
DÉMARCHE TECHNOLOGIQUE : CONCEPTION D'OBJETS ROULANTS EN CP

Maud CLAVEL¹

Professeure des écoles maîtresse formatrice

Alix GÉRONIMI²

Professeure de technologie, INSPÉ de l'Académie de Grenoble,
Université Grenoble Alpes - Laboratoire de Recherche sur les Apprentissages en Contexte (LaRAC)

Cédric MASCLET³

Maître de Conférences, Université Grenoble Alpes,
CNRS, Grenoble INP, G-SCOP

Résumé. Cet article présente la construction et la mise à l'épreuve d'une démarche de conception d'objets techniques en cours préparatoire. Les apprentissages visés sont de deux types. Le premier est d'engager les élèves dans une démarche de conception d'objet technique, donc de les amener à faire des choix rationnels, à les argumenter, à mettre à l'épreuve des pistes de solutions, à observer pour confronter les résultats obtenus avec les résultats attendus. Le cahier des charges s'avère un instrument essentiel pour le pilotage de cet apprentissage. Le second type d'apprentissage visé est la compréhension de la fonction, de la structure et des modalités de réalisation de systèmes permettant la rotation d'un élément mobile — une roue — par rapport à une partie principale — un châssis de véhicule. Ici, l'analyse d'objets existants et la mise à disposition d'un ensemble de matériel précisément ciblé s'avèrent être des moyens performants pour faire évoluer les conceptions initiales des élèves. Enfin, les auteurs soulignent qu'un tel projet suscite des interactions sociales entre élèves et avec les parents, dans la classe et hors la classe, dont les effets resteraient à étudier.

Mots-clés. Démarche de conception, objets roulants, cahier des charges, prototypage.

Introduction

Les travaux présentés dans cet article ont été conduits à l'occasion de l'écriture d'un mémoire de CAFIPEMF⁴. Ils ont été l'occasion d'une collaboration entre deux collègues, l'une professeure des écoles, l'autre formatrice en sciences et technologie à l'ESPE⁵ de Grenoble et docteure en sciences de l'éducation. La collègue professeure des écoles avait pu observer, au cours de dix années de pratique professionnelle, le fort potentiel de l'enseignement des sciences et de la technologie. Elle avait découvert un enseignement mobilisateur pour les élèves, stimulant les

¹ maud.clavel@ac-grenoble.fr

² alix.geronimi@univ-grenoble-alpes.fr

³ cedric.masplet@g-scop.eu

⁴ Certificat d'aptitude aux fonctions d'instituteur ou de professeur des écoles maître formateur.

⁵ École supérieure du professorat et de l'éducation.

interactions entre pairs, favorable aux projets de classe interdisciplinaires. Désireuse d'investir cet enseignement dans sa classe de cours préparatoire, elle s'est interrogée sur les possibilités de le mettre en place avec des élèves apprentis-lecteurs et apprentis-écrivains pour questionner le monde des objets. Ce questionnement s'est concrétisé par un travail autour d'une démarche de conception d'un *objet roulant*, en fait une maquette très simplifiée de véhicule. Cet article analyse comment la mise en place d'une démarche technologique permet de favoriser les apprentissages dans une classe de CP.

Dans un premier temps, nous discuterons du potentiel de l'activité de conception pour la construction de scénarios d'enseignement et analyserons plus précisément les savoirs mobilisés dans le cadre d'une démarche de conception d'objets roulants. Nous débouçherons alors sur notre question pragmatique et nos hypothèses de travail. Nous présenterons ensuite la séquence construite pour répondre à cette interrogation et mettre à l'épreuve ces hypothèses et préciserons les aspects méthodologiques de notre étude. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus et une première analyse des productions des élèves. Nous compléterons par une analyse de l'impact sur les apprentissages des élèves d'un facteur : le matériel mis à leur disposition. Nous terminerons en montrant le rôle de fil d'Ariane tenu par un document clé de la conception, le cahier des charges, puis proposerons quelques conclusions.

1. Questionner le monde des objets en concevant un objet

Questionner le monde des objets amène à faire référence à l'univers adulte qui permet la conception et la production de ces objets, « *l'univers de la technique* » (Vérillon, 2004). Sans entrer dans le débat sur la nature de la technique et ses relations avec les sciences, nous utiliserons dans l'ensemble de ce texte le terme « technique » pour nommer un procédé permettant d'obtenir un objet utile aux humains. Le nom « technologie » et l'adjectif « technologique » seront réservés à la désignation ou à la qualification d'une approche théorique de la mise en œuvre des techniques, permettant par exemple le choix raisonné d'une solution technique parmi un ensemble d'autres solutions connues. Nous écarterons l'acception contemporaine de « technologie » (issue de l'anglicisme « technology ») comme synonyme de « technique innovante » ou « technique de pointe ».

1.1. Que disent les programmes ?

Depuis plusieurs années, notamment depuis la mise en place du Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie en 2000, les instructions officielles encouragent un enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Un tel enseignement permettrait aux élèves d'observer mais aussi de raisonner, d'expérimenter, de réfléchir, d'argumenter. Il a également pour ambition de renforcer la pratique et la maîtrise de la langue française écrite et orale.

La lecture des instructions officielles en vigueur confirme l'importance de l'apprentissage de la conduite de démarches d'investigations à l'école (MEN, 2015b, p. 6) et la place des apprentissages relatifs au monde des objets

- au cycle 1, les élèves sont amenés à « *utiliser, fabriquer, manipuler des objets* » (MEN, 2015a, p. 21) ;
- au cycle 2, les élèves « *comprennent la fonction et le fonctionnement d'objets fabriqués* » (MEN, 2015c, p. 67) ;
- au cycle 3, les élèves recherchent « *des solutions à des problèmes d'ordre scientifique et*

technique » en adoptant « *une approche rationnelle* ». (MEN, 2015c, p. 92).

Les programmes actuels invitent donc clairement à engager les élèves de l'école primaire dans une approche active du monde des objets, combinant expérience pratique et intellectuelle. Ils s'inscrivent ainsi dans les permanences de l'enseignement scientifique et technologique à l'école (Coquidé & Lebeaume, 2002).

1.2. Pourquoi amener des élèves à concevoir et fabriquer des objets ?

Pour le psychologue et didacticien Pierre Vérillon, les techniques constituent « *un enjeu central dans nos sociétés* » (Vérillon et al., 2004, p. 213). Ce fait pour lui indiscutable suffirait à motiver une éducation technologique à l'école, non seulement pour permettre aux élèves « *d'accéder à un patrimoine culturel, mais aussi de rencontrer et éprouver les formes de savoir et d'intelligibilité* » propres à l'univers de la technique. Il fait en effet l'hypothèse que « *l'éducation technologique peut être l'occasion d'acquis cognitifs spécifiques, distincts de ceux que permettent d'autres disciplines scolaires* » (ibid., p. 214). Il s'agirait alors, pour les élèves, de découvrir une action orientée vers la recherche « *d'effets intéressants, d'état avantageux, ou d'artefact utiles* » (Vérillon, 2002, p. 5). Cette action, portant sur des objets spécifiques (outils, matériaux, dispositifs fabriqués...), s'appuie sur une rationalité caractérisée par la capacité à anticiper des choix raisonnés dans des situations complexes (Combarous, 1984, p. 30) en mobilisant des savoirs particuliers, tels que méthodes, procédures, concepts pragmatiques tournés vers l'action en temps réel (Vidal-Gomez & Rogalski, 2007).

Parmi la diversité des actions techniques possibles (conception, fabrication, usage, maintenance, etc.), la conception pourrait avoir des caractéristiques singulières incitant à transférer des éléments de sa pratique dans les classes. En sciences de l'ingénieur, Perrin (2001), se basant sur des analyses historiques du développement des techniques et des sciences du génie, montre que le développement de connaissances technologiques nouvelles a principalement lieu lors de la conception d'objets ou dispositifs nouveaux. La confrontation à des problèmes de conception aurait donc un rôle clé dans l'élaboration de connaissances techniques. Se fondant sur cette base épistémologique, différents didacticiens de la technologie soulignent l'importance de la mise en place de démarches dites de conception dans le cadre d'une éducation technologique destinée aux écoliers ou aux collégiens (Bédart-Naji, 2000 ; Blancheleur-Faillard et al., 2002 ; Davies, 2004 ; L'Haridon, 2011 ; Lutz, 1999). La conception d'objets intéresse aussi des didacticiens en sciences de la vie. Par exemple, pour Darley et Prévost (2012, p. 31), cette activité, par sa capacité à engager les élèves dans un « *processus de création raisonné* », pourrait être propice à un enseignement intégré des sciences et de la technologie à l'école primaire, en d'autres termes être un modèle fructueux pour l'enseignement de l'ensemble des sciences étudiées à l'école.

1.3. En quoi consiste l'activité de conception et comment la transposer en classe ?

Concevoir un produit, c'est apporter une réponse matérielle — l'objet — à un besoin plus ou moins bien exprimé. L'identification du besoin et la spécification des attentes sont donc au cœur des processus de conception. En conception de produits industriels, un document, le cahier des charges, formalise et contractualise le service attendu de l'objet, en d'autres termes sa *fonction*, et la façon dont celui-ci doit s'insérer dans son environnement. L'élaboration du cahier des charges conduit à spécifier les performances attendues de l'objet sous forme de critères objectivables. La validité des solutions proposées sera évaluée par la mesure des performances réellement atteintes, à l'aune de ces critères. En conséquence, une multitude de solutions sont possibles, dès lors que les critères du cahier des charges sont satisfaits. Enfin, la conception peut

être vue comme une activité de construction de représentations externes et internes du problème à résoudre et de solutions permettant d'y répondre (Visser, 2009). Cette activité, créative, se nourrit d'observations et d'analyses de solutions existantes pour opérer ensuite par analogie et recombinaisons. Par conséquent, l'analyse de solutions constitutives d'objets préexistants pourrait être une voie pour imaginer d'autres solutions répondant à différents cahiers des charges. À l'école, il pourrait donc être fructueux d'intégrer une investigation d'objets existants au sein d'une démarche de conception, comme le propose L'Haridon (2011, p. 17).

1.4. Qu'apprendre en concevant un véhicule à partir d'un cahier des charges ?

Dans le monde de l'enseignement, le cahier des charges relatif à la conception d'un objet est souvent élaboré par les professeurs selon les connaissances initiales des élèves et les apprentissages souhaités (Lebahar, 2004, p. 141).

Dans l'étude présente, la fonction à assurer est de transporter un personnage supposé vivant le plus loin possible, en bénéficiant d'une course d'élan fournie par une rampe inclinée dont on aura préalablement défini les caractéristiques. Le transport doit être effectué par un véhicule, le confort du passager doit être préservé, la construction du produit doit s'adapter au contexte scolaire en ayant recours à des matériaux de réemploi, aisément disponibles. Les performances attendues de l'objet sont spécifiées sous forme de critères mesurables, par exemple la taille maximale de l'objet, la distance minimale à parcourir, la résistance aux sollicitations au cours d'une utilisation normale. La stratégie d'élaboration et de mobilisation du cahier des charges réduira l'étendue des recherches des élèves de manière à les orienter sur l'approfondissement de solutions structurées à partir d'un *châssis* et de *roues*. En cela, on limite les risques d'écueils inhérents à la démarche de projet tel que l'éparpillement des ressources cognitives par exemple.

Les savoirs en jeu pour la compréhension et l'élaboration de tels systèmes renvoient d'une part à la cinématique, branche des sciences physiques qui étudie les mouvements indépendamment des causes qui les produisent et d'autre part à la technologie, qui organise et capitalise la réflexion relative aux solutions techniques.

Du point de vue du principe de fonctionnement, il est nécessaire d'agencer les éléments de façon que l'ensemble châssis-roues puisse rouler. Les roues, parce que l'on vise un déplacement par *roulement* et non *glissement*, doivent adhérer au sol. Cela se modélise par une *rotation* de la roue autour de son point de contact avec le sol. En revanche, le châssis du véhicule est mû en *translation* et ne doit pas être en contact avec le sol. Il en résulte la nécessité d'un mouvement relatif entre les roues et le châssis car les roues doivent être solidaires du châssis : on écarte toute solution consistant à interposer des éléments roulants perdus entre le véhicule et le sol, à l'image par exemple des procédés mis en œuvre par les Égyptiens lors de la construction des pyramides. Ce mouvement relatif est communément réalisé par une *liaison pivot*, définie par le fait qu'elle n'autorise aucune translation et une seule rotation, autour d'un axe précis, entre deux pièces constitutives d'un mécanisme, donc ici une roue et un châssis. La description et la définition de ce qu'est une liaison pivot fait appel à la cinématique. La prise en charge du « comment implémenter une liaison pivot » relève de la technologie. Différentes solutions techniques sont possibles, car de multiples combinaisons d'éléments matériels peuvent conduire à la suppression des mêmes *degrés de libertés* — les translations et rotations de la liaison que l'on souhaite supprimer pour aboutir à une liaison pivot —. Ces solutions partagent des fonctions techniques communes telles que positionner les deux pièces l'une par rapport à l'autre, permettre un mouvement relatif de rotation autour d'un axe, résister aux efforts. Elles se différencient par leur structure, c'est-à-dire leur constitution, et par le comportement qui en découle, notamment leur

résistance aux sollicitations mécaniques et la précision des mouvements obtenus. Ces facteurs influent inévitablement sur la performance finale du produit. Les systèmes et composants qui permettent d'assurer les liaisons pivot sont divers. Leur élaboration s'est transmise et perfectionnée de génération en génération. Leurs propriétés et les procédés permettant de les obtenir sont capitalisées par les sciences du génie. L'investigation de solutions présentes sur des objets existants est un moyen d'accéder au patrimoine de connaissances dont elles résultent. Cependant, il est nécessaire d'opérer un choix dans les sources de connaissance afin de limiter le niveau de technicité des solutions que l'élève pourra mettre en œuvre. On procédera donc à une sélection de véhicules-jouets mettant en œuvre des solutions techniques simples, robustes et éprouvées.

Sur le véhicule conçu par les élèves, plusieurs solutions sont envisageables pour fixer chaque roue au châssis. Elles font toutes appel à une notion d'axe que l'on matérialise par une tige. Premièrement, une tige peut être fixée (liaison complète, donc aucun degré de liberté) au châssis, il faut alors autoriser la rotation de la roue par rapport à l'axe de cette tige tout en interdisant les glissements de la roue le long de son axe. La rotation nécessite un jeu de fonctionnement entre le diamètre de la tige et le diamètre du trou de la roue. Le déplacement en translation le long de la tige est strictement limité par des butées. Une autre structuration consiste à rendre la roue solidaire de la tige (liaison complète) et de fixer la tige au châssis par l'intermédiaire d'une pièce supplémentaire de façon à permettre sa rotation tout en interdisant le déplacement en translation de la tige. Quelle que soit la solution, l'agencement dans l'espace de ses différents constituants ainsi que le choix des matériaux, les techniques de réalisation et la qualité des réalisations jouent un rôle important.

1.5. Questionnement pragmatique et hypothèses de travail

Les paragraphes précédents montrent que la conception d'un objet, même simple, nécessite l'anticipation du résultat attendu et la mobilisation d'un ensemble significatif de savoirs. C'est pourquoi l'accessibilité de démarches de conception à de jeunes élèves est régulièrement discutée parmi les enseignants de technologie et de sciences de l'ingénieur.

Notre questionnement porte donc sur la faisabilité d'une démarche fondée sur la conception avec de jeunes élèves et sur les facteurs susceptibles d'influer sur son déroulement et sur les apprentissages des élèves. Nous nous sommes donc demandé :

En quoi l'élaboration et l'utilisation du cahier des charges d'un objet favorisent-elles les apprentissages au cours d'une démarche technologique de conception et fabrication d'objets en classe de cours préparatoire ?

Nous nous sommes basés sur les trois hypothèses suivantes :

- le cahier des charges permet de guider les élèves, de l'appropriation du problème par les élèves à l'évaluation, car il peut constituer un fil conducteur pédagogique (Darley & Prévost, 2012, p. 24) ;
- le matériel choisi par le maître, lors de la démarche, permet aux élèves d'avancer dans leur réflexion car il permet des tâtonnements et encadre les possibilités offertes. En effet, selon Merle (2000, p. 120), ce facteur est susceptible d'influer sur l'émergence d'une diversité de solutions. C'est pourquoi, une fois un premier cahier des charges établi, nous le ferons évoluer en précisant davantage le matériel mis à la disposition.
- l'investigation d'une collection d'objets existants favorise la découverte de solutions car l'analyse et la comparaison de solutions existantes permet leur transposition à un autre

contexte.

Les apprentissages visés et les observables permettant de les affirmer sont précisés ci-dessous dans la partie 2.1.

2. Construction de la séquence

2.1. Apprentissages visés

Les apprentissages visés sont de deux types.

D'abord, il s'agit de rendre les élèves capables de s'engager dans une démarche de conception et fabrication d'objet technique et d'entrer dans un mode de raisonnement propre à la technique. Nous attendons que les élèves soient capables de « *pratiquer, avec l'aide de leur professeure, quelques moments d'une démarche d'investigation* » (MEN, 2015, p. 63) dans le domaine de la conception de produits. Nous souhaitons qu'ils parviennent à élaborer des pistes de solutions, à les mettre à l'épreuve, à observer pour confronter les résultats obtenus avec les résultats attendus spécifiés dans le cahier des charges. Le critère principal pour identifier cet apprentissage est la cohérence et la rationalité de la démarche des élèves. Les indicateurs retenus seront donc recueillis au cours du processus de conception et fabrication des objets. La présence d'éléments de solutions sur les dessins d'avant-projets et sur les prototypes des élèves sera recherchée. L'analyse des productions verbales produites par les élèves au cours des échanges relatifs à leurs objets visera la mobilisation d'éléments du cahier des charges.

Ensuite, nous souhaitons amener les élèves à développer des solutions pour construire des véhicules comportant une architecture châssis-roues. En particulier, nous souhaitons qu'ils soient capables de construire, décrire et analyser une solution permettant d'associer une roue à un châssis par une liaison pivot. Nous attendons qu'ils soient capables de décrire le mouvement de chaque roue par rapport au châssis, considéré comme fixe, de proposer, à l'aide du matériel mis à leur disposition, au moins une solution valide, d'expliquer sa constitution et son comportement. Les indicateurs retenus pour ce second type d'apprentissages porteront sur la structure des solutions proposées, la présence ou l'absence de liaisons pivot, la constitution de celles-ci, leur insertion dans l'architecture globale de l'objet et finalement le comportement de l'objet qui découle de cet enchaînement de choix. Des indicateurs repérés dans les propos des élèves permettront d'illustrer la capacité de certains d'entre eux à associer la constitution et le comportement des systèmes qu'ils ont conçus ou de ceux qu'ils ont observés.

2.2. Méthode

Pour mettre nos hypothèses à l'épreuve, nous avons structuré la séquence d'enseignement en nous appuyant sur les grandes étapes de la démarche technologique. Le tableau 1 ci-après met en correspondance les étapes-clés d'une démarche technologique et leur transposition à la séquence. Nous avons choisi de mettre en œuvre deux itérations de l'étape de conception d'avant-projet (conception et réalisation de prototypes) afin de répondre à deux objectifs :

- le premier est de mettre en évidence, pour les élèves, la nature itérative de la démarche technologique ;
- le second est de fournir aux élèves des moyens de faire évoluer leurs propositions après émission et mise à l'épreuve de leurs hypothèses de départ.

La séquence a été mise en place dans le cadre d'un « défi sciences » entre plusieurs classes d'une

école de l'agglomération grenobloise recevant un public scolaire hétérogène.

Elle a été organisée en six phases :

- rédaction du cahier des charges ;
- conception et analyse d'un premier prototype ;
- observation et analyse d'objets existants ;
- conception et analyse d'un second prototype ;
- fabrication du modèle définitif dit « prototype classe » ;
- évaluation de l'objet au cours du défi.

Elle comporte deux moments d'émission d'idées de solutions constructives par les élèves, lors de chacune des phases de conception (séance 3 et séance 8).

La chronologie de cette séquence est représentée ci-dessous (tableau 1 et figure 1). Le tableau 2, en annexe, décrit brièvement les objectifs et attentes de chaque séance.

Étapes	Définition	Transposition à la séquence
Expression du besoin	Le <i>besoin</i> est la nécessité, le désir éprouvé par un utilisateur/demandeur.	Fabriquer un objet roulant pour rencontrer les autres classes de l'école.
Constitution du cahier des charges	Le <i>cahier des charges</i> est le document par lequel le demandeur exprime son besoin en termes de fonctions.	<ul style="list-style-type: none"> • nom de la demande : objet roulant ; • fonctions : rouler, transporter un « Playmobil » représentant un personnage ; • données techniques : taille maximale : A4, pas de taille minimale, matériaux utilisés : objets issus du recyclage détournés de leur usage initial ; • contraintes : stable à l'arrêt, pas de moteur (départ d'un plan incliné), solide (ne casse pas pendant le trajet) ; • validité : va le plus loin possible avec une trajectoire droite.
Conception d'un avant-projet	Recherche de solutions techniques à la fabrication : <ul style="list-style-type: none"> • inventaire des solutions possibles ; • recherches, essais, choix des outils et des matériaux ; • production d'un prototype. 	Deux itérations de l'enchaînement suivant : <ul style="list-style-type: none"> • émission d'idées de solutions constructives ; • réalisation de prototypes (dessin, fabrication) ; • test des prototypes ; • analyse ; • conception de prototypes améliorés ; • test.
Planification de la fabrication	Organisation des étapes de la fabrication dans le temps et l'espace.	Organiser les étapes de la fabrication de l'objet qui sera présenté au défi.
Fabrication	Réalisation du produit, maîtrise du bon geste.	Fabriquer l'objet qui représentera la classe.
Évaluation de l'objet	Vérification de la conformité du produit par rapport au cahier des charges.	Contrôles du produit : <ul style="list-style-type: none"> • valider, régler, ajuster ; • test lors du défi interclasse.

Tableau 1 : Étapes de la démarche technologique en conception transposées à la séquence.

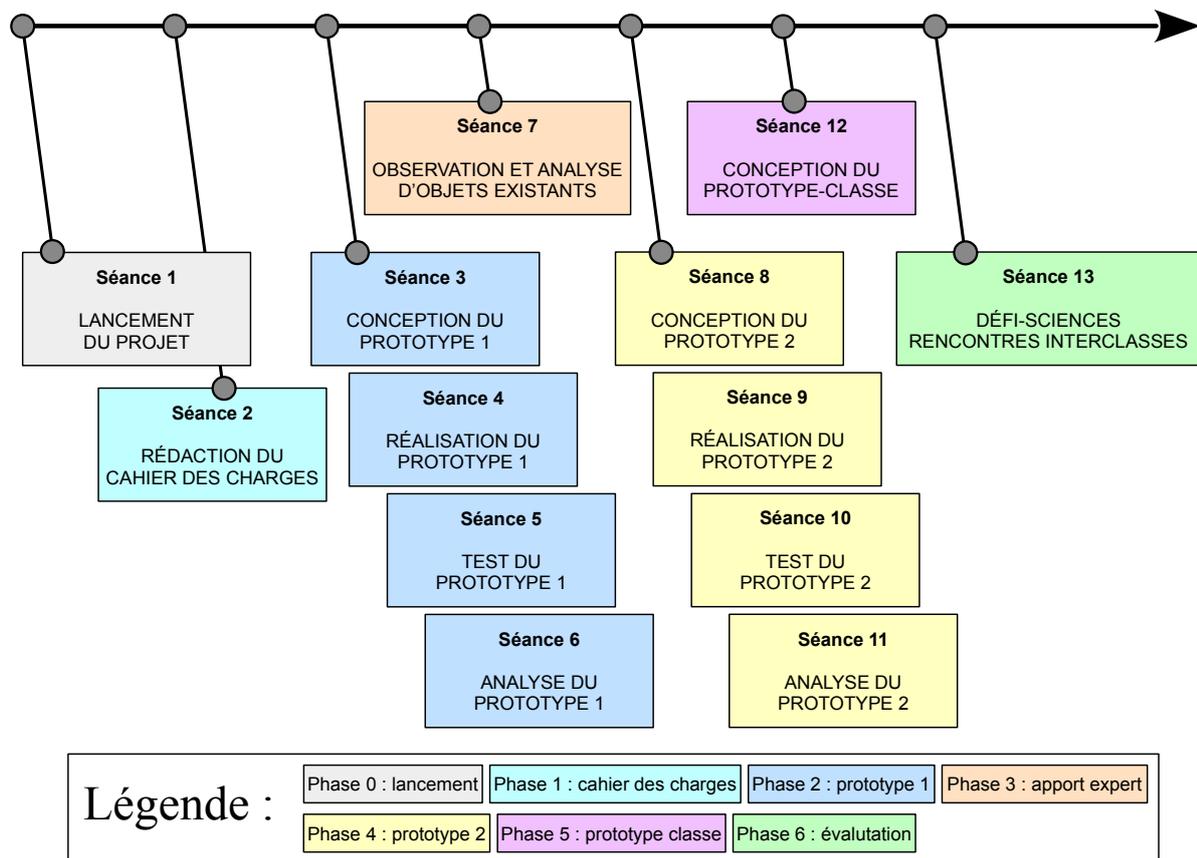


Figure 1 : Chronologie de la séquence.

2.3. Récolte et traitement des données

Chacune des phases de conception débouche sur la production d'un prototype matériel par élève, désignés respectivement par *prototype 1* et *prototype 2*.

Nous avons recueilli les dessins d'avant-projets préliminaires à la construction de ces prototypes, les prototypes eux-mêmes, leur photographie, ainsi que des enregistrements audio et vidéo des échanges au sein de la classe lors des moments collectifs. Tout au long de la séquence, nous avons recueilli différents types de données. La confrontation entre dessin d'avant-projet et prototype associé permet de repérer les évolutions voire les ruptures entre prototype projeté et prototype réalisé. L'analyse de la structure et du comportement des prototypes permet d'identifier l'évolution de la capacité des élèves à intégrer les critères du cahier des charges et à élaborer un objet structuré à partir d'un châssis et de roues. Elle permet également de suivre les effets des différentes actions de l'enseignante, mise en place de l'analyse d'une collection d'objets existants, cadrage du matériel mis à la disposition des élèves.

Après visionnage et écoute, la retranscription des enregistrements réalisés permet d'extraire des illustrations qualitatives montrant les raisonnements des élèves.

3. Évolution des prototypes des élèves au cours de la séquence

Chacun des vingt-quatre élèves de la classe a réalisé successivement deux prototypes. À la fin de la phase 2, aucun objet prototype 1 ne roulait, les élèves ont obtenu des objets glissants. En outre, une bonne partie de ces objets ne répondaient pas aux critères du cahier des charges au niveau de

la taille (trop grand) et de la solidité (environ la moitié des prototypes étaient fragiles, ils se sont cassés avant les tests).

Le fait de n'avoir obtenu que des objets glissants a vraiment fait sentir aux élèves la nécessité d'un dispositif de liaison car le châssis a un mouvement de translation alors que les roues doivent avoir un mouvement de rotation pour que le véhicule roule, et non un mouvement global de translation comme dans la glisse. Quatre élèves l'ont senti dès la fin de la première séance de réalisation avant même la mise à l'épreuve des prototypes :

1-Él. : *Mais, Maîtresse, nous avons un problème : ça ne va pas tourner.*

2-Th. : *Tous les objets, y vont pas rouler.*

3-Ki. : *Ben mince, ils vont pas tourner les bouchons.*

Nous avons ensuite conduit les élèves à analyser une collection d'objets existants — des voitures jouets — avec différentes réalisations de liaisons pivot et nous avons modifié le matériel à la disposition des élèves. Nous avons élaboré un *arbre d'analyse* (figure 2) des prototypes obtenus afin de pouvoir mesurer l'influence de nos actions sur les propositions des élèves.

Nous avons établi une succession de questions fondées sur les critères du cahier des charges et sur les attendus en termes de structure de solution. Les réponses à ces questions permettent de classer les différents prototypes réalisés par les élèves. Chacune des catégories obtenues est illustrée par la photographie d'un prototype caractéristique.

Nous avons désigné par le terme « *axe subjectif* » les assemblages châssis/roue dépourvus d'axe de rotation, mais dans lesquels la position des roues rendrait possible la mise en place d'un axe fonctionnel (figure 3).

Cet arbre d'analyse a été appliqué aux prototypes 1 et 2 (figure 4). Le nombre de prototypes obtenus pour les différentes questions est écrit dans les étoiles. Notre étude visant à jauger notamment l'impact de la séance d'analyse d'objets, le prototype d'un élève absent lors de cette séance n'est pas comptabilisé.

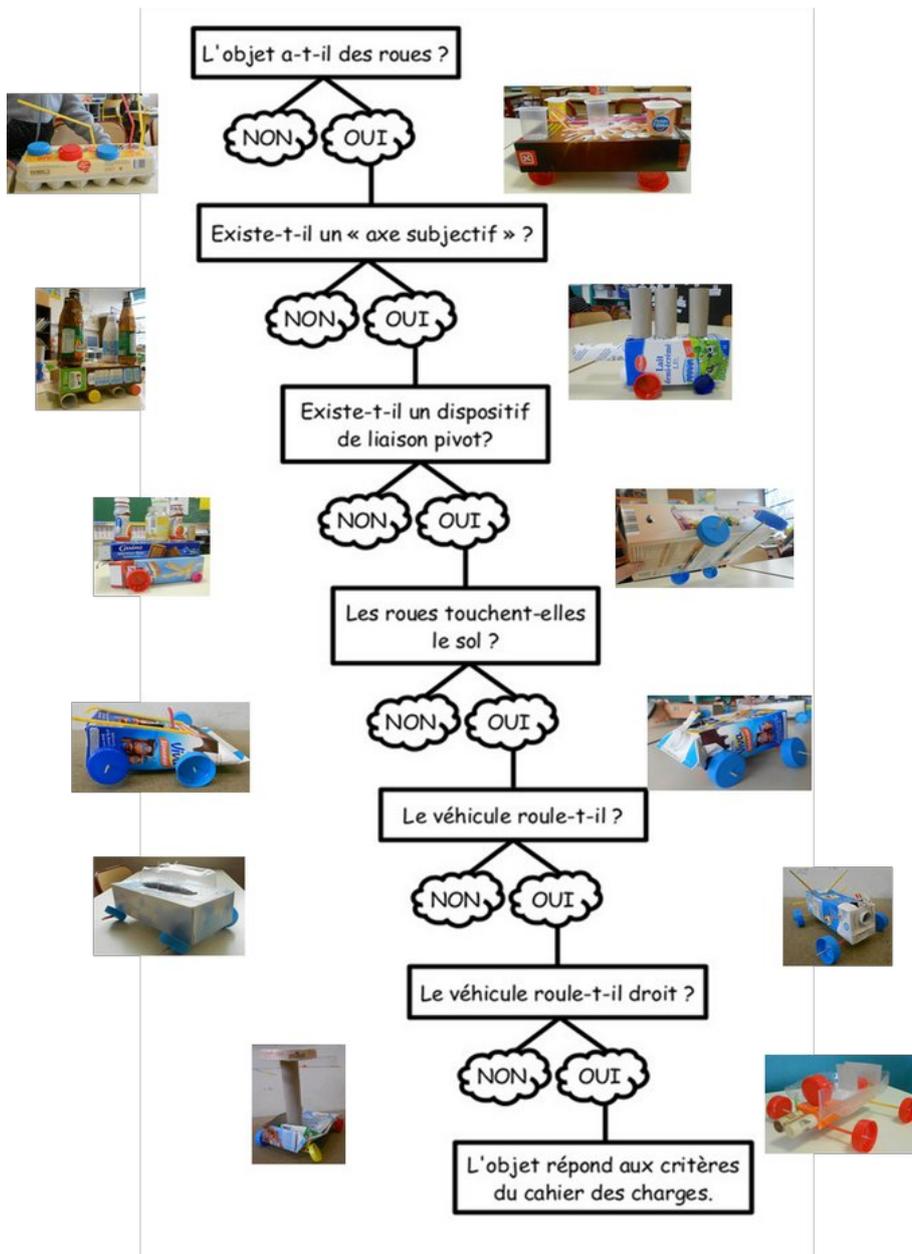


Figure 2 : Arbre d'analyse.

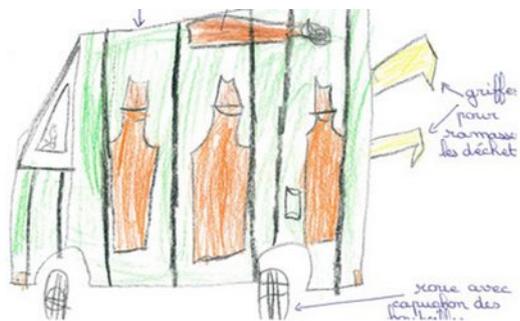


Figure 3 : Dessin d'objet roulant avec « axes subjectifs ».

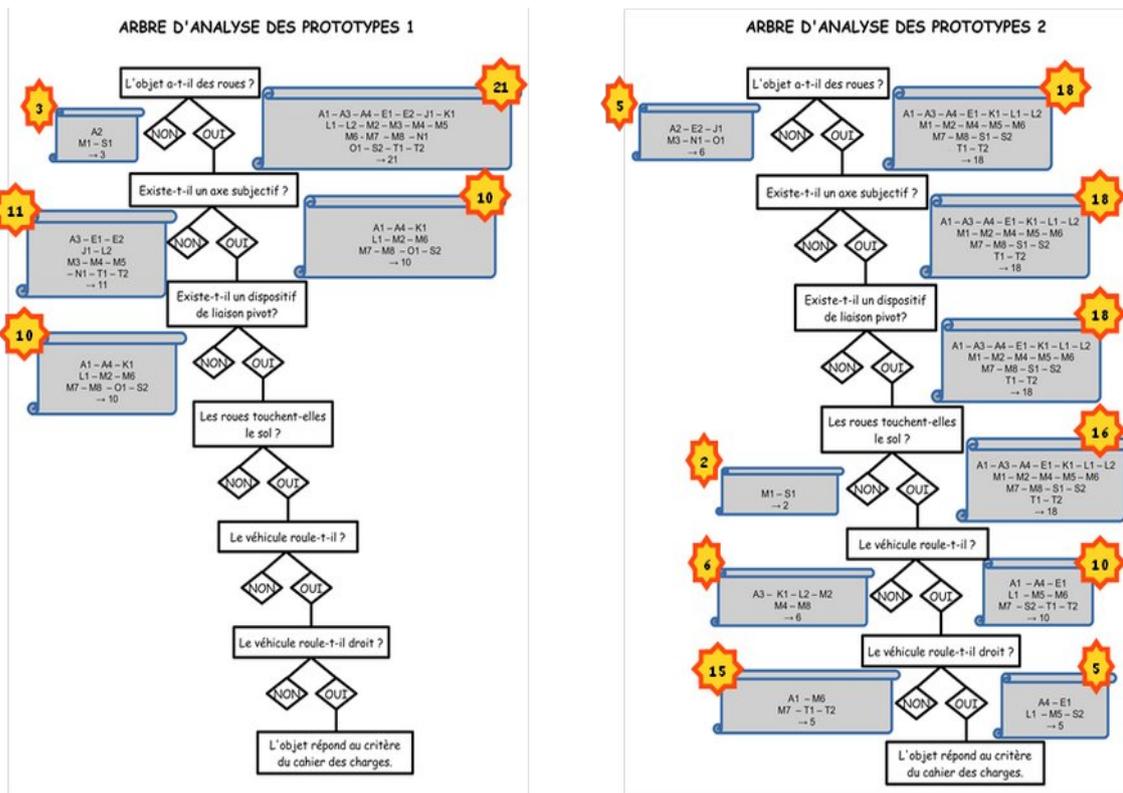


Figure 4 : Arbre d'analyse appliqué aux prototypes 1 et 2.

La progression est remarquable : la moitié des élèves ont réussi à faire rouler leur nouveau prototype après l'observation d'objets existants et la mise à disposition de matériel cadré par l'enseignante. Nous présentons ci-dessous l'évolution des productions de quelques élèves.

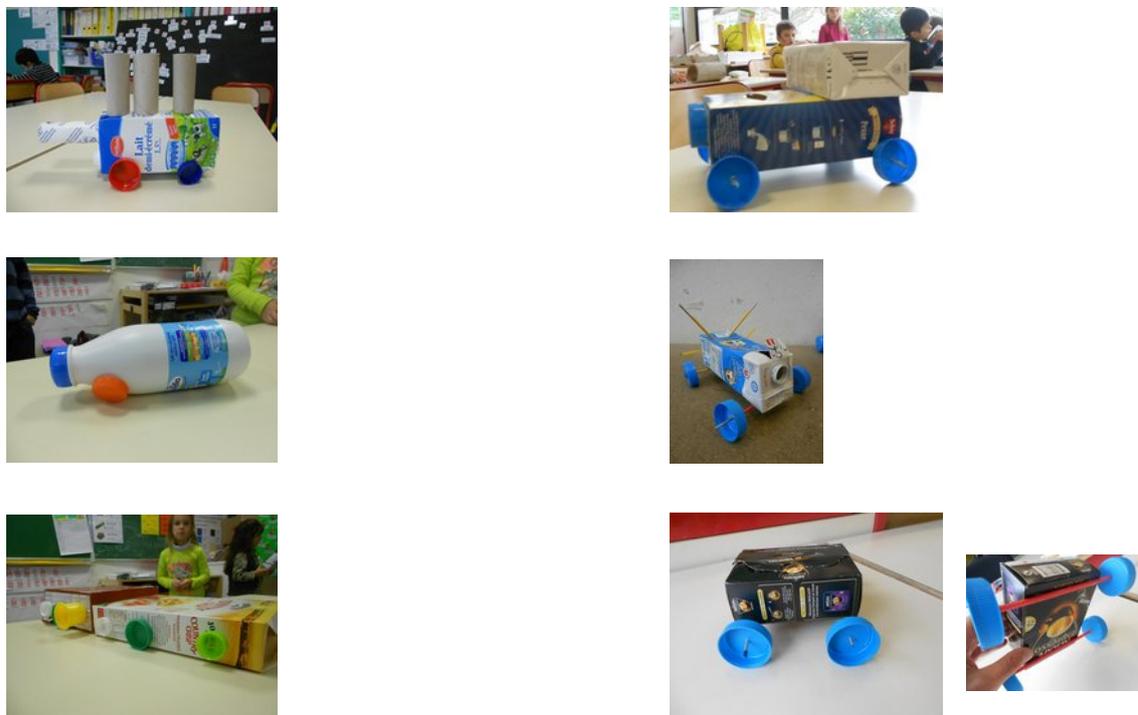


Figure 5 : Quelques exemples d'évolution du prototype 1 (à gauche) au prototype 2 (à droite).

Parmi les élèves qui n'ont pas réussi à faire fabriquer un objet qui roule, presque la moitié ont utilisé un dispositif de liaison pivot, mais ces élèves se sont heurtés à d'autres propriétés qui n'avaient pas été observées :

- les roues doivent toucher le sol, contrairement au châssis : 2 élèves (figure 6) ;

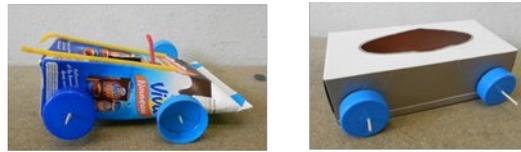


Figure 6 : Exemples de prototypes 2 dont les roues ne touchent pas le sol.

- il ne doit pas y avoir de contact entre les roues et le châssis, pour éviter les frottements : 5 élèves (figure 7) ;



Figure 7 : Exemples de prototypes 2 avec frottement au niveau de la liaison pivot.

- la structure doit être solide pour résister aux efforts : 1 élève (figure 8).



Figure 8 : Exemple de prototype 2 à la construction peu solide.

Nous avons aussi constaté que des facteurs extérieurs aux actions mises en place en classe contribuent à faire évoluer les conceptions des élèves. En effet, les élèves, motivés par le projet, abordent le sujet avec d'autres camarades de l'école ou avec des membres de leur famille. Ces discussions participent également aux choix à mettre en place lors de la conception des objets roulants. Ici, trois élèves qui, suite à la conception du premier prototype, avaient compris le besoin de liaison pivot et le besoin d'un axe dans le cas d'une architecture avec un châssis et des roues, ont modifié leur projet lors de la conception du deuxième prototype. Ces trois prototypes roulent, mais ils ne permettraient pas le transport d'une personne dans des conditions viables. C'est pourquoi ils ne répondent pas à l'ensemble des critères du cahier des charges.

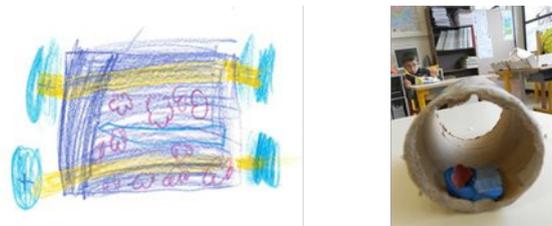


Figure 9 : Prototype 2 projeté (gauche) et effectivement réalisé (droite).

4. L'incidence du matériel mis à la disposition des élèves

Lors de la phase 4 située après analyse d'une collection d'objets existants, nous avons enrichi le matériel que les élèves avaient collecté pour réaliser leurs premiers prototypes. Nous avons mis en place une démarche de comparaison pour nous rendre compte plus précisément de l'incidence du matériel mis à la disposition des élèves sur les solutions qu'ils élaborent.

Dans un premier temps, nous avons ajouté au matériel collecté par les élèves des éléments pouvant jouer le rôle d'axes de rotation, en l'occurrence des piques à brochettes.

Dans un deuxième temps, nous avons défini des éléments que nous pensions favorables à l'émergence de deux types de solution. En fournissant des pailles, nous pensions que les élèves pourraient coller celles-ci aux différents supports destinés à devenir des châssis (boîte, bouteilles, etc.) et ainsi permettre que l'axe, glissé à l'intérieur, tourne par rapport au châssis. Nous nommons une telle solution pivot axe/châssis (pivot de l'axe par rapport au châssis). En fournissant des bouchons percés à un diamètre supérieur à celui des piques à brochettes, nous supposons que les élèves allaient plutôt s'orienter sur une solution avec l'axe fixé à châssis et une rotation de la roue autour de l'axe. Nous nommons une telle solution pivot roue/axe.

Dans un troisième temps, nous avons réparti les élèves en trois groupes de niveau homogène. Le groupe 1 disposait d'un ensemble de matériel que nous supposons favorable à l'émergence de la liaison pivot axe/châssis, le groupe 3 disposait de matériel susceptible d'induire la liaison pivot roue/axe, tandis que le groupe 2 disposait des deux types de matériels.

Le tableau 3 montre les différents ensembles de matériel proposés aux trois groupes.

	Matériel commun		Matériel spécifique				
	Boîtes, bouteilles, rouleaux, moyens de fixation	Piques à brochettes	Pailles à boire	Bouchons pleins	Bouchons percés avec trou de petit diamètre	Bouchons percés trou de grand diamètre	Attaches parisiennes
Groupe 1	•	•	•	•	•		
Groupe 2	•	•	•	•	•	•	
Groupe 3	•	•			•	•	•

Tableau 3 : Répartition du matériel en fonction des groupes.

Dans le tableau 4, les différentes structures de liaisons pivot obtenues sont dénombrées. Les trois élèves ayant développé volontairement une architecture sans liaison pivot et l'élève absent à la séance d'analyse d'objets existants ne sont pas comptabilisés.

	Groupe 1 7 élèves	Groupe 2 7 élèves	Groupe 3 6 élèves
Absence de liaison pivot	2	0	0
Liaison pivot axe/châssis	4	6	2 #
Liaison pivot roue/axe	1	1	4

Tableau 4 : Liaisons pivot obtenues.

Dans le groupe 1, quatre élèves sur sept, soit la majorité des élèves, ont produit un prototype qui

utilise une liaison pivot axe/châssis, ce qui correspond à ce que nous pensions que le matériel proposé induirait (figure 10).

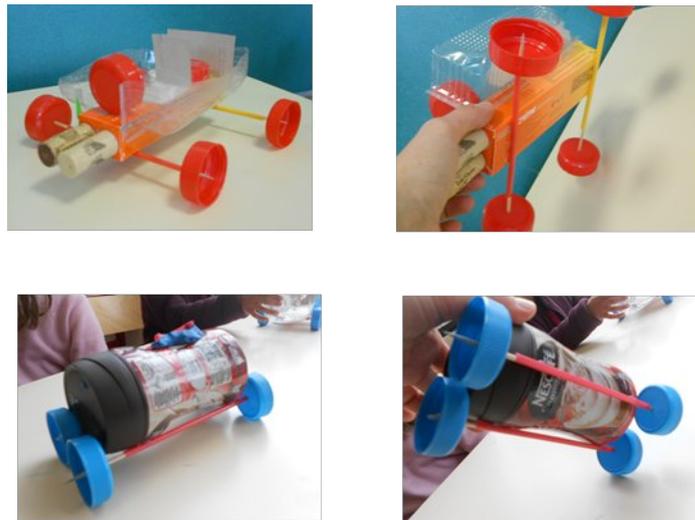


Figure 10 : Exemples de prototypes 2, liaison pivot axe/châssis.

Dans le groupe 3, quatre élèves sur six, soit la majorité des élèves, ont produit un prototype qui utilise une liaison pivot axe/roue, ce qui correspond également à nos prévisions (figure 11).



Figure 11 : Exemples de prototypes 2, liaison pivot axe/roue.

Cependant, deux de ces élèves de ce groupe (symbole « # » dans le tableau 4) ont souhaité fabriquer une liaison pivot roue/châssis en improvisant un perçage du châssis (figure 12).

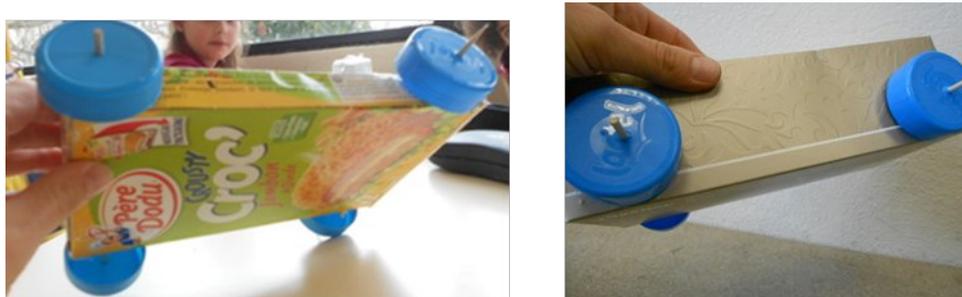


Figure 12 : Prototypes 2, perçage du châssis.

Ils ont alors découvert l'importance de la précision du perçage afin de permettre un axe « droit » et des roues qui touchent le sol, contrairement au châssis.

Le groupe 2 avait à sa disposition l'ensemble du matériel proposé aux deux autres groupes. Les élèves ont majoritairement (6 élèves sur 7) fabriqué un prototype utilisant une liaison pivot axe/châssis. Ces élèves ont eu des difficultés à se lancer dans la conception, ils semblent avoir

été déconcertés par l'abondance de matériel. À partir du moment où une élève du groupe 1 est partie sur une liaison pivot axe/châssis en utilisant une paille, les élèves du groupe 3, alors en manque d'inspiration, se sont inspirés de sa solution.

Cette comparaison confirme le fait que le matériel mis à la disposition des élèves influe sur l'émergence des solutions. Les phénomènes sociaux, et notamment l'imitation, ont également une incidence.

5. Le cahier des charges, un fil d'Ariane

Tout au long de cette séquence, le cahier des charges a été utilisé comme référence pour motiver, relancer les élèves et évaluer les prototypes. Cela a été un véritable fil conducteur qui a été l'élément principal du tissage des séances.

Il a été tellement utilisé que l'affiche où il était rédigé (figure 13) n'était plus citée en référence. Les élèves maîtrisaient le contenu par cœur.

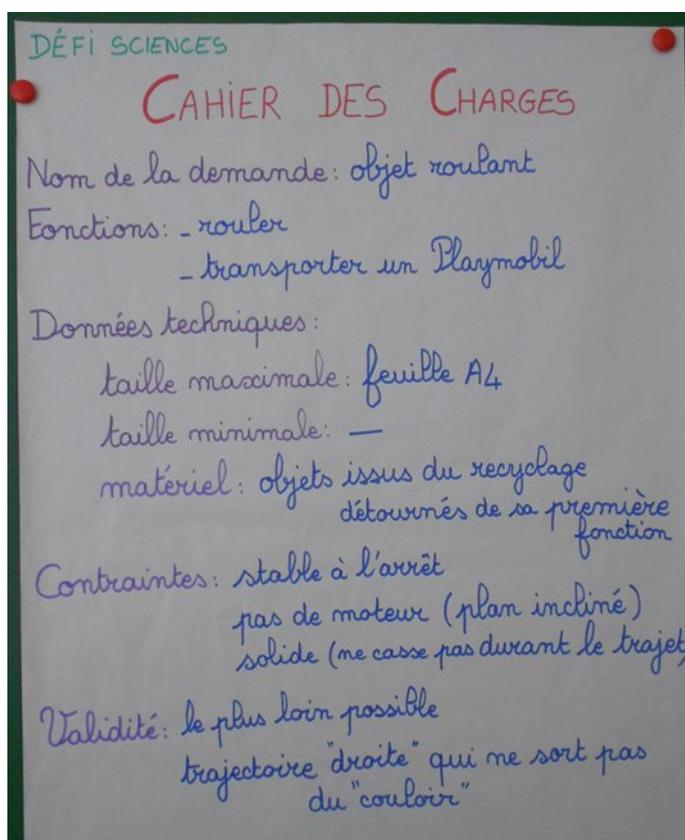


Figure 13 : Affiche du Cahier des Charges.

Au cours de la séquence, le cahier des charges a joué différents rôles. Nous considérons que le cahier des charges a un rôle moteur/motivateur lorsqu'il est utilisé comme référence pour lancer une séance, relancer la motivation des élèves. Quand les critères du cahier des charges sont utilisés pour valider la conception de l'objet, il devient un instrument pour l'évaluation formative ou sommative des productions des élèves.

Enfin, l'utilisation du cahier des charges change de mains au cours de la séquence. Utilisé principalement par le professeur en début de séquence, il est ensuite de plus en plus utilisé

comme référence par les élèves.

Le tableau 5 montre les rôles joués par le cahier des charges au cours de la séquence. La lettre P représente les moments où c'est essentiellement le professeur qui fait référence au cahier des charges et la lettre E symbolise les moments où ce sont essentiellement les élèves qui y font référence.

	Nom de la séance	Rôle du cahier des charges		
		Moteur / motivateur	Évaluation Formative	Sommative
Phase 1	Rédaction du cahier des charges	Objet de la séance		
Phase 2, séance 1	Conception des prototypes 1	P		
Phase 2, séance 2	Réalisation des prototypes 1		P	
Phase 2, séance 3	Test des prototypes 1		E	
Phase 2, séance 4	Analyses des prototypes 1		P et E	
Phase 3	Analyse d'objets roulants	P		
Phase 4, séance 1	Conception des prototypes 2		E	
Phase 4, séance 2	Réalisation des prototypes 2		P	
Phase 4, séance 3	Test des prototypes 2		E	
Phase 4, séance 4	Analyses des prototypes 2		E	
Phase 5	Conception du prototype classe	P	E	
Phase 6	Défi-Sciences			E

Tableau 5 : Place du cahier des charges dans la séquence.

Pour illustrer l'appropriation par les élèves des critères du cahier des charges, nous reportons ici quelques transcriptions d'échanges entre élèves s'y référant, recueillies lors de différentes séances. Les critères et autres éléments figurant dans le cahier des charges auxquelles les élèves se réfèrent sont mis en caractère gras.

- Phase 2, séance 2

Él. : Mais, Maîtresse, nous avons un problème : ça ne va pas **tourner**.

Th. : Tous les objets, y vont pas **rouler**.

Ki. : Ben mince, ils vont pas **tourner** les bouchons.

- Phase 4, séance 1

Maj. : Ben il n'a pas de roue parce que c'est un robot et les robots ça n'a pas de roue.
Mais il **roule**.

- Phase 4, séance 3

Mar. : Les roues, elles sont tordues alors ça ne peut pas aller **droit**.

Ju. : Je ne peux pas le coller car si je le colle, je ne peux pas enlever et remettre le **Playmobil**.

Si. : L'objet va droit.

Moh. : Il ne va pas tout **droit**.

• Phase 5

Si. : Oui, mais il faut couper les pailles.

PE : Pourquoi ?

Ley. : Pour rester dans la **taille**.

Ley. : Mais si on les colle, elles ne vont plus **tourner**, comme la première fois.

Lu. : Il faut le siège pour le **Playmobil**.

Au cours de la séance de test des prototypes 2, les élèves devaient noter la validation ou non validation des critères du cahier des charges dans un tableau. Ce travail a été réalisé en autonomie ce qui illustre leur connaissance des critères spécifiés dans le cahier des charges (figure 14).

Ce tableau à double entrée avait été élaboré en amont de la séance avec les élèves. Il référence en entrée verticale les prénoms des élèves et en entrée horizontale les différents critères énoncés par le cahier des charges.



Figure 14 : Élèves remplissant le tableau « résultat des tests », lors de la séance 9.

Owais	NON	oui	oui	oui	?	?
Alyssa	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Mohammad Ali	oui	oui	oui	oui	oui	non
Thomas	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Mohamed	un peu	oui	oui	oui	non	non

Figure 15 : Extrait du tableau « résultat des tests », réalisé lors de la séance 9.

Un tableau similaire a été mis en place pour synthétiser les résultats des prototypes-classes, lors de la rencontre (séance 12).

Les objets ne roulant pas, nous n'avons pas jugé utile de présenter les résultats des tests des prototypes 1 sous forme de tableau. Ce tableau aurait pu permettre de mettre en évidence les

autres critères du cahier des charges (taille, accueil du personnage, solidité) qui avaient été pris en considération.

Conclusion

Tout au long de cette séquence, les élèves ont pu découvrir la démarche technologique. Ils ont produit des éléments de solution au problème posé et ont testé la validité de leurs propositions à l'aune d'un cahier des charges. L'analyse de l'évolution des dessins et prototypes produits montre que les élèves ont été initiés à l'étude d'un mécanisme simple et à sa liaison cinématique principale : la liaison pivot. Certains propos, par la prise de parole 16, illustrent leur capacité à expliciter comment cette liaison doit ou ne doit pas être constituée.

Lors de ces investigations, nous avons pu observer que pour favoriser les apprentissages des élèves lors d'une démarche technologique :

- Il est nécessaire d'avoir un cahier des charges car celui-ci, en plus de faire le lien avec une réelle démarche de conception, permet d'avoir un fil conducteur du début à la fin de la séquence. Il fournit un cadre structurant pour la démarche. Il décrit aux élèves le besoin auquel doit répondre leur production. Il met en avant les critères technologiques de performance à l'aune desquels est mesurée la réussite du projet. Il sert ainsi de référence à l'activité et permet aux élèves de s'autoévaluer. Le cahier des charges est donc à la fois un guide technique, méthodologique et pédagogique.
- Il est important de bien choisir le matériel proposé aux élèves. Nos analyses confirment l'importance du matériel proposé, tant dans le choix des matériaux que dans celui des outils, car celui-ci influence grandement les choix de conception faits par les apprentis-concepteurs. Il est donc fructueux de réfléchir à ce qui sera mis à disposition des élèves, en fonction des objectifs d'apprentissage visés. Nous considérons la mise à disposition raisonnée de matériel comme un véritable outil de pilotage.
- L'étude (observation, comparaison) d'une collection d'objets existants s'avère une piste très intéressante à exploiter afin de favoriser la modélisation d'un objet, une fois que les élèves sont sensibilisés aux observations à mener. L'analyse d'un objet existant est une réelle ressource pour la modélisation d'un objet nouveau, à l'instar des pratiques observables en milieu industriel.

Références bibliographiques

Bédart-Naji, E. (2000). *La technologie au cycle 3*. Paris : Retz.

Blanchefleur-Faillard, J., Engeldinger, F. & Poncet, A. (2002). *Découvrir le monde des objets à l'école maternelle*. Paris : Delagrave.

Collectif. *La démarche technologique*.

http://www.ac-orleans-tours.fr/uploads/media/La_demarche_technologique.pdf (consulté le 25/02/2018).

Combarnous, M. (1984). *Les techniques et la technicité*. Paris : Éditions sociales.

Coquidé, M. & Lebeaume, J. (2003). Découverte de la nature et des objets à l'école élémentaire : hier et aujourd'hui. *Grand N*, 72, 105-114. IREM de Grenoble.

- Darley, B. & Prévost, P. (2012). Analyse de trois stratégies de mise en œuvre du concept de cahier des charges dans une approche intégrée des sciences expérimentales et de la technologie à l'école élémentaire. *Grand N*, 90, 15-32.
- Davies, L. T. (2004). Planning, managing and teaching decision making for 11-14 olds. *PATT/ITEA conférence Albuquerque, New Mexico, USA*.
<https://www.iteea.org/File.aspx?id=86688&v=b6b81860> (consulté le 21/10/20).
- L'Haridon, A. (2011). Les démarches en technologie à l'école primaire : adaptation à l'étude et à la fabrication de véhicules. *Grand N*, 88, 15-32.
- Lebahar, J.-C. (2004). Chapitre 6, Didactique de la conception : le cahier des charges évolutif. In R. Samurçay et P. Pastré (dir.) *Recherches en didactique professionnelle* (pp. 139-186). Toulouse : Octares.
- Lutz, L. (1999). *Contribution à l'élucidation des contenus et des modalités d'enseignement de la technologie à l'école élémentaire*. Thèse de l'Université de Bordeaux.
- Merle, H. (2000). Du projet de fabrication de véhicules roulants à la résolution de problèmes en grande section de maternelle. *Skohle, H.S.*, 111-121.
- Perrin, J. (2001). *Concevoir l'innovation industrielle*. Paris : CNRS éditions.
- Vérillon, P. (2002). Problème et technologie : brève incursion dans la littérature pour introduire le séminaire. In Y. Cartonnet, J. Lebeaume & P. Vérillon, (Eds.), *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques 2000-2001 : Problème et technologie* (pp. 9-22). Paris : Association Tour 123.
- Vérillon, P., Coué, A., Faillard, J., L'Haridon, H. & Bedart-Naji, E. (2004). Contribution à l'analyse d'activités de conception en écoles maternelle et primaire. In P. Vérillon, J. Ginestié, B. Hostein, J. Lebeaume et P. Leroux (ed.) : *Produire en technologie à l'école et au collège* (pp. 213-248). Paris : INRP.
- Vidal-Gomel, C. & Rogalski, J. (2007). La conceptualisation et la place des concepts pragmatiques dans l'activité professionnelle et le développement des compétences. *Activités 4-1 avril 2007*.
<http://activites.revues.org/1401> ; DOI : 10.4000/activites.1401. (consulté le 25 novembre 2018).
- Visser, W. (2009). La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le travail humain*, 72(1), 1-78.
- MEN (2015a). *Programmes de l'école maternelle*. Nor MENE1504759A
- MEN (2015b). Programmes pour les cycles 2, 3 et 4. *BO spécial n° 11 du 26 novembre 2015*.
- MEN (2015c). Socle commun de connaissances, de compétences et de culture. *BO n° 17 du 23 avril 2015*.

Annexe

Déroutement de la séquence

n° séance	nom des séances	objectifs	descriptif général
01	Lancement du projet	Sensibiliser au défi.	Présentation du projet à tous les élèves de l'école.
02	Cahier des charges	S'approprier le Défi. Rédiger le cahier des charges.	Rappel du projet. Rédaction du Cahier des Charges. Émission des hypothèses.
03	Dessin prototype 1	Concevoir son prototype 1.0 : le dessiner.	Rappel du projet Imagination de son objet en respect du cahier des charges. Le dessiner.
04	Fabrication prototype 1	Concevoir son prototype 1.0 : le fabriquer.	Rappel du projet. Fabrication de son prototype 1 avec des matériaux de récupération.
05	Test du prototype 1	Concevoir son prototype 1.0 : le tester.	Rappel du projet. Test et bilan des premiers prototypes.
06	Analyse des prototypes 1	Concevoir son prototype 1.0 : les analyser.	Rappel du projet. Analyse des tests. Validation ou invalidation des premières hypothèses. Proposition de nouvelles hypothèses.
07	Observation et analyse d'une collection d'objets roulants	Trouver des dispositifs de liaison pivot.	Rappel. Observation et analyse des objets roulants existants. Description des liaisons dites pivot. Entraînement à classer les objets.
08	Dessin prototype 2	Concevoir son prototype 2.0 : le dessiner.	Rappel du projet. Imagination de son objet en respect du cahier des charges et en tenant compte de la notion découverte en séance 7. Le dessiner.
09	Fabrication prototype 2	Concevoir son prototype 2.0 : le fabriquer.	Rappel du projet. Fabrication de son prototype 2 avec des matériaux de récupération.
10	Test du prototype 2	Concevoir son prototype 2.0 : le tester.	Rappel du projet. Test et bilan des prototypes 2. Remplissage du tableau.
11	Analyse des prototypes 2	Concevoir son prototype 2.0 : les analyser.	Rappel du projet. Analyse des tests. Validation ou invalidation des hypothèses. Points efficaces à retenir.
12	Prototype classe	Construire le prototype classe.	Rappel du projet. Construction du prototype-classe. Photographies des étapes pour la fiche de fabrication.
13	Fiche de fabrication	Rédiger les étapes de la fiche de fabrication du prototype-classe.	Rappel du projet. Chronologie des photographies. Dictée à l'adulte des étapes mises en œuvre.

14	Rencontre « Défi- sciences »		
----	---------------------------------	--	--

Légende des différentes phases :

- Phase 0 : lancement
- Phase 1 : cahier des charges
- Phase 2 : prototype 1
- Phase 3 : apport expert
- Phase 4 : prototype 2
- Phase 5 : prototype classe
- Phase 6 : prototype classe