

CONSTRUIRE UNE MAQUETTE D'ASCENSEUR A L'ECOLE :

OUI, MAIS POURQUOI ?

Alix GERONIMI,
IUFM de Grenoble
Joseph CAPUTO et Mickaël GOUX,
Professeurs des Ecoles en Isère

Avant tout, modalité de formation, le mémoire professionnel des professeurs stagiaires conduit ces derniers, à travers une démarche transposée à partir de méthodes de recherches, à approfondir la conception et l'évaluation de dispositifs didactiques.

Le texte qui suit a été réécrit pour les besoins de la revue à partir d'un mémoire professionnel produit en 2001 par deux professeurs des écoles stagiaires, Joseph Caputo et Mickaël Goux. Ce mémoire, jugé digne d'être présenté pour concourir au prix « *Main à la pâte* » organisé chaque année par l'Académie des Sciences, s'est vu décerner le deuxième prix, à la plus grande fierté des auteurs et de ceux qui les ont accompagnés.

Le travail présenté a été mis en œuvre au cycle 3, dans une classe de cours moyen première année de vingt-trois élèves. Ceux-ci n'avaient pas une grande habitude de pratiquer les sciences et la technologie ; ils avaient en revanche, au vu de la qualité de leurs productions, une pratique régulière du dessin explicatif et de la schématisation.

La séquence présentée porte sur huit séances. Des contraintes particulières liées à l'organisation de la formation des professeurs stagiaires les ont amenés à travailler en deux périodes de deux semaines, avec une interruption de six semaines entre les deux. Cette répartition s'est avérée fructueuse pour vérifier la rétention des apprentissages.

Les professeurs stagiaires ont décidé de porter leur étude sur la mise en œuvre d'une partie des programmes de sciences : l'étude du monde créé par l'homme. Au travers de la découverte puis de la fabrication d'une maquette d'ascenseur, les apprentissages des élèves ont été orientés en priorité sur les principes de fonctionnement et de réalisation de systèmes de transmission de mouvement.

Le questionnement initial des professeurs portait sur les facteurs qui peuvent favoriser l'efficacité des apprentissages en sciences et technologie, plus précisément les apprentissages sur un mécanisme comportant des systèmes de transmission du mouvement. Ils se sont donc interrogés sur ce qu'est un objet avec transmission de mouvement, et sur la manière d'en rendre un accessible et intelligible à l'école. Ils ont pris des décisions quant aux apprentissages qu'ils souhaitaient prioritairement conduire au travers d'un tel objet. Ils

se sont documentés sur les processus d'apprentissage des élèves et sur les modalités d'action des maîtres qui les favorisent, puis ils ont construit leur stratégie.

Les élèves ont donc d'abord été amenés à exprimer leurs représentations relatives au système. Puis, les professeurs ont mis en œuvre plusieurs moyens pour faire évoluer celles-ci : questions de l'adulte, confrontation entre pairs, mise en place d'une situation problème, utilisation de matériel permettant différentes combinaisons pour valider les hypothèses des élèves. Ce cheminement structure la séquence, la nécessité de recueillir des données pour argumenter leur recherche la ponctue.

Cet écrit comporte trois grandes parties.

La première partie situe le travail conduit à partir de la maquette d'ascenseur dans le cadre des programmes de sciences et de technologie et de leurs finalités.

La seconde partie explicite la logique d'organisation de la séquence et les questions qui ont orienté sa construction. Elle comporte une analyse *a priori* des difficultés rencontrées par les élèves.

La troisième partie propose une présentation et une analyse des apprentissages effectués.

Enfin, une conclusion permet de discuter les principaux résultats, de proposer des prolongements et de signaler quelques limites de cette étude.

Le support de l'étude

Le monde construit par l'homme, comme objet d'apprentissages

L'idée qu'il fait partie des missions de l'école élémentaire de donner aux élèves dont elle a la charge des moyens de compréhension du monde et d'action dans le monde sera ici considérée acquise. Le lecteur trouvera dans l'article de Marilyne Coquidé et de Joël Lebeaume, paru en 2003 dans le numéro 72 de la présente revue, une discussion et un tour d'horizon sur les finalités de l'école élémentaire dans le domaine de la découverte de la nature et des objets.

Agir dans le monde, pour en retirer des modifications à son avantage, est l'une des orientations essentielles des activités humaines (Vérillon, P., 2002). Les objets techniques, créés par les hommes pour répondre à des besoins, résultent de cette action orientée par la recherche d'efficacité.

Prendre pour objet d'étude le monde créé par les hommes suppose deux approches complémentaires et coordonnées :

- chercher à réfléchir et à construire des connaissances sur les objets techniques ;
- chercher à réfléchir et à construire des connaissances sur les processus qui permettent de les obtenir ou de les faire fonctionner.

Autrement dit, étudier le monde des objets suppose de s'intéresser non seulement aux objets techniques, mais aussi aux actions et prises de décision techniques en relation avec leur contexte de réalisation ou d'utilisation.

La question se pose donc de la manière d'introduire dans l'école, comme objets d'étude, des enchaînements d'actions et de décisions techniques. D'autres suivent : comment introduire ces actions et décisions ? Quels savoirs veut-on voir les élèves développer à leur sujet ? Quelle sélection opérer parmi la diversité des pratiques techniques humaines pour les rendre à la fois représentatives du réel et accessibles aux élèves de la tranche d'âge concernée ?

Sur ce problème de l'introduction de l'action technique comme objet d'étude pour les écoliers ou collégiens, le choix stratégique actuellement énoncé dans les programmes est « d'importer » l'action technique dans la classe en la faisant vivre aux élèves, et en la comparant autant que possible à l'action technique à l'extérieur de l'école. (Lebeaume, J., 1999).

Ainsi, la réalisation ou l'utilisation raisonnée d'objets techniques est-elle préconisée à tous les niveaux, de l'école maternelle à la troisième de collège. En revanche, les démarches rationnelles et des connaissances techniques repères que ces réalisations techniques sont censées conduire sont très partiellement et inégalement explicitées selon les niveaux scolaires envisagés (Voir aussi Lutz, L., 1999). Ceci ne facilite pas la construction des enseignements, dans un domaine où la formation initiale des professeurs des écoles actuellement recrutés est très largement déficitaire.

Le champ d'enseignement visé

Les programmes actuels du cycle 3 sont organisés en domaines, puis en champs disciplinaires. L'un de ces champs est intitulé « sciences expérimentales et technologie ». Les apprentissages sont ensuite répartis en huit rubriques dont l'une, « le monde construit par l'homme », vise à initier les élèves à la recherche de solutions techniques, au choix et à l'utilisation raisonnée d'outils et de matériaux dans deux domaines définis : celui des objets fonctionnant avec de l'électricité, celui des objets comportant des mécanismes.

Ici, la réalisation proposée aux élèves est une maquette d'un système usuel mais complexe et rarement disponible dans une école : un ascenseur. A travers les étapes de réalisation de cette maquette, les élèves vont apprendre sur les systèmes de transmission de mouvement, sur les matériaux, sur les procédés d'assemblage permettant d'obtenir différents types de liaisons entre les éléments. Pour leur recherche, les professeurs se sont principalement centrés sur la découverte des systèmes de transmission de mouvement, et c'est elle qui traverse l'ensemble de l'étude. Les autres acquisitions sont inégalement abordées selon les séances, et ne feront pas l'objet d'un traitement aussi approfondi.

Ces différents savoirs seront présentés dans le paragraphe « Savoirs en jeu ».

La maquette, sa structure et son fonctionnement

La maquette évoque un système d'ascenseur, et comporte à la fois des analogies et des écarts par rapport à l'objet réel. Un écart majeur réside dans les déplacements des cabines, qui s'apparentent davantage à ceux de funiculaires qu'à ceux d'un ensemble d'ascenseurs comme on peut en observer dans les hôpitaux, par exemple. Cet aspect sera repris au cours de la discussion.

La maquette présentée par les maîtres à la classe, nommée « prototype » au fil de cet écrit, (voir Figure 1) est conçue de manière à masquer le mécanisme à la légitime curiosité des élèves, pour les contraindre à l'imaginer.

Lorsque les maîtres font fonctionner cette maquette, ils ouvrent vers eux le volet du haut, accèdent à une manivelle cachée qu'ils actionnent en prenant bien garde de ne pas laisser voir le mécanisme. Les élèves voient uniquement les déplacements des cabines. Lors du fonctionnement, ils attendent le repérage de quatre faits :

- L'action du manipulateur est manuelle, elle s'effectue à distance des cabines ;
- L'action du manipulateur entraîne le déplacement vers le bas de l'une des cabines, simultanément au déplacement vers le haut de l'autre ;
- Les deux cabines se déplacent sans s'entrechoquer ;
- Si une cabine est plus lourde que l'autre, le système reste stable à l'arrêt : une cabine n'entraîne pas l'autre.



Figure 1 Photographie du prototype des maîtres

Pour obtenir ces résultats, plusieurs solutions sont possibles. Parmi celles-ci, les maîtres visent plus particulièrement l'émergence de systèmes à base de poulies et de courroies, semblables à ceux schématisés ci-dessous, Figure 2 et Figure 3, par des élèves en fin d'apprentissage :

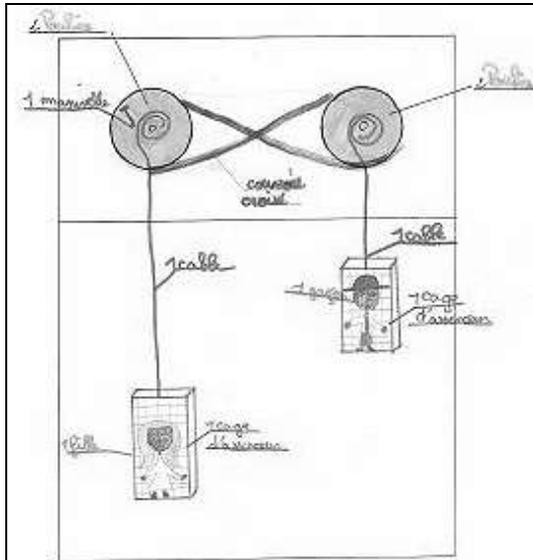


Figure 2 Schéma final de Maud

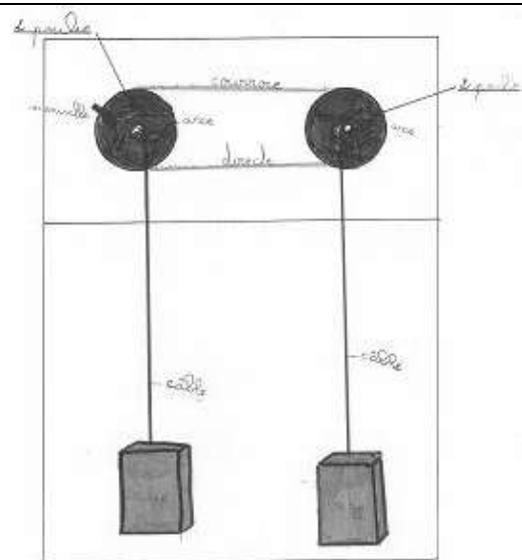


Figure 3 Schéma final de Léa

Chacun des systèmes comporte quatre poulies.

Sur deux poulies, sont enroulés les câbles de suspension des cabines : deux cabines, deux câbles, donc deux poulies. La rotation de chacune de ces poulies entraîne la translation vers le haut ou vers le bas de chaque cabine. L'une de ces poulies porte la manivelle sur laquelle l'action manuelle est exercée.

Les deux autres poulies sont asymétriques : l'une est solidaire de la poulie qui porte la manivelle, c'est la poulie menante ; l'autre est entraînée par l'intermédiaire d'une courroie

élastique qui les relie, c'est la poulie menée. On dit qu'il y a transmission du mouvement entre ces deux poulies. Pour que le système fonctionne, il faut bien entendu que les poulies sur lesquelles chaque câble s'enroule tournent en même temps que les poulies sur lesquelles s'exerce le mouvement impulsé ou transmis, ce qui nécessite une liaison complète entre elles.

L'ensemble est porté par une structure rigide qui simule la cage des ascenseurs. Elle permet notamment de positionner les poulies à la hauteur souhaitée, avec un espacement qui évite que les cabines s'entrechoquent.

Savoirs en jeu

Ce paragraphe a pour but d'inventorier les savoirs susceptibles d'être mobilisés dans la séquence, et de signaler les choix effectués par les enseignants.

Transmissions et transformations de mouvement

Cinématique

La cinématique s'intéresse à la description des mouvements : à leur trajectoire, à leur déroulement dans le temps. Le système étant délimité, le mouvement qui provoque les autres est dit mouvement d'entrée ; ici, c'est le mouvement de la manivelle. Le dernier mouvement qui en résulte est nommé mouvement de sortie ; ici, c'est le mouvement des cabines. Etudier de manière cinématique le système de transmission-transformation du mouvement, c'est décrire les mouvements des différentes pièces du mécanisme et leurs relations. Ici, on souhaite d'une part transformer un mouvement de rotation de la manivelle en mouvements de translation de deux cabines, mais aussi relier (en l'occurrence, opposer) les mouvements des deux cabines.

A partir de l'étude et de la fabrication de la maquette, il est attendu que les élèves soient capables de décrire, avec un vocabulaire correct, les mouvements des différentes pièces, ainsi que leurs relations. Ceci, pour les différentes combinaisons possibles.

Combinaisons de transmissions et transformations de mouvement

Pour obtenir les mouvements souhaités, différentes solutions sont possibles.

Le dispositif étudié nécessite la combinaison de deux systèmes, qui vont se retrouver reliés.

Un système transforme le mouvement de rotation de la manivelle en mouvement de translation des cabines : ici, c'est un système poulie plus câble qui est suggéré par le prototype des maîtres (Figure 4).

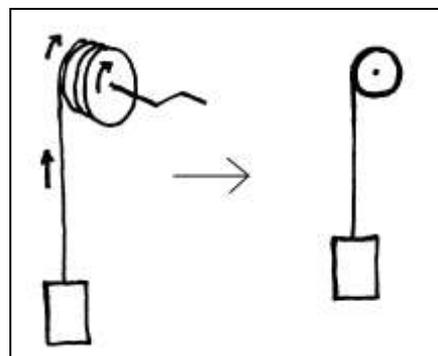


Figure 4 - Transformation par câble et poulie : perspective et schéma.

Ensuite, pour libérer l'espace nécessaire pour le mouvement des cabines, les deux systèmes poulies plus câble doivent être éloignés. Il faut un système qui synchronise leurs mouvements, autrement dit, qui transmette le mouvement de rotation de la poulie reliée directement à la manivelle à l'autre poulie.

La mise en relation de ces deux systèmes constitue une combinaison propre au dispositif étudié.

Pour transmettre le mouvement de rotation, différents systèmes sont possibles. Le tableau 1 ci-dessous présente quatre solutions envisageables, et des objets dans lesquels on peut les trouver.

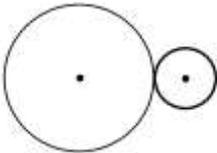
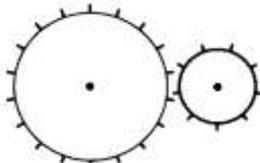
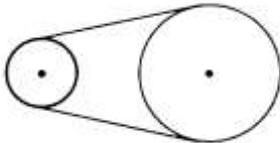
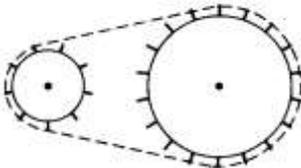
Type de système	Représentation schématique	Objets incluant ce système
Roues de friction		Dynamo de bicyclette
Engrenages		Chignole, dérouleur de blanc correcteur...
Poulies/courroies		Transmissions dans les appareils audiovisuels (walkman), dans les systèmes de refroidissement d'automobiles...
Pignons/chaîne		Bicyclette...

Tableau 1 Systèmes de transmission du mouvement de rotation. D'après : Martinand J. L., Coué A., Vigne M. - Découverte de la matière et de la technique, p. 48.

Hors d'une formation de spécialiste, il est inutile de procéder à l'étude d'un catalogue de systèmes de transmission. L'effort d'apprentissage porte donc sur l'analyse d'un ou plusieurs systèmes particuliers, répondant *a priori* à un problème posé, puis sur l'argumentation du choix de solutions retenues. Les élèves doivent donc acquérir des connaissances sur un ou plusieurs systèmes de transmission : leur structure, les effets de modifications telles qu'ici le croisement de la courroie. Ils devraient aussi être capables d'argumenter les choix de structure effectués : ici, par exemple, ils devraient être capables de justifier le fait qu'on ait employé quatre poulies, et de comprendre pourquoi les poulies sont solidaires deux à deux.

Stabilité

Dans le système de la maquette d'ascenseur des maîtres, quand on cesse de mobiliser les cabines par action sur la manivelle, celles-ci restent en position même si elles sont de poids

différents ; pourtant, les deux poulies qui supportent leurs câbles sont reliées par une courroie.

Le système poulies-courroie joue donc le rôle d'un frein dans le système. En fait ceci fonctionne parce les effets des frottements des axes dans leurs logements sont très supérieurs à ceux de la différence de poids entre les deux cabines. Par contre, ils sont très inférieurs à la force manuelle exercée sans difficulté sur la manivelle, ce qui fait qu'ils ne gênent pas la manipulation du système.

Lors de leurs premiers essais, les élèves conçoivent des systèmes dans lesquels les frottements sont insuffisants pour permettre le freinage. Une fois l'effort moteur interrompu, la cabine la plus lourde retombe inexorablement ; le système se comporte comme une balance. Une intervention forte des maîtres a été nécessaire pour leur faire saisir la nécessité de prendre en compte cette contrainte, et les aider à trouver des solutions.

Contraintes matérielles

Pour faire découvrir le système de la maquette des maîtres et rendre les élèves capables d'en fabriquer une de fonctionnement identique, deux types différents de matériels ont été mis en œuvre. Ces matériels et les contraintes qu'ils impliquent, n'étant pas connus des élèves, sont objets d'apprentissages.

Matériel modulaire

Pour la découverte du principe des systèmes de transmissions de mouvement envisageables, un matériel modulaire didactique est ici privilégié. Il sera nommé « matériel modulaire » dans la suite du texte. Ici, il s'agit soit d'éléments de marque « Légo technic », soit d'éléments de marque « Fischer-technic ». Ces matériels ont plusieurs points communs. Ils ne nécessitent pas d'outillage pour être mis en œuvre, les éléments sont prédéterminés pour jouer le rôle d'éléments de structure ou d'éléments de liaison. Ils apportent un ensemble varié de réponses aux problèmes d'assemblage et offrent des éléments de différentes dimensions pour répondre à un éventail étendu de besoins. De ce fait, ces matériels limitent considérablement les problèmes de mesures et de recherche de liaisons. Ils laissent cependant ouvert le problème de l'accrochage du câble de suspension des cabines.

Matériaux

Ensuite, pour fabriquer une maquette similaire à celle des maîtres, des matériaux spécifiques doivent être mis en œuvre. Ici, il s'agit de contreplaqué, de cordelette, de pointes, de poulies achetées chez un fournisseur, de bracelets élastiques et de colle.

Des outils adaptés doivent être utilisés. Ni les outils, ni les matériaux, ne sont familiers aux élèves, aussi, seront-ils choisis par les maîtres. Les élèves devront donc découvrir les contraintes de mise en œuvre de ces matériaux et de ces outils nouveaux et s'y adapter, en vue d'obtenir les résultats escomptés.

Vocabulaire

L'apprentissage de vocabulaire n'est pas dans ce travail un objectif en soi ; cependant, c'est l'une des façons d'aider les élèves à acquérir des moyens de communiquer dans le monde de la technique. Ici, sont distingués les termes auxquels les élèves seront seulement exposés, parce que les enseignants les utiliseront, des termes que l'on souhaite les amener à utiliser eux-mêmes à bon escient. En raison de la centration de l'étude sur la recherche de principes et de solutions de transmissions et transformations de mouvements, une part importante de termes employés relève de ce champ.

Domaine	Formulations auxquelles les élèves seront exposés	Formulations attendues
Cinématique	Rotation	Tourner, dans un sens, dans l'autre sens
	Translation	Se déplacer en ligne droite ; vers le bas, vers le haut.
	Mouvement d'entrée	Mouvement de la manivelle, de la main
	Mouvement de sortie	Mouvement des cabines
Solutions		Manivelle
		Poulie, roue dentée, axe
		Courroie, chaîne,
	Montage de la poulie	directe, croisée
		Câble de suspension
	Sens d'enroulement	S'enrouler dans un sens, dans l'autre
Système d'ascenseur		Ascenseur, cabine, cage
		Être écartées, ne pas s'entrechoquer
Contraintes matérielles	Matériaux / matériel modulaire	Légo, Contreplaqué, clou, colle
	Outils	Marteau, pinceau, règle, équerre
	Mise en œuvre, contrôle	tracer, être perpendiculaire, maintenir, assembler, coller, clouer

Tableau 2 Vocabulaire en jeu dans la séquence

Le processus de conception-fabrication de l'objet

Dans les pratiques sociales de l'industrie, qui constituent des références pour la technologie enseignée, un objet technique est conçu pour répondre à un besoin précis de l'utilisateur. Celui-ci a tendance à demander le maximum d'avantages, au coût minimum, et dans le délai le plus court possible. Mais l'objet doit aussi être réalisable avec les moyens humains et matériels dont on dispose pour produire, à coûts maîtrisés. C'est pourquoi, l'idée précise du besoin à satisfaire est le résultat d'une négociation entre les différentes personnes concernées par l'objet : les représentants de l'utilisateur, les différents professionnels spécialisés de l'entreprise. Elle se construit en même temps que l'on recherche des principes et des solutions pour fabriquer l'objet.

Ici, les objectifs d'enseignement ne sont pas axés sur l'appropriation de ce processus, mais de fait, les élèves y seront exposés. En effet, au fur et à mesure que le travail des élèves avancera, les maîtres seront amenés à préciser les performances attendues du système. Au départ, ils présenteront surtout un système dont les cabines se déplacent simultanément et en sens inverse. En avançant, on se rapprochera de l'usage : les cabines ne doivent pas s'entrechoquer. Enfin, elles sont faites pour transporter des passagers, et il peut y avoir déséquilibre entre les poids des passagers des deux cabines : lorsqu'un passager descend d'une cabine, cela ne doit pas déstabiliser l'autre cabine, encore moins entraîner sa chute. Par ailleurs, les dessins et les schémas ont une place privilégiée dans le processus de conception fabrication d'un objet ; ce que l'on retrouvera dans la démarche mise en place.

Stratégie pédagogique

Cette partie présente les principes ayant conduit l'organisation de la séquence, puis le déroulement de celle-ci. Elle se termine par une analyse *a priori* des difficultés

susceptibles d'être rencontrées par les élèves.

Quelques principes

Conformément aux apports de la didactique des sciences, il est attendu que tout élève ait, sur un sujet donné en relation avec le monde qui l'entoure, des idées même avant tout enseignement. Ces idées, que l'on appelle en général représentations, forment un système explicatif cohérent que l'enfant utilise pour répondre à ses propres interrogations, et résoudre les problèmes quotidiens. Elles sont construites à partir du vécu, des apports des autres enfants, de l'entourage proche, de l'école, des médias, et ont un fort ancrage affectif, ce qui les rend très résistantes à l'enseignement.

La première préoccupation sera donc de prendre connaissance des représentations de chaque élève sur le système de transmissions et transformations de mouvements présenté. Pour cela, un recueil individuel de données a été organisé, sous la forme d'un premier dessin des élèves.

Ensuite, différents moyens sont envisagés *a priori* pour faire évoluer ces représentations, avec un premier matériel. Un second recueil individuel de données, sous la forme d'un deuxième dessin, a été mis en place pour tenter d'évaluer leurs effets.

Une interruption programmée en milieu de séquence permettra de vérifier la tenue dans le temps des apprentissages effectués au cours de la première période, puis d'observer leurs développements lors d'un travail axé sur la fabrication, au moyen d'un matériel différent. Au terme de cette deuxième phase, les élèves ont été sollicités individuellement pour répondre à un questionnaire d'évaluation et produire un schéma final légendé de la maquette de leur groupe.

Pour faire évoluer les représentations des élèves, plusieurs moyens seront employés :

- Des situations permettant l'expression des différentes représentations présentes dans la classe, et la confrontation intellectuelle entre elles seront mises en place par exemple lors de travaux de petits groupes : c'est ce que l'on nomme l'installation d'un conflit socio-cognitif.
- A partir du repérage des principales représentations à faire évoluer dans la classe, seront construites et mises en place des situations problèmes. Ce sont des situations où les élèves ont un problème à résoudre, qui les mobilise de manière authentique, et qui ne puissent être résolues que par un apprentissage, c'est-à-dire, une modification des représentations initiales. Par exemple, les élèves n'ont aucune envie qu'une de leurs cabines tombe lorsque le maître déséquilibrera la seconde, ils vont donc devoir remettre en question leur idée de départ, à savoir qu'il est correct que les deux cabines soient directement reliées par un câble (Figure 9), et évoluer vers une représentation où les deux cabines ont plus d'indépendance (Figure 13).
- Un effort particulier portera sur la recherche de moyens pour susciter la curiosité et l'envie d'agir des élèves et bénéficier ainsi de l'élan de leur motivation.

Le déroulement de la séquence

La séquence est construite en deux phases de 4 séances, séparées par six semaines de rupture. (voir en annexes, page 30).

Première phase : de la boîte noire à la maquette fonctionnelle en matériel modulaire

L'accent est mis sur l'expression des représentations mentales des élèves, relativement au mécanisme de transmission et transformation de mouvement, et sur leur évolution. On attend des élèves qu'ils imaginent individuellement par écrit le mécanisme qui leur est caché. Ensuite, à partir de ces représentations individuelles, ils confrontent leurs idées en

petits groupes et débouchent sur un projet écrit commun présenté sous la forme d'une affiche. Enfin, les différents groupes essaient de mettre en œuvre leurs projets à l'aide de matériel modulaire, puis les perfectionnent pour arriver au fonctionnement attendu. Cette phase s'achève par une phase de présentation orale des investigations de différents groupes et de leurs résultats, suivie d'une structuration des connaissances relatives aux divers systèmes de transmission du mouvement rencontrés au cours des investigations.

Seconde phase : de la maquette d'essais en matériel modulaire à la fabrication de la maquette en matériaux spécifiques

L'accent est mis sur le processus de construction de l'objet technique.

Une sélection de principes retenus pour la réalisation du système de transmission-transformation du mouvement est réinvestie dans la réalisation de maquettes à partir de matériaux similaires à ceux employés dans le prototype des maîtres. Cette phase donne aux élèves l'occasion de découvrir des contraintes matérielles inhabituelles et de s'y confronter. Elle donne notamment lieu à la recherche de solutions permettant la réalisation de liaisons que le matériel modulaire rendait triviales.

Le suivi des apprentissages individuels de chaque élève reposera en grande partie sur les productions nommées « premier dessin », « deuxième dessin », « schéma final » et « évaluation ».

Difficultés attendues *a priori*

Ce paragraphe tente l'analyse *a priori* des difficultés que pourraient rencontrer des élèves au cours de la séquence.

Cette étude est détaillée : le lecteur pressé peut directement aborder la partie suivante qui présente et analyse les résultats observés dans la classe.

Difficultés pour imaginer le mécanisme de transmissions et transformations de mouvements

Généralités

Régulièrement, un nombre non anecdotique d'élèves, sollicités pour dessiner le mécanisme caché d'un objet, représentent ce qui se passe à l'entrée du système, ce qui se passe à la sortie, mais sans établir de liaison entre les deux. Certes, le dessin n'est qu'un indicateur, mais le constat est suffisamment répété pour qu'on prévoie des moyens d'aider ces élèves à engager leur réflexion - échanges avec leurs pairs par exemple-.

Ensuite, une proportion significative des élèves de cycle 3 sollicités pour imaginer un mécanisme caché dessine *a priori* des roues dentées. Ceci, même en l'absence de tout travail sur les engrenages au cours de l'année ou des années précédentes : empiriquement, c'est une régularité. La réalisation de montages à l'aide d'éléments variés, parmi lesquels des roues dentées, permet aux élèves de mieux cerner leurs usages.

Cinématique

A priori, les élèves de cycle trois devraient repérer sans grandes difficultés la nature des mouvements de sortie. Les cabines sont visibles, elles se déplacent selon une droite verticale, simultanément mais en sens inverse. Lors de la démonstration, les enseignants verbaliseront autant le déroulement temporel des déplacements que leurs trajectoires.

Le mouvement d'entrée est masqué. Sa découverte demandera des efforts aux élèves. Il est probable que peu d'élèves auront repéré la nature du mouvement d'entrée donné par le maître et sur quoi il s'applique.

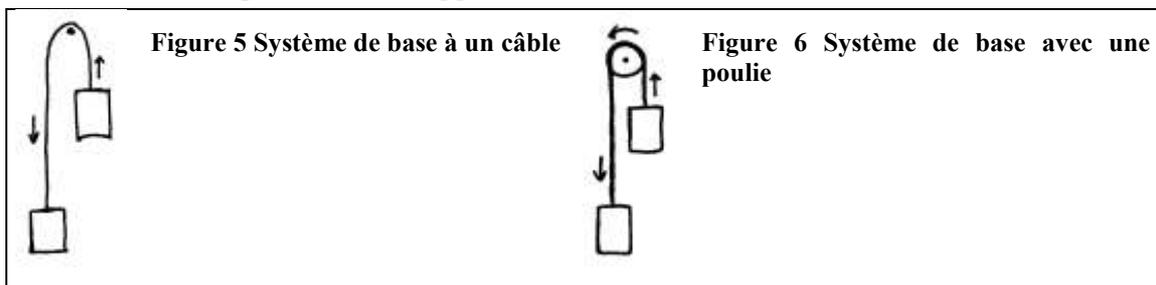
Combinaison de transmissions et transformations de mouvements

Le système est montré en situation de fonctionnement optimal. Il n'y a donc pas de dysfonctionnement qui puisse dissiper la focalisation de l'attention des élèves sur le mouvement de va et vient des cabines. Il est donc hautement probable que les autres conditions du fonctionnement soient dans un premier temps soit peu ou pas perçues, soit peu ou pas prises en compte.

→ Synchronisation des mouvements des deux cabines

Les premières réponses des élèves devraient présenter un système de transmission des mouvements de translation entre les différents éléments directement observables : les deux cabines et les câbles. Ce système de transmission pourrait être assuré par l'accrochage des cabines aux deux extrémités d'un câble unique, câble suspendu au support au moyen d'un système plus ou moins élaboré (voir la Figure 5 et la Figure 6 ci-dessous).

L'action du maître pourrait être suggérée de diverses manières.



→ Espacement entre les cabines

Il est d'autre part fortement improbable que les contraintes à respecter pour que les cabines se croisent sans heurt soient anticipées. Les élèves devront donc être amenés à constater, puis à résoudre, ce problème. Pour cela, les enseignants devront veiller aux dimensions des objets suspendus par les élèves pour représenter les cabines, afin que le dysfonctionnement survienne, comme sur la Figure 7 ci-dessous.

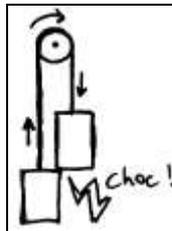
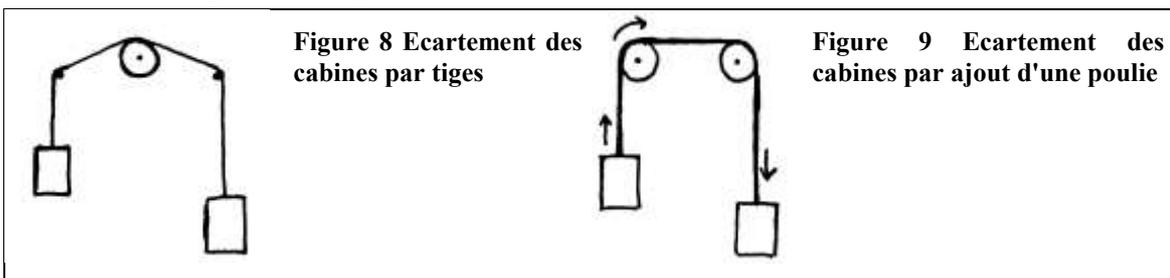


Figure 7 Situation de heurt entre les cabines

→ Problèmes d'entraînement du câble

Pour répondre à la nécessité d'assurer un écartement suffisant entre les câbles de suspensions des cabines, différentes propositions sont attendues, de l'ajout de simples tiges visant à écarter les deux brins du câble, jusqu'à l'insertion de poulies voire de roues dentées. Voir Figure 8 et Figure 9 ci-dessous.



Dans ces montages, il est probable que les contacts entre le câble et la pièce reliée à la manivelle seront insuffisants pour que le câble soit entraîné sans glissements. Si de plus, de simples tiges assurent l'écartement entre les brins du câble, les frottements à ce niveau s'opposeront au mouvement. Les élèves devraient être capables de constater par eux-mêmes ces dysfonctionnements.

Par contre, la découverte autonome de solutions à ces problèmes paraît délicate. Une aide, consistant en propositions d'éléments de solutions, devra probablement être fournie et pourrait déboucher par exemple sur des systèmes semblables à celui schématisé ci-dessous Figure 10.

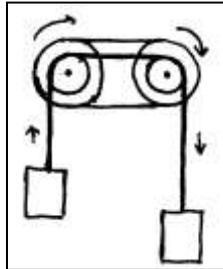


Figure 10 Ecartement des cabines combiné à une transmission

→ *Dissociation des mouvements des deux cabines*

Le système de transmission du mouvement est *a priori* susceptible d'être réversible, ce qui est incompatible avec la fonction d'usage. En fonctionnement normal, la rotation de la manivelle provoque la montée d'une cabine et la descente de l'autre. Si le système est réversible, la descente d'une cabine entraînerait la montée de l'autre et la rotation de la manivelle. Ceci pourrait se produire quand une cabine est plus lourde que l'autre, par exemple s'il y a plus de passagers dans une cabine que dans l'autre, ou lors de la montée ou de la descente des passagers.

Pour éviter ce comportement du système, une solution est de doter chaque cabine d'un système de transformation du mouvement indépendant : une cabine, un câble, une poulie (Figure 11). Puis de transmettre le mouvement de la poulie d'entrée à la poulie porteuse de la seconde cabine, en veillant à ce que les frottements en présence dans le système de transmission soient supérieurs au maximum de différence de poids entre les deux cabines.

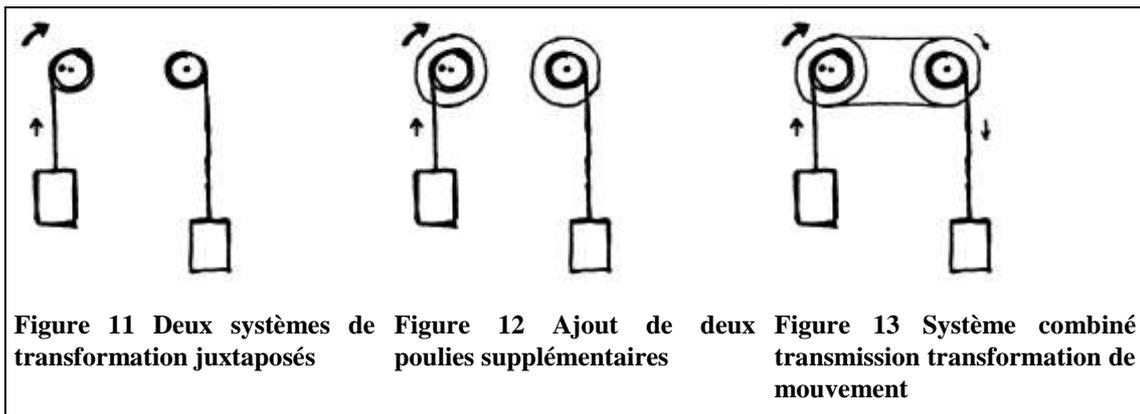


Figure 11 Deux systèmes de transformation juxtaposés

Figure 12 Ajout de deux poulies supplémentaires

Figure 13 Système combiné transmission transformation de mouvement

Cette solution, vers laquelle les maîtres souhaitent amener les élèves (Figure 13) suppose de la part de ceux-ci deux évolutions majeures. Ils doivent dissocier les deux cabines, c'est-à-dire rompre le lien immédiat matérialisé par le câble unique, soit passer d'un système du type Figure 9 à un système type Figure 11. Ils doivent aussi trouver un principe et un moyen pour transmettre le mouvement de rotation de la poulie d'entrée à la poulie qui porte la deuxième cabine.

Pour conclure, la mise au point d'un système qui fonctionne de la même manière que le prototype des maîtres suppose la résolution de plusieurs problèmes successifs par les élèves. L'intervention des maîtres sera très probablement nécessaire pour résoudre au moins les deux derniers problèmes énoncés.

Difficultés dans la prise en compte des contraintes matérielles

Matériel modulaire

En proposant des solutions quasiment immédiates pour l'assemblage de la structure et pour la réalisation des liaisons mobiles, ce matériel permet aux élèves de se concentrer sur la recherche de principes permettant les fonctionnements attendus. En cela, il peut s'avérer facilitateur.

Toutefois, ceci n'est possible qu'à la condition que les élèves soient familiarisés à son utilisation. Sinon, la multitude des pièces, de leurs combinaisons et des spécificités de montage, pourrait s'avérer inhibitrice.

Un temps d'appropriation de ce matériel paraît donc incontournable.

Matériaux

Le choix est de porter l'attention des élèves sur la découverte et la prise en compte de contraintes de fabrication. L'intention est de les amener à réinvestir les principes et les solutions qu'ils ont mis au point en utilisant le matériel modulaire.

Les difficultés attendues ici sont de trois ordres.

Tout d'abord, les élèves devront apprendre à résoudre un ensemble de problèmes d'assemblage des pièces, que le matériel modulaire aura résolu à leur place dans un premier temps :

- Problèmes de mise en position : dimensions, perpendicularité des assemblages du support, par exemple.
- Problèmes pour obtenir des assemblages mobiles.
- Problèmes pour contrôler que ce que l'on a réalisé est bien conforme à ce que l'on attend.

Ensuite, certaines solutions trouvées avec le matériel modulaire ne sont pas transposables avec les matériaux : c'est en particulier le cas pour l'assemblage poulie-axe-support. Les solutions trouvées avec le matériel modulaire risquent de faire obstacle à la découverte des solutions avec les matériaux.

Enfin, outils et matériaux demandent eux aussi, avant la fabrication définitive, que les élèves aient l'occasion d'une première familiarisation avec leur mise en œuvre, évidemment différente de celle du matériel modulaire et de celle des outils et matériaux usuels dans une salle de classe.

Difficultés avec le vocabulaire

Une première difficulté consiste à amener les élèves à renoncer à la désignation du matériel précis qu'ils ont en mains ou sous les yeux, pour des termes plus généraux, associés ou non à la fonction. Par exemple, les élèves diront plus volontiers « fil de pêche » ou « ficelle » que « câble de suspension », « clou » que « axe de la poulie ». En fait, il leur est demandé de changer de contexte.

Ensuite, certains mots sont utilisés avec des sens différents selon le contexte. Ils posent des problèmes accrus si les élèves n'ont pas les moyens d'identifier les moments de changement de contexte d'usage. Ici, c'est le cas du terme axe. En mathématiques, il désigne une droite par essence immatérielle et d'épaisseur nulle. En technologie, il désigne

prioritairement une pièce matérielle globalement rectiligne, autour de laquelle une autre pièce peut pivoter ou translater. Mais, lorsqu'il est question de transmissions et de transformations de mouvement, sont successivement en jeu la cinématique, qui utilise des abstractions mathématiques telles que le concept d'axe, et la technologie. Ici, le choix effectué est de n'utiliser le mot axe que dans le sens technologique.

Résultats et analyse

Pour les nécessités de l'analyse, les résultats présentés et analysés sont relatifs aux trois champs de savoirs développés au paragraphe "Savoirs en jeu". Les données quantitatives proviennent en grande partie des quatre productions individuelles des élèves.

Transmissions et transformations de mouvement

Première phase

Analyse des représentations initiales des élèves

Le tableau 5, en annexes, confirme que tous les élèves, sauf quatre, proposent des moyens assez précis pour relier le mouvement de la manivelle à celui des cabines, basé sur un câble unique relié aux deux cabines.

Trois à six élèves ont prévu l'écartement des cabines. Comme prévu, plus du tiers des élèves ont inclus des roues dentées dans leur système. L'action du maître en entrée est représentée par une main chez cinq élèves. Certains la placent sur un élément apparenté à une poulie, ce qui montre qu'ils ont repéré le mouvement de rotation en entrée. Ce n'est pas le cas de Johanna (Figure 14) qui montre clairement une main tirant directement sur la ficelle pour déplacer les cabines. Il est possible que ces cinq élèves aient eu du mal à se détacher de la démonstration du maître. Il est tout aussi envisageable que le dessin de la main indique l'action qui provoque le mouvement : c'est la main qui donne l'énergie musculaire en entrée.

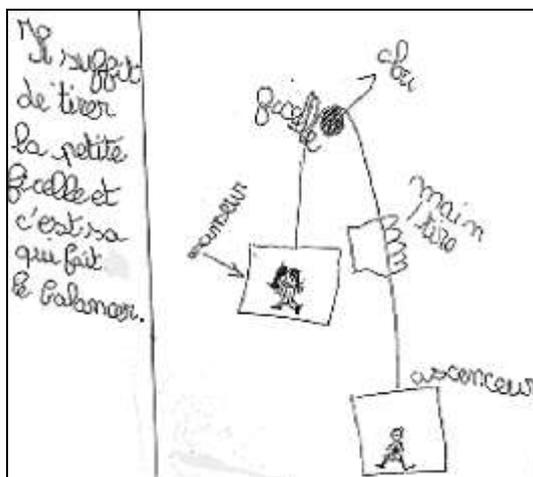


Figure 14 Premier dessin de Johanna

Le travail en groupe qui a immédiatement succédé à la production de dessins individuels au sujet du mécanisme caché a amené à une diffusion au sein des groupes de certaines idées et à une uniformisation des productions. Sur les affiches de groupe des élèves, les systèmes à base d'engrenage disparaissent. Deux groupes ont adopté un système à trois poulies, les cinq autres un système à une seule poulie.

Dans un deuxième temps, chaque groupe doit réaliser en autonomie le montage qu'il a dessiné sur son affiche lors de la séance précédente, en utilisant le matériel modulaire. La conformité avec le montage anticipé est alors vérifiée, puis le maître soumet le montage à un test : si on coupe le câble reliant l'une des cabines au système de transmission, l'autre ne doit ni tomber, ni redescendre.

Sur ces premiers montages réalisés en autonomie par les groupes d'élèves, on observe différents dysfonctionnements :

- le poids de chaque cabine doit être obligatoirement identique pour éviter un entraînement de la plus légère par la plus lourde ;
- les objets qui matérialisent les cabines s'entrechoquent lors de la montée et de la descente, pour les cinq groupes qui ont construit un système à une poulie.

Pour faire réagir chaque groupe sur ces deux problèmes de fonctionnement, les enseignants font de nouveau fonctionner leur prototype en insistant sur le fait que les cabines, étant éloignées, ne se touchent pas et, qu'en lestant de façon différente les deux cabines, la plus lourde n'entraîne pas la plus légère. C'est donc une reformulation du cahier des charges de la maquette qui est proposée.

Par comparaison entre le fonctionnement du prototype des maîtres et celui de leur maquette, les groupes ayant construit le système à une poulie apprécient l'écart entre leur proposition et le fonctionnement à obtenir. Ils ajoutent alors une seconde poulie pour éloigner les deux cabines.

La difficulté rencontrée par tous les groupes est ensuite de répondre au problème de transmission de mouvement de rotation entre les deux poulies. En effet, quand on tourne une poulie, l'autre n'est pas nécessairement entraînée ; le fil glisse sur les poulies. Le problème est clairement identifié par les élèves, mais sa résolution est difficile.

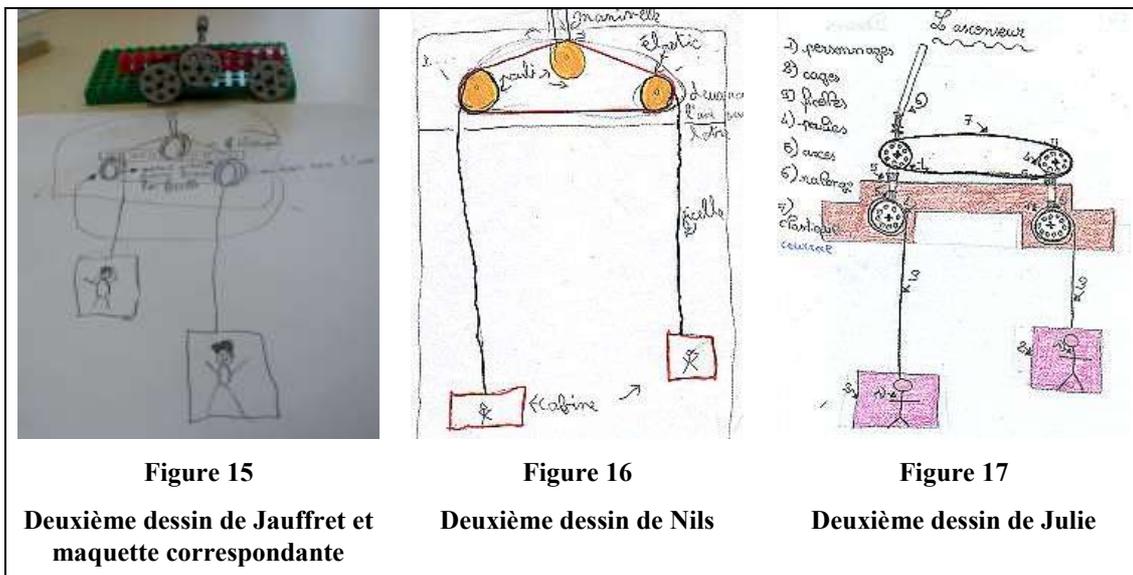
Les groupes tâtonnent avec le matériel à disposition. Les maîtres circulent dans la classe. Ils questionnent à nouveau les élèves sur les usages possibles des différentes pièces du matériel modulaire. Une solution apparaît dans un ou deux groupes : rapidement, l'idée d'une courroie pour solidariser le mouvement de rotation des poulies se propage. Cette difficulté surmontée, une autre est dévoilée : la superposition du câble sur la courroie entraîne le déraillement et l'emmêlement du câble. Des élèves proposent alors de superposer deux autres poulies afin de désolidariser la courroie et le câble.

A partir de ce stade, la plupart des élèves sont capables de différencier les fonctions remplies par chaque couple de poulies : deux poulies servent à transmettre le mouvement de rotation et les deux autres à transformer ce mouvement en un mouvement de translation. Un groupe continue à développer une solution équivalente basée sur un système roues dentées-chaîne. Mais tous conservent un système avec un seul câble reliant les deux cabines, et ils ne perçoivent pas en quoi le fonctionnement de leurs systèmes diffère de celui qui est attendu.

Les enseignants improvisent alors une intervention plus frappante pour provoquer le déséquilibre, en coupant le câble de leur prototype au dessus d'une cabine. Ceci entraîne la chute d'une cabine tandis que l'autre reste immobile. Cette situation devient une référence pour les élèves qui cherchent comment rendre indépendantes les deux cabines.

Après plusieurs tentatives infructueuses, après également discussion avec l'enseignant, le raisonnement de certains groupes aboutit à la nécessité de passer d'un câble commun aux deux cabines à deux câbles, soit un câble par cabine, et de les fixer à chacune des poulies qui transforment le mouvement. Chaque élève dessine alors la solution retenue par son groupe.

Ces dessins constituent une base de travail pour la séance 4, dédiée essentiellement au lien entre les montages possibles des systèmes de transmission et les sens d'enroulement des câbles de cabines.



Bilan de la première phase

C'est par l'expérimentation avec le matériel modulaire que les élèves ont tous franchi l'obstacle, c'est-à-dire de passer d'un système dont les deux cabines sont reliées par un câble unique à un système où chaque cabine dispose d'un système de transformation de mouvement indépendant, la transmission de mouvements entre les deux cabines étant assurée par ensemble distinct.

Les groupes ont produit trois types de propositions :

- un système avec transmission par roues dentées et chaîne et transformation par deux poulies ;
- un système à 4 poulies, voir Figure 17;
- un système à 5 poulies, la cinquième faisant office de moteur dans l'esprit des enfants, alors qu'étant donné son emplacement, elle est fonctionnellement inutile, voir Figure 15 et Figure 16.

Les dessins individuels produits par les élèves en fin de première phase montrent tous des maquettes dont le fonctionnement est conforme aux attentes. Leurs légendes informent sur le vocabulaire utilisé par les élèves, mais procurent peu d'informations sur les apprentissages relatifs au système mécanique lui-même.

Deuxième phase

L'interruption de 6 semaines dans le déroulement de la séquence offre un temps de latence, opportunité de vérifier la présence et la rétention des apprentissages que l'on a des raisons de croire construits à l'issue de la première phase.

Après un temps de remémoration, les investigations de la classe sont orientées sur le processus de construction de maquettes similaires par les matériaux et le fonctionnement, à celle des maîtres.

Pour des raisons de disponibilité et de coût des fournitures nécessaires, les maîtres ont limité les principes mis en œuvre aux transmissions et transformations de mouvements par poulies et courroie. Les seules variantes possibles à partir de ce principe sont donc liées au

montage de la courroie : montage direct ou montage croisé. Ces variantes ont des répercussions sur le sens d'enroulement des câbles de suspension des cabines.

En fin de fabrication, chaque élève a été sollicité en deux temps. Dans un premier temps, il lui a été demandé de répondre à un ensemble de questions ouvertes, portant sur la combinaison de transmissions et transformations de mouvements étudiées (évaluation). Dans le second temps, les élèves ont complété et légendé un dessin de la maquette de leur groupe, selon la consigne « *représente ton système final en complétant le schéma ci-dessous et en y associant une légende précise* ». Voir par exemple les Figure 2 et Figure 3 page 10 .

Les résultats de ces différentes évaluations montrent des acquis très nets, relativement au vocabulaire, qui seront détaillés dans le paragraphe consacré à ce dernier.

En ce qui concerne le système de transmissions et transformations du mouvement, les schémas et leurs légendes mettent plusieurs faits en évidence.

D'abord, quasiment tous les élèves ont repéré la plupart des éléments nécessaires au fonctionnement du système : poulies, courroie, câbles de suspension des cabines, et les dessinent dans un agencement cohérent avec le fonctionnement attendu. Par exemple, les câbles sont enroulés, ce qui n'était pas le cas sur les dessins obtenus initialement en fin de première phase. Le sens de cet enroulement est cohérent avec le système de montage de la courroie et permet bien le fonctionnement attendu. Ensuite, les légendes passent d'une description du fonctionnement extérieur de l'ascenseur, par exemple « *On fait tourner la roue et la cabine descend* », à des explications parfois très précises et détaillées sur les fonctions des différentes pièces et leurs interactions, par exemple, « *La courroie sert à faire tourner les deux poulies ensemble* », « *axes servant à faire tenir les poulies* ». Cette tendance se retrouve dans les réponses au questionnaire d'évaluation.

Les élèves se sont donc appropriés la structure du système et sont capables d'explicitier non seulement son fonctionnement externe, mais son fonctionnement interne. L'objectif est atteint.

Prise en compte des contraintes matérielles

Première phase

Le premier contact confirme que tous les enfants ne savent pas utiliser le matériel modulaire ; ils sont donc incités à le découvrir en réalisant une construction libre. Par la suite, comme cela a été signalé au paragraphe précédent, les maîtres ont fait des apports ponctuels pour mettre en évidence les possibilités offertes par des éléments particuliers.

On relève que, lorsque les élèves sont invités à dessiner la maquette en matériel modulaire de leur groupe, les deux tiers d'entre eux dessinent des formes caractéristiques du matériel modulaire au même titre que des formes plus essentielles pour le fonctionnement de la structure. (Comparer par exemple les dessins de Nils et de Jauffret, élèves du même groupe, Figure 15 et Figure 16 page 22).

Deuxième phase

Pour construire la maquette similaire à celle des maîtres par ses matériaux, les élèves sont amenés à anticiper, avant fabrication, une sélection de matériaux nécessaires parmi un assortiment avec intrus proposé par les maîtres.

Ensuite, les élèves ont réalisé le montage des poulies sur leur support.

C'est à ce moment-là que le passage du matériel modulaire aux matériaux (contreplaqué, clou, poulies en bois...) a créé un obstacle et fait prendre conscience d'implicites : aucun

des groupes n'a sélectionné de matériau permettant d'assembler deux à deux les poulies sur leur axe commun. Ceci s'explique par la configuration du matériel modulaire : une poulie montée sur un axe devient solidaire de celui-ci ; poulie et axe tournent donc simultanément. Si on monte une deuxième poulie, celle-ci devient solidaire à son tour de l'axe, donc de l'autre poulie. Ainsi, les poulies montées successivement sur le même axe, dans le cas du matériel modulaire, sont solidaires sans que les élèves aient de réflexion à mener ni de décision à prendre. Dans le cas d'un clou faisant office d'axe de rotation pour des poulies percées d'un trou plus gros que le clou, les deux poulies sont libres de tourner indépendamment autour de l'axe, d'où la nécessité de rechercher des solutions pour que les poulies tournent ensemble. Finalement, chaque groupe a demandé de la colle pour rendre solidaires les deux poulies.

Les élèves ont aussi pris conscience de l'importance de l'axe, et de la fonction qu'il remplit. Sur les premiers dessins, aucun axe n'est explicitement désigné : on ne sait pas ce qui tient la poulie, voir par exemple le dessin de Nicolas **Figure 22**. Lorsque les élèves ont représenté leurs maquettes en matériel modulaire, seulement le quart d'entre eux ont estimé important de dessiner les axes. Mais lors de la fabrication, 7 groupes sur 8 ont pensé à prendre des clous pour fixer les poulies, et par le questionnement du maître, ils ont été amenés à employer le terme d'axe. Lors de leurs schémas finaux, 12 élèves dessinent et nomment explicitement des axes, mais la majorité d'entre eux les désigne du nom de la pièce qui a servi à les réaliser : un clou. Tout se passe comme si la réflexion relative à la fonction de l'axe, et les structures possibles, s'effectuait lors de la phase de construction.

Du fait que le matériel modulaire est très fonctionnel, il dirige beaucoup la démarche expérimentale de l'élève (trous pré-percés, axes forcément perpendiculaires, alignement des poulies...etc.). En revanche, la fixation du système sur une plaque de contreplaqué conduit l'enfant à se questionner sur la procédure à adopter pour centrer et aligner le système. Il doit prendre en compte les moyens de réalisation à sa disposition et en tirer le meilleur parti. Par exemple, il doit utiliser de manière pertinente des instruments de traçage tels que règle et équerre pour mesurer et tracer ; il doit apprendre à penser un procédé d'assemblage prévu avant de le mettre en œuvre sur le produit final.

Les deux types de matériels utilisés successivement par les élèves ont donc permis des apprentissages différents et complémentaires.

Outre des matériels différents, ce sont les liens entre principes, contraintes matérielles et solutions, que les élèves ont abordés grâce à la combinaison des deux phases d'enseignement.

Vocabulaire

La présence de légendes sur les schémas des élèves permet l'analyse du vocabulaire employé. Les données recueillies portent uniquement sur le vocabulaire relatif aux solutions pour réaliser le système de transmissions et transformations de mouvements, et à l'ascenseur (voir tableau 4 ci-dessous).

Au départ, quelques élèves emploient déjà des termes techniques appropriés, mais la plupart emploie des termes relatifs à l'aspect du prototype des maîtres. Logiquement, aucun élève n'emploie le terme courroie puisque seuls deux dessins comportent plus d'une poulie. Les axes sont quelquefois représentés, mais pas dénommés. A l'issue du travail avec le matériel modulaire, les élèves dessinent des courroies, mais les désignent par la propriété la plus marquante de la pièce qui joue le rôle de courroie dans le matériel modulaire : l'élasticité. En fin d'enseignement, après notamment un travail spécifique sur le lien entre montage de la courroie et sens d'enroulement des câbles, les élèves dessinent

les courroies et les désignent soit par le terme exact, soit par le type de montage. Les montages croisés semblent avoir marqué la mémoire des élèves.

Quant aux axes, s'ils sont représentés et désignés par plus de la moitié des élèves, ils restent dans la plupart des cas nommés « clous ».

Terme attendu	Productions des élèves	Premiers dessins (23 élèves)	Deuxièmes dessins séance 3 (20 élèves)	Schéma final (23 élèves)
Manivelle	Terme exact	15	8	18
	Autre	0	2 rallonge	1 clou
Poulie et roue dentée	Terme exact associé au dessin d'une <i>poulie</i>	7	17	23
	Terme exact associé au dessin d'une <i>roue dentée</i>	1	2	0
	Roulette ou roue associé au dessin d'une roue dentée	2	0	0
	Roulette ou roue associé au dessin d'une poulie		3	0
	Dessin présent, pas de vocabulaire associé	13	0	0
Axe	Terme exact	0	4	4
	Autre	0	1 barre en fer	8 clou
Courroie ou chaîne	Courroie	0	1	16
	Elastique	0	15	0
	Chaîne	0	2	
	Autre	0	0	7 croisée
Câble	Terme exact	1	0	21
	Fil de pêche, ficelle, fil	22	19	1
Cabine ou cage	Terme exact	6	13	19
	Ascenseur	5	0	1
	Boîte	4	1	2
	Caisse	1	1	0

Tableau 4 : Evolution du vocabulaire employé sur les écrits

En fin d'enseignement, la totalité des élèves emploie à bon escient les termes manivelle, poulie, câble et courroie. Ce vocabulaire paraît acquis.

En ce qui concerne les axes et leur fonction, le vocabulaire retenu est fortement lié au contexte de la fabrication vécue, ce qui tendrait à confirmer l'importance de cette phase pour leur prise en compte.

Conclusions et perspectives

Les deux phases de la séquence ont contribué de manière complémentaire à la dynamique du projet. La première, essentiellement centrée sur l'utilisation du matériel modulaire a permis des expérimentations poussées en vue de découvrir des principes et des solutions pour résoudre le problème de fonctionnement posé ; elle a aussi bénéficié de la connotation ludique que comporte ce matériel. La seconde, axée sur la découverte et la prise en compte

de contraintes matérielles, a débouché sur la construction de la maquette et sa décoration. Outre le fort engagement suscité, elle a permis des apprentissages sur les solutions techniques en jeu.

Tout au cours de la séquence, les maîtres ont combiné différentes stratégies pour construire leur enseignement : prise en compte des représentations des élèves, confrontation de ces représentations avec celles de pairs, questionnement de l'enseignant, questionnement de la classe, utilisation de matériel modulaire pour tester les hypothèses des groupes d'élèves, mise en place de situations problèmes successives.

Le temps de latence de six semaines aménagé à mi-parcours permet d'affirmer que les apprentissages construits au cours de la première phase ont été retenus. C'est un résultat très encourageant.

Au cours de la deuxième phase, l'assemblage des poulies a donné l'occasion de vérifier que les principes et solutions découverts et mis au point avec un type de matériel nécessitent des modifications pour être transposés à un autre type de matériel. Ces modifications portent non seulement sur la prise en compte de contraintes matérielles particulières, mais aussi sur l'explicitation de fonctions techniques assurées de manières différentes selon les matériels. Derrière le contraste entre l'apparente facilité pour réaliser un système mécanique avec un matériel modulaire et les difficultés qui restent à franchir pour fabriquer en transformant des matériaux résident non seulement des savoir-faire spécifiques, mais aussi des connaissances techniques fondamentales. Implicites dans un cas, elles sont explicitées dans l'autre.

Le passage du montage en matériel modulaire à la construction en matériaux demande, de la part des élèves, un investissement cognitif conséquent. Par suite, le choix des matériaux nécessaires à la construction a été effectué par les enseignants. En bénéficiant d'un temps plus long, il serait intéressant d'amener les élèves à élaborer eux-mêmes le cahier des charges de la maquette à réaliser et à proposer des matériaux et des procédés pour la fabrication.

Par ailleurs, il serait envisageable de faire découvrir aux élèves d'autres types de transmissions et de transformations de mouvements ainsi qu'une autre source d'énergie que celle, musculaire, utilisée : le moteur et son principe de fonctionnement.

Il serait aussi possible d'organiser différemment la découverte du système de transformations et transmissions de mouvements combinées par les élèves, par exemple en posant d'abord le problème de la mobilisation d'une seule cabine ; ceci changerait très probablement l'orientation des investigations des élèves.

Cette étude comporte quelques limites.

Tout d'abord, la maquette est par certains aspects, très éloignée d'un ascenseur réel : c'est le cas pour la simultanéité des mouvements des cabines, pour l'énergie motrice, et pour l'absence de systèmes de sécurité.

Afin de travailler à construire une représentation juste au réel, il serait nécessaire de réserver un temps de travail pour effectuer une comparaison entre la maquette et ce qu'elle représente, dégager les points communs et les écarts. Ceci permettrait d'envisager d'autres solutions techniques pour un même usage et de bien distinguer la fonction d'usage d'un monte charge de celle d'un ascenseur. Par ailleurs, ceci offrirait une occasion de contribuer à l'éducation aux risques, d'autant plus que la stratégie choisie pour mettre en évidence le freinage par le système de transmission (couper le câble) soulève le problème de la sécurité dans les systèmes authentiques.

Ensuite, cette présentation ne s'attarde ni sur les acquisitions permises par les tâches collectives, ni sur les appuis et les coordinations possibles et souhaitables avec les autres enseignements : maîtrise de la langue et mathématiques notamment.

Enfin, elle n'analyse pas l'intérêt de la coordination de phases de prédiction sur papier et de phases de validation au moyen de matériel.

D'un point de vue général, l'objectif initial a été atteint. En dégagant des principes de fonctionnement et de réalisation d'une maquette, les élèves ont été conduits à la prise en compte de contraintes de fabrication et à l'explicitation des fonctions attendues. Ceci a permis une première approche de la discipline technologie.

Il a été possible de vérifier la persistance des premiers apprentissages effectués. Il paraît envisageable que ce résultat puisse être étendu à la suite des acquisitions. La démarche d'investigation proposée paraît avoir prouvé son efficacité.

Repères bibliographiques

ASTOLFI J.P., PETERFALVI B., VERIN A., 1998. *Comment les enfants apprennent les sciences*, Retz.

Collectif, 2000. *Sciences physiques et technologie, cycle des approfondissements*. CRDP des Pays de Loire.

COQUIDE, M., LEBEAUME, J., 2003. La découverte de la nature et des objets à l'école : hier et aujourd'hui, *Grand N*, n° 72, pp. 105-113. Grenoble, IREM, Université Joseph Fourier.

DEFORGE Y., 1993. *De l'éducation technologique à la culture technique*. ESF.

L'HARIDON A., 2003. *Enseigner la technologie au cycle 3*. Nathan pédagogie.

LEBEAUME J. , 1999. *L'éducation technologique*. ESF.

LUTZ, L., 1999. *Contribution à l'élucidation des contenus et modalités d'enseignement de la technologie à l'école élémentaire*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1.

MARTINAND, J. L., COUE A., VIGNE M., 1997. *Découverte de la matière et de la technique*. Hachette éducation.

VERILLON, P., 2002. Problème et technologie : brève incursion dans la littérature pour introduire le séminaire. A paraître dans *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques*, Cachan, 2001-2002.

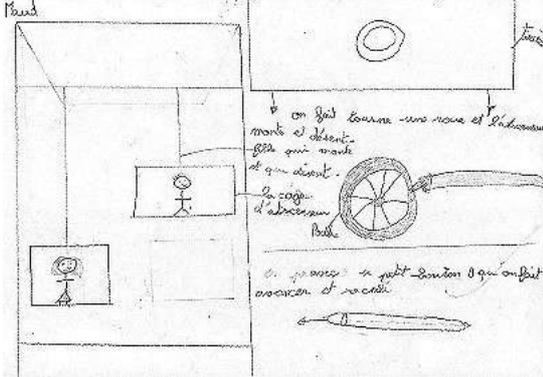
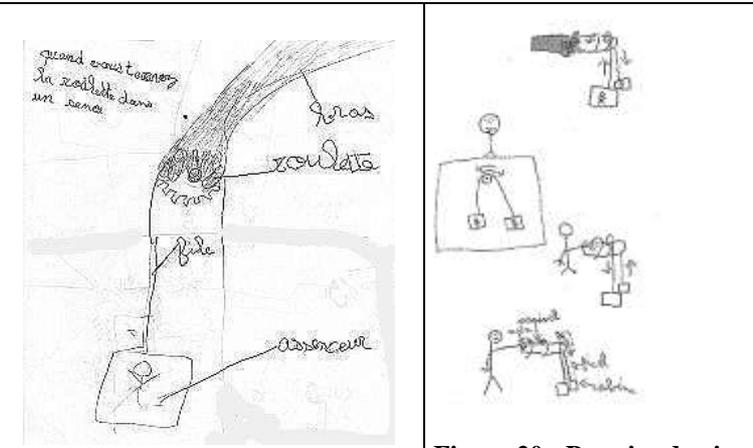
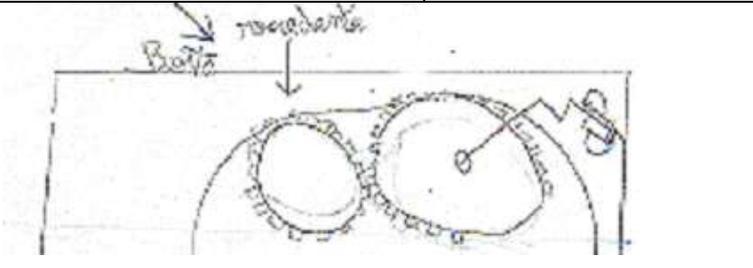
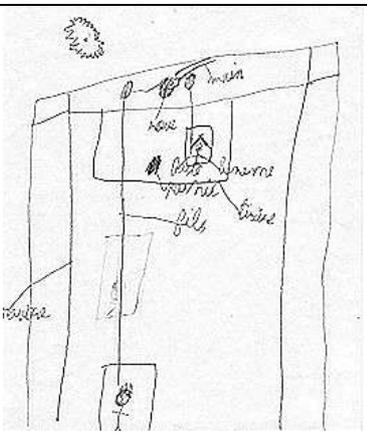
Annexes

Tableau 3 : Plan de séquence

	objectifs du maître	compétences visées	tâches proposées	Données recueillies	Questions
1	<ul style="list-style-type: none"> - susciter l'engouement et le questionnement des élèves - évaluation diagnostique - créer une situation de conflit socio-cognitif 	<ul style="list-style-type: none"> - comprendre et s'approprier le projet - être capable de dessiner un système mécanique - confronter ses idées à celles de ses pairs - argumenter un dessin technologique 	<ul style="list-style-type: none"> - lecture d'un texte portant sur un ascenseur imaginaire - manipulation du prototype - émergence des premières représentations mentales (dessins) - confrontation par groupes pour la réalisation d'une affiche commune à chaque groupe - mise en commun collective 	Premières représentations : premiers dessins individuels. affiche commune à chaque groupe.	Quelles sont les représentations initiales des élèves sur le mécanisme?
2	<ul style="list-style-type: none"> - faire découvrir un matériel modulaire - sensibiliser les élèves à la notion de transmission et transformation de mouvement - créer une situation de conflit socio-cognitif 	<ul style="list-style-type: none"> - manipuler le matériel modulaire - construire en groupe un système en fonction du schéma - confronter sa réalisation aux autres groupes - accepter la critique 	<ul style="list-style-type: none"> - distribution et jeu avec le matériel modulaire - distribution de l'affiche et réalisation par groupe du système dessiné - situation-problème : on coupe le câble d'une cabine, celle-ci chute, l'autre pas - mise en commun - critique et validation par les pairs 	Photos des maquettes	Quels sont les effets de différents moyens employés pour faire évoluer les représentations?
3	<ul style="list-style-type: none"> - recueillir les secondes représentations des élèves 	<ul style="list-style-type: none"> - travailler en groupe - prendre en compte les remarques de ses pairs - faire évoluer son système 	<ul style="list-style-type: none"> - distribution des maquettes réalisées en séance 2 et de l'affiche - mise en commun et confrontation aux autres groupes - dessiner sa seconde représentation 	-photos des maquettes -deuxièmes dessins individuels des maquettes	
4	<ul style="list-style-type: none"> - faire prendre conscience de la relation entre le sens d'enroulement du câble et la disposition de la courroie 	<ul style="list-style-type: none"> - travailler en binôme - acquérir une nouvelle connaissance - étudier l'enroulement du câble selon la disposition de la courroie 	<ul style="list-style-type: none"> - observation de tous les seconds dessins → émission d'hypothèses - à partir d'un système à 4 poulies isolé, chercher l'enroulement du câble selon la disposition de la courroie - mise en commun 	-évaluation individuelle en fin de séance	

INTERRUPTION 6 SEMAINES					
5	- faire passer les élèves des solutions imaginées avec le matériel modulaire à la situation réelle de fabrication	- être capable de construire son système mécanique	- rappel du projet - clouer 2 planches parallèles - marché aux matériaux et outils - fixation du système sur la planche	-listes de matériel élaborées par les groupes.	Quelle est la tenue des premiers apprentissages dans le temps ? Comment se poursuivent et s'organisent-ils dans la deuxième phase ?
6	- faire passer les élèves des solutions imaginées avec le matériel modulaire à la situation réelle de fabrication	- être capable de construire son système mécanique et le coffrage	- fixation du système sur la planche → suite et fin - réalisation des cabines - apprentissage assemblage - fabrication du coffrage : début	Photographies des élèves en action	
7	- faire passer les élèves des solutions imaginées avec le matériel modulaire à la situation réelle de fabrication - évaluer les connaissances acquises	- être capable de construire son système mécanique et le coffrage - être capable de réinvestir les connaissances acquises	- fabrication → suite et fin du coffrage - évaluation	Questionnaire écrit : évaluation	
8	- sensibiliser l'élève à l'esthétique du produit fini	- décorer un produit fini de différentes façons - savoir être critique sur un produit fini	- dévoilement du système du prototype - décoration de l'ascenseur - répondre à un questionnaire	Schéma final légendé individuel de l'ascenseur de leur groupe	

Tableau 5 : représentations initiales sur le mécanisme

<p>Pas de lien entre cabine et manivelle : 4 élèves</p>		 <p>Handwritten notes in French: "on fait tourner une roue et l'ascenseur monte et descend", "c'est qui monte et qui descend", "le cage d'ascenseur", "Poulie", "on passe le petit bouton qui on fait tourner et on fait monter et on fait descendre".</p>
<p>Présence d'un lien entre la cabine et la manivelle: 19 élèves</p>	<p>Système avec une poulie ou avec une roue dentée guidant un câble dont chaque extrémité est pourvue d'une cabine</p> <p>Poulie : 10 élèves Roue dentée : 4 élèves</p>	 <p>Figure 19: Diagram with labels "cable", "roue", "poulie", "cage", "ascenseur". Figure 20: Diagram with labels "cable", "roue", "poulie", "cage", "ascenseur".</p>
	<p>Système pourvu d'un engrenage : deux roues dentées entraînant un câble. 3 élèves</p>	 <p>Figure 21: Diagram with labels "roue dentée", "cable", "poulie".</p>
	<p>Système à 3 poulies 2 élèves</p>	 <p>Figure 22: Diagram with labels "roue", "cable", "poulie", "cage", "ascenseur".</p>