l'IREM de Grenoble en propose une version adaptée à la mise en œuvre en classe en cycle 2²⁰.

Le positionnement de l'activité Télé-vision en fin de cycle 3 nous paraît pertinente dans plusieurs optiques :

- renforcer des notions de pensée algorithmique et d'éléments de programmation (séquence, itération, flux...), découvertes dans les classes de primaire ;
- questionner la représentation de l'information en lien avec la représentation du nombre : numération de position et représentation du nombre en cycle 3. Ces notions sont abordées en début de 6^e ;
- préparer le terrain pour l'acquisition de la compétence « comprendre le fonctionnement d'un réseau informatique », explicitement mentionnée dans les programmes de technologie en cycle 4.

De plus, cette activité s'inscrit de même dans un continuum d'activités débranchées proposées tout au long de la scolarité afin d'introduire certains concepts informatiques. Proposer l'activité *Télé-vision* en cycle 3 permet aux élèves d'arriver à produire une abstraction du concept d'information, ce qui serait un problème trop complexe à traiter autrement (cela supposerait une connaissance de l'encodage en mémoire, de signal analogique, de conversion, de langage de programmation...). Ainsi, cette activité permet de rendre explicite certaines des contraintes physiques rencontrées dans une situation de communication numérique.

2. L'activité *Télé-vision*

2.1. Description de l'activité

Dans le cadre de l'activité, il est demandé à un élève de transmettre à un autre élève une image, représentée par une grille 5×5. Un exemple d'image est montré à la classe. Dans la première partie de l'activité, les élèves utiliseront uniquement, comme support de l'information, des jetons de couleurs, l'élève dispose d'une réserve de jetons rouges et de jetons bleus. La deuxième partie de l'activité étendra ce support à 6 symboles qui seront matérialisés par les faces d'un dé.

²⁰ <https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/recherche-action/informatique-de-l-ecole-jusqu-au-lycee/activite-programmation-le-robot-idiot-592066.kjsp?RH=1522849892805>

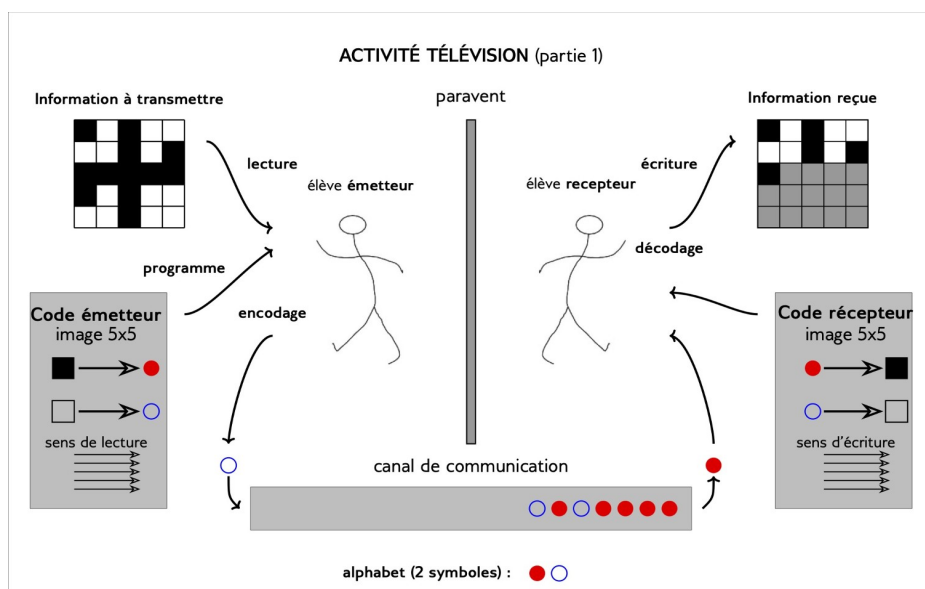


Figure 2 : Schéma de la première partie de l'activité Télé-vision.

Chacune des deux parties de l'activité est découpée en trois phases. Dans une phase préliminaire les élèves se mettent d'accord sur un code émetteur/récepteur. Puis dans une seconde phase ils réalisent la transmission de l'information. Toute autre communication qu'une suite de jetons, puis de dés, est interdite. Ils répètent cette phase plusieurs fois en échangeant les rôles et les partenaires. Enfin une phase de synthèse permet un retour à la classe avec un partage des stratégies et une analyse de celles-ci.

2.2. Objectifs de la première partie

L'objectif de cette partie est l'acquisition de la notion d'encodage de l'information par un émetteur afin de la transmettre et de décodage par le récepteur qui restitue l'information. Cela correspond à l'appropriation du schéma ci-dessus par les élèves.

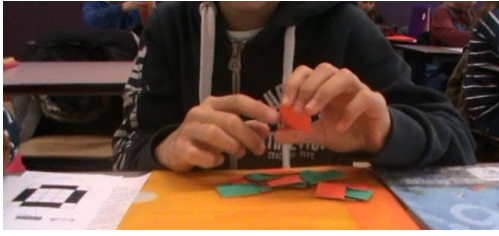
2.3. Mise en œuvre de la première partie

L'activité se déroule en classe entière, les élèves sont placés en binômes et le professeur mène la séance. Cette première activité dure environ 50 min.

Dans cette activité, les élèves doivent se transmettre des images simples représentées par une grille de 5×5 pixels noirs ou blancs en se faisant passer les informations sous forme d'objets : des jetons de couleur, 2 couleurs étant disponibles. Pour cela, les élèves auront besoin d'explicitier leur encodage.

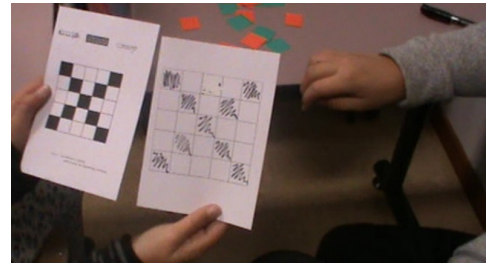


Un des élèves du binôme est l'émetteur, qui recevra du professeur une image et devra la transmettre à son voisin sous forme de jetons. L'autre élève est le récepteur ; il restituera l'image de départ sur une grille vierge à partir des jetons reçus. Aucun des deux ne doit voir la grille de son voisin. Il leur est donc demandé de mettre un classeur entre eux pour cacher leur travail.



Les élèves doivent se mettre d'accord dans leur binôme sur un code de transmission de l'information, puis l'émetteur fait passer un par un les jetons au récepteur, qui recrée une image sur une grille vierge. Lors de la transmission, ils se passent les jetons, un seul à la fois, sans parler et sans voir la grille de son voisin.

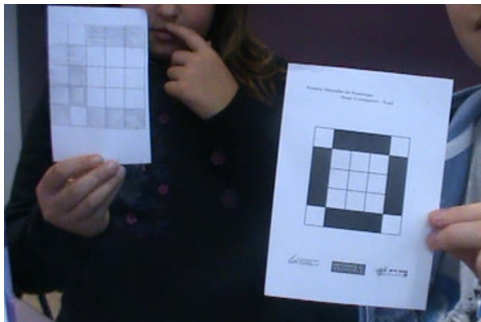
Une fois la transmission terminée (lorsque l'émetteur cesse d'envoyer des jetons), les élèves vérifient entre eux qu'elle s'est faite correctement par comparaison des deux grilles, sinon ils essaient de déterminer les erreurs commises.



La fiche élève²¹ distribuée au début de l'activité propose des questionnements aux élèves :

- Avez-vous réussi à transmettre l'image correctement ?
- Sinon, quel genre d'erreur avez-vous commise ?
- Comment pourriez-vous l'éviter ?
- Combien de jetons avez-vous utilisés en tout ?

Le professeur guide les élèves par son questionnement dans le cas où le groupe a besoin d'aide pour se mettre d'accord.



Le groupe doit être capable de fournir une explication commune, ce qui permet une mise à plat des incompréhensions et un travail commun sur le langage.

Lorsque les élèves ont changé de rôles (échange de l'émetteur et du récepteur) et transmis plusieurs images de formes différentes. On forme de nouveaux binômes d'élèves et on recommence l'activité.

À la fin de l'heure, un bilan est fait afin de comparer les conventions de codage choisies par les différents groupes.

2.4. Objectifs de la deuxième partie

L'objectif de cette partie est la généralisation de la transmission avec un autre ensemble de symboles. Les algorithmes d'encodage et de décodage sont alors plus complexes et les choix de représentation peuvent être comparés par leur efficacité, c'est-à-dire le nombre de symboles transmis.

2.5. Mise en œuvre de la deuxième partie

L'activité se déroule en classe entière, les élèves sont placés en binômes, le professeur mène la

²¹ <https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/recherche-action/themes/informatique-de-l-ecole-jusqu-au-lycee/activite-autour-du-codage-la-tele-vision-498791.kjsp?RH=413148517470877>

séance. Cette 2^e activité dure environ 50 min, donc le temps d'une séance de cours. L'activité est la même, mais cette fois des dés sont utilisés pour transmettre l'information.



Figure 3 : Organisation de la transmission d'une image dans un groupe.

On précise que le sens commun de lecture est fixé pour faciliter les discussions ensuite : l'image est lue de gauche à droite, de haut en bas et dans un flux continu, c'est-à-dire ligne par ligne avec un retour à la ligne automatique. C'est comme si les 25 pixels étaient alignés les uns à la suite des autres.

Le déroulé est ensuite identique à la première partie de l'activité, mais un questionnaire est ajouté : parviendrez-vous à utiliser le moins de dés possible ?

Le professeur passe voir les groupes pour leur demander la convention de codage qu'ils ont sélectionnée. Il relance l'activité des élèves par un questionnaire pertinent par rapport à la convention choisie :

- *Y a-t-il des images impossibles à transmettre ?*
- *Certaines images sont-elles plus faciles à transmettre que d'autres ?*
- *Pour des images particulières, pouvez-vous réfléchir à une manière d'améliorer votre convention de codage ?*

À la fin de l'heure, un bilan est fait afin de comparer les conventions de codage choisies par les différents groupes.



3. Méthode

3.1. Participants et mise en œuvre

Cette activité a été mise en œuvre chaque année en classe de 6^e à partir de 2016, dans plusieurs collèges de l'académie de Grenoble. Elle a été déployée dans le cadre de la formation de tous les enseignants de collège (mathématiques et technologie) de l'académie de Grenoble lors de la

réforme du collège en 2016.

Cet article rend compte des observations menées dans des classes de 6^e. Les observations ont eu lieu au collège Jean Prévost de Villard de Lans en 2016, puis au collège Stendhal de Grenoble en 2017, 2018, 2019 et 2022. Les élèves participant à l'expérimentation n'avaient jamais travaillé la notion d'information. Ils n'avaient pas non plus travaillé sur des activités débranchées.

Le travail est mené en groupes de 2 voire 3 élèves. Les élèves travaillent sur un vocabulaire commun, décident d'une convention d'encodage et, avant la mise en œuvre, échangent entre eux sur les propriétés/qualités attendues de ce code.

Le mode opératoire pour la mise en place de l'activité est important. En effet, le professeur laisse les élèves résoudre le problème en groupe. Le rôle de l'enseignant est de les accompagner dans l'analyse de leur solution. Comme il existe de multiples solutions, la créativité des élèves peut s'exprimer.

La validation par comparaison des images est immédiate. Ainsi, la méthodologie « essai-erreur » permet d'incarner le concept de convention non ambiguë de codage de l'information.

Il est important que le professeur prenne le temps d'aller voir tous les groupes, pour répondre aux questions. Il doit alors apporter l'aide nécessaire à chacun : réexpliquer la consigne à certains, faire reformuler, répondre aux questionnements, encourager à continuer, valider certaines réponses, commencer à lancer des pistes de prolongements pour d'autres...

3.2. Choix de gradation dans les concepts mis en jeu

Le schéma de communication *émetteur-canal-récepteur* précédent est l'archétype de tout protocole de communication numérique. Il sera repris dans la suite du cursus, en technologie au collège puis plus tard, au lycée, en SNT/NSI pour l'étude des réseaux informatiques.

Le choix de l'image comme information à transmettre présente plusieurs avantages par rapport à d'autres supports que nous aurions pu choisir (nombre, texte, musique, etc.) :

- facilité de présentation, objet de la vie courante ;
- pas d'encodage « naturel » ;
- simplicité et lisibilité, en particulier pour la vérification ;
- sensibilisation à la représentation numérique des images qui sera vue en SNT avec l'étude de différents formats de représentation : pbm (noir et blanc), pgm (niveau de gris) ou ppm (couleur).

Pour des raisons opérationnelles, nous avons choisi pour chacune des deux parties de l'activité d'insister plus particulièrement sur un ou plusieurs concepts de l'information. Une proposition de progression entre les deux parties est donnée dans le tableau 1.

Domaine	Concept travaillé	Première partie	Deuxième partie
Information	Alphabet et symbole	Acquisition	Renforcement
	Séquence de symboles	Acquisition	Réinvestissement
	Ambiguïté et correction	Introduction	Acquisition
	Encodage	Sensibilisation	Renforcement
	Décodage	Sensibilisation	Renforcement

	Complexité algorithmique	Sensibilisation	Acquisition
Machinisme algorithmique	Support physique de l'information	Introduction	Acquisition
	Efficacité et quantité d'information	Sensibilisation	Acquisition
	Fiabilité (optionnel)	Acquisition	Réinvestissement

Tableau 1 : Proposition de progression pour les deux parties.

3.3. Compétences visées

L'activité *Télé-vision* a pour but l'acquisition de connaissances et compétences concernant la représentation binaire de l'information et plus généralement la représentation symbolique.

Les principales *compétences spécifiques en informatique* (Declercq, 2021) mises en jeu dans cette activité sont les suivantes :

- l'abstraction : les élèves doivent choisir une représentation symbolique appropriée ainsi que les conventions de codage ;
- l'anticipation : prévoir les résultats et utiliser cette prédiction pour construire des illustrations et des contre-exemples ;
- l'évaluation : apprécier un programme pour sa correction et son efficacité.

Ces compétences disciplinaires complètent les compétences attendues en mathématiques, en sciences et en technologie en fin de cycle 3.

3.4. Variables didactiques

Les variables didactiques qui nous semblent importantes sont :

- **la forme du travail collectif** (variable organisationnelle) : on peut envisager deux formes dans l'activité :
 - taille du groupe : binôme ou trinôme (avec des rôles spécifiques : émetteur, récepteur, arbitre) ; les rôles sont échangés en cours d'activité ;
 - modification de la constitution des groupes : à la fin de la 1^{re} phase, les groupes sont mixés, cela permet la confrontation des différentes conventions de codages et du sens de lecture, ainsi que le test de celles-ci.

Ce travail collectif permet aux élèves d'échanger leurs points de vue, de discuter autour des propositions de chacun et d'être obligés de prendre une décision commune.

- **la forme et la taille de la grille** (variable spatiale) : Nous avons choisi d'utiliser une grille carrée. D'autres formes sont possibles, mais il nous semblait que la lecture par les élèves en serait facilitée. Le haut de la feuille est toujours spécifié pour ne pas créer de confusion inutile. Nous avons choisi de proposer une grille de 5×5 pixels. En effet, cela signifie 25 pixels. Cela permet une durée de transmission d'image satisfaisante (ni trop longue, ni trop courte) pour que les élèves puissent réaliser cette activité à plusieurs reprises. Une grille plus petite (3×3 ou 4×4) n'aurait pas permis de faire émerger certaines procédures d'élèves, par exemple pour le dé à 6 chiffres, dans la deuxième partie.
- **le choix et l'ordre des images** proposées aux élèves (variable de progressivité). Le

professeur distribue à chaque groupe une image différente. Il commence par des images présentant des axes ou un centre de symétrie (les élèves de 6^e sont capables de reconnaître des éléments symétriques, même s'ils ne sont pas forcément capables de formuler qu'il s'agit de la symétrie centrale). Après quelques essais, les élèves sont ainsi amenés à réfléchir à des stratégies pouvant minimiser le nombre de jetons utilisés, par exemple, en utilisant les propriétés de la symétrie. Le professeur présente ensuite des images ne présentant pas de propriétés de symétrie afin de généraliser les conventions choisies à tout type d'image.

- **le type d'objet transmis** (variable matérielle). Dans la première partie, nous avons choisi des jetons dont les faces sont de deux couleurs différentes : la maniabilité et le faible poids (transport aisé pour le professeur) expliquent ce choix. Nous avons sciemment choisi de ne pas utiliser le noir et le blanc pour les couleurs de nos jetons, ni de couleurs trop proches du noir ou du blanc. Nous choisissons d'utiliser deux couleurs pour que les élèves se posent la question de la correspondance entre les couleurs du jeton et le noir et blanc de l'image. Il est nécessaire que les élèves se mettent d'accord sur la correspondance entre la couleur des jetons et la couleur des pixels. Pour les élèves déficients visuels, il serait possible de remplacer ce matériel par des jetons dont les faces seraient de deux matières différentes et l'image serait alors en relief. Dans la deuxième partie de l'activité, notre choix s'est porté sur des dés cubiques. Le dé permet de proposer 6 symboles différents. Ce choix n'est pas associé aux notions informatiques, car pour copier la notion de bit et d'octet, il faudrait proposer un objet permettant 4 ou 8, ou une puissance de 2, symboles possibles. D'autres choix que le dé classique auraient été possibles : pourquoi ne pas proposer des objets représentant 3 ou 4 symboles (jetons colorés) ? Notre choix s'est porté sur le dé car c'est un objet facilement manipulable et très commun, mais surtout 6 symboles seront bien adaptés à la dimension de la grille 5×5 (codage des lignes/colonnes). De plus, le dé permet, contrairement aux jetons, d'utiliser le symbole obtenu sous deux statuts différents : il peut représenter un nombre (exemple : stratégie dans laquelle le symbole représente un nombre de pixels de la même couleur à la suite) ou il peut représenter une caractéristique spéciale (exemple : stratégie dans laquelle un symbole du dé représente un motif particulier).
- **le choix de la création de l'image** par l'élève (variable organisationnelle). Dans la deuxième partie, l'un des élèves doit créer une image qui sera ensuite utilisée par ses camarades. Cela permet à l'élève créateur (la fonction sera prise par tous les participants à tour de rôle) de réfléchir au statut de l'image qu'il doit créer : une image qui constituera un piège pour ses camarades ? Une image qui minimise la longueur de la séquence en fonction du code choisi ? Une image au hasard ?

4. Retours d'expérimentations

4.1. Observations après la première partie

On constate de prime abord une entrée immédiate dans l'activité, de par son côté ludique. L'engagement dans la tâche est facilité et ce pour TOUS les élèves, du fait de la simplicité des consignes et de la manipulation d'objets.

À la fin de l'activité, une mise en commun est organisée. Plusieurs groupes proposent à la classe leur convention de codage. C'est ce moment qui va permettre aux élèves de prendre du recul sur l'activité menée et au professeur de commencer à institutionnaliser les connaissances.

Les codages proposés par les élèves reposent surtout autour des 2 paramètres suivants :

- **la couleur du jeton** (correspondance entre couleur du jeton et couleur du pixel) ;
- **le sens de lecture** (ordre dans lequel les pixels sont lus, par ligne, par colonne, en spirale...)

Une discussion est engagée avec eux autour de ces paramètres et de leur importance. Le professeur explicite que le point clé est la décision d'une convention qui sera maintenue tout au long de la transmission.

Le professeur interroge ensuite les groupes sur le nombre de jetons utilisés. Les élèves répondent que le nombre de jetons transmis est 25. Le professeur les questionne sur la possibilité de diminuer cette quantité.

Certains élèves proposent de diminuer ce nombre en utilisant par exemple un ou plusieurs premier(s) jeton(s) qui donneront des éléments sur une symétrie éventuelle ou sur des lignes ou colonnes blanches ou noires ou qui se répètent.

On élaborera alors un questionnement collectif autour des notions de facilité de codage, d'adaptation de son codage en fonction du type d'image...

À la fin de la première partie, le professeur explique alors le lien entre l'activité et la notion de codage binaire de l'information : le travail qui a été effectué est en réalité celui qui est fait par l'ordinateur. Une image doit être transmise : l'ordinateur utilisé transmet cette image à un autre ordinateur uniquement en utilisant une information binaire (0 ou 1 : absence ou présence d'électricité). Il est indispensable de se mettre d'accord sur une convention de codage commun pour la bonne lecture de l'image. Les élèves comprennent que les symboles 0 et 1 ne sont qu'arbitraires et qu'on aurait pu en choisir d'autres.

Tous les élèves ont assimilé que l'on peut représenter une information complexe (image) avec des objets très simples (suite de jetons bicolores). C'est la base du codage binaire de l'information, qui permet de stocker, transmettre et manipuler toutes sortes de représentations numériques dans une mémoire informatique.

4.2. Observations après la deuxième partie

Lors de la deuxième partie, la discussion entre élèves est plus nourrie, car la diversité des possibilités dans le choix des codes est importante. Ils se posent des questions autour de la fiabilité du code, de la robustesse de celui-ci et débattent entre eux des avantages et inconvénients des codes proposés par chaque élève du groupe.

Les concepts de la première partie sont acquis pour la plupart des élèves, notamment la nécessité de décider d'un codage commun, tout en étant rigoureux dans leur expression du code.

À la fin de la deuxième partie, le professeur fait le lien avec la situation rencontrée lors de la transmission d'information entre machines informatiques. Avec l'avènement du web, le nombre, la qualité et la taille des images transmises entre ordinateurs croissent d'année en année. Les infrastructures qui assurent les transmissions, par contre, ne peuvent pas croître de la même manière. Il est donc nécessaire de trouver des moyens de transmettre moins de symboles pour une même information. C'est le rôle de l'informaticien d'inventer des techniques, des algorithmes qui permettent de compresser le nombre de symboles transmis. Les élèves comprennent alors qu'ils viennent de faire un travail d'informaticien, en inventant des codages et en les comparant les uns aux autres selon des critères de correction, d'efficacité.

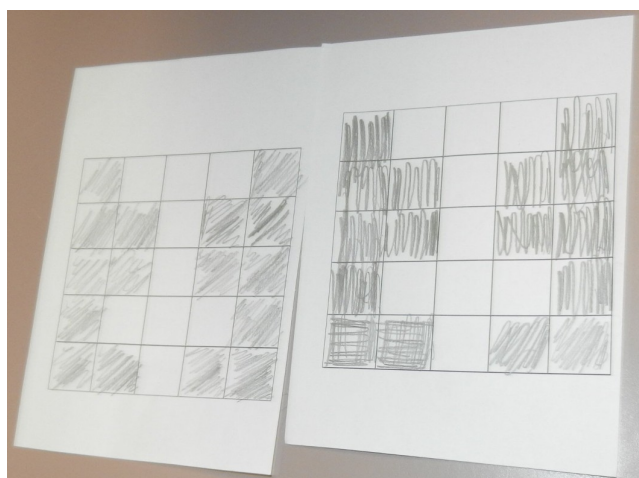


Figure 4 : Exemple de figure encodée, puis décodée.

4.3. Productions d'élèves

Les productions des élèves de 6^e montrent différentes propositions de codage.

Production 1 : Comme avec les jetons !

Symbole	Signification
	1 pixel noir
	rien
	rien
	rien
	rien
	1 pixel blanc

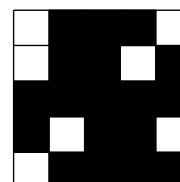
Tableau 2 : Code de la production 1.

Exemple

Pour cette image, le début de la suite de symboles du dé à transmettre est :

6 - 1 - 1 - 1 - 6 - 6 - 1 - ...

Le nombre de dés transmis est toujours 25.



Analyse

Cette proposition permet de transmettre sans ambiguïté toutes les images. Le nombre de symboles transmis correspond au nombre de pixels de l'image. Cette proposition est équivalente à l'utilisation des jetons. La même proposition a été faite avec d'autres chiffres pour le dé (par exemple 1 et 2) ou en échangeant les couleurs des pixels. Ayant déjà travaillé sur l'activité avec

les jetons, les élèves sont convaincus de la correction de leur solution.

Le professeur fait remarquer aux élèves qu'ils ont utilisé 25 dés, ce qui est identique au nombre de jetons et qu'ils n'ont donc pas utilisé le fait qu'un dé puisse transmettre plus d'informations qu'un jeton. Le professeur demande aux élèves de trouver une autre convention qui permettrait de réduire le nombre de dés utilisés.

Production 2 : le symbole prend un sens de nombre et de couleur de pixel







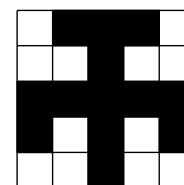
Symbole	Signification
	1 pixel noir
	2 pixels noirs à la suite
	3 pixels noirs à la suite
	1 pixel blanc
	2 pixels blancs à la suite
	3 pixels blancs à la suite

Tableau 3 : Code de la production 2.

Exemple

Pour cette image, la suite de symboles à transmettre avec un nombre minimum de dés est :

4 - 3 - 6 - 1 - 5 - 3 - 3 - 4 - 1 - 4 - 1 - 5 - 1 - 5



Le nombre de dés transmis ici est 14.

Avec ce codage, on peut proposer plusieurs séquences qui coderont la même image. Certaines peuvent être plus courtes que d'autres. Pour cette image, la solution minimale est unique. D'autres images, ayant plusieurs solutions minimales, peuvent être proposées.

Analyse

Les élèves utilisent une stratégie de groupement des pixels de la même couleur. Pour les élèves, cette proposition permet de réduire sensiblement le nombre de dés (donc la quantité d'informations transmises).

Certains groupes ont utilisé une stratégie similaire en variant le symbole associé et le font remarquer. C'est l'occasion pour le professeur de valider encore une fois avec les élèves qu'il est important d'avoir une convention commune, mais que celle-ci peut varier d'un groupe à l'autre.

On constate que le nombre de dés transmis dépend de l'image, puis le professeur interroge sur la réduction en nombre de symboles transmis :

- *Y a-t-il des images pour lesquelles une forte réduction est observée ?*
- *Y a-t-il des images pour lesquelles il n'y a pas de réduction ?*
- *Y a-t-il des images nécessitant la transmission de plus de 25 dés ?*

Le professeur demande à la classe des exemples d'images pour lesquelles le nombre de dés transmis est 25, la classe trouve assez facilement l'image du damier, des images pour lesquelles le nombre de dés transmis est 9 et nous ne trouvons pas d'image qui nécessite de transmettre plus de 25 dés.

Production 3 : blocs de couleur

Dans cette stratégie le symbole est utilisé de manière différente selon sa position dans la séquence. Les dés sont transmis séquentiellement, le premier dé indique la couleur et le deuxième dé indique le nombre de cases consécutives (compris entre 1 et 6) qui sont de cette couleur et ainsi de suite.







Symbole	Signification du 1 ^{er} dé	Signification du 2 ^d dé
	noir	1 pixel
	blanc	2 pixels à la suite
	rien	3 pixels à la suite
	rien	4 pixels à la suite
	rien	5 pixels à la suite
	rien	6 pixels à la suite

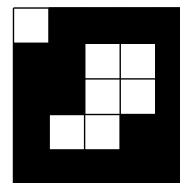
Tableau 4 : Code de la production 3.

Exemple

Pour cette image, la suite de symboles à transmettre est :

2 - 1 - 1 - 6 - 2 - 2 - 1 - 3 - 2 - 2 - 1 - 2 - 2 - 2 - 1 - 5 - 1 - 2

Le nombre de dés transmis ici est 18.



Lorsque le nombre de pixels consécutifs de même couleur est supérieur ou égal à 7, on peut construire une suite de symboles différente codant la même image avec la même taille.

Analyse

Les élèves utilisent une stratégie de groupes de pixels de la même couleur avec un codage de la couleur et un codage de la taille du groupe (le symbole du dé est interprété comme un nombre). Cette stratégie fonctionne pour toutes les images proposées. Pour les élèves, cette proposition est bien adaptée lorsque de grosses portions de ligne sont de même couleur.

Comme pour la stratégie précédente, le nombre de dés transmis dépend de l'image. Le professeur interroge sur la réduction en nombre de symboles transmis :

- *Y a-t-il des images pour lesquelles une forte réduction est observée ?*
- *Y a-t-il des images pour lesquelles il n'y a pas de réduction ?*
- *Y a-t-il des images nécessitant la transmission de plus de 25 dés ?*

Le professeur demande à la classe des exemples d'images pour lesquelles le nombre de dés transmis est soit le plus grand possible, soit le plus petit possible. La classe trouve assez facilement l'image du damier pour laquelle le nombre de dés transmis est 50, soit le double du nombre de jetons nécessaires. Par contre, pour des images particulières (tout blanc, tout noir, etc.) le nombre de dés transmis est 10.

On constate que cette stratégie semble moins bonne que la précédente, cela reste néanmoins à prouver (cette preuve n'est pas abordée pour les classes de 6^e).

Production 4 : motifs de pixels







Symbole	Signification
	1 pixel noir
	1 pixel blanc
	2 pixels noirs à la suite
	2 pixels blancs à la suite
	1 pixel noir suivi de 2 pixels blancs
	1 pixel blanc suivi de 2 pixels noirs

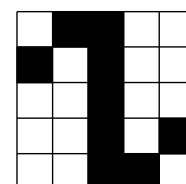
Tableau 5 : Code de la production 4.

Exemple

Pour cette image, la suite de symboles à transmettre est :

6 - 4 - 1 - 2 - 5 - 4 - 5 - 4 - 1 - 2 - 5 - 3 - 2

Le nombre de dés transmis ici est 13.





Pour certaines images (par exemple, une suite de séquences de 2 pixels blancs puis 2 pixels noirs...), une suite de symboles différente codant la même image avec la même taille peut être construite, puisque, par exemple, les séquences 2 - 6 et 4 - 3 sont équivalentes, de même que les séquences 1 - 5 et 3 - 4.

Analyse

Les élèves ont détecté des motifs récurrents dans les images et proposent une compression de l'information en encodant directement les motifs. Cette stratégie fonctionne pour toutes les images proposées. Pour les élèves, cette proposition est bien adaptée lorsqu'il y a de fréquents changements de couleur, car il n'y a qu'un ou deux pixels de la même couleur à la suite. On constate, et c'est surprenant, qu'une même image peut être encodée de différentes manières. Par exemple la séquence de symboles 1 - 4 peut être remplacée par le symbole 5 sans altérer l'image transmise.

Comme pour les stratégies précédentes, le nombre de dés transmis dépend de l'image. Le questionnement du professeur est identique aux questionnements précédents.

Les exemples imaginés par les élèves nous permettent de trouver des images pour lesquelles le

nombre de dés transmis est 25 (damiers). Par contre, pour des images particulières (séquences   à la suite) le nombre de dés transmis est 9. Il existe des images pour lesquelles la stratégie 4 est meilleure que la stratégie 2, et inversement.

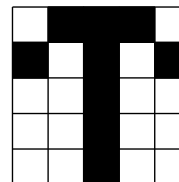
Production 5 : bataille navale

On référence un pixel par ses coordonnées (ligne, colonne) et les coordonnées des pixels noirs sont transmises. Le premier dé correspond au numéro de ligne, le deuxième dé au numéro de colonne.

Exemple

Pour cette image, une suite de symboles à transmettre est :

1 - 2 - 1 - 3 - 1 - 4 - 2 - 1 - 2 - 3 - 2 - 5 - 3 - 3 - 4 - 3 - 5 - 3



Le nombre de dés transmis ici est 18.

La solution n'est pas unique car l'ordre de transmission des pixels est indifférent.

Analyse

Ici, la représentation est liée au fait d'avoir une image en 2 dimensions plutôt qu'une séquence de 25 pixels. Cette solution est particulièrement bien adaptée lorsque le nombre de pixels noirs est petit. Au mieux, rien n'est transmis (image blanche), au pire on transmet 50 dés (image noire). La valeur du dé change de signification suivant sa position dans le codage. Les élèves proposent alors une amélioration : le premier dé fixe la couleur la moins fréquente, ensuite les pixels référencés de cette couleur sont coloriés. Au maximum, la transmission nécessite ainsi 25 dés.

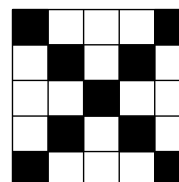
Production 6 : tranche

Le codage se fait ligne par ligne, les lignes sont séparées par le symbole 6, seuls sont transmis les numéros des colonnes contenant un pixel noir sur la ligne. Les pixels sont transmis dans l'ordre des colonnes.

Exemple

Pour cette image, une suite de symboles à transmettre est :

1 - 5 - 6 - 2 - 4 - 6 - 3 - 6 - 2 - 4 - 6 - 1 - 5



Le nombre de dés transmis ici est 14.

Cette séquence est unique.

Analyse

L'image est vue comme une suite de lignes (décomposition de l'image) et une ligne est vue comme une série de coordonnées des pixels noirs. Cette solution est également bien adaptée lorsque le nombre de pixels noirs est petit. Les élèves remarquent qu'on peut améliorer le code : si le 5 a été transmis, alors il est inutile de transmettre un 6, ils peuvent passer automatiquement à la ligne suivante.

On peut également encoder un motif avec la répétition de deux dés (voir photo): par exemple, deux 1 représentent une ligne blanche.

Comme pour les stratégies précédentes, le nombre de dés transmis dépend de l'image : le questionnement du professeur est identique aux questionnements précédents.

Le nombre de dés transmis est compris entre 5 (image blanche) et 25 (image avec les 4 colonnes le plus à gauche en noir). Remarque : il n'existe qu'une seule image où le nombre de dés est 25, c'est le cas limite.

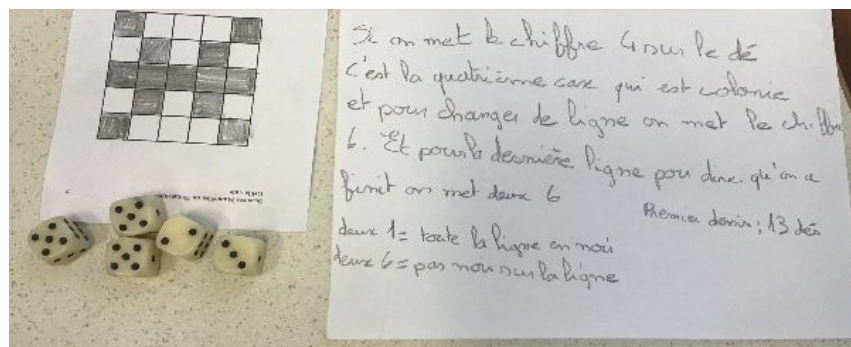


Figure 5 : Exemple de code rédigé par un groupe (proposition 6).

5. Discussions

Positionnement de l'activité dans un contexte plus large

Le schéma enrichi de la figure 6 est une parfaite illustration des 4 piliers de l'informatique

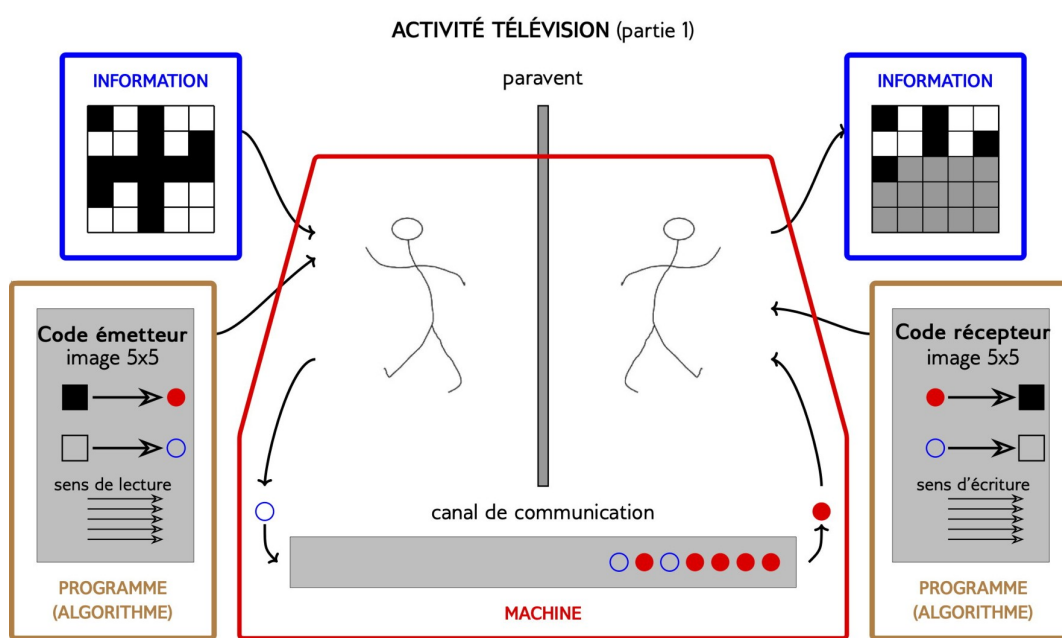


Figure 6 : Schéma enrichi de la première partie de l'activité Télé-vision.

- **information** : l'image que l'on propose de transmettre et la structure de données qui est associée à cette image (séquence de symboles qui pourraient être 0 ou 1) ;
- **algorithme** : la méthode qui consiste à décrire les conventions de couleurs (association couleur de pixel et valeur symbolique), les sens de parcours ;

- **programme** : l'élève émetteur (machine) exécute le schéma itératif n fois (avec n la taille de l'image), le programme est similaire pour l'élève récepteur :
 - lecture d'un pixel ;
 - transcription de ce pixel en un jeton coloré selon le code ;
 - transmission du jeton au récepteur au travers du canal de communication ;
- **machine** : les deux élèves et le canal de communication, qui pourrait être joué par un autre élève et qui constitue le support permettant l'exécution du programme.

Les parties *algorithme*, *programme* et *machine* sont dans cette activité mises en retrait pour focaliser l'attention de l'élève sur la partie *information*. En fin de séance, une prise de recul permet de repositionner le pilier *information* par rapport aux 3 autres piliers.

Impact de la séquence par rapport aux objectifs

Lors de l'expérimentation en classe de 6^e en 2016 au collège Jean Prévost de Villard de Lans, une semaine après les deux phases de l'activité, nous avons demandé aux élèves d'expliquer ce qu'ils avaient fait pendant l'activité et ce qu'ils en avaient retenu. Une vidéo, de qualité artisanale, présente un résumé des échanges²².

Dans celle-ci, plusieurs élèves expliquent qu'il y avait plusieurs techniques de codage, qu'ils ont trouvé cela « marrant de chercher des codages pour se passer des images sans se parler et de trouver des techniques pour essayer de prendre le moins de dés possibles ». Une élève évoque la dimension engageante de l'activité qui a été vécue sous forme de jeu. Un autre élève dit : « on a appris comment les ordinateurs transmettaient les images à un autre ordinateur ». Une autre le reformule en disant : « on a retenu comment l'ordinateur passait les messages, mais nous on le faisait avec un crayon : ça ne faisait pas mal aux yeux ! ».

Au début de la vidéo, une élève résume l'activité et nous constatons que les principales notions que nous avons visées ont été citées : émetteur, récepteur, code et transmission de l'information.

Nous envisageons de proposer de manière plus systématique aux élèves cette restitution une semaine après l'activité. Pour qu'elle soit plus pertinente, nous pourrions leur demander d'écrire ce qu'ils ont retenu ou appris. Cela nous permettrait d'augmenter la qualité de l'évaluation de l'impact de cette activité.

Les propriétés des codes

Les productions des élèves présentées dans cet article sont toutes correctes, mais certaines présentent des propriétés que l'on peut analyser. Par exemple, dans la production 2, une séquence de 5 pixels noirs consécutifs peut être codée par la séquence de symboles suivants : 1-1-1-1-1 ou 2-3 ou 3-2 ou encore 3-1-1 etc. Toutes ces séquences se décodent de la même manière et produisent la même image. Deux de ces séquences sont optimales en nombre de symboles transmis (2-3 ou 3-2). Une phase d'explicitation peut alors être proposée aux élèves autour des différentes propriétés des codes choisis.

L'engagement des élèves

Nous constatons que tous les élèves ont répondu correctement aux attentes. Ils ont trouvé plusieurs solutions au problème. Ces solutions ont été mises en commun, comparées et analysées avec des critères de correction, d'efficacité et de facilité de mise en œuvre.

²² <https://videos.univ-grenoble-alpes.fr/video/28810-activite-television-experimentation-et-retour-deleves/>

Pour la première activité, la convention de codage est assez simple à trouver et les élèves basculent rapidement dans la transmission d'une première image, puis d'une deuxième, etc. L'engagement dans la tâche est immédiat. Une explication possible est que le travail proposé est dans la *zone proximale de développement*²³ des élèves. L'engagement dans la deuxième activité est motivé par le défi intellectuel à relever en utilisant les dés. Les élèves se rendent compte qu'ils peuvent utiliser le dé comme un jeton (seulement 2 symboles utilisés) ou bien qu'ils peuvent exploiter les 6 symboles ou utiliser le nombre indiqué par ces symboles.

Le rôle du professeur

Le professeur a pour rôle d'aider à construire une convention de codage correct. Il s'inspire pour cela de la démarche « essai-erreur ». Les élèves contrôlent la correspondance entre l'image fournie au départ et l'image recréée, ce qui induit des rétroactions suffisamment fortes pour les faire progresser dans leurs apprentissages. Pour cela, le professeur propose des images « exemples » qui confortent le codage proposé et aide à la recherche de « contre-exemples » qui pourraient invalider le codage proposé. Cette démarche est explicitée auprès des élèves (notion d'adversaire pour un algorithme). Ces images « exemples » ou « contre-exemples » révèlent la dissymétrie de la preuve par l'exemple, un contre-exemple invalide une proposition alors que plusieurs exemples ne permettent pas de garantir la correction de l'algorithme. Les contre-exemples permettent de faire évoluer l'algorithme de codage, l'identification du problème et la correction de l'algorithme.

Exemple : un groupe d'élève a proposé la convention de codage de la figure 7.

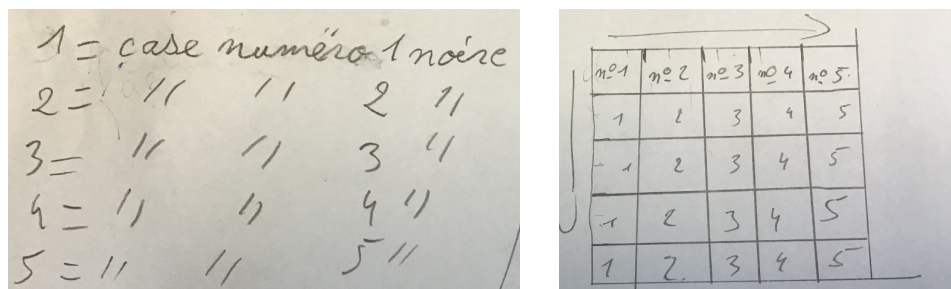
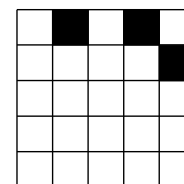
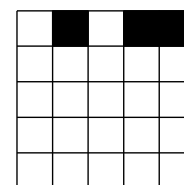


Figure 7 : Convention de codage proposée par un groupe.

Le professeur demande alors à l'émetteur de transmettre l'image suivante :



Avec le code proposé, le récepteur produit l'image suivante :



Les élèves se rendent alors compte que leur code ne fonctionne pas avec l'image choisie. Ils essaient alors d'améliorer leur code et proposent une nouvelle convention dans laquelle ils

²³ <https://pedagogie.ac-toulouse.fr/langues-vivantes/un-chercheur-un-concept-4-la-theorie-de-la-zone-proximale-de-developpement-de-vygotski>

ajoutent un symbole (cf. figure 8) pour signifier que la transmission est finie pour cette ligne.

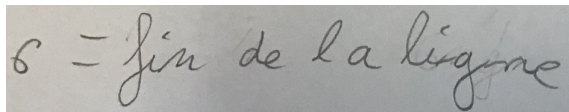


Figure 8 : Symbole ajouté pour corriger le code.

On pourrait envisager, à partir d'une proposition d'élèves d'un autre groupe, une activité de recherche de contre-exemples.

Le professeur peut également faire remarquer aux élèves que le choix de la première image à encoder influe sur le code proposé. Un semis de pixels (par exemple la croix), va être associé à un codage ligne colonne alors qu'une image avec des motifs (lignes noires/blanches) va conduire à un encodage par blocs. Cette question mériterait un approfondissement, en particulier sur l'impact de l'ordre de présentation des exemples d'images.

À la fin de l'activité, à partir des productions des élèves, le professeur explicite le lien entre l'activité menée et l'informatique : représentation de l'information, convention de codage, complexité de codes... L'élève établit la correspondance entre le matériel utilisé et les notions de représentation de l'information. Cela lui permet de se créer une image mentale plus précise de ces notions-là (cf. figure 6).

Le schéma d'apprentissage

L'activité proposée repose sur le schéma global d'apprentissage *Manipuler/Verbaliser/Abstraire*. Pour beaucoup d'élèves, l'accès à l'abstraction ne peut se faire que s'il est précédé de deux autres phases : la manipulation, puis la verbalisation ou la représentation. Dans notre cas, les objets utilisés (les jetons puis les dés) permettent de tester une solution de manière tactile et sensorielle. Les élèves mettent ensuite en mots (verbalisation) ou en image (représentation) leurs conventions de codage. La mise en place de ce déroulement permet un accès à l'abstraction accru pour les élèves, comme décrit dans le début de cet article : « *De plus, l'erreur en manipulation est mieux acceptée par l'élève qui recommence, vérifie* » (Quillet, 2019).

Les concepts sous-jacents

Dans un premier temps, l'activité souligne l'importance de la représentation symbolique d'un objet et que cette représentation s'effectue grâce à un algorithme d'encodage de l'information et à un algorithme de décodage qui permet de restituer intégralement cette information. Le concept sous-jacent est la construction d'une bijection entre deux ensembles :

- toutes les images de taille 5×5 ,
- un sous-ensemble fini de l'ensemble des séquences de symboles.

Cette question de la représentation de l'information traversera tous les enseignements de l'informatique, de l'encodage des caractères aux images et vidéos. Lors de la conception de tels algorithmes, il est fondamental de s'assurer de la propriété de non-ambiguïté.

Dans notre situation, si l'on souhaite prouver la correction des algorithmes d'encodage et de décodage, il faudrait les tester avec *toutes* les images possibles, et il y en a 2^{25} soit environ 33 millions ! La preuve formelle de la correction d'un algorithme de codage relève plutôt du niveau Terminale, voire universitaire. Ici, on peut s'en convaincre avec les élèves sur des exemples d'images plus petites où l'approche exhaustive est possible.

Lorsque les algorithmes sont corrects, il devient légitime de travailler sur la complexité du code, c'est-à-dire la longueur de la séquence de symboles à utiliser pour transmettre l'information. Les procédures proposées par les élèves montrent que la longueur de cette séquence ne dépend pas uniquement de la taille de l'image, mais de l'image elle-même. À partir de la classe de seconde, il peut être intéressant de trouver des algorithmes minimisant la longueur maximale des séquences codantes. Une discussion peut également s'engager sur la facilité avec laquelle un codage peut être implémenté.

Un travail peut être proposé sur le nombre d'images possibles. Le nombre de séquences de n symboles que l'on peut écrire à partir d'un alphabet de 6 symboles est 6^n .

Dans notre cas, $2^{25} = 33\,554\,432$ images peuvent être créées. Les élèves peuvent alors chercher (par exemple par tâtonnement, à partir de la classe de 4^e), le nombre minimal de dés nécessaires pour représenter toutes ces images.

Le professeur construit avec les élèves le tableau suivant :

Nombre de dés	Nombre d'images que l'on peut coder
1	6
2	$6^2 = 36$
3	$6^3 = 216$
4	$6^4 = 1\,296$
5	$6^5 = 7\,776$
6	$6^6 = 46\,656$
7	$6^7 = 279\,936$
8	$6^8 = 1\,679\,616$
9	$6^9 = 10\,077\,696$
10	$6^{10} = 60\,466\,176$



Tableau 6 : Nombre d'images que l'on peut coder selon le nombre de dés utilisés.

60 466 176 est le premier nombre de cette table qui est supérieur à 33 554 432, donc $6^9 < 2^{25} < 6^{10}$.

Avec 9 dés, nous ne pouvons donc représenter que 10 077 696 images avec des codes différents, ce qui est insuffisant pour le nombre total d'images possibles (principe des *tiroirs de Dirichlet*). En classe de Terminale on pourrait éventuellement calculer la valeur de $\log_6 2^{25} = 25 \log_6 2 \approx 9\,671$ (en faisant le lien avec le logarithme népérien), ce qui donne le nombre minimum de dés nécessaires pour obtenir un code non ambigu. Il devrait donc être possible de coder toute image avec 10 dés. Plusieurs solutions sont possibles, en décomposant l'image en 5 lignes, puis en remarquant que l'on a 32 possibilités de lignes différentes, chaque ligne peut être codée avec 2 dés. On procède soit par une table associant à une ligne un couple de dés, soit en utilisant les nombres représentés en binaire et en les représentant en base 6

(considérer que la face 6 correspond à 0 en base 6).

Par exemple :

- la ligne  s'interprète comme 01011 en écriture binaire ;
- Son écriture décimale est alors 11.
- Sa conversion en base 6 donne 15.
- Avec les dés, la transmission sera donc .

Cette activité permet de ressentir la notion de quantité d'information contenue dans un objet numérique, c'est-à-dire le nombre minimal de bits à transmettre pour stocker/communiquer cette information, incluant la taille des algorithmes d'encodage/décodage. Dans cette situation on parle de *complexité de Kolmogorov* associée à l'objet (en lien avec la notion de compression). À titre historique, la liaison peut être faite avec la *théorie de l'information* élaborée par Shannon en 1948 et qui sert de fondement à tout le domaine des réseaux de communication numérique.

Correspondance avec l'enseignement des mathématiques

Nous avons constaté que cette activité s'insère parfaitement comme préliminaire à la représentation des nombres entiers (numération de position). Les points clés relevés sont :

- la mise en exergue de l'importance d'avoir une convention d'écriture ;
- la mise en avant du rôle de l'alphabet de symboles et de la composition des mots et importance de la position dans l'écriture ;
- la différence entre le symbole et le nombre ;
- la généralisation avec des bases différentes (binaire, décimal, sexagésimale, par exemple en cycle 3 ou bien plus tard avec la base octale ou hexadécimale).

Des liens sont possibles avec d'autres types d'activités, notamment la représentation et le programme de construction d'une figure géométrique.

Cette activité s'intègre donc bien au programme de cycle 3 et notamment à la classe de 6^e.

Conclusion

L'activité *Télé-vision* est une activité qui a été expérimentée à de nombreuses reprises sur plusieurs niveaux de classe (du CM1 à la licence informatique). Nous constatons qu'elle est bien adaptée dans la progression de la classe de 6^e, car elle est en lien avec les programmes de Mathématiques de cycle 3, mais aussi parce qu'elle permet une première approche de concepts informatiques à un niveau scolaire où ceux-ci ne sont pas abordés. Elle est également bien adaptée au niveau de classe de seconde, car elle s'intègre dans le thème photographie numérique de l'enseignement SNT, où l'on pourra aborder les notions de pixels et de compression de fichier.

Cette activité a été améliorée au fil des expérimentations. Le groupe *Informatique de la maternelle à l'université* de l'IREM de Grenoble a diffusé cette activité par de multiples canaux : formations d'enseignants, publications, sites internet... Cette activité a gagné le 1^{er} prix du *trophée Shannon 100* en 2016.

Le déroulé de cette activité a ainsi pu être retouché et complété. Finalement elle est découpée en 2 parties, afin d'équilibrer l'acquisition des concepts :

- La première partie traite de la notion de transmission de l'information. Les étapes de cette partie sont les suivantes : lecture d'une image, encodage, transmission des jetons, décodage, écriture de l'image.
- La deuxième partie de l'activité aborde la notion de complexité d'un code. Les étapes sont les mêmes, mais les élèves se concentrent sur l'objectif de réduire le plus possible le nombre d'informations transmises.

Le fait que cette activité soit « débranchée », c'est-à-dire que nous n'utilisons pas d'ordinateur pour introduire un concept informatique, est une réelle force. Il s'avérerait impossible de mener une activité sur ordinateur pour les élèves de ce niveau dans le but de leur faire acquérir ces connaissances. L'activité débranchée leur permet de se créer une image mentale de ce qu'est la représentation en machine d'une image. De plus, l'abstraction de ce concept est facilitée car nous sommes précédemment passés par les phases de manipulation et de verbalisation. Les principaux buts de la mise en œuvre des activités débranchées sont d'une part de donner l'envie d'approfondir ses connaissances en poursuivant par exemple des études en informatique et, d'autre part, de donner à pratiquer les modalités du travail scientifique.

En termes de perspectives, nous souhaiterions créer un curriculum autour de cette activité : nous commençons à élaborer une progression de plusieurs activités qui permettraient de préparer, puis d'étoffer les connaissances des élèves autour de ce thème. Plusieurs variantes de l'activité pourraient être élaborées, par exemple, avec des jetons de 3 ou 4 couleurs, afin d'explorer d'autres variétés de conventions de codage. De même la taille de la grille pourrait ne pas être donnée dès le départ, et les élèves auraient pour tâche de trouver une façon de transmettre la taille de la grille... Nous pourrions réactiver les connaissances à plusieurs reprises dans l'année, en proposant des défis, notamment sur la compression, par exemple sous la forme de questions flash. Nous avons plusieurs idées d'activités que nous pourrions proposer dans ce curriculum. En voici quelques-unes :

- **Codes correcteurs** : l'activité avec les jetons est reprise en ajoutant un troisième rôle : le transmetteur. Ce transmetteur doit faire passer les jetons de l'émetteur au récepteur. À chaque partie, il a le choix de modifier la couleur d'un jeton, une seule fois par partie, ou pas du tout. Les élèves doivent se mettre d'accord pour trouver une convention qui détermine s'il y a eu une modification ou pas et si c'est le cas, quel est le jeton qui a été modifié. Tout cela en transmettant uniquement des jetons, comme d'habitude. Leur objectif est donc d'élaborer un code qui détecte ou corrige les erreurs. Cette activité serait l'occasion de réutiliser les objets de manipulation déjà construits, ce qui faciliterait la prise en main de l'activité, puisque les élèves auraient déjà été familiarisés avec ce matériel.
- **Représentation de l'image par pixel** : à partir du cycle 4, en mode branché, on peut poursuivre le travail sur la représentation d'une image dans un fichier. Les différents formats de fichiers (PBM, PGM ou PPM) peuvent être interprétés par un logiciel de traitement d'image et illustrent la correspondance entre un pixel et un bit pour les fichiers en noir et blanc (fichiers PBM). Nous pourrions proposer de reproduire les images utilisées dans l'activité *Télé-vision*. En seconde partie, nous travaillerions sur les fichiers avec des niveaux de gris (PGM), puis nous terminerions par les fichiers avec des pixels en couleur (PPM).
- **Code de compression par plages** : Le code RLE (Run-Length Encoding) regroupe les données qui se répètent en indiquant à chaque fois l'occurrence de chacun (généralisation de la production 3 blocs de couleur). On propose aux élèves de trouver

une solution pour mettre en œuvre à l'aide des jetons ou de dés ce code compresseur sur plusieurs images proposées. Puis un travail peut être mené sur ce code compresseur sur ordinateur dans une version « branchée » de la même activité.

- **Code de compression avec perte** : Pour un niveau Terminale NSI, on peut proposer des représentations d'images avec des quad-tree (arbres quaternaires) et des fonctions de seuil pour éliminer le bruit dans l'image, on peut également introduire les codages de type JPG, même si la partie algorithmique est hors compétence des élèves de Terminale.

L'activité et le thème proposés dans cet article s'intègrent dans un paysage plus large. Les concepts étudiés ici seront généralisés dans des activités « débranchées » sur la compression de l'information et l'entropie, par exemple l'activité *Les marmottes au sommeil léger* initiée par Marie Duflot-Kremer et documentée par l'IREM de Grenoble²⁴. Puis d'autres aspects de la « communication » doivent être abordés. En particulier la sécurité des communications avec les protocoles cryptographiques, les algorithmes d'encryptage et de décryptage, les protocoles d'authentification... Le groupe *Informatique sans ordinateur* de l'IREM de Clermont-Ferrand propose des activités sur le thème de la cryptographie visuelle²⁵. Enfin, toutes ces connaissances se réinvestissent dans l'enseignement des réseaux et des protocoles de communication.

Nous remercions tout le groupe *Informatique de la maternelle à l'université* de l'IREM de Grenoble pour la richesse des échanges lors de nos séances de travail. De même, nous remercions l'IREM de Grenoble pour nous permettre de mener ce travail à bien. La collaboration entre enseignants-chercheurs de l'université et enseignants du second et du premier degré est source d'apports réciproques qui nous permettent de proposer des contenus solides et variés.

Nous tenons spécifiquement à remercier Benjamin Wack, Anne Rasse et Gaëlle Walgenwitz pour leur aide précieuse.

Références bibliographiques

Bell, T. & Vahrenhold, J. (2018). *CS Unplugged - How Is It Used, and Does It Work? Lecture notes in Computer Science* (pp. 497-521).

https://sci-hub.se/10.1007/978-3-319-98355-4_29

Cosmo, R. (2014). *Enseigner et apprendre les sciences informatiques à l'école*. Interstices.

<https://interstices.info/enseigner-et-apprendre-les-sciences-informatiques-a-lecole/>

CS Unplugged (2022). <https://www.csunplugged.org/fr>

Crozet, G. & Groperrin, R. (1987). *Informatique sans ordinateur, à l'école... ou ailleurs*. CRDP Lyon.

Declercq, C. (2021). Didactique de l'informatique : une formation nécessaire. *Sticef*, vol. 28, n° 3.

<http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2021/28.3.8.declercq/28.3.8.declercq.pdf>

²⁴ <https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/recherche-action/informatique-de-l-ecole-jusqu-au-lycee/activite-sur-la-compression-les-marmottes-au-sommeil-leger-498797.kjsp?RH=1522849892805>

²⁵ <http://www.irem.univ-bpclermont.fr/Images-numeriques.html>

- Dowek, G. (2011). Les quatre concepts de l'informatique. *Actes du colloque DIDAPRO 4*. Patras, Grèce.
<https://edutice.hal.science/file/index/docid/676169/filename/DowekDidapro2011.pdf>
- Drot-Delange, B. (2013). Enseigner l'informatique débranchée : analyse didactique d'activités. *Colloque AREF* (pp. 1-13). Montpellier, France.
- Gentaz, E. & Bara, F. (2021). Le rôle de l'usage du corps via les mouvements d'exploration dans les apprentissages scolaires. *Psychologie & Éducation, 1*.
- Gentaz, E. (2022). *Les neurosciences à l'école : leur véritable apport*. Odile Jacob.
- Le Boudec, J.-Y., Thiran, P. & Urbanke, R. (2015). *Introduction aux sciences de l'information*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Quillet, A.-C. (2019). *Le rôle de la manipulation en mathématiques et ses effets sur les apprentissages*. [Mémoire de Master MEEF, ESPE de l'Académie de Paris, Sorbonne Université].
<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02282094>
- Lagrange, J.-B. & Rogalski, J. (2015) Les apprentissages en programmation et en algorithmique. Problématiques de recherche et perspectives pour la didactique. Dans A.-C. Mathé & É. Mounier (éds.), *Actes du Séminaire National de Didactique des Mathématiques 2015* (pp. 155-176). Paris : LDAR/IREM Paris Diderot.
- SIF (2022). <https://www.societe-informatique-de-france.fr/mediation/infosansordi/>
- Tangente Éducation (2017). *L'informatique débranchée*. *Tangente éducation, 42-43*. Éditions Pôle, Combon, Eure.
- Wing, J. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM, vol. 49, issue 3* (pp. 33-35). Traduction française : Bulletin Spécif (2008) n° 60 (pp. 29-32).
<https://societe-informatique-de-france.fr/bulletins-specif/specif060.pdf>

Annexe

Exemples d'images proposées aux élèves

