

La modélisation en sciences à l'école élémentaire permet-elle une évolution des conceptions initiales des élèves sur le concept de mouvement corporel ?

Julie Pulicani

▶ **To cite this version:**

Julie Pulicani. La modélisation en sciences à l'école élémentaire permet-elle une évolution des conceptions initiales des élèves sur le concept de mouvement corporel ?. Education. 2018. hal-02374948

HAL Id: hal-02374948

https://univ-fcomte.hal.science/hal-02374948

Submitted on 21 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Mémoire
présenté pour l'obtention du Grade de :

MASTER

"Métiers de l'Enseignement, de l'Education et de la Formation"

Mention 1er Degré Professeur des Ecoles

sur le thème

La modélisation en sciences à l'école élémentaire permet-elle une évolution des conceptions initiales des élèves sur le concept de mouvement corporel ?

Projet présenté par
Julie Pulicani
Directeur
Arnaud Mouly

Année universitaire 2017 – 2018

Remerciements

Merci à Arnaud Mouly de m'avoir accompagnée dans la réalisation de ce mémoire.
Merci aux enseignants qui ont accepté de mettre en œuvre les expériences dans leur classe : Oriane Viotte, Hervé Pulicani et Chloé Le Moal.

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION **4**

II. LE MOUVEMENT CORPOREL **5**

A. Le système osseux **5**

B. Les articulations **5**

C. La contraction musculaire **6**

III. LE CADRE THEORIQUE **8**

A. Les conceptions initiales des élèves **8**

B. La modélisation en sciences **11**
1. Qu'est-ce qu'un modèle en sciences ? 11
2. Les intérêts et limites du modèle 12
3. Comment le modèle peut contribuer à l'évolution des conceptions des élèves ? 12

C. Le mouvement corporel à l'école primaire **13**
1. Les conceptions initiales des élèves sur le mouvement corporel 13
2. L'apport de la modélisation dans la compréhension du concept de mouvement corporel 14

IV. DEMARCHE METHODOLOGIQUE **15**

A. La séquence d'enseignement **15**

B. L'étude complémentaire **17**

C. Protocoles expérimentaux **21**

V. RESULTATS **22**

A. Résultats obtenus lors de la séquence d'enseignement **22**

B. Résultats obtenus lors de l'étude complémentaire **27**
1. Présentation du cadrage de l'étude 27
2. Le modèle squelettique 27
3. Le modèle du bras articulé 30

VI. ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS LORS DE L'ETUDE COMPLEMENTAIRE **34**

A. Le modèle squelettique **34**

B. Le modèle du bras articulé **37**

VII. CONCLUSION **41**

I. Introduction

Les pédagogies traditionnelles définissent l'enseignant comme seul détenteur du savoir, sa mission était de transmettre le savoir sous forme de « leçons à apprendre », c'est le modèle transmissif. L'élève n'est pas acteur de ses apprentissages il reçoit un savoir et on attend de lui qu'il le mémorise. On considère alors que l'apprenant n'a aucune conception et qu'il est « une tête vide à remplir ». Ce modèle présente de nombreuses limites, en effet selon le modèle socioconstructiviste qui s'est développé dans les années 70, l'élève a forcément des conceptions initiales sur tous les sujets qui l'entourent. Ce modèle est centré sur l'apprenant, il est acteur de ses apprentissages, il construit son savoir. A l'extérieur de l'école, les enfants acquièrent de nouvelles connaissances d'une variété importante. Cet apprentissage est implicite et constitue une base qui peut être utilisée dans la mise en œuvre d'un enseignement explicite, les enfants n'entrant en effet pas vierges de connaissances à l'école.

C'est le cas en ce qui concerne le concept de mouvement corporel ; l'élève peut effectivement prendre conscience de ce qu'il sait faire sans y réfléchir : bouger. Dès la naissance (et même avant), l'Homme bouge, ainsi la notion de mouvement semble naturelle, on ne pense pas à bouger et on ne pense pas à comment on fait pour bouger.

De plus le cycle des apprentissages fondamentaux est l'occasion d'articuler en permanence le concret et l'abstrait : on agit, on observe et on expérimente le réel, l'utilisation de la modélisation prend alors tout son sens. Cependant, il semble nécessaire à l'école élémentaire, de simplifier des phénomènes complexes ou qui ne sont pas directement observables afin d'expliquer ces phénomènes en les rendant accessibles. C'est ainsi que la compréhension de tous est facilitée, les élèves peuvent construire un savoir scientifique véritable et deviennent capable d'appréhender certains phénomènes complexes. Le problème qui émerge est le suivant : comment faire évoluer les conceptions des élèves concernant les structures impliquées dans la réalisation d'un mouvement corporel ? Véritables obstacles à la construction du savoir. Quels apports la modélisation peut-elle amener à l'enseignement scientifique du concept de mouvement corporel ?

Dans un premier temps, il sera question d'étudier le mouvement corporel : au niveau anatomique, histologique et biochimique. Dans un second temps, le cadre théorique concernant les conceptions initiales et la modélisation en sciences à l'école élémentaire sera développé. Nous verrons enfin par quels moyens la modélisation peut permettre une évolution des conceptions initiales au cours d'une séquence pédagogique réalisée en CE2 et au cours d'une étude complémentaire réalisée également en CE2 afin de connaître l'impact du modèle seul.

II. Le mouvement corporel

Le mouvement volontaire ou « réflexe » constitue l'une des caractéristiques essentielle de la vie, il est défini comme étant un déplacement dans l'espace du corps ou d'une partie du corps d'un être vivant.

Le concept de mouvement corporel est directement lié aux fonctions de l'appareil locomoteur : il possède des fonctions de gestualité et de locomotion. Il est composé de 3 systèmes :

- le système osseux : il est passif, c'est le squelette.
- le système articulaire : il est passif et lie le système osseux.
- le système musculaire : c'est un système actif, il mobilise les pièces osseuses par l'intermédiaire des articulations.

Ostéologie, syndesmologie et myologie sont les moyens d'étude de ces systèmes.

A. Le système osseux

Un os est un organe vivant, dur, dense et résistant. Il peut être sujet à pathologies (inflammatoire, traumatique,...). Il a trois rôles principaux :

- Biomécanique statique : constituant du squelette, charpente osseuse, support et protection des viscères nobles (crâne et encéphale, moelle spinale...).
- Biomécanique dynamique : subit des contraintes, des torsions.
- Réserve en éléments minéraux : calcium et hématopoïétique (cellules sanguines).

Le corps humain est constitué de 206 os (dont 6 osselets dans l'oreille interne). On les classe en os longs, courts, plats (classification non exhaustive).

Un os est composé de tissu osseux compact très dur sur les trois types d'os et de tissu osseux spongieux qui s'organise en travées osseuses, elles délimitent des alvéoles et donne une résistance à l'os et l'allège. Il est composé également de matière molle : jaune dans la cavité médullaire des os longs, structure graisseuse avec un rôle énergétique et rouge dans le tissu spongieux des os plats (cellules hématopoïétiques).

B. Les articulations

Le système articulaire ou la syndesmologie est l'union de deux os. Elles unissent l'extrémité des os pour permettre le mouvement. Elles appartiennent au système locomoteur

passif et procure mobilité et stabilité au corps humain. Elles peuvent être sujettes à des pathologies (arthrose, luxation, entorse, etc.).

Il existe plusieurs types d'articulations (classification non exhaustive) : les articulations syssarcoses, les articulations fibreuses, les articulations synoviales, etc. Les articulations synoviales lient les os longs entre eux au niveau du cartilage articulaire. Il existe des moyens d'union tels que la capsule articulaire et les ligaments, on note également la présence de liquide synovial. Celui ci a pour rôle de lubrifier l'articulation et de limiter le frottement à l'intérieur de la capsule.

Cette articulation mobile est la plus courante il en existe de différentes formes :

- articulations sphéroïdes : elles permettent des mouvements dans les trois plans de l'espace (exemple : la hanche).
- articulations condylaires (ellipse) : elles permettent des mouvements dans deux plans (exemple : le poignet).
- articulations en selle : elles sont à la fois convexe et concave, elles permettent des mouvements dans 2 plans (exemple : carpo-métacarpienne).
- articulations ginglymes (poulie) : elles permettent des mouvements dans un seul plan (exemple : le coude).
- articulations planes : elles permettent une infinité de mouvements (exemple : costo-vertébrale).

Une articulation possède des moyens d'union tels que la capsule articulaire qui est un manchon fibreux, elle est résistante, non élastique et en continuité avec la membrane synoviale qui secrète la synovie. Les ligaments sont également un moyen d'union, ce sont des éléments fibreux qui unissent des éléments osseux. Une articulation possède également des moyens de glissement : le cartilage articulaire est souple, blanc, nacré, lisse, non vascularisé et non innervé, il recouvre et protège les surfaces articulaires, il est nourri par le liquide synovial.

C. La contraction musculaire

Le tissu musculaire est un ensemble de cellules musculaires (les myocytes) qui possèdent des propriétés contractiles particulièrement développées.

Il existe trois types de cellules musculaires (regroupées en tissu) :

- les cellules musculaires lisses qui forment le tissu musculaire lisse (dans l'ensemble des organes de la vie végétative).
- les cellules musculaires striées qui forment le tissu musculaire strié squelettique (associé à l'appareil locomoteur).
- les cellules musculaires myocardiques qui forment le tissu musculaire cardiaque (parois du cœur).

Nous ne nous intéresserons ici qu'au tissu musculaire strié squelettique car c'est celui impliqué dans l'appareil locomoteur et les fonctions de locomotions ; en effet les muscles

striés squelettiques sont attachés aux os par l'intermédiaire des tendons. La cellule musculaire striée est une cellule allongée cylindrique et multinucléé, elle peut mesurer de quelques millimètres à quatre centimètres (le diamètre est compris entre 10 et 100 microns). Les myofibrilles (unité contractile du muscle composée de sarcomères) se situent à l'intérieur de la cellule musculaire et sont disposées de façon régulière, elles sont responsables d'une striation transversale caractéristique, on distingue :

- les myofilaments épais (bande A)
- les myofilaments fins (bande I) pénètrent au sein de la bande A entre les myofilaments épais. La zone des myofilaments épais où on ne retrouve pas d'interpénétration des myofilaments fins constituent la strie H ou strie de Hensen. Ils s'insèrent au niveau de la ligne Z (délimite deux sarcomères).

Chaque myofilament épais est entouré par six myofilaments fins, les myofilaments fins sont composés d'actine (et de tropomyosine, troponine) et les myofilaments épais sont composés de myosine (et d'autres protéines comme l'α-actinine et la desmine). C'est l'interaction entre l'actine et la myosine qui permet la contraction de la cellule musculaire striée squelettique. La contraction qui s'effectue sur un sarcomère se transmet sur les autres sarcomères de la myofibrille, donc sur l'ensemble des myofibrilles de la cellule musculaire striée et provoque donc un raccourcissement de la cellule musculaire striée squelettique.

L'actine est une protéine bi-globulaire (actine G) qui est stabilisée par du calcium. Elle possède des sites de fixations avec interaction de la myosine. Les molécules d'actine G s'associent à leur tour pour former de l'actine filamenteuse (double hélice).

La myosine est une grosse protéine qui possède deux têtes globulaires. Elle est formée par deux chaines lourdes avec un côté C-terminal qui correspond à la queue de la myosine et un côté N-terminal qui correspond à la tête de la myosine (domaine moteur, site d'interaction avec l'actine). Deux paires de chaines légères viennent s'associer à la tête de la myosine afin de la stabiliser (essentielles et régulatrices). Les molécules de myosine s'associent par leurs queues, pour former les myofilaments épais.

La tropomyosine est caractéristique des myofilaments fins, elle va se loger à l'intérieur de la disposition hélicoïdale des molécules d'actine globulaire et sert de tuteur à l'organisation de l'actine filamentaire.

La troponine est associée aux myofilaments fins, elle est capable de se fixer à la tropomyosine. Elle se loge entre les molécules d'actine G des filaments fins et les têtes des molécules de myosine. Elle a pour rôle d'inhiber interaction entre molécules actine G et têtes de molécules de myosine.

L'interaction entre les filaments fins (grâce aux molécules d'actine G) et les myofilaments épais par l'intermédiaire des têtes globulaires de la myosine, se fera quand il y aura du Ca++ au voisinage, en effet il y aura inhibition de l'activité inhibitrice de la troponine.
Mécanisme de la contraction musculaire :

Un potentiel d'action arrive dans la terminaison nerveuse d'un neurone et déclenche une libération d'acétylcholine dans la fente synaptique, celle-ci va se fixer sur les récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine et déclencher une ouverture du canal cationique qui dépolarise la membrane de la cellule musculaire. Cette propagation est due à une ouverture des canaux

sodiques et calciques voltages dépendants, il y a donc une augmentation du calcium extracellulaire entrainant l'augmentation de la concentration de calcium intracellulaire. Cette augmentation, par l'intermédiaire d'un canal, entraine un relargage du calcium stocké dans le réticulum sarcoplasmique.

En absence de calcium la troponine inhibe l'interaction entre l'actine et la myosine (la tropomyosine occupe le site d'interaction de la myosine située sur l'actine). La liaison de calcium sur la troponine entraine un déplacement de la tropomyosine qui démasque le site d'interaction de la myosine. L'interaction entre actine et myosine peut avoir lieu, la cellule musculaire se contracte.

III. Le cadre théorique

A. Les conceptions initiales des élèves

Selon Bachelard (1934) : « l'essence même de la réflexion, c'est de comprendre qu'on n'avait pas compris »[1]. D'après un sondage cité par A. Giordan et G. de Vecchi (2002), de nombreuses lacunes au niveau scientifique subsistent une fois adulte et le savoir scientifique (si il y a eu enseignement des sciences) est en grande partie oublié après la scolarité. Un savoir énoncé était considéré comme un savoir maitrisé, la question du sens mit derrière ce savoir demeure cependant. Il est donc nécessaire de s'interroger sur la façon d'enseigner les sciences : quel savoir transmettre et comment le transmettre pour qu'il soit profondément intégré chez les élèves ? Aujourd'hui on accorde une réelle importance au sens qu'on donne au savoir, et dans ce sens les enseignants ont été invités à pratiquer la pédagogie de projet : c'est à dire apprendre pour quoi ? Il est question dans la pédagogie de projet de motiver les apprentissages par la réalisation d'un projet.

A cet effet, on s'est rendu compte que la motivation de l'élève jouait un rôle primordial. Savoir, ce n'est pas accumuler des connaissances apprises par cœur à un moment donné, les restituer le jour de l'évaluation et les oublier le lendemain. Savoir, c'est « utiliser ce qu'on a appris et le réinvestir »[2], le vrai savoir contribue à modifier et à aiguiser la vision du monde que peut avoir une personne, si celle ci n'est pas modifiée c'est que la personne n'a pas été suffisamment imprégnée des savoirs que l'on a tenté de lui transmettre. Ainsi de nombreux auteurs vont dans le même sens (G.Bachelard, A.Giordan et G.Vecchi) le modèle de transmission du savoir frontal (transmission de savoir brut) qui fait des sciences quelque chose de complexe et peu intéressant contraint les élèves à faire des sciences « juste pour l'évaluation », l'utilité de ces savoirs n'est pas une priorité, les élèves apprennent sans

1 Gaston Bachelard. (2013). *Le nouvel esprit scientifique*, p .178. Paris: PUF.

2 Giordan, A., & Vecchi, G. de. (1994). *Les origines du savoir: des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, p .5. (2. éd). Lausanne: Delachaux et Niestlé.

comprendre et ne retienne rien. Tout l'enjeu des pédagogies actuelles est de guider les élèves dans leurs découvertes et leur compréhension du monde, en effet les sciences contribuent à l'éveil des élèves, ils comprennent petit à petit comment ils fonctionnent et comment leur environnement fonctionne.

De plus, l'apprenant n'a pas une « tête vide qu'on doit remplir »[3], il a ses propres représentations du monde qui l'entoure, et ce peu importe le sujet. Ces représentations nommées quelquefois « conceptions », sont des images mentales, des idées, des représentations, des sensations, des souvenirs vécus, une intuition qu'a l'élève avant le début d'une séquence d'apprentissage sur un sujet donné. Ces conceptions sont souvent simples et se rattachent à ce qu'ils connaissent (leur vécu quotidien, leur environnement proche), tous les élèves ont une intuition par rapport à un phénomène et mobilisent leur vécu ou leur imagination pour répondre à une question posée. Cette intuition est basée sur des réflexions simples et on peut construire de nouveaux apprentissages souvent plus complexes à partir de cela. C'est de cette manière que l'apprenant se sent investit par la question, il est invité à réfléchir au phénomène qui lui est présenté et se rend compte seul, par les diverses observations, manipulations, expérimentations, mises en commun collective, que certaines des hypothèses posées étaient erronées.

On peut alors se demander : pourquoi recueillir les représentations des élèves ? Dans un premier temps et dans l'optique de donner du sens aux apprentissages, ce peut être très motivant pour les élèves de se sentir impliqué grâce à une communication rendue possible par l'enseignant : les élèves sont écoutés et peuvent développer leur pensée sur un sujet, leur avis a de la valeur et prend de l'importance.

On peut ajouter également que les pensées des élèves suivent très souvent une certaine logique qui leur est propre et ne sont jamais dénuées de sens, alors pourquoi ne pas les explorer ? Certains types d'erreurs peuvent être systématisés et plus facile à anticiper, elles sont le reflet d'idées sous-jacentes ancrées profondément dans leur esprit et on verra que leur ébranlement est nécessaire pour que les élèves les remettent en question. Ils construisent leur réflexion en entremêlant toutes leurs expériences passées qu'ils jugent se rapporter au sujet.

Dans un second temps, il semble nécessaire de démontrer aux enfants que leurs connaissances sur un sujet sont limitées, en effet comment pourraient-ils accepter une autre théorie que la leur si ils pensent tout savoir ? On peut pour cela les confronter à un obstacle sur ce qu'il pense savoir (afin de pouvoir par la suite reconstruire un nouveau savoir mieux accueilli par les élèves). Cet obstacle est une étape importante et nécessaire de la démarche d'investigation au cœur du consensus actuel : les élèves une fois confrontés à cet obstacle peuvent expérimenter avec l'enseignant comme guide afin de comprendre un phénomène précis.

On peut alors se demander, comment recueillir leurs conceptions sur un sujet donné ? C'est une question de taille puisque cela doit amener l'élève à formuler précisément et selon ses possibilités ses idées sur un sujet donné. Le recueil de leurs conceptions peut prendre diverses formes et varie selon le sujet exploré, par exemple une question à laquelle ils

[3] *Ibid*., p .45.

devraient répondre par écrit, un dessin explicatif, à l'oral, un schéma, etc. L'idéal semble être un entretien individuel pour qu'ils puissent expliquer ce qu'ils pensent (explication de leur schéma ou dessin explicatif par exemple, avec des questions posées pour comprendre leur démarche). L'oral est globalement mieux maitrisé que l'écrit par des élèves en bas âge, cela enlève l'obstacle de l'écrit ou du dessin qui peut bloquer certains élèves. On peut ajouter que les productions réalisées seul par écrit peuvent être troublées par deux facteurs importants : le contexte et l'état émotionnel de l'enfant à ce moment là. Au cours d'un entretien, ces aspects semblent moins présents, l'enfant peut s'exprimer librement, sans ses camarades pour l'influencer ou émettre un jugement. La forme écrite présente cependant de nombreux avantages et reste fiable si elle est correctement exploitée : elle permet un recueil stable et peut être exploitable rapidement. Elle permet également une comparaison directe entre les productions, soit par les élèves, soit par l'enseignant. La forme écrite permet aussi à l'élève de revenir sur sa production à la fin d'une séquence d'enseignement et « d'observer » son évolution et se remémorer ce qu'il pensait au début.

Il existe cependant des limites au recueil des représentations initiales des élèves ; en effet, à trop vouloir se baser sur ces représentations initiales, on peut les renforcer au lieu de les faire évoluer, ainsi il semble important de ne pas dénaturer le propos de élève mais également de ne pas lui attribuer des qualités scientifiques ou un vocabulaire éloigné du vocabulaire connu de l'élève. L'enseignant ne doit pas « sélectionner » les conceptions initiales qui l'intéresse : un élève à qui on demande « qu'est ce qu'un muscle ? » et qui répond « les veines sont des muscles » peut déranger l'enseignant. Il sait, avec son vécu et son savoir que l'élève est sur une mauvaise piste, seulement si il évite cette conception ou rétorque que les veines ne sont pas des muscles, comment l'élève va t'il comprendre que les veines ne font pas parties du système musculaire mais du système sanguin, que cette structure à une autre fonction ? De plus, il semblerait pertinent ici que l'enseignant demande des détails à l'élève, c'est la seule façon d'être sûr que l'élève nomme « veine » la même chose que lui. Il est important de ne pas analyser les propos avec un regard d'adulte, les enfants pensent souvent employer les bons termes pour nommer certaines choses mais ne disposent peut être pas du vocabulaire nécessaire et attribuent à l'objet une dénomination faussée.

La facilité serait donc de ne pas les faire émerger du tout mais il est clair que cela constitue un véritable obstacle à la construction d'un savoir durable. En effet les nouvelles connaissances vont s'imbriquer dans un savoir déjà préexistant considéré dans de nombreux cas comme parasite à la compréhension des phénomènes. Il existe également des obstacles à l'évolution des conceptions : par exemple un défaut d'informations, de motivation mais encore la non cohérence des questions qu'il se pose avec celles de l'enseignant ; dès lors, il n'arrive pas à construire une nouvelle connaissance. C'est pourquoi il semble important de répondre à toutes leurs questions tout au long du déroulement de la séquence. Une étape de confrontation des conceptions peut également sembler intéressante : soit entre l'élève et l'enseignant, soit les élèves entre eux afin de mettre en place de véritables débats et de confronter les points de vue autour d'un sujet. L'élève doit alors faire preuve d'écoute et d'attention envers ses camarades pour entendre et accepter que tout le monde ne pense pas comme lui. Il faut amener les élèves à défendre et à justifier leur pensé tout en respectant celle

des autres, ainsi l'effet de groupe n'aura que peu d'impact dans une classe ou réside bienveillance entre les élèves et tolérance. Ils apprennent à justifier leur point de vue et à écouter les autres puis travaillent ensemble pour essayer de répondre aux questions que se posent le groupe.

B. La modélisation en sciences

1. Qu'est-ce qu'un modèle en sciences ?

J.L Martinand (1992) explique qu'en science « tout peut être considéré comme un modèle »[4] et il définit différents types de modèles. Nous nous intéresserons ici aux modèles utilisables à l'école élémentaire c'est à dire « les images et les schémas ». Tout d'abord le modèle peut être une représentation : sous forme réelle et surtout réduite. Il peut être un outil (une aide à la compréhension, un support pour penser), il est également réducteur en soi de par la limitation des paramètres représentés (mise en évidence des paramètres étudiés).

Ainsi la modélisation peut être de plusieurs types. Elle peut se faire à l'échelle : elle permet un support visuel parfois indispensable à la compréhension. Il est indispensable, pour que le modèle soit pertinent que celui ci représente une réalité simplifiée mais cohérente. Ainsi un modèle utilisé comme représentation de la réalité devra être simplifié (l'étude du système osseux ne nécessite pas que les muscles soient visibles par exemple) mais esthétiquement proche de la réalité (les os représentés ont globalement la même forme et la même disposition que dans la réalité). En revanche les modèles utilisés comme support de la pensé ne seront pas nécessairement représentatif sur le plan esthétique (il est possible d'utiliser des matériaux différents et de forme différente et de faire une analogie avec les structures considérées), cependant ce type de modèle devra au niveau mécanique être fidèle à la réalité (par exemple pour le modèle d'un bras articulé, l'articulation ne peut bouger que dans un sens, alors ce sera le cas sur le modèle également).

La modélisation peut se faire hors échelle : elle permet de montrer et de donner une idée, d'aider à la compréhension et d'illustrer des situations sans tenir compte de l'échelle et de certains paramètres (on peut utiliser ce type de modèle pour observer les phénomènes de mouvements dans le sol).

La modélisation par analogie permet de reproduire les caractéristiques essentielles d'un phénomène à observer. Ainsi, elle permet de simplifier un phénomène à observer et contribue à le rendre plus compréhensible. En revanche pour qu'il reste correct (et reflète alors la réalité en la simplifiant) il faut que les paramètres impliqués dans le phénomène à observer soient représentés sur le modèle.

---

[4] Jean-Louis Martinand, & Laboratoire interuniversitaire de recherche sur l'éducation scientifique et technologique. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, p .60. Paris: Institut national de recherche pédagogique.

2. Les intérêts et limites du modèle

Le modèle présente de nombreux intérêts, en effet pour Bachelard (1934) « il n'y a pas de phénomène simple, c'est un tissu de relations complexes »[5] et « l'explication scientifique tend toujours à être complexe »[6], il semble acceptable en revanche de simplifier provisoirement un phénomène. Cependant elle ne se substitue pas à l'observation et à l'expérimentation, la modélisation permet une nouvelle vision d'un phénomène.

Un modèle permet avant tout d'aider à la compréhension d'un phénomène grâce à une représentation simple. En ce qui concerne les images et les schémas : le modèle est ici un objet réel, une maquette, un modèle réduit, un modèle simplifié, un schéma simplifié. C'est « un modèle pour penser avec »[7]. Il constitue alors une interprétation plausible de la réalité, sans jamais prétendre en être une traduction fidèle (ce n'est pas toujours son but). Le modèle permet avant tout d'aider l'esprit à se projeter et rend les opérations intellectuelles plus simples limitant la surcharge cognitive, il permet également de simplifier des phénomènes afin de se focaliser sur l'essentiel. C'est pourquoi la construction d'un modèle implique simplification, choix de paramètres importants et indispensables afin d'aboutir à une efficacité descriptive et explicative du modèle.

La modélisation cependant n'a pas que des intérêts ; en effet elle nécessite une capacité d'abstraction importante de l'élève. De ce fait, l'abstraction évoluant avec l'âge, l'usage de modèle pour de jeunes enfants ne semble pas être une approche très pertinente en sciences. A partir d'un certain âge (environ sept ans) un enfant commence à effectuer des opérations mentales de manière aisée, de plus sa capacité d'abstraction est en cours d'évolution. Là encore le modèle présente un intérêt certain : réfléchir sur un modèle permet de travailler la capacité d'abstraction de l'élève, capacité également importante dans bien d'autres disciplines que les sciences. En effet c'est le cas en mathématiques, c'est pourquoi lorsque un élève est en difficulté au cycle 2 il n'est pas rare de lui proposer du matériel afin d'enlever la composante « abstraction » que pourrait comporter l'écriture chiffrée des nombres pour limiter la surcharge cognitive. Aider et entrainer un élève à l'abstraction serait donc une des composantes de la réussite scolaire.

3. Comment le modèle peut contribuer à l'évolution des conceptions des élèves ?

Le modèle est directement observable, il est réel (il n'est pas donné pour son côté évolutif) et représentatif d'une réalité simplifiée à un temps donné. Ainsi les représentations qu'ont les élèves sur un sujet donné sont confrontées au réel, l'élève est acteur de son savoir,

---

5 Gaston Bachelard, *op. cit*., p .145.

6 *Ibid.,* p .168.

7 Jean-Louis Martinand, & Laboratoire interuniversitaire de recherche sur l'éducation scientifique et technologique, *op. cit*., p .61.

il expérimenter, il observe, il teste et réfute des hypothèses. On peut ajouter que la modélisation sous forme d'expérience peut déstabiliser et poser un véritable problème aux élèves, soulever des remarques et des contradictions. Ainsi comme l'explicite G. Bachelard (1934), lors du « passage de l'observation à l'expérimentation, la connaissance devient multiple »[8]. L'expérimentation permet de bouleverser la pensée première et les conceptions des élèves sur un sujet. Ainsi, « l'intuition qu'on a pour un phénomène est désintuitionée par l'expérience »[9], on ne peut pas nier ce qui est directement observable, on le prend en considération pour élaborer une stratégie de compréhension nouvelle face à cette expérience. Cet ébranlement de la connaissance suppose une modification profonde de l'intuition première qu'on avait face à un phénomène. Ainsi pour être en mesure d'apprécier la réalité, l'expérimentation est un support privilégié de la pensée, permettant une vision directe du phénomène sans contestation possible. La condition indispensable à l'efficacité d'un modèle est que l'élève face l'analogie avec la réalité de manière non réfléchie et qu'il accepte le modèle comme tel. Si l'élève remet en cause la véracité d'un modèle, il semble alors difficile qu'il accepte les phénomènes exposés par le modèle comme vrais eux aussi.

C. Le mouvement corporel à l'école primaire

On peut voir dans les programmes de l'école élémentaire « repérer des comportements favorables à sa santé » bulletin officiel du cycle 2. Les repères de progressivité indiquent qu'il est possible de nommer et décrire le rôle des organes intervenant dans différents mouvements, à la fin du cycle (CE2) il est possible d'aller jusqu'à concevoir des modélisations de mouvement de flexion/extension, l'utilisation du modèle est donc directement préconisée pour comprendre le phénomène du mouvement corporel en CE2.

1. Les conceptions initiales des élèves sur le mouvement corporel

L'élève a une longue expérience avec le mouvement, il bouge depuis toujours sans en avoir conscience. Ainsi, tout phénomène peut paraître insignifiant car on ne le questionne pas : irait-on se questionner sur la façon dont nous bougeons, tous les jours, à tous les instants et depuis toujours ? C'est pourquoi il semble indispensable dans ce cas, à partir d'une situation problème de laisser les élèves s'exprimer sur ce sujet. De plus il est nécessaire de demander à l'élève d'expliquer « pourquoi il a fait ça » afin de vraiment comprendre sa logique sous-jacente et de ne pas interpréter sa production avec un œil averti. L'utilisation de légende peut permettre également d'apporter des précisions au dessin réalisé par l'élève, en effet l'utilisation du texte pour accompagner un dessin semble être une piste privilégiée permettant à la fois meilleur compréhension par l'enseignant de la pensée de l'élève mais il

8 Gaston Bachelard, *op. cit*., p .16.

9 *Ibid.,* p .90.

peut également agir comme libérateur de pensée pour l'élève qui pourra expliquer des phénomènes dont il a conscience sans pour autant être capable de les dessiner.

On peut alors se demander : comment arriver au recueil de représentations initiales sur le concept de mouvement en dénaturant le moins possible la pensée de l'élève ? Il serait possible au début d'une séquence sur le mouvement corporel de confronter les élèves à un obstacle, par exemple les mettre face à des figures artistiques dessinées irréalisables (en mimant). Cela leur ferait prendre conscience qu'on ne peut pas bouger dans tous les sens. Il faudrait dès lors les amener à formuler la notion d'os. On pourrait leur demander ensuite de dessiner les os de leur corps dans une silhouette comme ils les imaginent, puis de légender leur schéma ou de l'expliquer au cours d'un entretien. Une confrontation des productions durant un débat collectif serait sans doute d'une grande utilité afin qu'ils se rendent compte que leur savoir à des limites et que tout le monde n'est pas en accord avec eux, une construction d'un savoir nouveau serait alors envisageable.

On peut ajouter que de nombreux obstacles devront être pris en compte au cours de cette séquence pédagogique, on peut en citer quelques-uns : la notion de « segment » dans un membre, l'absence ou la présence d'os, les points d'articulation, la présence ou l'absence des muscles, les points d'attache des muscles, la notion de contraction et de relâchement musculaire, etc.

2. L'apport de la modélisation dans la compréhension du concept de mouvement corporel

Le corps humain est très complexe, les os ont tous des formes différentes, chaque articulation possède des caractéristiques spécifiques, il y a beaucoup de ligaments, de capsules articulaires, de faisceaux musculaires, etc. Il suffit, afin de se rendre compte de la complexité du corps humain, de regarder un atlas d'anatomie humaine (Atlas d'anatomie humaine 6ème édition de Franck Netter). Ainsi le corps humain est complexe, cette réalité complexe semble être un obstacle à la compréhension du concept du mouvement corporel par des élèves âgés d'approximativement huit ans. Il est donc nécessaire d'isoler les éléments à observer pour faciliter la compréhension des élèves. De plus un autre obstacle apparaît : l'inaccessibilité visuelle des structures sous-jacentes à la peau humaine.

C'est pourquoi le modèle dans une séquence sur le mouvement corporel, semble être un support privilégié. Tout d'abord, il simplifie la réalité et l'a rend de ce fait accessible aux élèves de l'école élémentaire : il est possible d'utiliser un squelette en plastique ou seuls les os figurent, le modèle ici rend compte de la réalité en l'a simplifiant (même si cela reste un modèle complexe et très riche). De plus le modèle peut être un support visuel de choix compte tenu de l'inaccessibilité directe : le support visuel ici est un support pour la pensée, une aide à la compréhension. Il est cependant nécessaire que les élèves aient un âge suffisant pour faire l'analogie directement entre leur corps et le modèle observé. Il serait possible de montrer aux élèves un modèle 3D sur ordinateur, cependant le modèle réel possède de nombreux avantages, les élèves peuvent manipuler et ainsi observer les zones de pliures, ils

peuvent apprécier la consistance d'un os et se rendre compte de leur rôle de support du corps. L'analogie semble également plus évidente avec un squelette réel de leur taille, les dimensions n'étant pas respectée sur ordinateur.

On peut noter également l'importance du modèle pour la représentation de phénomènes mécaniques complexes liés à une inaccessibilité directe, il est beaucoup utilisé en cycle 3 notamment en géologie pour diminuer la taille de certains phénomènes (observation des mouvements du sol). On peut utiliser ici le modèle d'un bras articulé en effectuant des tests concernant les caractéristiques des ligaments (il faut que cela soit solide et que ça puisse plier également) afin que les élèves puissent eux même tester les différents matériaux correspondants aux caractéristiques des articulations. On peut utiliser la modélisation pour comprendre le rôle des muscles avec la modélisation d'un bras avec des muscles attachés sur ceux-ci grâce à des ficelles. Une situation telle que celle-ci permettrait à l'élève de comprendre que les tendons ne sont pas attachés au même os mais bien à deux os différents, en effet si le muscle est attaché à un seul et même os, le bras ne peut pas plier. Il est question ici de disposer de deux « os » (morceaux de bois) articulés entre eux sur lesquels serait attaché un ballon grâce à des ficelles, le ballon est ici intéressant puisqu'il possède une élasticité et une déformation intéressante se produit lorsqu'on tire dessus (il s'allonge ou se gonfle comme un muscle pourrait le faire). La mise en action du bras articulé par les élèves peut grandement être utile dans l'approche de la fonction d'un muscle.

IV. Démarche méthodologique

A. La séquence d'enseignement

Il est explicité dans la rubrique « repérer des comportements favorables à sa santé » dans le bulletin officiel du cycle 2 : « repérer les éléments permettant la réalisation d'un mouvement corporel », il semble très intéressant pour des enfants de cet âge de découvrir un ensemble de savoir concernant l'élément qui les concerne le plus : leur corps. Comprendre comment fonctionne son corps et de quoi il est fait est un travail de longue haleine débuté depuis la petite section de maternelle (nommer les parties de son corps).

Une séquence d'enseignement (voir annexe 1) sur le mouvement corporel a été mise en place dans une classe de CE2, elle s'est déroulée à la suite d'une séquence de danse où un travail de mime a permis aux élèves de soulever de véritables questions scientifiques. En revanche aucune séquence de sciences n'avait été mise en place auparavant, les élèves étaient donc dépourvu de connaissances scolaires liées au mouvement du corps pour cette année, cependant une séquence sur le corps humain a certainement déjà été réalisée auparavant durant leur scolarité. La classe de CE2 comportait douze élèves et la séquence d'enseignement s'est déroulée sur 6 séances de 50 minutes chacune.

Au cours de cette séquence, deux recueils de conceptions initiales ont été effectués, un premier en tout début de séquence concernait le squelette et la disposition des os dans le

corps, le second en milieu de séquence concernait les muscles et leur insertion sur les os afin d'assurer leur mobilité. Les représentations initiales des élèves ont été recueillies sous forme de schéma individuel puis approfondies grâce à un débat collectif lors des deux recueils. La trace écrite peut aider à faire émerger les obstacles et à mesurer les connaissances des élèves relativement à un sujet donné. L'enseignant dégage les principaux obstacles des élèves par analyse de chaque schéma réalisé par ces derniers.

Afin de rendre compte de la démarche liée à l'utilisation du modèle, la séquence d'enseignement mise en place est détaillée ci dessous.

Au cours de la première séance, les élèves ont été mis face à une situation problème élaborée à partir des œuvres de Keith Haring (fresques) et de l'utilisation du mime. À tour de rôle les élèves sont allés au tableau mimer un des bonshommes (celui de leur choix) et les autres devaient deviner lequel était mimé. Un des bonshommes posait problème aux élèves : un bonhomme avec le ventre en spirale était impossible à mimer. Cela a permis l'instauration d'une discussion collective : pourquoi on ne peut pas tout faire avec son corps ? La discussion permet de faire émerger la notion d'os : on ne peut pas tout faire avec son corps car on a des os, un squelette (mise en évidente du caractère dureté d'un os). Le questionnement était relatif au mouvement et à la contrainte squelettique. Il a ensuite été demandé aux élèves de dessiner les os de leur corps dans une silhouette tracée. Ils ont ensuite découvert leur squelette à travers des radiographies (« photographies » de l'intérieur du corps) selon la démarche d'investigation et ont ainsi disposé des os en carton dans une silhouette. C'est après cette phase de recherche que le modèle a été introduit : un squelette en plastique taille enfant plutôt proche de la réalité en termes de forme d'os et d'agencement. Les élèves ont vérifié les emplacements de leurs os en carton dans la silhouette grâce au squelette en plastique de la classe. Le modèle ici, sans questionnement de la part des élèves, a été consulté comme représentant de la réalité, puisqu'il était impossible de la voir. En effet on ne peut pas observer de manière directe son squelette et celui ci a été utilisé comme modèle car les élèves avaient conscience qu'il était en plastique.

Lors de la seconde séance, nous avons mis en évidence les « endroits où ça plie » par observation réciproque au sein des binômes d'élèves. Nous avons mis en place des légendes (cou, coude, épaule, hanche, genou, etc.), puis est venue la phase de recherche de la mobilité articulaire grâce à un tableau d'observation (dans un sens/dans tous les sens). Un texte documentaire (schémas et texte) a répondu à certaines de leurs questions. Une vidéo de modélisation 3D des articulations du coude et de l'épaule a permis une meilleure compréhension du mouvement des articulations. Le modèle ici, n'était pas réel, c'était une représentation en deux dimensions d'un modèle, c'est pourquoi nous ne nous attarderons pas ici à analyser ce type de modèle.

L'objet de la troisième séance était de repérer les structures permettant solidité et mouvement des articulations. Les élèves ont formulé des hypothèses sur les structures en jeu dans la mobilité et solidité articulaire. Dans un second temps ils ont cherché par essais de modélisation de l'articulation du coude avec une maquette et différents types de matériaux (élastiques, attaches diverses et scotch) quelle pouvait être la nature des liens unissant les os.

La vérification s'est faite par observation du vivant (articulation de dinde) et mise en évidence des ligaments et de leurs propriétés, de la capsule articulaire et du cartilage. La modélisation dans le cas présent était un support pour penser, tester et a permis de dégager les principales propriétés des ligaments.

Lors de la quatrième séance, un nouveau recueil des conceptions initiales des élèves a eu lieu, cette fois au sujet du muscle, organe de la mobilité du squelette. Après une observation (visuelle et sensitive) des modifications qui s'opèrent lorsque le bras se plie, les élèves ont débattu et ont émis des hypothèses sur le rôle de cet organe. Un texte documentaire et quelques images ont permis de mettre en évidence que les muscles sont sous la peau, autour des os et des articulations et permettent de bouger lorsqu'ils se contractent.

C'est durant la cinquième séance que les élèves ont utilisé le modèle, en effet durant une phase de recherche les élèves ont essayé d'attacher le muscle sur l'os pour que celui ci plie. L'articulation en jeu était celle du coude, ils disposaient d'un « bras » articulé en carton, d'un ballon et de différents liens (ficelle, élastique, etc.). Puis grâce à l'observation du vivant (pattes de grenouille), on a mis en évidence que le muscle était attaché à l'os grâce à des tendons (apport de vocabulaire par l'enseignant) et surtout, sur des os différents. Le rôle du modèle ici était encore une fois d'être un support pour penser, il a permis de tester et de comprendre pourquoi le muscle était attaché à l'os et surtout qu'il était attaché de manière bien précise.

A la fin de la séquence d'enseignement, une évaluation permettra de voir l'avancée des connaissances des élèves concernant le concept de mouvement corporel.

B. L'étude complémentaire

Afin d'étudier l'impact direct du modèle sur l'appropriation d'un phénomène par les élèves et afin que celui ci soit non biaisé par d'autres supports d'enseignements, une étude complémentaire est réalisée chez des élèves de CE2. Les élèves sont invités à dessiner les os de leur corps dans la silhouette donnée comme ils l'imaginent (de la même façon que dans la séance 1).

Les élèves disposent d'une feuille sur laquelle est tracé une silhouette de bonhomme, celui ci présente des membres pliés et d'autres tendus, cela permet de réellement mettre en évidence si la notion d'articulation est présente chez les élèves ou non. En effet, si l'élève dessine une articulation dans le bras tendu ou dans la jambe tendue, qu'il respecte les segments, c'est que la notion d'articulation et/ ou de segment est présente chez l'élève en question. La consigne est la suivante : « dessine les os de ton corps » et les élèves avaient dix minutes pour réaliser ce dessin (plus ou moins au jugé de l'enseignant de la classe). Pour les représentations initiales concernant les muscles, les élèves disposent d'une feuille sur laquelle est tracée une silhouette de bras et les deux os constitutifs du bras (vu précédemment au cours de la séquence), on peut voir également les ligaments liant les deux os du bras (vu précédemment) ; celui-ci est plié, la main n'est pas représentée afin de ne pas ajouter de

complexité à la tâche demandée. La consigne est la suivante : « dessine les muscles de ton bras ».

Dans un second temps un squelette en plastique taille enfant est présenté aux élèves. Ils peuvent manipuler le squelette, le faire bouger et l'observer. Après la phase d'observation les élèves peuvent discuter sur ce qu'ils viennent de voir, cette discussion collective peut permettre de faire évoluer les conceptions de certains grâce au modèle. L'idée ici n'est pas de modifier la perception de certains élèves par l'effet de groupe mais de favoriser une mutualisation des réflexions et des idées pour amener chaque élève à mieux observer le squelette qui lui est présenté. L'enseignant ici a un rôle de régulateur des échanges et peut amener les élèves à reformuler leur propos sans en modifier le contenu.



Figure 1 Modèle du squelette.

Après la discussion il est demandé aux élèves d'écrire une phrase ou deux si ils veulent apporter des rectifications à leur production de départ (ils ont leur dessin à proximité lors du travail d'écriture afin qu'ils puissent avoir un support visuel mais également pour qu'ils soient confrontés à leur production initiale). Ils reprennent leur dessin fait précédemment et sur une autre feuille écrivent leurs rectifications si ils le souhaitent, ils peuvent modifier, compléter ou supprimer des éléments (sans toucher à la production de départ). Le squelette n'est pas présent lors du troisième temps d'étude (la phase de rectification), cela permet d'éviter que l'élève cherche à reproduire à l'identique le squelette devant lui sans avoir une réflexion sous-jacente qui permet réellement de comprendre la structure osseuse mais aussi quelles structures ont été retenues par les élèves comme structures importantes (selon leur vision). De plus, le changement de forme imposé (un dessin dans un premier temps et une phrase dans un second temps) permet tout d'abord une explication précise sans dénaturer le premier écrit, mais aussi de varier les formes d'écrits afin de ne pas bloquer certains élèves qui auraient une préférence pour l'une ou l'autre forme. La forme écrite attendue peut complètement bloquer certains élèves pour aller au bout de l'expérience et ce n'est pas le but ; c'est pourquoi il est autorisé aux enseignants d'apporter des connaissances orthographiques pour les élèves qui le demanderaient. Cela ne biaise en aucun cas les résultats puisque l'idée de l'élève est préservée.

Les modalités de mise en œuvre sont identiques pour les deux recueils de représentations initiales. En ce qui concerne le muscle, le contour d'un bras avec les silhouettes d'os à l'intérieur est présenté aux élèves : ils doivent dessiner les muscles de leur bras. Les os sont nommés par l'enseignant et l'analogie avec un bras réel d'un élève est faite en le plaçant à côté.

Dans un second temps un modèle est proposé aux élèves : deux os articulés taille réelle avec un ballon attaché aux extrémités par deux ficelles sur les os du bras. Le modèle ici est en bois, les os présentés comme des os, n'ont pas la couleur de l'os ni la forme, le modèle est donc éloigné de la réalité (les élèves ayant vu juste avant l'aspect d'un muscle) afin que ceux-ci utilisent le modèle différemment que le squelette, on cherche ici à pousser les élèves à utiliser le modèle comme support de la pensée pour comprendre le fonctionnement d'un muscle et non comme analogie de la réalité. En effet ce modèle n'a pas le même rôle, son rôle est d'être un support pour penser afin de comprendre le fonctionnement d'un muscle et son mécanisme de contraction (compréhension du fait que les muscles sont attachés aux os sinon la contraction n'est pas possible). Ainsi l'étude ne sera pas baisée par un modèle trop réaliste qui pourrait être considéré comme un modèle représentant de la réalité pour les élèves. Les élèves peuvent manipuler le modèle et faire l'analogie avec leur bras en le plaçant à côté. Le modèle ici met en évidence les caractéristiques suivantes des muscles (si on le considère comme représentation de la réalité) : les muscles ont « une forme » et sont attachés aux os par l'intermédiaire de structures modélisées ici par des ficelles (les tendons, mais la connaissance du terme n'a pas d'influence sur la compréhension du modèle). Le modèle permet de visualiser le raccourcissement du ballon qui tire sur les ficelles et provoque un mouvement de l'os. Un seul muscle est représenté dans le bras par souci de simplification de la réalité pour mieux la comprendre. On peut ajouter que les tendons n'ont pas l'apparence de tendons sur le modèle, de même que pour le muscle (un ballon à moitié gonflé).

Après la phase d'observation et de manipulation, les élèves peuvent avoir une discussion collective à propos du modèle ; le rôle de l'enseignant est principalement un rôle de régulateur des échanges : il intervient afin d'aider les élèves à formuler un propos correct mais n'apporte pas de modifications à leur réflexion et au vocabulaire employé. Il veille également à ne pas interpréter le propos des élèves avec leur regard « scientifique » et averti. Enfin, après la discussion collective, le modèle est retiré de la vue des élèves ; ils disposent dès lors de leur feuille de départ et d'une autre feuille vierge. Il s'agira ici pour eux d'écrire un cours texte (une ou deux phrases) afin de revenir sur leur production de départ, apporter des modifications s'ils le souhaitent ou des précisions à leur dessin. Le modèle ici a pour but de faire émerger le lien qui existe entre les structures d'un muscle et leur emplacement observable dans le corps et le fonctionnement même d'un muscle (relation d'incidence).

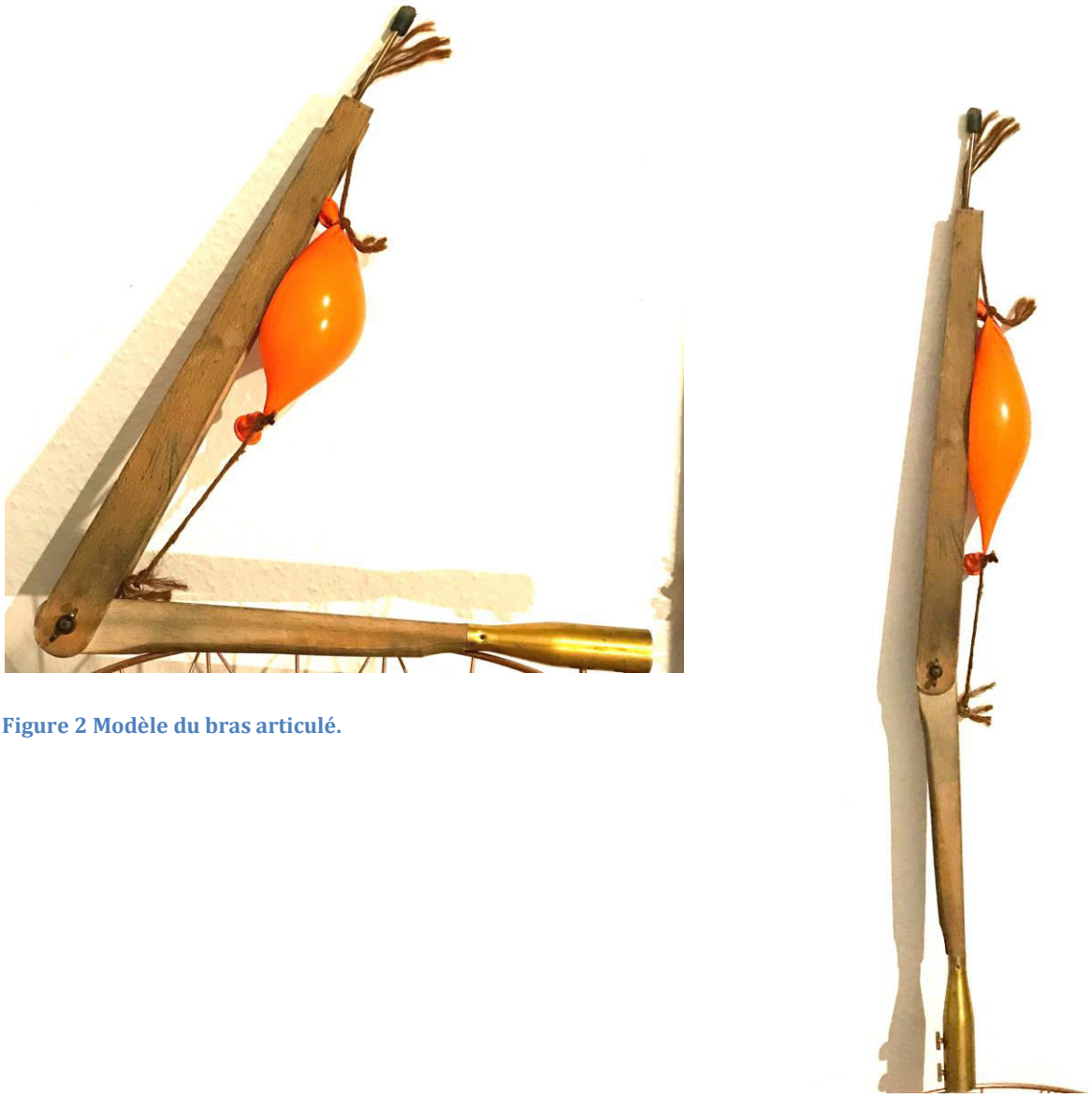


Figure 2 Modèle du bras articulé.

Il sera donc question ici d'étudier l'effet de l'utilisation du modèle lors des deux situations suivantes :

- Le modèle comme représentation de la réalité (comme dans la séance 1 de la séquence d'enseignement) : utilisation d'un squelette en plastique.
- Le modèle comme support pour penser (comme dans la séance 5 de la séquence d'enseignement) : utilisation d'une maquette de bras, de cordes pour représenter les tendons et d'un ballon pour le muscle (qui tirent sur les os).

Un protocole, les feuilles pour les élèves ainsi que deux maquettes seront donnés aux enseignants qui ont effectué l'expérience en classe afin que celle-ci ne soit pas biaisée par les différentes façons de procéder des enseignants.

C. Protocoles expérimentaux

Protocoles donnés aux enseignants :

Première expérience : les os du squelette. Durant l'intégralité de l'expérience, l'enseignant n'apporte aucun savoir et gère les problèmes techniques, matériels et recentre les élèves sur le sujet.

Etape 1 - maquette du squelette non visible

Donner la première photocopie aux élèves, intitulée « dessine les os de ton corps » et leur demander d'écrire leur prénom sur la feuille. Au crayon de papier les élèves doivent dessiner les os de leur corps.

Etape 2 – maquette du squelette visible

Montrer le squelette aux élèves, ils peuvent venir manipuler le squelette pour voir où il plie et l'observer de plus près, si l'effectif est trop important, il est possible de faire venir des petits groupes d'élèves à tour de rôle (attention la maquette est fragile).

Etape 3 – maquette du squelette visible

Un débat collectif est initié par l'enseignant, il peut lancer le débat par une question assez ouverte du type : « qu'observez-vous ? ». L'enseignant recentre le débat et laisse les élèves discuter si le propos est le squelette, l'enseignant peut recentrer le propos mais n'apporte pas de connaissances.

Etape 4 – maquette du squelette non visible

L'enseignant range la maquette puis donne aux élèves une demi-feuille vierge où ils sont amenés à écrire leur prénom. L'enseignant donne alors la consigne suivante : « vous venez d'observer un squelette en plastique, vous allez écrire deux phrases pour apporter des modifications, des précisions à votre dessin si vous le souhaitez. »

Deuxième expérience : le bras articulé. Durant l'intégralité de l'expérience l'enseignant n'apporte aucun savoir (il nomme ce qui est demandé ci dessous) et gère les problèmes techniques, matériels et recentre les élèves sur le sujet.

Etape 1 - maquette du bras articulé non visible

Donner la première photocopie aux élèves, intitulée « dessine les muscles de ton bras » et leur demander d'écrire leur prénom sur la feuille. Au crayon de papier, les élèves doivent dessiner les muscles de leur bras.

Etape 2 – maquette du bras articulé visible

La maquette du bras articulé est présentée aux élèves, les os du bras et le muscle sont nommés par mimétisme avec le bras d'un élève (le mettre à côté du bras d'un élève pour qu'ils comprennent ce que représente la maquette sur leur corps). L'enseignant explique avec précision que la maquette représente un muscle du bras en particulier. Les élèves peuvent venir manipuler le bras articulé pour voir où il plie, observer son fonctionnement et repérer les modifications qui s'opèrent sur le ballon (le muscle) ; si l'effectif est trop important il est possible de faire venir des petits groupes d'élèves à tour de rôle.

Etape 3 - maquette du bras articulé visible

Un débat collectif est initié par l'enseignant ; il peut lancer le débat par une question assez ouverte du type : « qu'avez-vous observé ? ». L'enseignant recentre le débat et laisse les élèves discuter si le propos est la maquette, l'enseignant peut recentrer le propos mais n'apporte pas de connaissances.

Etape 4 - maquette du bras articulé non visible

L'enseignant range la maquette puis donne aux élèves une demi-feuille vierge où ils sont amenés à écrire leur prénom. L'enseignant donne alors la consigne suivante : « vous venez d'observer une maquette de bras articulé, vous allez écrire deux phrases pour apporter des modifications, des précisions à votre dessin si vous le souhaitez par rapport à ce que vous avez observé. »

V. Résultats

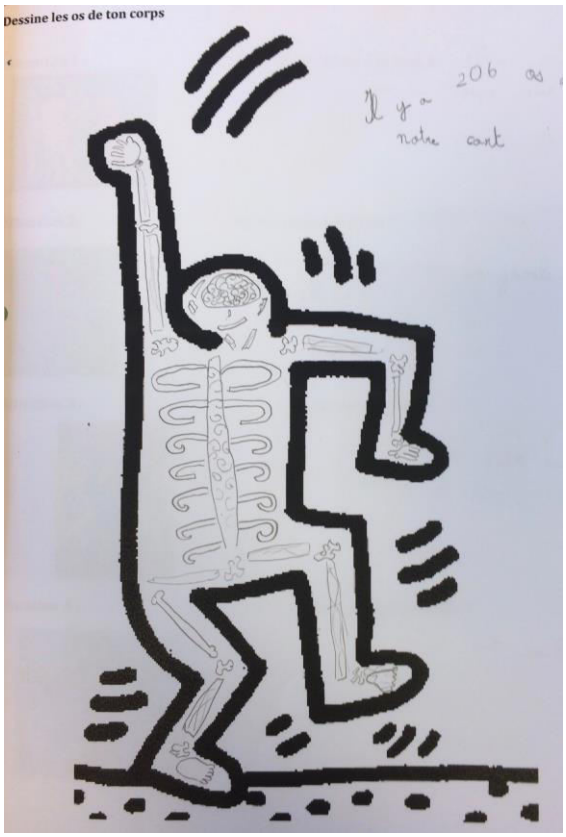
A. Résultats obtenus lors de la séquence d'enseignement

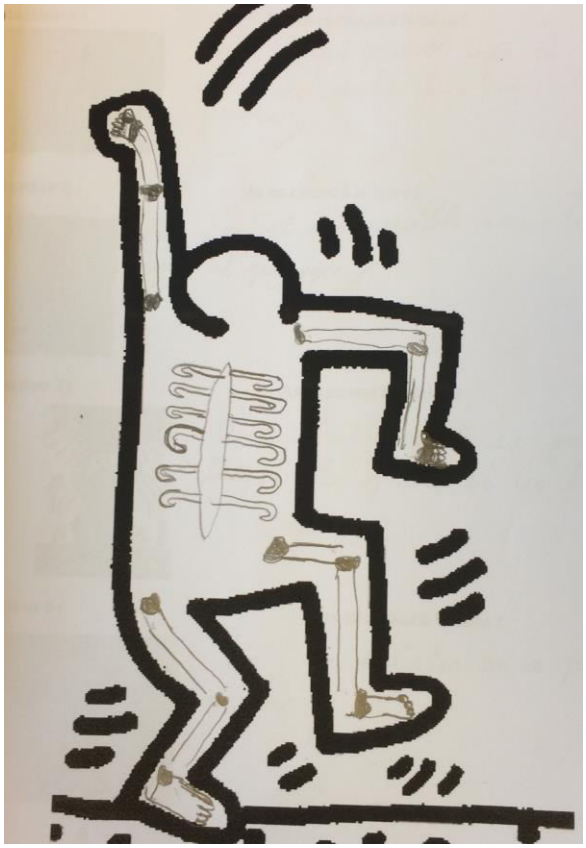
La séquence d'enseignement a été mise en place à l'école de TORPES lors de mon stage de Master. Les élèves n'avaient pas abordés la thématique et la séquence a eu lieu a raison d'une séance par semaine pendant une période. Figurent ci-dessous les documents relatifs au recueil des représentations des élèves lors de l'élaboration de la séquence d'enseignement sur le mouvement corporel en CE2.

Voici quelques exemples de feuilles d'élèves sur les représentations initiales concernant le squelette recueillies lors de la première séance de la séquence d'enseignement :

1) 
Arthur
Dessine les os de ton corps

2) 
Dessine les os de ton corps

3) 
Dessine les os de ton corps
206 os

4) 

Résultats obtenus dans la classe de CE2 et regroupés en trois catégories de représentations initiales :

Os « mous » qui suivent le contour du dessin dans articulation (image 1)	3
Os « mous » à l'intérieur du corps sans notion d'articulation (image 2)	5
Squelette évolué avec les articulations représentées ou sous entendues (images 3)	4
On s'aperçoit alors que la notion d'articulation est inconnue pour 8 élèves sur 12. Seulement 4 élèves semblent avoir conscience de cette notion.	

Analyse des productions d'élèves (voir images ci dessus) :

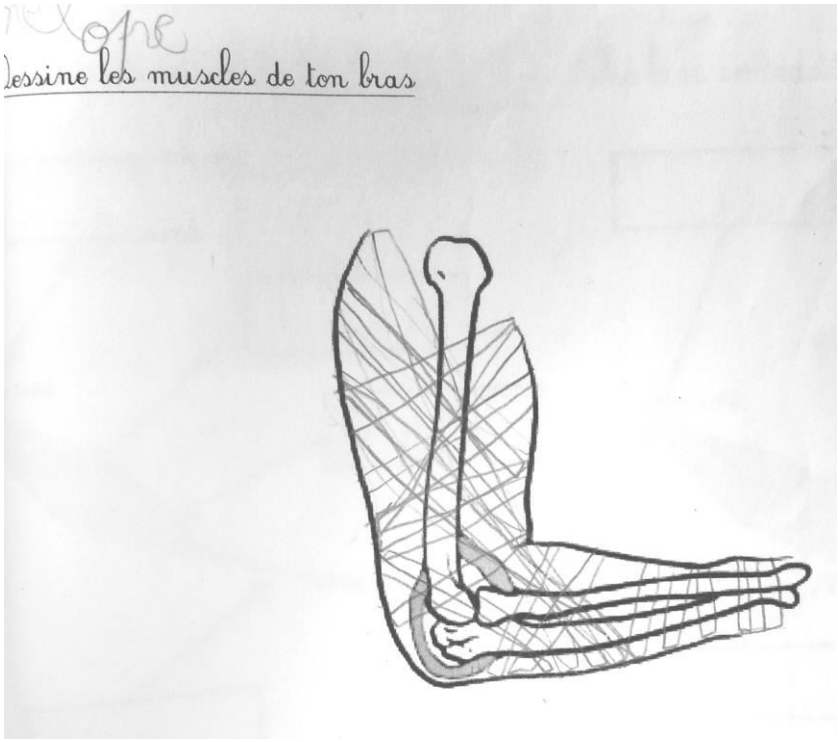
1) L'élève représente des os qui ont globalement tous la même forme, (sauf les côtes et la colonne vertébrale) ; on voit bien dès lors que l'élève tente de faire un rapprochement entre ce qu'il voit sur son propre corps et l'intérieur de son corps : en effet les os de forme stéréotypée sont disposés de telle manière qu'ils suivent le contour du corps, la colonne vertébrale et les côtes n'ont pas la même forme ; en effet ce sont deux éléments facilement observables à travers la peau.

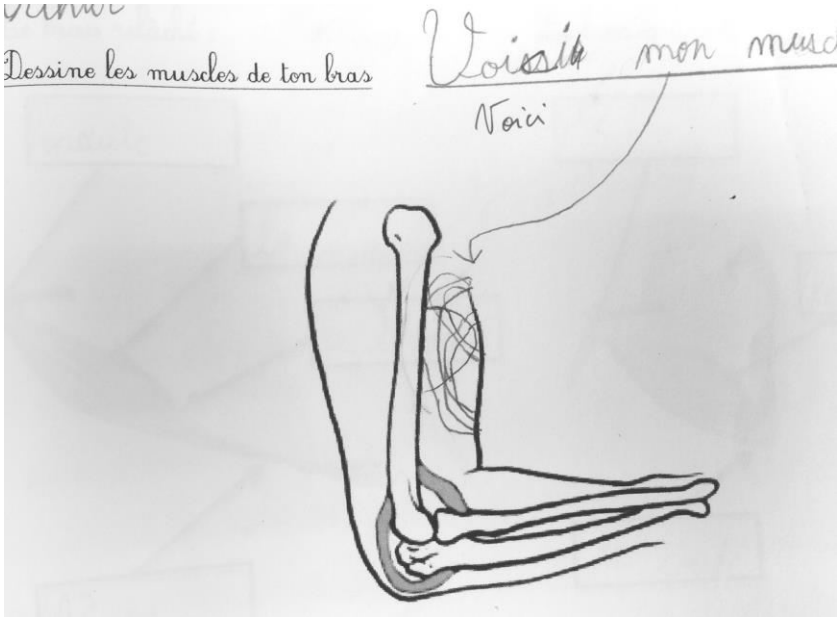
2) L'élève représente les os sans forme particulière, il semble nécessaire pour cet élève de « remplir » l'intérieur du corps, les os sont alors « mous » et la notion d'articulation n'est pas présente. On retrouve cependant la colonne vertébrale et les côtes, signe que l'élève tente également de faire un lien entre ce qu'il voit sur son propre corps et ce qu'il imagine à l'intérieur.

3) L'élève représente les os comme des rectangles mis bout à bout. La notion d'articulation ici est très évoluée puisque l'élève tente de représenter les articulations par des structures différenciées qui n'ont pas de forme précise mais se trouvent à la jonction entre les rectangles (os). L'élève ici a bien compris que certaines structures sont en jeux pour que le corps puisse plier. On peut ajouter cependant il n'a pas conscience que ce ne sont pas des structures différenciées mais bien l'extrémité des os elle même qui permet de plier. Là encore la colonne vertébrale et les côtes sont représentées assez fidèlement à la réalité.

4) L'élève représente les os de la même manière que le dessin 3, cependant les « structures » représentées à la jonction entre deux os et laissant supposer des articulations sont beaucoup moins « détachées » que dans le dessin 3. Il est difficile de dire si l'élève pense que les endroits « où ça plie » sont des structures différentes des os ou s'il a simplement voulu relier les os sans penser à une structure particulière. Là encore la représentation de la colonne vertébrale et des côtes rejoint les productions des autres élèves.

Voici maintenant deux exemples de production d'élève sur les représentations initiales concernant les muscles recueillies lors de la cinquième séance d'enseignement sur les muscles du corps dans la classe de CE2 :

1) 

2) 

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci dessous, deux catégories de représentations initiales ont été constituées :

Muscles qui remplissent tout l'espace (les muscles n'ont pas de forme et correspondent à la chair) – image 1	5
Muscles qui représentent « ce qu'on voit » à l'œil nu lorsqu'on regarde son bras, sans attache sur l'os – image 2	7
On s'aperçoit que pour tous les élèves la notion de muscles semble inconnue et leurs attaches sur les os également.	

Analyse des productions d'élèves :

1) L'élève ici représente le muscle comme matière qui remplit tout l'espace entre la peau (le contour) et l'os (dessiné dans la silhouette), l'élève a certainement du observer son corps, sans doute de manière erronée, en effet les muscles, peu visible chez les enfants se confondent alors à la graisse et à la peau laissant penser à une seule et même « structure » constitutive de la chair. Ainsi cet élève rempli tout l'espace disponible par le muscle, celui-ci n'a pas de forme définie pour l'élève et ne présente pas d'attache particulière à l'os.

2) On remarque chez cet élève une conception différente du muscle que dans le premier dessin, en effet cet élève a sans doute observé son bras et a réussi à différencier « la chair » d'une structure sous-jacente à celle-ci : le muscle. Il a conscience que « la bosse » qu'on voit lorsqu'on observe son bras (contracté) correspond à son muscle. Il a cependant du mal à faire correspondre la forme de muscle qu'il imagine et la silhouette de bras qui lui est imposé, il a sans doute tracé en premier le muscle sur l'os mais cela ne correspondant pas à la silhouette extérieure, il a redessiné des muscles pour expliquer la forme de la silhouette sur le dessin. Là encore la notion d'attache à l'os ne figure pas.

L'évaluation bilan effectuée en fin de séquence a montré une évolution notable des connaissances globales des élèves sur le système osseux et sur le fonctionnement du mouvement musculaire, la totalité des élèves de la classe test ont compris les deux points fondamentaux suivants :

- le squelette est un ensemble de segments rigides et il peut plier à la jonction entre deux os.
- Les articulations sont situées à la jonction entre deux os et assurent mobilité du squelette.
- Le muscle est un organe qui permet le mouvement du corps en se contractant et en tirant sur l'os.

Il est cependant impossible d'analyser avec certitude quelles parties de l'enseignement ont permis aux élèves d'accéder à ces connaissances, ces parties étant sans doute différentes et propres à chaque élève.

B. Résultats obtenus lors de l'étude complémentaire

1. Présentation du cadrage de l'étude

L'étude complémentaire a été réalisée dans trois classes de CE2, l'une en milieu rural (école de Haute-Saône) et les deux autres en zone urbaine (écoles de Besançon). Ainsi l'effectif total de l'étude est de 62 élèves (26, 15, 21). Les enseignants n'avaient jamais traité le sujet du mouvement corporel avec leurs élèves et ont respecté le protocole donné avec les maquettes du squelette et du bras. La durée de l'étude complémentaire est d'environ 40 minutes par classe et les enseignants sont amenés à respecter le protocole afin de ne pas influencer les productions des élèves. Les résultats des analyses des productions d'élèves figurent en annexe 2.

2. Le modèle squelettique

Les résultats de l'étude complémentaire figures en annexe 2. Celle-ci présente des retranscriptions de chaque production d'élève concernant le modèle squelettique qui est une représentation de la réalité : de courtes phrases descriptives permettent de décrire succinctement l'idée générale de l'élève ; cela permet un regroupement des idées véhiculées par les dessins et les productions écrites des élèves. Une lecture rapide de ce tableau permet de voir tout d'abord que 57 élèves sur un effectif total de 62 (soit 92%) souhaitent apporter des modifications à leur dessin de départ après avoir simplement observé le modèle du squelette quelques minutes.

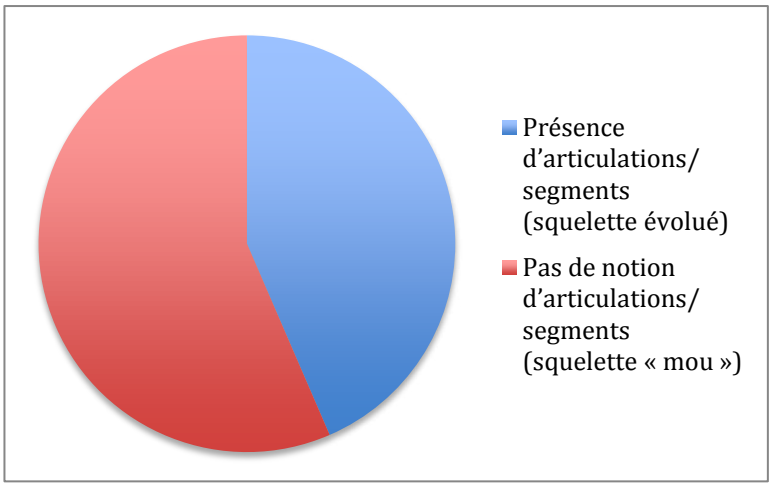


Figure 3 Représentations initiales des élèves sur le squelette.

Il a été choisi de faire deux catégories parmi les représentations initiales des élèves, la première catégorie regroupe les élèves dont la vision du squelette est plutôt élaborée ; on note la présence d'articulations (représentées de différentes manières) ou de segments. Les élèves font alors le lien entre les structures sous-jacentes et ce qu'ils voient lorsqu'ils observent leur corps. Ils ont conscience que l'os est un matériau dur, rigide et font le lien entre ces structures rigides et la rigidité des segments de leur corps, il semble important de préciser que ce lien est inconscient. En effet un élève de CE2 ne formulera pas son propos de cette manière. Ainsi lorsque les élèves ont conscience de cela, la notion de segment et d'articulation en découle : une structure rigide ne permet pas de plier les membres.

Pour ces élèves, trois catégories post observation ont été faites :

La première catégorie regroupe les élèves qui souhaitent apporter des modifications de l'ordre du détail, la structure globale du squelette étant plutôt fidèle à la réalité ; ils s'attardent dès lors sur les éléments manquants ou les détails mal représentés (os des mains et des pieds notamment).

Il y a également la catégorie des élèves qui souhaitent apporter des modifications liées aux articulations et segments ; pour ceux-ci la vision globale du squelette sur leur dessin est peut-être trop éloignée du modèle (selon leur jugement) même si la représentation respecte les principes de base dans la représentation du squelette.

Une dernière catégorie regroupe les élèves ne souhaitant pas apporter de modifications ; soit ils l'écrivent en le précisant, soit il n'y a rien écrit sur la feuille (on ne sait pas si l'élève a eu des difficultés trop importantes dans la formulation de son idée ou si il ne voulait rien écrire).

La seconde catégorie (dans les représentations initiales) regroupe les élèves qui n'ont pas conscience de la rigidité de l'os, de la forme d'un os : ces élèves ne font pas le lien entre ce qu'ils voient de leur corps/leur expérience quotidienne et les structures sous-jacentes. Le squelette est considéré tantôt comme une masse diffuse qui n'a pas de forme, tantôt comme « des fils de fer » sans forme et capables de courbure. Les courbures observées dans les productions d'élèves montrent bien que l'élève n'a pas fait le lien entre les segments articulés des membres et le squelette, structure du corps.

Parmi ces élèves, quatre catégories d'élèves ont pu être faites en lien avec leur écrit rectificatif lié à leur dessin : la première concerne les élèves chez qui l'observation du modèle a permis l'émergence de la notion de segments et/ou d'articulations ; les productions écrites montre une nette volonté de « séparer » les os au niveau des articulations qui sont souvent nommées correctement, on peut penser que ces modifications sont liées à la manipulation du squelette. En effet l'élève a pris conscience en manipulant le modèle de la rigidité de la structure osseuse, ils ont pu observer également que l'os (de par sa rigidité) ne peut pas plier. Un lien net a été fait chez de nombreux élèves entre les « endroits » où le squelette peut plier

et les dénominations extérieures données à leur corps qu'ils connaissent souvent à cet âge (coude, cou, cheville, genou, etc.).

Une seconde catégorie concerne les élèves pour qui l'observation du modèle a permis la mise en lumière de structure importantes du corps telles que la forme et l'épaisseur d'un os, la colonne vertébrale ou encore la cage thoracique, modifiant ainsi la perception globale du corps. Pour ces élèves, la manipulation n'a pas permis d'observer le mouvement des segments et on peut penser que leur attention s'est focalisée sur l'allure globale de leur squelette dessiné.

Une troisième catégorie regroupe les élèves qui ont apportés des modifications de l'ordre du détail ; pour ceux-ci leur attention s'est focalisée sur des détails alors que l'allure globale de leur squelette est erronée. Cette catégorie regroupe les élèves qui par exemple ont cité le nez, les mains, les pieds, etc.

Une quatrième catégorie regroupe les élèves ne souhaitant ou ne pouvant pas apporter de modification à leur production de départ. On ne sait pas pour ces élèves si le modèle était inaccessible ou si ils n'ont pas réussi à mettre en mots leur idée sur la question posée.

Tableaux récapitulatifs des résultats de l'annexe 1 concernant la partie liée au modèle squelettique :

Représentations initiales : présence d'articulations/segments		43,5%
Apports de modifications de l'ordre du détail après observation du squelette.	Apports de modifications liées aux articulations/ segments.	Pas de modifications à apporter après observation du squelette.
85,2%	3,7%	11,1%

Représentations initiales : pas de notion d'articulations/segments (squelette « mou »)			56,5%
Emergence de la notion de segments/ articulations dans les productions écrites des élèves.	Apports de modifications importantes liées à la structure du squelette après observation du modèle.	Apports de modifications de l'ordre du détail après observation du modèle.	Pas de modifications à apporter après observation du squelette.
28,6%	28,6%	37,1%	5,7%

Les représentations initiales des élèves ont été classées selon deux catégories bien distinctes : présence d'articulations/segments (notions élaborées liées au squelette) et pas de segments/articulations, os mou (vision du squelette éloignée de la réalité). On observe que 27 élèves sur 62 (soit 43,5%) ont dessiné un squelette comportant soit des segments uniquement (correspondant aux segments des membres) ou alors des segments et différents systèmes de représentations pour les articulations (boules, petits gribouillis, etc.). Ainsi 56,5% des élèves ont dessiné un squelette sans avoir conscience des segments et des articulations, les os sont petits et se succèdent pour former le contour du corps ou les os sont « mous » plus ou moins épais.

Parmi les 43,5% d'élèves qui ont déjà dessiné des segments et/ou articulations, 85,2% souhaitent simplement apporter des modifications de l'ordre du détail après observation du squelette : les doigts des mains et des pieds, apport de détails au niveau de l'os du crâne ou encore au niveau du bassin. De plus, 11,1 % de ces élèves ne souhaitent pas apporter de modifications et 3,7% souhaitent apporter des modifications relatives à la notion de segments et d'articulations.

Parmi les 56,5% d'élèves qui n'avaient pas dessiné les os selon des segments et/ou articulations, chez 28,6% des élèves, on voit la notion de segments/articulations émerger grâce à l'observation du squelette : ils expliquent souvent avec des mots simples leur volonté de « détacher » les os de leur dessin ou alors ils citent des articulations qu'ils ont mal représentées. En revanche, chez 37,1% d'entre eux la notion de segment/articulation n'émerge pas ; les élèves souhaitent uniquement apporter des modifications de l'ordre du détail (oublis) sans remarquer que leur représentation globale du squelette est erronée. Chez 28,6% d'entre eux, l'observation du squelette amène les élèves à modifier des structures importantes au sein du squelette (colonne vertébrale, côtes ou allure générale de l'os). En revanche 5,7% des élèves ne souhaitent apporter aucune modification à leur dessin de départ.

3. Le modèle du bras articulé

Les résultats de l'étude complémentaire figures en annexe 2. Celle-ci présente des retranscriptions de chaque production d'élève concernant le modèle du bras qui est un modèle comme support pour penser : de courtes phrases descriptives permettent de décrire succinctement l'idée générale de l'élève ; cela permet un regroupement des idées véhiculées par les dessins et les productions écrites des élèves. Une lecture rapide de ce tableau permet de voir tout d'abord que 21 élèves sur un effectif total de 62 (soit 34%) ne souhaitent pas apporter de modifications à leur dessin de départ ou n'ont rien écrit après avoir simplement observé et manipulé le modèle du bras articulé quelques minutes.

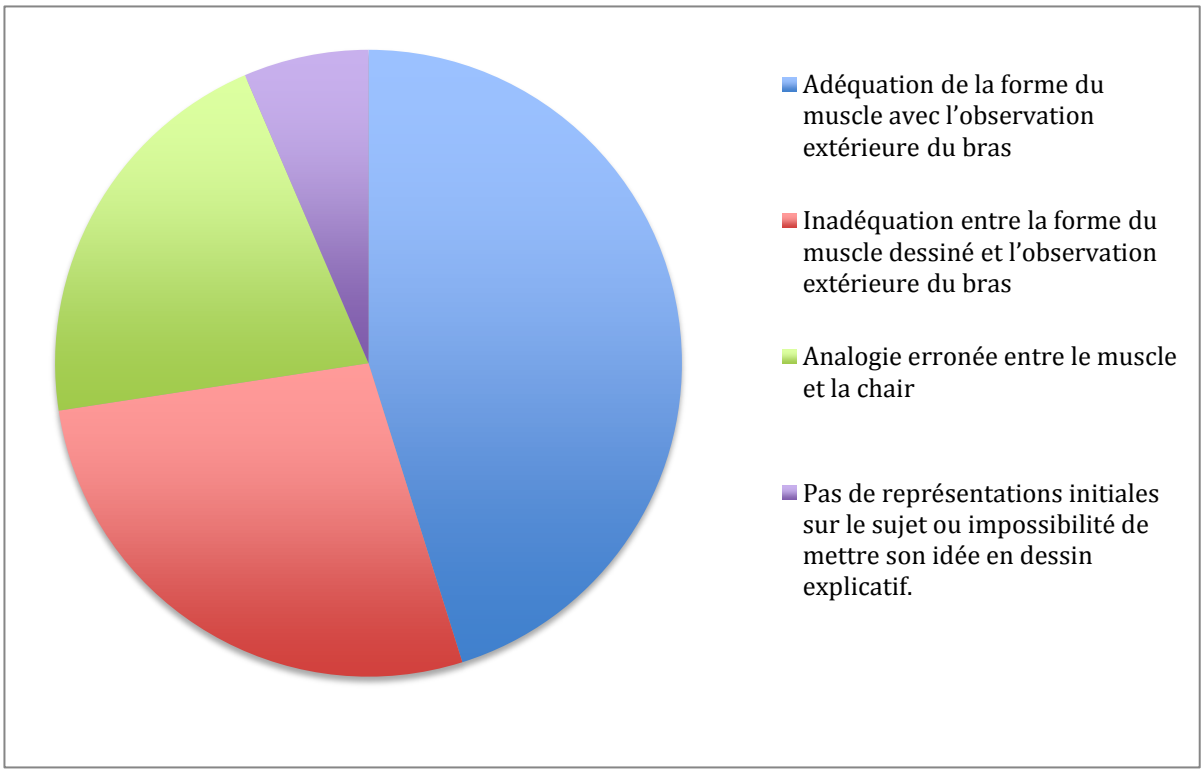


Figure 4 Représentations initiales des élèves sur les muscles.

Il a été choisi de faire quatre catégories parmi les représentations initiales des élèves. Tout d'abord la catégorie des élèves qui ont dessiné un muscle ayant une forme en lien direct avec la forme extérieure de celui-ci. Ces élèves semblent faire un lien évident entre les structures sous-jacentes et ce qu'ils voient de leur bras ; ils tentent d'imaginer les structures sous-jacentes qui pourraient expliquer la vision qu'ils ont de leur bras. On peut ajouter que pour les élèves de cette catégorie, le muscle a une forme définie et ne correspond pas à de la chair.

Une seconde catégorie d'élèves regroupe ceux pour qui le muscle a une forme, mais cette forme n'est pas liée à la vision extérieure de leur bras. Souvent le muscle est représenté comme une succession de petits ponts (collés à l'os ou à la peau), comme des petites vésicules placées aléatoirement dans la silhouette du bras ou encore comme un amas de masses ovoïdes.

Une troisième catégorie regroupe les élèves pour qui le muscle n'a pas de forme : c'est une substance comblant l'espace entre l'os et la peau ; pour ces élèves le muscle est en fait de la chair, une masse informe sous-jacente à la peau et autour de l'os. Il n'est pas possible de savoir ici si les élèves connaissent la fonction du muscle avant l'observation du modèle. Dans la séquence d'enseignement, le rôle du muscle avait été étudié avant l'observation du modèle.

Une quatrième catégorie concerne les élèves qui n'ont rien dessiné ; on ne sait pas si c'est le terme de muscle qui peut être en cause ou simplement une sensation d'incompétence dans la représentation de quelque chose qu'ils ne connaissent pas. Certains élèves de cette catégorie ont également colorié l'os ; sachant qu'il avait été demandé aux enseignants de nommer l'os pour les élèves sur le dessin, il est impossible de traiter ces productions d'élève.

En ce qui concerne les résultats à l'issue de la manipulation et de l'observation du modèle, on peut proposer plusieurs groupes d'élèves dont les courts écrit se rejoignent : tout d'abord un premier groupe d'élève qui a utilisé le modèle comme représentation de la réalité (et non comme support pour penser sur le fonctionnement du muscle), parmi ces élèves ont été distingués :

- ceux pour qui la notion de lien a émergé (le muscle est attaché à l'os par l'intermédiaire de structures solides qui font office de lien) ou encore la notion de « forme » du muscle
- ceux pour qui la notion de lien n'émerge pas (ils utilisent le modèle pour dire qu'ils ont faux, pour expliquer qu'ils ont dessiné trop de muscles et qu'il n'y en a qu'un dans le bras), cependant ces élèves ont tout de même utilisé le modèle comme représentation de la réalité.

Une seconde catégorie regroupe les élèves qui n'ont pas souhaité modifier leur dessin ou qui n'ont pas trouvé les mots pour l'exprimer (ils n'ont rien écrit).

Un dernier groupe a été formé pour les élèves qui ont compris l'intérêt du modèle présenté : ce n'est pas une représentation de la réalité (les enseignants l'avait précisé : voir protocole donné aux enseignants) mais un modèle qui permet de comprendre comment le muscle fonctionne. Il n'est pas question ici de pouvoir observer le modèle et comprendre qu'il y a la même chose dans le bras ce n'est pas le cas. Ce groupe d'élèves aurait donc la capacité de s'éloigner de l'aspect « purement esthétique » du modèle pour comprendre un phénomène complexe explicité par un modèle.

Tableaux récapitulatifs des résultats de l'annexe 1 concernant la partie liée au modèle du bras articulé :

<table>
<tr><td colspan="3">Représentations initiales : adéquation de la forme du muscle avec l'observation extérieure du bras</td><td>45,16%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modèle utilisé comme support de la pensée (fonctionnement du muscle).</td><td colspan="2">Apport de modifications liées à une utilisation du modèle
comme représentation de la réalité (78,58%)</td><td rowspan="2">Pas d'annotations (volonté de ne pas modifier son dessin ou impossibilité à écrire son idée).</td></tr>
<tr><td>Apports de modifications avec émergence de la notion de lien, d'attache à l'os.</td><td>Apports de modifications qui confirment l'utilisation du modèle comme représentation de la réalité sans émergence de la notion de lien.</td></tr>
<tr><td>0%</td><td>67,86%</td><td>10,7%</td><td>21,44%</td></tr>
</table>

Parmi les 45,16% d'élèves qui avaient représenté un muscle en adéquation avec la forme du bras extérieure, aucun n'a utilisé le modèle pour dessiner le muscle correctement (comme support de la pensée). 78,58% des élèves ont utilisé le modèle comme représentation de la réalité et 21,44% n'ont pas souhaité modifier leur dessin. On note une très nette majorité des élèves qui ont utilisé le modèle comme représentation de la réalité alors même que l'enseignant avait précisé que ce n'en était pas une.

<table>
<tr><td colspan="3">Représentations initiales : inadéquation entre la forme du muscle dessiné et l'observation extérieure du bras</td><td>27,42%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modèle utilisé comme support de la pensée (fonctionnement du muscle).</td><td colspan="2">Apport de modifications liées à une utilisation du modèle comme représentation de la réalité (58,82%)</td><td rowspan="2">Pas d'annotations (volonté de ne pas modifier son dessin ou impossibilité à écrire son idée).</td></tr>
<tr><td>Apports de modifications avec émergence de la notion de lien, d'attache à l'os.</td><td>Apports de modifications qui confirment l'utilisation du modèle comme représentation de la réalité dans émergence de la notion de lien.</td></tr>
<tr><td>0%</td><td>23,53%</td><td>35,29%</td><td>41,18%</td></tr>
</table>

Parmi les 27,42% des élèves qui ont représenté un muscle en inadéquation avec l'observation extérieure du bras, aucun n'a utilisé le modèle comme support de la pensée. 58,82% des élèves ont utilisé le modèle comme représentation de la réalité et 41,18 % n'ont pas souhaité revenir sur leur production de départ.

<table>
<tr><td colspan="3">Représentations initiales : analogie erronée entre le muscle et la chair</td><td>20,97%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modèle utilisé comme support de la pensée (fonctionnement du muscle).</td><td colspan="2">Apport de modifications liées à une utilisation du modèle comme représentation de la réalité (53,85%)</td><td rowspan="2">Pas d'annotations (volonté de ne pas modifier son dessin ou impossibilité à écrire son idée).</td></tr>
<tr><td>Apports de modifications avec émergence de la notion de lien, d'attache à l'os.</td><td>Apports de modifications qui confirment l'utilisation du modèle comme représentation de la réalité dans émergence de la notion de lien.</td></tr>
<tr><td>7,7%</td><td>38,46%</td><td>15,38%</td><td>38,46%</td></tr>
</table>

20,97% ont dessiné le muscle comme une substance sans forme comblant l'espace entre l'os et la chair. Parmi ces élèves 38,46% n'ont pas souhaité apporter de modifications à leur dessin de départ. 53,85% ont utilisé le modèle comme représentation de la réalité et 7,7%

ont utilisé le modèle comme support pour la pensée avec une explication très précise du fonctionnement musculaire. L'élève en question a indiqué : « Lorsqu'on plie notre bras en serrant le poing, le muscle est gonflé et il est dégonflé quand on le tend ».

<table>
<tr><td colspan="3">Représentations initiales : aucune représentation initiale sur le sujet ou impossibilité de mettre son idée en dessin explicatif.</td><td>6,45%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Modèle utilisé comme support de la pensée (fonctionnement du muscle).</td><td colspan="2">Apport de modifications liées à une utilisation du modèle
comme représentation de la réalité (25%)</td><td rowspan="2">Pas d'annotations (volonté de ne pas modifier son dessin ou impossibilité à écrire son idée).</td></tr>
<tr><td>Apports de modifications avec émergence de la notion de lien, d'attache à l'os.</td><td>Apports de modifications qui confirment l'utilisation du modèle comme représentation de la réalité dans émergence de la notion de lien.</td></tr>
<tr><td>0%</td><td>0%</td><td>25%</td><td>75%</td></tr>
</table>

On notera que 6,45% des élèves n'avaient aucune représentation initiale sur le sujet ou avaient une impossibilité de mettre leur idée en dessin. Parmi ces élèves, 25% ont utilisé le modèle comme représentation de la réalité et 75% n'ont apporté aucune annotation.

En résumé, l'expérience globale autour du modèle musculaire a permis de voir que 64,5% des élèves utilisaient le modèle comme représentation de la réalité malgré les précisions de l'enseignant avant l'observation et la manipulation du modèle. 33,9% des élèves n'ont pas souhaité modifier leur production de base et chez 1,6% des élèves le modèle a été utilisé comme outil permettant la compréhension du système os-muscle.

VI. Analyse des résultats obtenus lors de l'étude complémentaire

A. Le modèle squelettique

Tout d'abord concernant les résultats de l'étude complémentaire réalisée avec le squelette.

Le modèle ici était un modèle comme représentation d'une réalité non visible directement (inaccessibilité directe). Dans l'ensemble le modèle du squelette en plastique a très bien été reçu par les élèves ; on peut penser au vu des 92% d'élèves qui ont souhaité modifier leur dessin que la simple observation du squelette a eu un impact direct sur la représentation qu'ils en avaient auparavant. Le modèle a permis bien souvent de modifier la perception globale du squelette. Pour seulement 8% des élèves, le squelette n'a pas eu

d'impact : on peut penser que l'élève a été submergé par une abondance d'informations ou que l'élève a eu une incapacité à exploiter le modèle face à l'écart important de son dessin par rapport au modèle.

Il ne semble pas nécessaire qu'un travail supplémentaire en classe ait eu lieu avant de montrer le modèle puisque dans la majorité des cas, le modèle a eu un impact. Le travail qui avait été réalisé lors de la séquence d'enseignement (observation des endroits où ça plie) avait permis de mettre en lumière les éléments à observer (les articulations par exemple). Même si l'impact du modèle seul est déjà significatif, cette activité supplémentaire en amont permet de guider l'élève dans son observation du modèle. En effet on remarque, dans les résultats de l'étude complémentaire, que l'élève s'attarde sur des détails, c'est le cas pour 58 % des élèves. Comme l'élève ne sait pas vraiment quoi observer, il observe avec un œil non averti et s'attarde sur des détails liés certainement à son expérience personnelle. Par exemple si il n'imaginait pas du tout les os des mains de cette manière, lorsqu'on proposera le squelette aux élèves, un effet de surprise aura lieu en découvrant la vraie structure des mains et le reste ne sera pas mis en lumière puisque l'attention sera portée sur cet élément précis. L'observation d'un détail est propre à chaque élève, mais les mains et les pieds reviennent tout de même très régulièrement.

L'observation du modèle squelettique a eu un impact significatif pour 33,9% des élèves ; en effet cette observation a permis une modification globale de la perception du squelette : forme des os, structures telles que les côtes et la colonne vertébrale, émergence de la notion de segments/ d'articulations, etc.

On peut noter également que l'impact du modèle semble dépendre des représentations qu'avaient les élèves au départ sur le squelette ; en effet la figure 1 (ci-dessous) montre très bien que les élèves n'observent pas la même chose selon leur vision du squelette au départ. Pour les élèves ayant déjà une vision évoluée du squelette, avec la présence d'articulations ou de segments, 85,2% des élèves ont simplement voulu ajouter des détails à leur production de base alors que chez les élèves n'ayant pas une vision évoluée du squelette c'est seulement 37,1% des élèves qui veulent ajouter des détails à leur production. On peut penser que comme la structure globale du squelette est déjà très semblable au modèle observé et que ces élèves ont observé des détails afin d'affiner leur dessin.

En ce qui concerne les 56,5% d'élèves qui avaient une vision peu évoluée du squelette, il est intéressant de noter que pour 57,2% d'entre eux, l'évolution est notable après observation et manipulation du modèle. L'impact du modèle pour ces élèves prend alors tout son sens, sans explications et commentaires de la part de l'enseignant, passer un temps en interaction avec le modèle squelettique a permis à 28,6% d'entre eux d'accéder à la notion d'articulations et de segments, la manipulation permet d'observer les articulations. Les élèves se rendent compte inconsciemment des caractéristiques et des propriétés des os. Ils observent la dureté, la solidité de l'os et l'association entre les os du corps, il peuvent également se rendre compte que tous les os n'ont pas la même forme. Ils peuvent voir que c'est à la jonction entre deux os que le squelette peut plier et que ce n'est pas n'importe où (déconstruction du bonhomme fil de fer et du syndrome de l'os mou). De plus, pour 28,6 %

d'entre eux même si la notion d'articulation et de segment n'a pas émergé, c'est la représentation globale du squelette qui a évolué ; il y a une meilleure perception de l'allure d'un os (son épaisseur, sa disposition dans le corps). Des structures majeures du squelette sont découvertes par les élèves telles que la cage thoracique ou encore la colonne vertébrale.

Là où l'impact du squelette est moindre, c'est pour les 37,1% des élèves qui souhaitent ajouter des détails, leur vision globale du squelette ne semble pas modifiée et le surplus d'informations que délivre le squelette (très éloigné de leur dessin de base) les amène à s'attarder sur des détails (comme bien souvent les os des mains et des pieds). Même si dans ce cas, le modèle n'a permis qu'une évolution moindre des représentations des élèves, celles-ci ont tout de même évolué.

En revanche pour les 5,7% restant, l'impact du modèle est considéré comme nul : les élèves n'ont pas réussi à tirer parti du modèle. Ce résultat reste tout de même très faible au vu des résultats positifs cités ci-dessus.

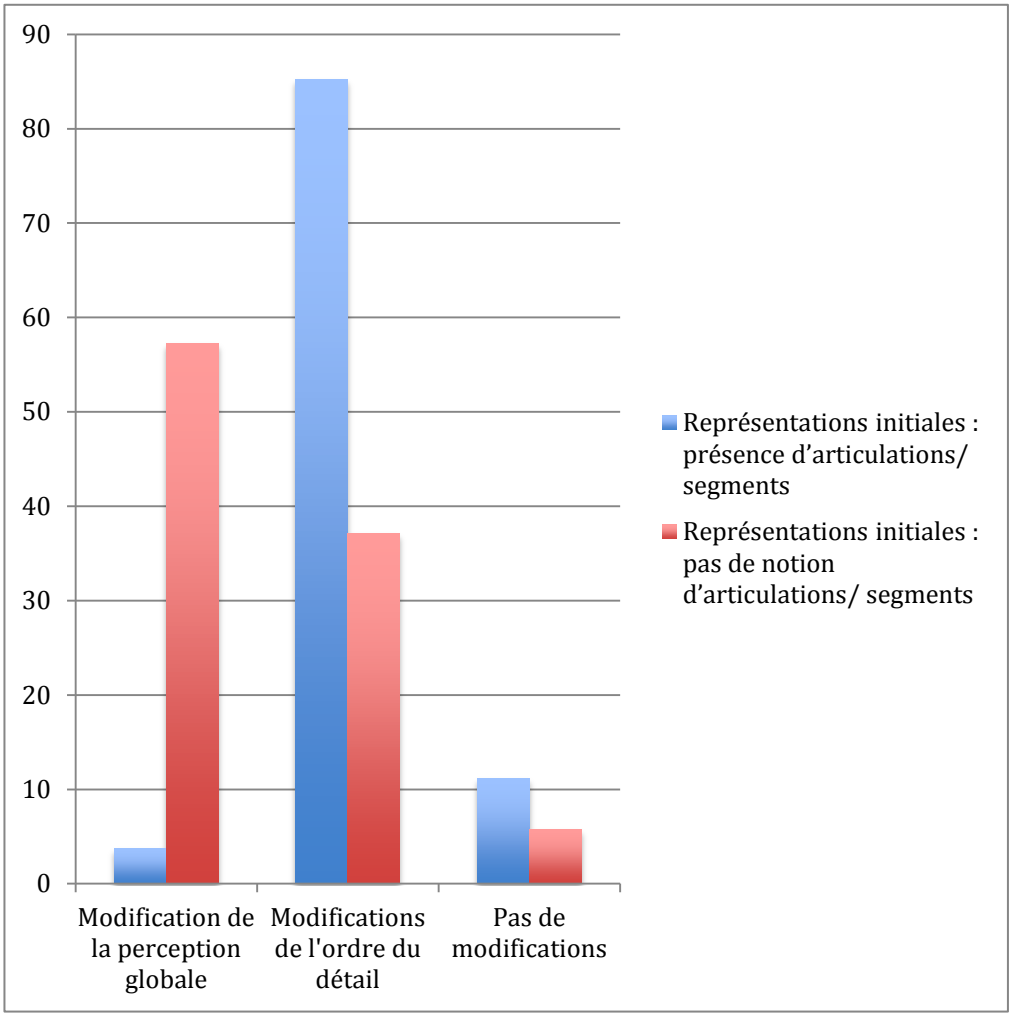


Figure 5 Graphique illustrant les observations des élèves en fonction de leurs représentations initiales

Le modèle comme représentation de la réalité a un réel impact positif dans l'évolution des conceptions initiales des élèves de CE2, le pourcentage d'élèves pour qui le modèle n'a pas eu d'impact est très faible et on peut donc penser qu'il serait intéressant de proposer aux élèves un modèle dans une séquence d'enseignement sur le mouvement corporel. Intégré judicieusement et accompagné de différents supports pédagogiques, il pourrait avoir un impact positif chez tous les élèves de cette classe d'âge.

L'inconvénient majeur du modèle squelettique est sa complexité certaine pour des élèves de cet âge (à la vision de départ très éloignée de la réalité). Pour résoudre ce problème on peut proposer deux solutions :

- réaliser un travail en amont (sur les articulations par exemple) qui permettrait à la fois de guider l'élève dans son observation car il sait ce qu'il doit observer. Aider l'élève à focaliser son attention sur un élément pourrait diminuer le pourcentage d'élève qui observe des éléments relevant du détail et ceux qui n'avaient rien à modifier.
- donner aux élèves une « fenêtre de visée », plaque de carton percée d'un petit trou carré de côté 1cm. Après une observation globale du squelette, les élèves peuvent focaliser leur attention sur certains éléments. Cela peut les aider à diminuer le nombre d'information reçue au moment de l'observation et donc participer à la simplification du modèle. Attention cependant à ne pas altérer la perception globale du squelette qui est importante (faire attention à la dimension de la fenêtre de visée afin qu'elle n'isole pas par exemple juste une main, mais qu'elle isole un membre).

B. Le modèle du bras articulé

Les résultats de l'étude complémentaire pour le modèle du bras articulé sont plus mitigés. Tout d'abord on peut penser que la notion de « muscle » est beaucoup plus abstraite pour un élève que le squelette (multiples représentations imagées, pendant la fête d'Halloween par exemple), même si la plupart ont déjà certainement entendu ce terme. On peut voir que beaucoup d'élèves (34%) n'ont pas souhaité modifier leur dessin de départ. On peut alors penser que pour 1/3 des élèves le modèle du bras articulé n'a pas permis de faire évoluer leurs conceptions sur le muscle et son fonctionnement. Les élèves de l'étude sur le modèle squelettique étant les même que ceux de l'étude sur le bras articulé, on peut négliger le facteur « difficultés d'écritures » qui n'a pas dérangé les élèves lors de la première phase de l'étude. Cela confirme bien l'impact quasi nul du modèle pour ces élèves. Comme le montre le graphique (figure 2) ci-dessous, un grand nombre d'élèves utilisent le modèle comme représentation de la réalité (en rouge) et beaucoup n'ont pas souhaité annoter leur production de départ (en bleu). L'effet escompté du modèle est représenté en vert, cela représente un élève seulement sur l'effectif total.

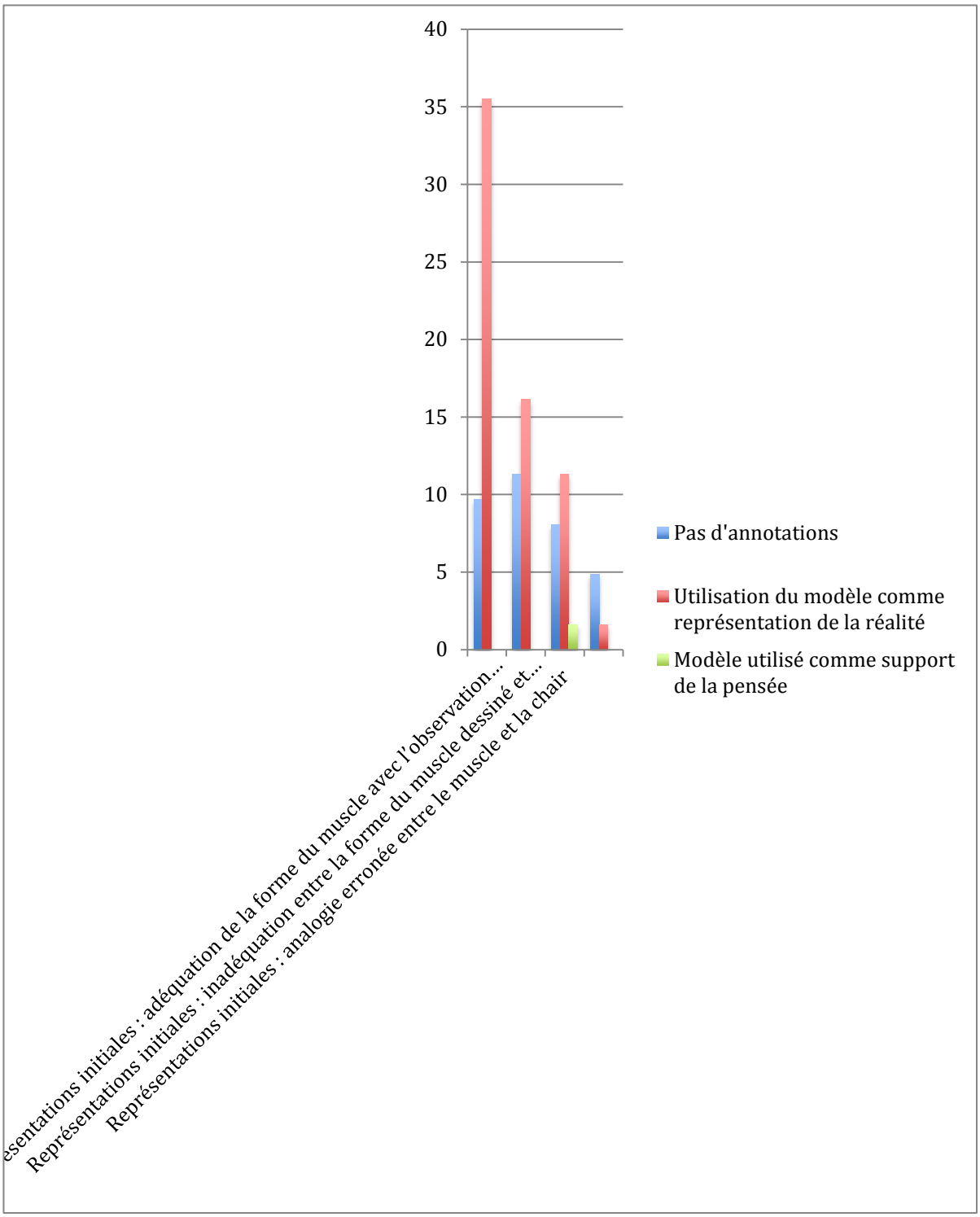


Figure 6 Graphique représentant l'utilisation du modèle en fonction des représentations initiales des élèves.

Pour 64,5% des élèves qui ont souhaité modifier leur production de départ par un court écrit, le modèle a été utilisé comme modèle représentant la réalité. Or il avait été précisé par les enseignants en charge de cette étude que le modèle n'était pas une représentation de la réalité, mais une maquette expliquant le fonctionnement d'un muscle du bras et que dans la réalité il y avait plus de muscles dans le bras. Le modèle qui devait permettre ici aux élèves d'accéder au mécanisme de fonctionnement d'un muscle ne semble pas accessible, tout du

moins pour des enfants de cet âge ; en effet on peut constater ce phénomène par le grand nombre d'élèves qui n'ont rien écrit à l'issue de l'observation : là encore se fait sentir la difficulté notoire d'un tel modèle. Beaucoup d'élèves n'arrivent pas à exploiter le modèle, ni comme représentant de la réalité ni comme support de la pensée. En effet cela représente environ 30 % des élèves soit presque 1/3.

Seul pour 1,6% des élèves le modèle a eu l'impact escompté au départ : amener les élèves à comprendre la mécanique d'un muscle en lien avec manipulations et observations. Cette minorité montre bien encore une fois l'inaccessibilité de ce genre de maquette pour des élèves de CE2. Seul un élève au cours de l'étude a pu accéder à la connaissance liée au fonctionnement du muscle : il a compris grâce à la maquette (et uniquement grâce à la maquette) comment fonctionnait un muscle. Il est évident que ce résultat non significatif peut provenir d'un apport de connaissances extérieures à l'école et non lié à l'observation du modèle du bras articulé. On peut ajouter que ce résultat concerne l'apport de la maquette seule, mais ne discrédite en aucun cas la maquette dans le cadre d'une séquence d'enseignement.

On remarque également que 64,5 % des élèves ont utilisé le modèle comme représentation de la réalité. En effet, l'analyse des rectifications apportées par les élèves après observation permet de voir que bien souvent les élèves indiquent qu'ils ont oublié de représenter les attaches des muscles, ou alors c'est la notion de forme du muscle qui émerge. Or il a été demandé à l'enseignant de présenter la maquette comme non représentative de la réalité. Malgré la distance de représentation qu'il y a entre la maquette et la réalité et malgré les précautions de l'enseignant, on remarque que beaucoup d'élèves utilisent tout de même le modèle comme représentation de la réalité. On peut alors penser que spontanément, si l'enseignant n'avait pas apporté de précision, les élèves de cet âge ont tendance à voir le modèle comme représentation de la réalité. On peut alors se demander pourquoi cette utilisation est spontanée ; il est possible que le fait qu'ils n'aient pas vu la réalité avant l'utilisation de ce type de modèle engendre une utilisation du modèle comme tel. En effet les élèves de l'étude complémentaire n'ont certainement jamais vu de muscle et de tendon ; ils ne connaissent peut-être pas le rôle d'un muscle et la disposition dans le corps (présence de plusieurs muscles dans le bras et pas seulement d'un seul au niveau du bras). Le modèle est alors inexploitable puisqu'on demande aux élèves de faire un lien spontané avec une réalité qu'ils ne connaissent pas.

Très peu d'élèves (cas rare et non significatif) comprennent le fonctionnement d'un muscle seulement en manipulant et en observant ce genre de modèle. Un seul élève s'est donc servi du modèle pour comprendre la mécanique de la contraction musculaire. Ainsi le modèle du bras articulé n'a pas d'impact significatif sur la compréhension du fonctionnement d'un muscle. Il est impossible de savoir si cela vient de la notion de muscle qui est abstraite ou de la maturité de l'enfant peu enclin à réfléchir « avec » un modèle à cet âge. Ainsi durant une séquence d'enseignement, il est nécessaire d'être vigilant si l'on souhaite utiliser le modèle comme support pour penser avec des élèves de cet âge. Un ensemble de dispositions didactiques doivent être prises pour s'assurer de l'utilité du modèle tel qu'il est conçu. Il serait judicieux par exemple, de voir ce qu'est un muscle, son aspect physique mais aussi son utilité

souvent méconnue des élèves. Il en va de même pour les tendons, il serait nécessaire d'observer ces structures avant d'essayer de comprendre leur rôle.

Afin de favoriser l'appropriation de ce genre de modèle par les élèves il serait judicieux (comme dans la séquence d'enseignement de :

- observer des structures vivantes tels que les muscles et les tendons pour que les élèves comprennent les éléments utilisés sur la maquette.
- Amener les élèves à comprendre le rôle d'un muscle de manière générale.
- Observer une représentation 3D du corps humain sans la peau, cela permettrait déjà aux élèves de comprendre qu'il y a des muscles partout (pas un seul muscle dans le bras) et qu'ils ont une forme.

Ces éléments constituent les principales différences entre l'étude complémentaire et la séquence d'enseignement ; durant celle-ci, les élèves avaient observé des structures vivantes et réelles donc ils étaient davantage disponibles pour voir d'autres éléments sur la maquette. En effet, inconsciemment les élèves ont compris que le modèle avait une autre utilité ici puisqu'ils avaient connaissance de la réalité. On peut donc ajouter qu'il ne suffit pas de dire aux élèves que ce n'est pas la réalité pour qu'il soit capable de se détacher de cette idée (comme dans l'étude complémentaire ou le modèle a été utilisé comme représentation de la réalité alors que ce n'était pas le cas).

L'analyse des résultats montre qu'on peut également remettre en cause le mode de recueil des représentations initiales des élèves sur le muscle : un dessin dans une silhouette de bras. Il n'est pas certain que cette méthode soit la plus pertinente pour observer et mettre en évidence la pensée des élèves concernant le muscle et leurs fonctions. Sans doute un recueil vidéo aurait permit aux élèves de s'exprimer plus librement quant au fonctionnement des muscles. Le fait de leur demander de représenter le muscle induit une observation du modèle comme représentation de la réalité, c'est pourquoi cela constitue une hypothèse plausible au fait que beaucoup d'élèves ont utilisé le modèle comme tel. L'oral permet également une plus grande possibilité d'expression pour des élèves de cet âge car on s'est aperçu que beaucoup d'élèves n'ont rien écrit. Il semble également très difficile de montrer le fonctionnement d'un muscle sur un dessin.

VII. Conclusion

L'apport du modèle au sein d'une séquence d'enseignement est indéniablement profitable pour des élèves de CE2 puisqu'il permet l'observation d'une réalité inobservable directement ; il peut également être une aide pour penser certains mécanismes. Seulement, l'apport réel de la modélisation varie énormément selon plusieurs facteurs identifiables : la façon d'aborder le modèle par l'enseignant, les éléments qui ont été étudiés par les élèves en amont, etc. Tous ces facteurs contribuent à rendre le modèle pertinent.

Il était question dans cette étude de mettre en évidence l'impact du modèle seul, isolé de toute séquence d'enseignement construite et pensée. D'après l'étude menée, si le modèle comme représentation de la réalité pourrait se suffire à lui-même (modification significative des représentations initiales), il n'en serait que meilleur dans une séquence d'enseignement. En effet, introduit de manière logique, il permettrait sans doute à des élèves ayant observé des détails sur le squelette d'affiner leur observation et de se focaliser sur l'important.

En revanche, en ce qui concerne le modèle comme support pour penser, non seulement il est moins accessible (phénomène simplifié et non reproduit à l'identique), mais il nécessite un niveau d'expertise clairement supérieur des élèves. En effet, ceux-ci doivent avoir connaissance de la réalité avant d'utiliser ce type de modèle. L'utilisation efficace de ce type de modèle nécessite de faire l'analogie entre les éléments du modèle et la réalité qui a tenté d'être reproduite fidèlement, pas sur le plan esthétique, mais sur le plan mécanique. Ce type de modèle peut paraître moins adapté à des élèves de cet âge mais reste néanmoins pertinent s'il est introduit intelligemment par l'enseignant. Il permet de mettre en évidence un phénomène physique indéniable une fois observé. Il serait intéressant de réaliser cette étude chez des élèves de CM2 par exemple (10 ans) pour voir si l'utilisation du modèle serait identique à des élèves de CE2. On peut penser que leurs connaissances plus évoluées sur le sujet leur permettraient d'accéder plus facilement à la dimension physique et mécanique de la maquette.

Résumé

Les pédagogies actuelles mettent l'accent sur la nécessité de travailler selon la démarche d'investigation en sciences. Cette démarche met en avant l'observation, la manipulation, l'expérimentation de la part des élèves afin de valider ou de réfuter des hypothèses. La possibilité d'utiliser le modèle en sciences se présente alors aux enseignants dans un souci de faire observer et manipuler les élèves. Il s'agit donc ici de comparer l'efficacité et la pertinence de deux types de modèle liés au concept de mouvement corporel : un squelette et un bras articulé pour la notion de muscle. Le premier modèle est considéré comme une représentation de la réalité simplifiée et le second est considéré comme un modèle pour penser, une aide à la compréhension de certains phénomènes. L'étude complémentaire menée chez des élèves de CE2 permet de dire que le modèle comme représentation de la réalité est pertinent pour des élèves de cet âge alors que le modèle comme support pour penser (compréhension d'un phénomène) reste possible mais nécessite de nombreuses précautions pour qu'il soit bien reçu et utilisé à bon escient par les élèves.

Mots clés : représentations initiales, modèle, mouvement corporel.

Bibliographie

Gaston Bachelard. (2013). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris: PUF.

Giordan, A., & Vecchi, G. de. (1994). *Les origines du savoir: des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques* (2. éd). Lausanne: Delachaux et Niestlé.

Giordan, A., & Vecchi, G. de. (2002). *L'enseignement scientifique: comment faire pour que « ça marche »?* ([Nouvelle éd. revue, et augm.]). Paris: Delagrave.

Jean-Louis Martinand, & Laboratoire interuniversitaire de recherche sur l'éducation scientifique et technologique. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: Institut national de recherche pédagogique.

La contraction musculaire | Planet-Vie. (s. d.). Consulté 5 février 2017, à l'adresse http://planet-vie.ens.fr/content/la-contraction-musculaire#chap3

RA16_C2_QMON_1_inscrire_comment_reconnaitre_le_monde_vivant_N.D_555011.pdf. (s. d.). Consulté à l'adresse http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Le_monde_du_vivant/01/1/RA16_C2_QMON_1_inscrire

Annexe 1 Programme d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2). (s. d.). Consulté à l'adresse http://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?cid_bo=94753

BO_SPE_11_26-11-2015_504351.pdf. (s. d.). Consulté à l'adresse http://cache.media.education.gouv.fr/file/MEN_SPE_11/35/1/BO_SPE_11_26-11-2015_504351.pdf comment_reconnaitre_le_monde_vivant_N.D_555011.pdf

RA16_C2_QMON_1_repere_mise_en_oeuvre_sequence_555013.pdf. (s. d.). Consulté à l'adresse http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Le_monde_du_vivant/01/3/RA16_C2_QMON_1_repere_mise_en_oeuvre_sequence_555013.pdf

Annexe 1

Domaine : questionner le monde – Reconnaître les comportements favorables à sa santé **Séquence : Comment mon corps bouge ?**	**Niveau : cycle 2 – CE2**

Objectif : Repérer les éléments permettant la réalisation d'un mouvement corporel.

Socle commun :
Domaine 1 : comprendre et s'exprimer en utilisant les langages scientifiques.
Domaine 2 : travailler en équipe, partager des tâches, s'engager dans un dialogue constructif, accepter la contradiction tout en défendant son point de vue, faire preuve de diplomatie, négocier et rechercher un consensus.
Domaine 3 : coopérer et fait preuve de responsabilité vis-à-vis d'autrui.
Domaine 4 : mener une démarche d'investigation.

Compétences :
- pratiquer une démarche d'investigation
- exploiter les résultats d'une recherche en utilisant le vocabulaire scientifique à l'oral et à l'écrit

Séance 1 – Qu'est ce qui nous permet de faire des mouvements ? Comment est assemblé notre squelette ?	**45 min**
Objectif *: se créer une image mentale de son squelette.* **Compétences :** - exprimer ses idées par le dessin et la discussion, observer et comprendre des radiographies - émettre, comparer et tester des hypothèses - identifier les principaux groupes d'os et les localiser sur le squelette.	**Déroulement succinct** Situation problème élaborée à partir des oeuvres de Keith Haring, questionnement relatif au mouvement et à la contrainte squelettique. Découverte de notre squelette à travers des radiographies permettant de disposer des os en carton dans une silhouette. Trace écrite constituée d'un squelette réalisé et légendé collectivement (crâne, colonne vertébrale, cage thoracique, etc.)

Séance 2 – Qu'est ce qu'une articulation ? Comment fonctionnent t-elles ?	**45 min**
Objectif : *repérer les articulations et comprendre que la contrainte osseuse limite le mouvement.* **Compétences :** - repérer les différentes articulations sur son corps et les légender - comprendre à l'aide de documents que la forme de l'os est une contrainte mécanique.	**Déroulement succinct** Mise en évidence des « endroits où ça plie » par observation réciproque et mise en place de légendes (cou, coude, épaule, hanche, genou, etc.), recherche de la mobilité articulaire grâce à un tableau d'observation (dans un sens/dans tous les sens), texte documentaire (schémas et texte), vidéo modélisation 3D articulations du coude et de l'épaule.

Séance 3 – Comment les os sont-ils attachés entre eux ?	**45 min**
Objectif *: repérer les structures permettant solidité et mouvement des articulations.*	**Déroulement succinct**

Compétences : - exprimer ses idées par la réalisation d'une maquette - expliquer les résultats de sa recherche lors d'un débat, reconnaître et nommer les constituants de l'articulation. - connaître le rôle des ligaments et du cartilage. - Cp	Recherche sur les structures liant les os : essais de modélisation de l'articulation du coude, puis observation du vivant (articulation de dinde). Mise en évidence des ligaments et de leurs propriétés, de la capsule articulaire et du cartilage. Vidéo « C'est pas sorcier » puis dictée au maitre.

Séance 4 – A quoi servent les muscles ?	**45 min**
Objectif : *identifier le muscle comme organe permettant la mobilité du squelette.* **Compétences :** - exprimer ses idées par le dessin - mener une démarche d'investigation grâce à des documents et l'observation de son corps - comprendre le rôle des muscles.	**Déroulement succinct** Observation (visuelle et sensitive) des modifications qui s'opèrent lorsque le bras se plie, débat et émission d'hypothèse puis texte documentaire (images et texte). Mise en évidence que les muscles sont sous la peau, autour des os et des articulations et permettent de bouger lorsqu'ils se contractent. Elaboration d'un court résumer sur le rôle des muscles.

Séance 5 – Comment les muscles sont-ils attachés aux os ?	**45 min**
Objectif : *repérer les structures permettant la mise en mouvement des os par les muscles.* **Compétences :** - exprimer ses idées par la réalisation d'une maquette - manipuler et observer le vivant afin d'invalider ou valider des hypothèses - comprendre que le muscle est attaché d'une certaine manière - légender un muscle en flexion et en extension.	**Déroulement succinct** Recherche sur la façon dont est attaché le muscle sur l'os : essais de modélisation de l'articulation du coude, puis observation du vivant (pattes de grenouille). Mise en évidence que le muscle est attaché à l'os grâce à des tendons (sur des os différents) grâce à une feuille d'observation et une animation 3D. Légende collective d'un bras (os, articulation du coude, muscle, tendons ligaments).

Séance 6 – Pourquoi faut-il connaître ces notions dans la vie quotidienne ?	**45 min**
Objectif : *repérer les comportements favorables à sa santé et réinvestir ses connaissances dans des situations concrètes en éducation à la santé.* **Compétences :** - comprendre l'importance d'un échauffement avant une séance de sport (et composantes essentielles selon le sport). - repérer à travers des situations simples les organes blessés.	**Déroulement succinct** Analyse des pathologies associées aux organes (pictogrammes légendés à relier et solutions pour diminuer les risques), inventaire collectif des composantes d'un échauffement. Elaboration du livret de sciences récapitulatif de la séquence (à partir de la carte heuristique évolutive, de documents et de photographies). Evaluation sommative et réinvestissement lors d'une séance d'EPS (élaboration d'une situation d'échauffement).

Annexe 2

Résultats concernant le modèle squelettique.

Code couleur :

Le dessin de l'élève montre qu'il a conscience des segments et/ou articulations du corps.	
L'élève dessine un squelette mou (os non rigide) ou représente une succession de petits os sans respect de la segmentation et des articulations.	
L'élève notifie des oublis sans impacts significatifs sur sa représentation du squelette.	
L'élève notifie des oublis avec une modification de la perception globale du squelette.	
Emergence de la notion de segments/ d'articulations chez l'élève.	
L'élève n'apporte aucune modification.	

Représentations initiales des élèves sur le squelette.	Modifications apportées par les élèves après observation du modèle (squelette).	Evolutions notables.
Notion de segment respectée, os du crâne représentés avec plusieurs os et dessin des côtes approximatif.	l'élève indique ses oublis : os des mains et des pieds, ainsi que les côtes.	Volonté de compléter son dessin.
Squelette mou avec des délimitations à chaque articulation, bonne représentation de la colonne vertébrale et des côtes.	L'élève indique ses oublis : os du pied, omoplate et du poignet.	Volonté de compléter son dessin.
Pas de notion d'articulation et squelette non symétrique, grand espace entre les os.	L'élève indique qu'il n'a pas collé les os : cheville, poignet et os du cou.	Il s'aperçoit que les os se touchent aux articulations et cite les articulations qu'il a mal représentées, la notion d'articulation émerge.
Pas de notion d'articulations, petits os qui se succèdent et qui forment le contour du corps.	L'élève indique qu'il voudrait effacer quelques os.	L'élève s'aperçoit qu'il a dessiné trop d'os par rapport à la représentation du squelette, la notion d'articulation n'émerge pas.
Pas de notion d'articulation, multiples os de petite taille dans les membres. Colonne vertébrale et côtes confondues.	L'élève indique ses oublis (os des mains et des pieds) et indique qu'il a mal représenté le genou, le poignet et les os qui sont vers les épaules.	Volonté de compléter son dessin et émergence de la notion d'articulation avec volonté de mieux représenter ces parties du

		squelette.
Notion d'articulation présente et dessin des côtes très schématique.	L'élève indique ses oublis : mâchoire et épaule.	Volonté de compléter son dessin.
Pas de notion d'articulation, os mous, volonté de détailler les os des mains et des pieds.	L'élève indique ses oublis : omoplate, cou, crâne, détails sur l'os du bassin. L'élève indique qu'il aurait du faire les os plus détachés.	L'élève a pris conscience que les os ne sont pas mous mais sont une succession de segments. Émergence de la notion de segments mais pas d'articulation.
Respect des segments et articulations dans les bras mais succession de multiples petits os dans les jambes. Côtes et colonne vertébrale présente.	L'élève indique qu'il a dessiné trop de côtes.	Volonté de modifier son dessin sans que la notion de segment et d'articulation n'émerge.
Os mous, sans forme (fil), colonne vertébrale et côtes représentées.	L'élève indique qu'il n'a pas attaché les mains, qu'il a oublié les coudes et les genoux.	L'élève prend conscience que ses articulations ne sont pas représentées correctement et en cite deux, il ne souhaite pas en revanche apporter de modifications à la forme de ses os.
Volonté de représenter le squelette comme un ensemble de bâtons et de boules aux articulations.	L'élève voudrait apporter des modifications au bassin.	Volonté de compléter son dessin.
Notion de segment présente, colonne vertébrale et côtes représentées.	L'élève voudrait mieux placer les omoplates et augmenter la taille de la tête.	Volonté de compléter et modifier son dessin.
Notion d'articulation représentée avec de petits éléments entre les os, colonne vertébrale et côtes représentées.	L'élève souhaite apporter des modifications aux mains (des détails), aux os pour relier la tête et la colonne vertébrale.	Volonté de compléter et modifier son dessin.
Notion d'articulation présente, elles sont représentées par des gros ronds et les os sont représentés par des traits épais, colonne vertébrale représentée.	L'élève souhaite apporter des modifications à la colonne vertébrale, et voudrait que la tête soit plus ronde.	Volonté de compléter et modifier son dessin.
Os mous, pas de notion d'articulation, représentation de la colonne vertébrale et des côtes plutôt correcte.	L'élève indique qu'il voudrait séparer les os au niveau du coude et du genou, ainsi qu'au niveau de la hanche.	L'élève prend conscience des segments et cite plusieurs articulations.
Os mous, pas de notion d'articulation, représentation de la colonne vertébrale et	L'élève souhaite modifier les côtes.	Volonté de modifier son dessin.

des côtes.		
Notion d'articulation présente avec des os surnuméraires ajoutés aux coudes et genoux. Grand détail dans les os des mains et des pieds. Colonne vertébrale représentée par une succession d'os empilés les uns sur les autres.	Volonté de modifier les côtes qui ne sont pas accrochées sur le dessin à la colonne vertébrale.	Volonté de modifier son dessin.
Notion d'articulation présente avec des boules entre chaque segment d'os, colonne vertébrale et côtes dans la partie supérieure du thorax représentées.	Volonté de supprimer le nez.	Volonté de modifier son dessin.
Notion d'articulation présente avec des boules entre chaque segment d'os, colonne vertébrale et côtes dans la partie supérieure du thorax représentées.	L'élève voudrait apporter des détails au bassin, ainsi que d'ajouter l'os du crâne qui n'a pas été fait.	Volonté de modifier son dessin.
Pas de notion d'articulation, os mous qui occupent tout l'espace de la silhouette.	L'élève veut modifier la cage thoracique, le bassin, la colonne vertébrale et le crâne.	Volonté de modifier son dessin.
Succession de multiples petits os sans correspondance directe avec les membres (dessin en toile d'araignée).	L'élève veut rajouter les talons, les os des jambes.	Volonté de modifier son dessin.
Notion d'articulation présente et représentée par des boules entre deux segments d'os.	Volonté d'ajouter des détails : les doigts des pieds et des mains.	Volonté de compléter son dessin.
Notion d'articulation présente au niveau des jambes mais absente au niveau des bras.	L'élève indique qu'il n'a pas écarté les os au niveau du coude et vers la main.	L'élève prend conscience des articulations présentes au niveau du coude en la nommant et également celle du poignet (sans la nommer).
Os mous qui remplissent tout l'espace de la silhouette, les côtes sont représentées.	L'élève indique qu'il n'a pas fait le petit os, incompréhensible.	Volonté de compléter son dessin.
Os mous qui remplissent tout l'espace de la silhouette.	L'élève indique qu'il n'aurait pas du dessiner le nez.	Volonté de modifier son dessin.
Petits os qui remplissent aléatoirement tout l'espace du corps.	L'élève indique qu'il aurait du représenter la colonne vertébrale.	Volonté de modifier son dessin sans que la notion de segment et d'articulation n'émerge. Début de structuration du squelette.
Traits simples pour	L'élève indique qu'il aurait	L'élève prend conscience

représenter les segments, colonne vertébrale et côtes représentées également par des traits simples.	du coller les os et que les trous sont trop importants entre eux.	qu'il n'y a pas de trous aux endroits où ça plie mais que les os se touchent.
Tous les membres sont représentés par des râteaux. Os rayonnés.	L'élève indique qu'il a oublié la colonne vertébrale.	Volonté de compléter son dessin.
Les segments sont respectés, la colonne vertébrale et les côtes sont une seule et même chose.	L'élève indique qu'il a mal fait la colonne vertébrale.	Volonté de modifier son dessin.
Notion de segment et d'articulations présente, grosse forme ovoïde dans le thorax et ventre.	L'élève souhaite ajouter les côtes, le crâne et le bassin.	Volonté de compléter son dessin.
Notion d'articulation très évoluée avec des os qui s'emboitent par complémentarité des formes osseuses	L'élève indique qu'il a oublié d'accrocher les côtes.	Volonté de modifier son dessin.
Articulations représentées par des petites boules, colonne vertébrale et côtes représentées, mains et pieds très détaillés et évolués.	L'élève note que le bassin qu'il a dessiné est mal fait.	Volonté de compléter son dessin.
Pas de notion d'articulation : os mous.	L'élève indique qu'il a mal fait les pieds.	Volonté de modifier son dessin.
Notion de segments, côtes et colonne vertébrale simple mais présents.	Pas d'annotations.	
Notion de segments et d'articulations présents. Pas de cage thoracique et une ligne verticale pour la colonne vertébrale.	L'élève souhaite modifier la cage thoracique.	Volonté de modifier son dessin.
L'élève rempli l'intégralité du corps de bâtonnets aléatoires, os perçut comme une armature sans forme précise.	L'élève souhaite modifier la tête et le bassin.	Volonté de modifier son dessin.
Certains segments (induits par le contour du corps sont respectés) mais pas de segmentation lorsque le contour du corps ne l'induit pas.	L'élève souhaite détacher des os au coude et rajouter la cage thoracique.	L'élève s'est rendu compte que son articulation du coude ne figurait pas sur un des bras.
Os mous dessinés comme des traits ne respectant pas la segmentation.	L'élève souhaite faire des os plus épais et pas collés à certains endroits qu'il ne précise pas.	Evolution de la perception de l'os et début de réflexion sur la segmentation qui n'est pas explicitée.

Os mous et courbes, pas de côtes ni de colonne vertébrale.	L'élève indique qu'il a oublié la colonne vertébrale et la cage thoracique.	Evolution notable de la perception du squelette, la notion de segment n'a pas émergé.
Os mous et courbes, pas de côtes ni de colonne vertébrale. Conceptions initiales très éloignées du squelette.	L'élève indique qu'il a oublié la colonne vertébrale et la cage thoracique.	Evolution notable de la perception du squelette, la notion de segment n'a pas émergé.
Os mous et courbes, côtes et colonne vertébrale représentés, bassin également.	L'élève ne souhaite rien modifier.	
Notion d'articulations représentée par des boules et des segments rigides, côtes et colonne vertébrale représentée.	L'élève indique qu'il a oublié de faire l'os du crâne.	Volonté de compléter son dessin.
Succession de petits os sans correspondance avec les segments, cage thoracique plutôt bien représentée	L'élève indique ses oublis : doigts et hanches.	Volonté de completer son dessin, détails.
Nombreux petits os qui remplissent tout l'espace de la silhouette sans respect de la segmentation.	L'élève indique qu'il a oublié l'omoplate.	Volonté de rajouter un détail.
Nombreux petits os qui se succèdent dans les membres, début d'élaboration de la cage thoracique et de la colonne vertébrale.	L'élève indique qu'il n'a pas mis les os des pieds et des jambes (manque de temps).	Volonté de rajouter un détail.
Os représentés comme une substance comblant tout l'espace de la silhouette.	L'élève indique que les os ont une forme allongée.	Modification globale de la représentation du squelette (les os ont une forme et une structure).
L'élève représente les os par des traits épais reliés entre eux par de petites boules correspondant aux articulations. L'élève semble avoir eu du mal à représenter les côtes et la colonne vertébrale.	L'élève souhaite compléter son dessin : il indique qu'il a oublié les côtes et la colonne vertébrale.	Volonté de compléter son dessin.
L'élève représente des os épais qui correspondent aux segments du corps, bonne représentation des côtes et de la colonne vertébrale.	L'élève souhaite ajouter l'omoplate.	Volonté de compléter son dessin.
L'élève représente une succession de petits os, pas	L'élève indique qu'il n'a pas représenté la colonne	L'élève remarque des oublis importants liés à la structure

de correspondance avec la segmentation. Pas de représentation des côtes et de la colonne vertébrale.	vertébrale, les côtes et les hanches.	du corps. Pas d'émergence de la notion de segments.
Nombreux petits os qui se succèdent dans les membres, début d'élaboration de la cage thoracique.	Volonté de rajouter des détails : les doigts et les doigts des pieds.	Volonté de compléter son dessin (détails).
Représentation des os par deux traits parallèles (forme non fermée). Représentation fidèle à la réalité de la colonne vertébrale et des côtes.	L'élève indique qu'il a oublié de représenter des doigts.	Volonté de compléter son dessin (détails).
Os mous qui suivent la silhouette donnée avec présence de ronds aux articulations (oublis des genoux). La colonne vertébrale est représentée ainsi que les côtes.	L'élève n'a rien écrit.	Pas d'annotations.
Os fil de fer reliés au niveau des articulations par deux petites boules. Les côtes et la colonne vertébrale sont représentés.	L'élève indique qu'il a oublié : les ongles, le crâne.	Volonté de compléter son dessin (détails).
L'élève représente les os et les articulations comme de grosses boules, respect de la segmentation.	L'élève souhaite ajouter la colonne vertébrale.	Volonté de compléter son dessin.
Nombreux petits os qui remplissent tout l'espace de la silhouette sans respect de la segmentation.	L'élève indique que son dessin n'est pas pareil que le modèle.	Modification de la perception globale du squelette mais trop de chose à modifier pour l'élève.
L'élève place des boules aux articulations et oublie parfois de les relier par des os (dans une jambe et dans un bras).	L'élève indique qu'il a oublié la colonne vertébrale et les os d'un bras et d'une jambe.	Volonté de compléter (manque de temps).
L'élève remplit toute la surface de la silhouette par un quadrillage, os perçu comme substance.	L'élève indique qu'il a tout faux.	Modification globale de la perception du squelette mais sans possibilité de détailler puisque le dessin de départ est très éloigné du modèle.
Os mous qui suivent les contours du corps avec pleins de ronds dessinés à l'intérieur sans correspondance avec la segmentation.	Pas d'annotations.	
Os qui respectent la	L'élève indique qu'il a oublié	Volonté de compléter son

segmentation du corps avec une forme. Représentation élaborée des côtes, de la colonne vertébrale et du bassin.	les trous dans le bassin.	dessin (détails).
Représentation des os sans respect de la segmentation et parfois respect de la segmentation. Côtes et colonne vertébrale représentés.	L'élève indique qu'il aurait du séparer les os dans la jambe et le bras.	Emergence de la notion de segment. L'élève se rend compte qu'il a oublié les articulations aux endroits où cela n'était pas induit par la silhouette.
Respect de la segmentation et représentation des articulations par de petites boules. Colonne vertébrale et côtes représentées.	Pas d'annotations.	
Os mous, pas de notion de segment, côtes et colonne vertébrale représentées.	L'élève indique qu'il aurait du mettre des petits ronds dans le bras et la jambe pour représenter les endroits où ça plie.	Emergence de la notion de segment. Lien entre une envie de représentation des articulations et la manipulation du modèle.
Os mous avec de petites boules aux chevilles mais pas de notion de segments dans les membres. Côtes et colonne vertébrale représentées.	L'élève indique qu'il a oublié les petites boules (sa notation pour les endroits où ça plie) aux coudes et aux genoux.	Emergence de la notion d'articulation.

Résultats concernant le modèle du bras articulé.

Codes couleur :

L'élève dessine un muscle en corrélation avec ce qu'il voit lorsqu'il observe son bras.	
L'élève utilise le modèle comme représentation de la réalité (sans émergence de la notion de lien).	
L'élève dessine un muscle qui a une forme aléatoire, sans rapport direct avec l'observation extérieure de son bras.	
L'élève dessine un muscle sans forme, le muscle rempli tout l'espace entre la peau et l'os.	
Utilisation du modèle comme modèle support de la pensée (phénomène de la contraction musculaire).	
L'élève utilise le modèle comme représentation de la réalité (émergence de la notion d'attache et/ou conclusion quant au nombre de muscle dans le bras).	
L'élève n'apporte aucune modification.	

Représentations initiales des élèves sur les muscles.	Modifications apportées par les élèves après observation du modèle (bras articulé).	Evolutions notables.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève remarque qu'il a oublié les attaches du muscle qu'il nomme tendons.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève souhaite ajouter les attaches des muscles.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras (sous forme de fibres ou faisceaux).	L'élève remarque qu'il a oublié les attaches du muscle qu'il nomme tendons.	Notion d'attache qui émerge.

Représentation des deux muscles antagonistes du bras.		
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras (sous forme de fibres ou faisceaux). Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	Pas d'annotation	
Muscle non collé à l'os comme une masse ovoïde, libre dans le bras.	L'élève souhaite ajouter les ficelles qui accrochent le muscle à l'os.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle collé à la peau qui cherche à expliquer la forme extérieur du bras (peau).	L'élève souhaite ajouter des liens entre le muscle et l'os.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	L'élève remarque qu'il a oublié les attaches du muscle qu'il nomme tendons.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève souhaite ajouter les attaches des muscles.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève souhaite ajouter les attaches des muscles.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	L'élève souhaite ajouter les attaches des muscles.	Notion d'attache qui émerge.
L'élève a colorié l'os en rouge.	Pas d'annotation	
L'élève a dessiné un muscle qui va de l'os du bras vers l'os de l'avant bras avec une forme définie.	L'élève note qu'il a oublié les ficelles pour accrocher le muscle.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève note qu'il a oublié les ficelles pour accrocher le muscle, il les nomme dindons, peut être que cet élève a voulu copier un camarade.	Notion d'attache qui émerge.

Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève indique qu'il a oublié les liens de son muscle.	Notion d'attache qui émerge.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève indique que ses tendons ne se voient pas sur son dessin.	Notion d'attache qui se précise.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras et des deux muscles antagonistes de l'avant bras.	L'élève indique qu'il a tout faux.	Pas d'émergence de la notion de lien.
Muscles tout petits collés à l'os qui ne traduit pas la vision extérieure du bras, 5 muscles dessinés aléatoirement.	L'élève indique qu'il a mis 4 muscles de plus.	L'élève pense qu'il n'a qu'un muscle dans le bras (comme sur la maquette) et pas d'émergence de la notion d'attache.
Muscles dessinés comme des petits ponts à l'extérieur de la silhouette donnée.	Pas d'annotations	
Muscles dessinés comme une succession de petits ponts dans l'avant bras, collé à l'os.	Pas d'annotations	
L'élève n'a rien dessiné.	L'élève indique qu'il a oublié de dessiner le muscle.	Pas d'émergence de la notion de lien.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras.	L'élève indique qu'il a oublié les traits.	Emergence de la notion de lien.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	Pas d'annotations.	
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des	Pas d'annotations.	

deux muscles antagonistes du bras et de l'avant bras.		
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	Pas d'annotations.	
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	Pas d'annotations.	
Muscles non collés à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras et de l'avant bras.	Pas d'annotations.	
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation d'un seul muscle.	Pas d'annotations.	
Muscle représenté comme deux « ponts » posés sur l'os.	L'élève indique qu'il voudrait enlever une bosse.	Pas d'émergence de la notion de lien. Utilisation du modèle comme représentation de la réalité.
L'élève a colorié l'os.	Pas d'annotations.	
L'élève a dessiné un pont sur l'os du bras sans attache.	L'élève indique qu'il voudrait ajouter des ficelles.	Emergence de la notion de lien. Utilisation du modèle comme représentation de la réalité.
L'élève fait une succession de « ponts » collés à l'os dans le bras et l'avant bras.	L'élève indique qu'il a fait des muscles dans l'avant bras alors qu'il n'y en a pas.	L'élève utilise le modèle comme représentation de la réalité. Pas d'émergence de la notion de lien.
L'élève fait une succession de « ponts » collés à la peau dans le bras et l'avant bras.	Pas d'annotations.	
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	L'élève explique qu'il a oublié d'attacher le muscle à l'os.	Notion de forme et de lien qui émerge.
Pas de dessin	Pas d'annotations.	
Muscle sous forme de pont qui relie le bras et l'avant	L'élève explique que le muscle est attaché à l'os.	Emergence de la notion de lien. Utilisation du modèle

bras.		comme représentation de la réalité.
L'élève a dessiné un pont sur l'os du bras sans attache.	L'élève explique qu'il a oublié les liens.	Emergence de la notion de lien. Utilisation du modèle comme représentation de la réalité.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	Pas d'annotations	
L'élève dessine de multiples masses ovoïdes sans lien avec la forme extérieur du bras.	L'élève indique qu'il n'y a qu'un muscle.	Utilisation du modèle comme représentation de la réalité, pas d'émergence de la notion de lien.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	L'élève indique que le muscle est attaché sur l'os.	Emergence de la notion de lien. Modèle comme représentation de la réalité.
L'élève dessine une masse ovoïde entre l'os et la peau du bras.	L'élève indique qu'il a oublié les liens pour accrocher le muscle.	Emergence de la notion de lien.
L'élève a dessiné deux masses ovoïdes, une devant l'os et une derrière l'os.	L'élève explique qu'il a oublié de dessiner les ficelles.	Emergence de la notion de lien, utilisation du modèle comme représentation de la réalité.
Muscle sous forme de petits traits qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	L'élève indique que lorsqu'on plie notre bras en serrant le poing le muscle est gonflé.	L'élève prend conscience de la forme du muscle, et du lien qu'il existe entre le forme du ballon (gonflé) qui est gonflé et le fait que le bras soit plié.
L'élève a dessiné un pont sur l'os du bras sans attache.	Pas d'annotations	
L'élève a dessiné des muscles sous forme de ponts collés à l'os devant et derrière.	L'élève indique qu'il a oublié d'accrocher le muscle.	Emergence de la notion d'attache.
L'élève dessine des masses ovoides devant et derrière l'os du bras et de l'avant bras.	L'élève indique qu'il a oublié les petites ficelles.	Emergence de la notion d'attache.

L'élève dessine les muscles collés aux os du bras au niveau de l'avant bras et du bras.	Pas d'annotations	
L'élève dessine le muscle sous forme de petits éléments dispersés dans le bras placés de manière aléatoire.	L'élève indique qu'il n'a pas fait le muscle comme il faut.	Pas d'émergence de la notion de lien ni de forme. L'observation du modèle fait sans doute penser à l'enfant que son dessin est éloigné du modèle.
L'élève dessine les muscles collés aux os du bras au niveau de l'avant bras et du bras mais seulement d'un côté.	L'élève indique qu'il voudrait accrocher son muscle à l'os.	Emergence de la notion de lien.
L'élève dessine des ronds collés aux os du bras et de l'avant bras.	L'élève indique qu'il a trop dessiné de muscles et qu'il n'y en a qu'un en réalité.	L'élève utilise le modèle comme représentation de la réalité, la notion de lien n'émerge cependant pas.
L'élève dessine des petits ponts sur les os du bras et de l'avant bras collés aux os.	Pas d'annotations.	
L'élève a dessiné un pont sur l'os du bras sans attache.	L'élève voudrait attacher le muscle.	Emergence de la notion de lien.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	Pas d'annotations	
Muscle sous forme de quadrillage qui remplit toute la surface.	L'élève explique qu'il n'y a qu'un muscle.	L'élève utilise le modèle comme représentation de la réalité. La notion de forme semble tout de meme émerger.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	L'élève dit qu'il n'y a pas de muscle dans l'avant bras.	Utilisation du modèle comme représentation de la réalité, pas d'émergence de la notion d'attache.
Muscle représenté par des masses ovoïdes ne	Pas d'annotations.	

correspondant pas à la forme du bras.		
L'élève dessine de multiples masses ovoïdes sans lien avec la forme extérieur du bras.	L'élève explique qu'il a dessiné trop de muscles.	Utilisation du modèle comme représentation de la réalité. Pas d'émergence cependant de la notion de lien.
L'élève dessine les muscles collés aux os du bras au niveau de l'avant bras.	Volonté de rajouter des ficelles au bout du muscle.	Emergence de la notion de lien. Utilisation du modèle comme représentation de la réalité.
Muscle qui remplit toute la surface entre l'os et la peau = chair, sans forme définie.	Pas d'annotations	
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras et de l'avant bras.	L'élève indique qu'il a oublié d'attacher les muscles par des tendons.	Emergence de la notion de lien.
Muscle collé à l'os qui reproduit la forme qu'on voit lorsqu'on regarde son bras. Représentation des deux muscles antagonistes du bras et des deux muscles antagonistes de l'avant bras.	L'élève explique qu'il a tout faux.	Pas d'émergence de la notion de lien.
L'élève a dessiné des petits traits remplissant tout le bras et l'avant bras. Muscle représenté comme de la chair autour de l'os.	La forme du muscle est une patate.	Emergence de la forme que peut avoir un muscle.
L'élève dessine des petits tourbillons remplissant tout l'espace de la silhouette.	Pas d'annotations.	