

DÉBAT SCIENTIFIQUE ET ENGAGEMENT DES ÉLÈVES DANS LA PROBLÉMATISATION : *Cas d'un débat sur la commande nerveuse du mouvement en CM2 (10-11 ans)*

Françoise Beorchia

Cet article reprend en partie une recherche conduite dans le cadre d'un travail de thèse. L'exploration des espaces de contraintes concernant la communication nerveuse, conduite dans plusieurs niveaux scolaires et dans l'histoire des sciences, a fourni des outils de base d'analyse des débats sur ce thème encore peu exploré du point de vue de la construction de problèmes. Nous avons voulu continuer ce travail dans deux directions, celle du suivi des élèves pas à pas dans le débat pour préciser leur engagement dans la problématisation, et celle du repérage des fondements ou principes d'explication sous-jacents. Cela nous conduit à utiliser des approches des sciences du langage, en complément des analyses épistémologiques, lorsque nous cherchons à mieux comprendre les relations étroites entre problématisation et argumentation.

L'idée de problème est devenue commune dans l'enseignement des sciences tant à l'école primaire qu'au collège et au lycée (1) ; elle est présente dans les instructions officielles dont nous ne développerons pas ici l'analyse. On peut y relever que le *problème* permet d'engager les élèves dans une activité d'investigation, de les motiver dans une recherche de réponses.

Or, si nous nous référons aux épistémologues comme Bachelard, Popper, Canguilhem, il s'avère que le problème n'est pas seulement déclencheur d'une recherche mais qu'il est constitutif de l'activité scientifique. Ainsi dans *Conjectures et réfutations* (1991, p. 33), Popper souligne-t-il sa représentation de la science comme « *processus ayant pour point de départ et pour terme la formulation de problèmes toujours plus fondamentaux et dont la fécondité ne cesse de s'accroître, en donnant le jour à d'autres problèmes encore inédits.* »

Mais le problème n'est pas seulement présent au début et à la fin du processus : « *Car un problème est une difficulté, et comprendre un problème consiste à découvrir qu'il y a une difficulté et où gît la difficulté. Ce qui ne peut se faire qu'en découvrant pourquoi certaines solutions de prime abord ne marchent pas.* » (Popper 1991, p. 282). La compréhension du problème ou sa construction n'est pas simplement l'identification de la

le problème
n'est pas que
point de départ
d'une investigation

(1) Voir par exemple les documents d'application des programmes *sciences et technologie* cycle 3 applicables à la rentrée 2002 : « *Poser un problème, donner aux élèves le temps d'y réfléchir, individuellement puis par petits groupes, confronter les hypothèses, mettre en relief les désaccords, créent une dynamique de classe. Le problème devient celui des élèves. Les désaccords sont alors sources de motivation.* »

le problème
est aussi...

...moyen d'accès
au savoir scientifique

difficulté et de son origine. Cela passe aussi par la critique et le raisonnement qui permet de savoir pourquoi les solutions adoptées ne sont pas efficaces.

Même si les élèves ne sont pas des scientifiques on peut s'interroger sur la fonction des problèmes dans les apprentissages scientifiques. La position que nous avons choisie est de considérer le problème comme le moyen d'accès au savoir scientifique (Orange, 2000) et non seulement comme point de départ d'investigations par les élèves. Il s'agit de les aider à construire des problèmes leur permettant d'accéder à un savoir raisonné et argumenté. À ce jour, les conditions dans lesquelles cet accès aux raisons est possible sont loin d'avoir été explorées dans leur ensemble ; nous nous sommes pour le moment surtout intéressés à ce qui se passe dans les débats scientifiques (Johsua & Dupin, 1993), moments privilégiés pour les interactions entre élèves. Dans ce cadre, il importe de mieux comprendre comment les élèves peuvent s'appropriier un problème et le construire, sachant que cette construction sera l'occasion d'accéder à un savoir raisonné et argumenté. Dans cet article nous aborderons la construction de problème lors du débat scientifique tout en précisant les distinctions que nous faisons avec *position* (ou *perception*) du problème (Fabre, 1999). Mais nous ne voulons pas nous contenter de l'approche globale des raisons construites, nous souhaitons aussi analyser plus finement le parcours des élèves dans ce débat : cela sera fait sur une étude de cas, à propos d'un débat sur la commande nerveuse du mouvement dans une classe de CM2 (élèves de 10-11 ans).

Après la présentation du cas étudié et quelques précisions sur notre cadre théorique, nous analyserons le débat d'abord d'un point de vue global puis nous reprendrons quelques épisodes pour une analyse plus fine des interactions entre élèves de façon à préciser le « degré » de problématisation atteint par certains d'entre eux et donner quelques indications sur les cadres explicatifs dans lesquels ils se situent.

1. PRÉSENTATION DU CAS ÉTUDIÉ ET DES FONCTIONS DIDACTIQUES DES DIVERSES ÉTAPES PAR RAPPORT À LA PROBLÉMATISATION

1.1. La classe et le déroulement du projet

La classe (2) considérée est un CM2 (10-11 ans) en fin d'année. Le travail mené en sciences s'appuie sur les conceptions des élèves et la pratique du débat est habituelle dans cette classe (y compris dans d'autres disciplines que les sciences). L'enseignant, maître formateur, a d'autre part participé à des

(2) Il s'agit de la classe de Laurent Le Marquis, École hameau Baquesne Cherbourg Octeville (2002).

groupes de *formation action*, dont les travaux portaient sur les indicateurs de problématisation.

séquence
d'apprentissage
centrée sur...

Les données qui vont être analysées sont issues d'un projet d'enseignement avec comme objet d'étude, la commande nerveuse du mouvement du bras. Ce travail se situait dans la continuité d'une séquence sur la réalisation du mouvement au niveau de l'articulation du bras et des muscles concernés. Plusieurs productions écrites ont été réalisées. Les phases orales ont été enregistrées et retranscrites. L'ensemble de ces traces de formulation par les élèves constitue les données sur lesquelles nous nous appuyons pour tenter d'explorer l'*espace problème* (Fabre & Orange, 1997 ; Fabre, 1999) qui a pu se construire lors de cette séquence, pour cerner le parcours cognitif de certains élèves (en particulier ceux qui sont le plus intervenus lors des phases orales de débat), en d'autres termes pour essayer de définir la construction du problème de commande nerveuse du mouvement à ce niveau. Par *espace problème*, nous entendons ce qui va se construire en partant de la prise de conscience qu'une question se pose pour aboutir à l'organisation des éléments du problème. La séquence que nous allons étudier a comporté plusieurs séances (cf. document 1).

... la commande
nerveuse
du mouvement

Document 1. Séances du projet : contenus, supports et productions

Numéro de la séance Finalité de la séance	Durée	Support	Nature des productions réalisées
1 Recueil des explications initiales individuelles	30 mn	Bilan du travail de la séquence précédente (sous forme d'une affiche avec texte et schéma)	Écrites individuelles Questions posées : <i>Comment le cerveau peut faire pour que le muscle se contracte ?</i> <i>Qu'est ce qui se passe entre le cerveau et le muscle ?</i>
2 Recueil des explications des groupes homogènes	45 mn	Les vingt et une productions (3) individuelles de la séance 1. Chaque groupe dispose des productions individuelles des élèves du groupe.	Écrite de groupe : affiche
3 Débat de classe	1 h 30	Sept productions de groupe (trois sont données en annexes)	Écrite par le maître à l'issue de la présentation de chaque production de groupe : affiche Orale (transcription du débat)
4 Bilan du débat	1h	Affiches récapitulant les explications de chaque groupe (écrites par le maître lors de la séance 3)	Orale (transcription de la discussion) Écrite par le maître : affiche
5 Confrontation aux documents scientifiques	1h 30	Sept productions de groupes Documents scientifiques adaptés	Orale (transcription du débat) Trace écrite collective

(3) Toutes les productions ont été recueillies et sont disponibles sur demande à l'adresse suivante : francoise.beorchia@caen.iufm.fr.

une séquence
en cinq séances

Les analyses proposées s'appuient plus particulièrement sur les productions écrites de la phase 2 et les productions orales de la phase 3.

Pour comprendre le parcours des élèves au cours du projet, nous allons apporter quelques précisions sur les fonctions de chaque séance dans le processus de problématisation. Il ne s'agit pas d'affirmer par avance que tel moment correspond à tel processus mais de mieux cerner les intentions de l'enseignant dans chacune des séances du dispositif.

1.2. Discussion sur les fonctions supposées de chaque séance en référence à notre cadre théorique

• *Quelques précisions sur la distinction entre problème perçu et problème construit*

« percevoir
un problème »...

Percevoir le problème (du côté de l'élève) implique une prise de conscience de ce qui fait problème ; il s'agit de percevoir le problème (nous préférons percevoir à poser pour bien indiquer que c'est l'élève qui est concerné et non l'enseignant qui pose un problème). L'élève s'aperçoit qu'il y a un problème, quand, lors de la recherche d'une réponse à une question, tout le monde n'a pas la même réponse (controverse) ou quand il n'a pas de réponse (échec) ou encore quand sa réponse est incomplète ou non satisfaisante (difficulté). Mais cela peut rester totalement implicite. Poser le problème, c'est en sus être capable de formuler l'incertitude, le doute, la difficulté qui résulte de cette perception. De l'implicite d'un problème, on passe à de l'explicite. Du subjectif ou de l'intersubjectif, on passe à de l'objectif. Mais percevoir le problème, voire le poser, n'est pas le construire.

...est différent de

« construire
un problème »

Pour préciser maintenant ce que nous entendons par construction de problèmes, citons tout d'abord Bachelard (1947) : « *Toute pensée scientifique se dédouble en pensée assertorique et pensée apodictique, entre une pensée consciente du fait de pensée et pensée consciente de la normativité de pensée* ». La pensée assertorique fixe certains éléments : je peux penser que, mais je pourrais aussi bien penser autrement. À la question du comment est déclenché le mouvement du bras, les élèves construisent des explications en sélectionnant des données pertinentes (dans le bras il y a des muscles, des os et des nerfs, les muscles en se contractant tirent sur les os...) et proposent des modèles (le cerveau envoie un ordre au muscle qui se contracte...) ; ces explications sont des solutions au problème posé. Mais on reste dans l'assertorique car les solutions ne sont pas fondées, on ne sait pas pourquoi elles marchent.

construction
de problèmes :

En revanche, lors du débat, ces différentes solutions vont être examinées et critiquées pour en tester les conditions de validité, ou encore les raisons : pour que le mouvement du bras se réalise, il faut nécessairement qu'il y ait transmission d'un ordre ; et pour cela, si on se situe dans une explication mécaniste, il faut un support matériel permettant le cheminement

du message. On accède à l'apodictique : la pensée se situe alors au centre d'un réseau de nécessités, de normes qui fait qu'elle ne pourrait pas être autre. Cette fois il s'agit de savoir pourquoi la transmission est nécessaire au bon fonctionnement et à la réalisation du mouvement effectué. La pensée assertorique en sciences permet de fixer certains éléments (faits, principes, formes) qui ne sont pas discutés mais admis, tandis que la pensée apodictique travaille à comprendre ce qui, parmi un certain nombre de possibles envisagés, peut être retenu en fonction de conditions de validité. Pour un problème donné, ces normes (qui dépendent à la fois du mode de pensée choisi et de ce qui caractérise l'objet étudié) ne sont pas arbitraires mais définies dans un certain cadre de recherche ou registre explicatif (Orange 2000).

mise en tension...

La construction de problèmes s'inscrit dans ce dédoublement ; elle engage le sujet dans un processus rationnel qui va l'aider à dépasser la connaissance commune. La rupture avec celle-ci se manifestera par la mise en tension entre faits (registre empirique ou RE) et idées (registre des modèles ou RM), deux champs confondus dans la phénoménologie de première prise ou pensée commune. Cette mise en tension se manifeste dans les interventions des élèves sous la forme de propositions contenant des mises en relation entre les deux registres (propositions de type RE-RM) ou encore dans celles qui ont une dimension critique (proposition de type RMc appartenant au registre des modèles).

...entre faits
et idées

Voyons dans le déroulement de ce projet quels moments peuvent être favorables à ce processus.

• Le débat scientifique, moment privilégié pour la perception et la construction de problèmes

Les questions posées individuellement dans la séance 1 peuvent être comprises par tous les élèves, puisque la séquence précédente a permis de construire et résoudre le problème du fonctionnement de l'articulation et du rôle des muscles dans le mouvement sans régler celui de la commande de ce mouvement. On ne peut cependant pas affirmer qu'il existe un problème posé, ni même perçu, pour chacun de ces élèves : ils sont à ce moment capables de donner une réponse aux questions (cf. tableau 1) ; il n'y a pas de problème pour eux. Cette séance a pour fonction de les engager dans une première réflexion sur leurs idées personnelles.

débats entre pairs :

Lors du travail de groupe de la deuxième séance, la confrontation des productions individuelles par groupes homogènes d'explications va conduire à une tentative plus élaborée (car devant être présentée devant la classe), peut-être dans certains cas plus riche en éléments explicatifs. La question (ou le problème) commence à être cernée de façon plus précise : on commence à comprendre de quoi on parle et ce qu'on cherche à expliquer.

Toutefois, il ne peut encore s'agir que d'une prise de conscience et non d'un problème perçu comme tel, puisqu'on passe d'une question à une réponse sans qu'il y ait énigme (4) ou controverse (5) (Fabre, 1999) explicites. Nous ne voulons pas dire que la problématisation n'a pas déjà été engagée mais que les conditions ne sont pas alors réunies pour qu'elle se manifeste dans le discours des élèves et devienne publique.

Les séances 3, 4 et 5 sont en revanche riches en éléments significatifs et explicites de problématisation :

moments privilégiés pour l'accès aux raisons...

- controverses,
- mises en tension entre registre empirique et registre des modèles : propositions RE-RM,
- argumentation : par exemple proposition de type RMc.

Une différence existe cependant entre les séances 3, 4 d'une part et 5 d'autre part :

Les séances 3 et 4 sont orientées vers la construction de problèmes par la recherche non d'une solution mais des raisons qui fondent les explications proposées par les élèves (Orange, 2000). Cette orientation est voulue par l'enseignant dont les interventions visent souvent la recherche de ces raisons en questionnant le pourquoi des propositions faites par les élèves (Fabre, 1999). C'est une exploration des possibles visant à en cerner les limites et les fondements.

...repérable dans l'argumentation

D'autre part, la possibilité donnée à tous les groupes d'aller au bout de leur explication sans qu'il y ait une quelconque hiérarchie dans leurs propositions est favorable aux interactions et aux controverses et à partir de là à une recherche d'argumentation. (Grize, 1982). La formulation d'énoncés par les membres des différents groupes déclenche de la part des autres participants de la classe des réponses actives, en accord ou en désaccord avec ce qui a été dit (Bakhtine, 1984).

La séance 5 est davantage orientée vers la résolution du problème puisque l'on vise à comprendre les explications scientifiques actuelles par l'intermédiaire des documents scientifiques proposés. Ils ont statut de référence pour les élèves. Les informations que ces derniers en extraient sont confrontées avec les propositions issues du débat. Ils viennent donc valider ou invalider les propositions explicatives faites lors des séances précédentes. Cependant il se peut que ce soit lors de cette confrontation que les élèves construisent ou reconstruisent le problème. En effet, l'apport de nouvelles données dans les documents est une autre occasion d'exploration des possibles (ceux proposés par les documents éventuellement différents de ceux proposés par les élèves) qui peut

(4) Du moins n'est-elle pas conscientisée ni exprimée par les élèves qui répondent aux questions posées sans difficultés.

(5) Le travail en groupes homogènes d'explication est conçu pour éviter qu'elles ne se produisent dans cette phase.

conduire à l'émergence de nouvelles raisons ou à la confirmation de celles déjà discutées. Nous n'utiliserons pas ces données ici (elles sont en cours d'analyse).

2. RAISONS EN JEU DANS LE DÉBAT (SÉANCE 3) : ANALYSE MACROSCOPIQUE

engagement
des élèves dans
la problématisation

Pour pouvoir préciser l'engagement des élèves dans la problématisation nous avons besoin de certains repères :

Les modèles explicatifs des élèves et groupes d'élèves. Ils sont accessibles dans leurs productions écrites. Ils nous donnent une idée sur l'état initial des élèves mais ne contiennent que peu d'éléments sur la façon dont ils raisonnent.

L'ensemble des problèmes soulevés et construits lors du débat, c'est-à-dire le réseau de contraintes empiriques et de nécessités sur les modèles qui ont été discutés.

Nous allons d'abord considérer la classe dans son ensemble en analysant globalement l'espace de contraintes (Orange, 2000, 2003) construit au cours du débat de la séance 3 et repris lors de la séance 4. L'espace de contraintes est une schématisation de l'ensemble des mises en tension exprimées dans le débat, repérables dans les propositions des élèves. Ses principes de construction seront explicités dans les paragraphes qui suivent.

2.1. Catégorisation des productions écrites

des repères...

Sept groupes homogènes (en ce qui concerne leurs modèles explicatifs) ont été formés d'abord selon la nature du lien anatomique exprimé dans les productions écrites puis en fonction des précisions apportées sur les relations fonctionnelles entre cerveau et muscle.

...dans les traces
écrites...

L'explicitation des productions de groupes lors du débat a permis de répertorier quatre types d'explications de la commande cérébrale du muscle :

- le cerveau envoie des signaux dans le corps mais il n'y a pas de support nerveux entre cerveau et muscle (1 groupe de 2 élèves : groupe I) (annexe 1 (6)) ;
- le cerveau commande les muscles en exerçant une traction ; les nerfs sont des fils qui tirent (1 groupe de 3 élèves, groupe II) ;
- le cerveau commande les muscles en envoyant un liquide dans les muscles ; les nerfs sont des tuyaux (trois groupes d'élèves, groupes IV, V et VI) (annexes 2 et 3) ;

(6) Seules les productions écrites des groupes I, IV et V sont en annexes. Ce sont ces groupes dont il est question dans les paragraphes 3 et 4.

- le cerveau commande les muscles en envoyant du courant ; les nerfs peuvent être des fils ou des tuyaux (la nature du courant est cependant incertaine pour un des groupes) (deux groupes, groupes III et VII).

...et dans les productions orales

De plus un groupe sur sept envisage la commande consécutivement à la réception d'une information extérieure *via* les organes des sens.

Comme nous l'avons précisé plus haut, dans cette phase de production de groupe, les élèves s'approprient les questions posées ; il n'y pas de problème pour eux. Ils sont à ce stade capables de répondre à la question posée d'une façon qui les satisfait ; on peut constater que les productions ne contiennent que des propositions affirmatives et aucune justification de ce qui est avancé comme explication. L'analyse des productions écrites prend plus de sens quand on les traite en même temps que les productions orales. C'est en effet lors du débat que les élèves sont amenés à justifier leur modèle explicatif, à en constater les limites éventuelles grâce aux interventions de leurs camarades et du maître.

2.2. Choix effectués dans l'analyse du débat

du registre empirique...

Nous considérons que tout ce qui renvoie au vécu, à l'observable, au construit (7) dans le projet précédent (sur le mouvement du bras) appartient au registre empirique (RE) et que tout ce qui relève des idées explicatives sur le fonctionnement nerveux fait partie du registre des modèles (RM). Nous sommes conscients cependant qu'en ce qui concerne les notions construites dans le projet précédent (le muscle qui se contracte et se relâche ; lorsqu'il se contracte, il se raccourcit entraînant ainsi le tendon et l'os), il s'agit d'une généralisation de l'acquisition d'une phénoménologie savante qui n'est sans doute pas réalisée chez tous les élèves. L'analyse des productions individuelles et de groupes faite avant le débat montre que tous représentent les muscles comme lieu de l'action (presque tous représentent même les deux muscles) ; la localisation des muscles qui interviennent, ainsi que le fait qu'ils sont responsables du mouvement fait partie des connaissances acquises par la classe et en ce sens du registre empirique commun. Pour ce qui est de la relation causale entre le raccourcissement du muscle suite à la contraction et la flexion, elle ne semble pas complètement stabilisée chez tous les élèves.

(7) Ce qui a été discuté, critiqué et raisonné dans la séquence sur le mouvement du bras, à savoir les modalités de réalisation de ce mouvement : rôle des os, de l'articulation et des deux muscles de l'avant-bras dans la flexion du bras et son extension. Tout cela fait partie du vécu commun à la classe à l'issue d'une séance d'institutionnalisation.

...aux contraintes empiriques...

Si on considère maintenant l'ensemble des contraintes et nécessités qui ont été discutées dans le débat, elles ont en effet concerné tous les groupes qui ont adopté spontanément un même registre explicatif (mécaniste) sauf peut-être le groupe 1 (et ce n'est pas certain, nous allons y revenir plus loin).

Les éléments du registre empirique peuvent être entendus comme contraintes empiriques (CE) lorsqu'ils sont soit les faits que l'on cherche à expliquer, soit les bases sur lesquelles on s'appuie pour expliquer. Le terme de « contraintes » que nous utilisons ici renvoie à l'idée qu'il s'agit de quelque chose dont on doit tenir compte dans l'explication pour qu'elle soit considérée comme acceptable.

2.3. Catégorisation des propositions

Les propositions de type CE peuvent être regroupées en 5 catégories :

- La première est celle du mouvement dont on cherche à comprendre ce qui le déclenche.
- La deuxième rassemble toutes les propositions de type RE qui mentionnent le lieu du corps concerné par le mouvement ; comme nous l'avons précisé plus haut du fait du travail précédent sur le mouvement, le lieu en question peut être le bras, ou bien le ou les muscles concernés par le mouvement (87 X (8) : *Le bras bouge*, 121 Julie : *C'était juste pour le mouvement du bras*, 579 X : *Un pour un muscle et l'autre pour l'autre muscle*).
- La troisième concerne le délai court entre la décision et l'exécution du geste (954 Amélie : *par exemple là tout de suite j'ai envie de manger la pomme le temps que ça arrive, ça fait ça : le bras se plie rapidement*).
- La quatrième est liée au projet (9) précédent : c'est le fait que deux muscles sont concernés par le mouvement.
- La cinquième est celle de la présence d'un objet pris en compte avant d'effectuer le mouvement mais elle ne concerne que le dernier groupe.

...articulées avec des nécessités sur les modèles

Les contraintes empiriques précédentes s'articulent avec des nécessités sur les modèles dans les propositions de type RE-RM, tandis que les interventions critiques (RMc) contiennent souvent des nécessités et éventuellement implicitement des contraintes.

(8) X désigne un élève non identifié dans le débat.

(9) Nous parlons du projet d'enseignement sur le mouvement qui a précédé dans cette classe celui sur la communication nerveuse.

Un présupposé théorique (ou contrainte théorique (10)) (« *C'est le cerveau qui commande* ») est repris du projet précédent et partagé par tous les élèves. Il conditionne les nécessités ou contraintes sur les modèles (notées CM) qui ont été construites lors du débat :

Nécessité d'une transmission : il faut que quelque chose se transmette entre le cerveau et le bras, pour que le mouvement se réalise.

contrainte
théorique...

Nécessité d'un support de transmission : seul le bras ou les muscles du bras sont concernés et l'ordre ou le signal est donné par le cerveau ; il faut donc quelque chose pour assurer spécifiquement la liaison entre le cerveau et le bras (ou les muscles) ; cette liaison s'étend à celle qui se situe entre œil et cerveau (voire même entre organe des sens et cerveau). Il en découle probablement une nécessité de continuité des structures car il faut que l'ordre rentre dans le muscle.

Puis nécessité d'une liaison double entre cerveau et muscles pour éviter le mélange des ordres. Plusieurs propositions associent intervention des deux muscles dans le mouvement et antagonisme de leur fonctionnement (avec l'idée non formulée de coordination).

Nécessité d'une rapidité de la transmission en relation avec la vitesse d'exécution.

Nécessité d'un moteur ou d'une force permettant la transmission.

D'autres nécessités ou impossibilités ont émergé mais elles ne sont pas retenues ici parce que n'étant pas directement en rapport avec la situation proposée : par exemple, la nécessité d'une permanence de la production de « *neurones* » (en tant que supports d'ordres) par le cerveau en relation avec le fait qu'en permanence se réalisent des mouvements.

2.4. Espace de contraintes dans ce débat

...et nécessité
sur les modèles...

La première nécessité construite, et sans doute par l'ensemble des groupes, est celle de la transmission ; il résulte de la mise en tension d'une contrainte empirique bien identifiée par les élèves, car un travail sur le mouvement a été fait lors d'un autre projet, et du présupposé théorique (« *le cerveau commande* »), à l'intérieur du registre explicatif (REX) mécaniste. Les contraintes et nécessités sont les suivantes :

- contrainte empirique : le bras se plie ou le bras bouge,
- contrainte théorique : le cerveau commande,
- nécessité sur les modèles : il faut que quelque chose se transmette par contact.

(10) Ce n'est ni une contrainte empirique car ne relevant pas de l'observable, ni une nécessité sur les modèles car c'est admis par tous, non discuté. Le centralisme cérébral (caractéristique de la problématique cartésienne) adopté ici pourrait constituer ultérieurement un obstacle à la compréhension de la notion de centres nerveux.

...caractéristiques
d'une explication
mécaniste
cartésienne

Cet ensemble caractérise bien le REX mécaniste. Précisons ce que nous entendons par REX mécaniste en nous reportant à Descartes lorsqu'il applique ses principes généraux au fonctionnement nerveux et musculaire : « *les particules cartésiennes peuvent interagir uniquement par contact et non par action à distance* » (Laudan, 1977). Ce mécanisme le conduit à expliquer le fonctionnement de l'appareil nerveux comme succession de chocs, tractions, écoulement, gonflements. Ainsi la transmission nerveuse est un mouvement : « *les mouvements produits, mais non créés par les machines, sont des déplacements géométriques et mesurables. Le mécanisme règle et transforme un mouvement dont l'impulsion lui est communiquée. Mécanisme n'est pas moteur.* » (Canguilhem, 1965). Ce sont des fibres nerveuses contenues dans les nerfs qui, pour Descartes, assurent la transmission : en se tendant, elles entraînent l'ouverture de pores dans le cerveau ; puis les esprits animaux qui s'écoulent dans les nerfs jusqu'aux muscles provoquent leur gonflement et par conséquent leur raccourcissement, causant ainsi le mouvement des segments du squelette auxquels ces muscles sont attachés. Le moteur de ce dispositif assurant le mouvement des esprits animaux dans l'ensemble des nerfs et des muscles est situé dans le cerveau.

Pour la classe considérée, nous pouvons exprimer cette construction du problème de transmission de la façon suivante : étant donné que le bras se plie et que c'est le cerveau qui lui ordonne de plier, il faut que quelque chose se transmette du cerveau au bras. Les différents possibles proposés, une traction, un liquide, une onde ou un courant, répondent à cette nécessité de transmission.

des REX différents

Mais si l'accord existe sur la nécessité de transmission, des différences isolent le premier groupe des autres : alors que les différents groupes ont construit une explication dans laquelle existe un lien matériel entre le cerveau et le(s) muscle(s), le premier groupe utilise un modèle de transmission sans support matériel. On peut penser que la majorité des groupes est dans un type d'explication mécaniste alors que le premier, envisageant une action à distance sans support, est dans une explication magique ou animiste, ou encore une absence de recherche du comment de la transmission (nous en discutons dans notre deuxième partie). Cependant, la spécificité de la commande pourrait relever d'une autre modalité comme c'est le cas dans la communication humorale : elle s'exerce du fait de la présence de récepteurs moléculaires spécifiques des molécules porteuses du message. C'est cependant un mode de transmission beaucoup moins rapide que la transmission nerveuse et d'autre part, cette hypothèse semble peu probable pour des élèves de cet âge.

Les diverses contraintes empiriques évoquées dans le paragraphe précédent existent pour la plupart des groupes :

La contrainte empirique du lieu précis du mouvement ne semble pas retenue par le groupe I mais par tous les autres.

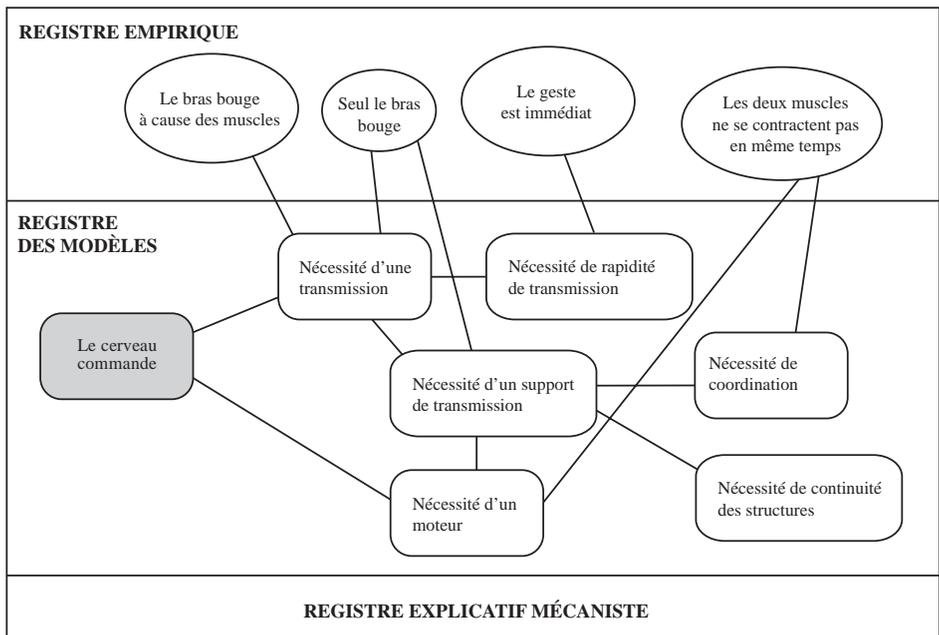
diverses solutions

Certaines contraintes concernent les muscles ; en particulier le fait que deux muscles sont concernés en même temps est une contrainte qu'on considère comme empirique mais appartenant à la phénoménologie savante puisqu'elle a été construite par les élèves au cours du projet précédent. En revanche le fonctionnement du muscle (11) ne semble pas faire l'unanimité ; ce que certains ont retenu c'est plutôt que le muscle tire sur l'os ; d'autres sont plutôt sur le gonflement du muscle lors de la contraction ; d'autres encore considèrent le besoin d'énergie du muscle,

Enfin une contrainte développée plutôt par les derniers groupes est celle de la rapidité d'exécution du geste. Elle est utile pour construire les caractéristiques du support de transmission nerveux.

Dans les débats enregistrés et transcrits, le relevé des controverses et des argumentations et la catégorisation des propositions selon les modalités présentées en 2.3. conduit à la schématisation d'un espace de contraintes possible (cf. document 2).

Document 2. Espace de contraintes en jeu lors du débat (séance 3) sur la commande nerveuse du mouvement en CM2



(11) Il s'agit-là d'un problème situé en dehors de la problématique de communication nerveuse ; cependant la façon dont les élèves comprennent le fonctionnement du muscle conditionne les nécessités qu'ils construisent en ce qui concerne le fonctionnement nerveux.

La représentation sur le même schéma de toutes ces contraintes et nécessités ne signifie pas que toutes ont été construites par chacun des élèves, mais que pour une classe de ce niveau elle constitue une référence de ce qui peut être discuté. C'est un outil d'analyse pour d'autres débats sur le même thème à ce niveau.

espace
de contraintes
en CM2...

L'espace de contraintes construit est très voisin de la problématique cartésienne sur le mouvement avec une nécessité supplémentaire qui n'était pas du tout évoquée par Descartes mais qui semble avoir quelque importance pour les élèves de cette classe, à savoir la nécessité d'une transmission rapide.

L'argumentation importante développée dans ce débat est un indicateur que l'accès aux raisons a bien eu lieu. Le principal problème construit est celui de la transmission, problème fondamental de la problématique mécaniste. La classe a bien discuté de la pertinence des différents modèles mécanistes proposés en explorant en particulier leurs limites. Les conditions qui nous semblent pouvoir être retenues comme ayant favorisé cette problématisation sont :

- L'existence d'un registre explicatif commun : le registre explicatif mécaniste le plus fréquemment utilisé par les élèves de ce niveau. Il ne permet pas cependant d'aller très loin en ce qui concerne le fonctionnement nerveux et risque de conforter certains obstacles (12).
- Des références empiriques communes établies lors d'un projet précédent sur le fonctionnement musculaire lors du mouvement du bras,
- Un contrat didactique bien établi par le maître de la classe et bien compris par les élèves en ce qui concerne les fonctions et enjeux des débats en classe.

...dans un REX
mécaniste

Cette première analyse macroscopique donne un aperçu de ce qui a été discuté et construit mais ne permet pas de suivre en détail le parcours cognitif des élèves. D'autre part, l'analyse ne porte que sur les propositions susceptibles d'être porteuses de raisons (de type RE, RE-RM, RMc) :

- Les propositions RE peuvent en effet contenir des contraintes empiriques.
- Les propositions articulant RE et RM, peuvent contenir des contraintes empiriques et/ou des nécessités sur les modèles.
- Les propositions RMc, peuvent contenir des nécessités sur les modèles.

Sont laissées de côté un grand nombre d'interventions (par exemple celles de type RMf : registre des modèles concernant un fonctionnement) : elles donnent des indications sur les conceptions des élèves et peuvent servir de base pour une argumentation critique, mais ne contiennent en elles-mêmes ni

(12) On peut penser qu'un tel raisonnement pourra faire obstacle ultérieurement à l'idée de communication humorale.

contraintes empiriques, ni nécessités sur les modèles ; cependant elles comportent des indicateurs de perception des problèmes ainsi que, pour certaines d'entre elles, des indices sur les fondements des modèles explicatifs développés par les élèves.

zoom
sur trois épisodes
du débat

Les paragraphes suivants vont donc s'orienter vers des analyses plus fines autour de trois moments du débat de façon à en dégager des éléments pour mieux comprendre l'engagement des élèves dans la problématisation et l'argumentation qu'ils développent dans ce processus.

3. APPROPRIATION ET CONSTRUCTION DE PROBLÈMES : POINT DE VUE MICROSCOPIQUE

Nous allons essayer dans ce qui suit de préciser ce parcours cognitif des élèves en analysant plus finement certains épisodes de la séance 3 (chaque épisode (13) correspond au débat autour d'une production de groupe). Pour ces épisodes nous expliciterons les contraintes et nécessités construites dans les échanges concernés puis nous nous intéresserons à quelques élèves dont nous suivrons une partie du parcours dans l'épisode concerné. Nous discuterons alors de l'engagement de ceux-ci dans la problématisation et des raisons éventuelles qui peuvent expliquer l'interruption du processus.

3.1. Mise en histoire ou savoir raisonné ?

une transmission
du cerveau
au bras...

Le débat autour de l'affiche I (Kévin, Ayoub) peut se résumer de la façon suivante : sans support, la transmission n'est pas « ciblée ». Cette production appartient à la première catégorie (annexe 1) : le cerveau envoie des signaux dans le corps mais il n'y a pas de support matérialisé entre cerveau et muscle.

RE-RM	4 Kévin :	<i>Il reçoit des informations et après le cerveau envoie des signaux dans le bras et après le bras (mouvement de plier le bras) le bras plie, se plie.</i>	CE
-------	-----------	--	----

...sans support
matérialisé...

Pour Kévin, une contrainte empirique est repérée : c'est le bras qui plie ; elle est présente dans presque toutes ses interventions ; d'autre part, il s'appuie sur le présupposé théorique commun à toute la classe, c'est le cerveau qui commande. À partir de ces deux éléments, il semble avoir construit une nécessité de transmission puisqu'il propose

(13) Ces épisodes se font selon un certain rituel instauré par le maître de la classe :

- présentation par le groupe de son affiche (en général c'est une lecture de la partie texte, accompagnée de quelques gestes pour montrer certains éléments du schéma de l'affiche)
- questions du maître, intervention des autres élèves.
- synthèse de ce qui a été compris par les autres élèves (sous la forme d'une affiche dont le texte est écrit par le maître et dicté par les élèves).

une explication du mouvement du bras qui plie par l'envoi de signaux par le cerveau au bras.

Cependant, cette explication est très vite contestée par Camille et surtout Florian :

RE-RM	26 Camille :	<i>Ca veut dire que les signaux ils vont partout.</i>	CE
RE-RM	28 Florian :	<i>Si on donne un ordre au bras, c'est peut-être la jambe qui va bouger</i>	CE
RMc	30 Florian :	<i>Il faut qu'il y ait quelque chose de spécial qui...</i>	CM
RE-RM	68 Florian :	<i>Les signaux pouvaient aller n'importe où.</i>	CE-CM
RE	77 Florian :	<i>Dans tout le corps c'est tout, les bras les jambes qui bougent.</i>	CE

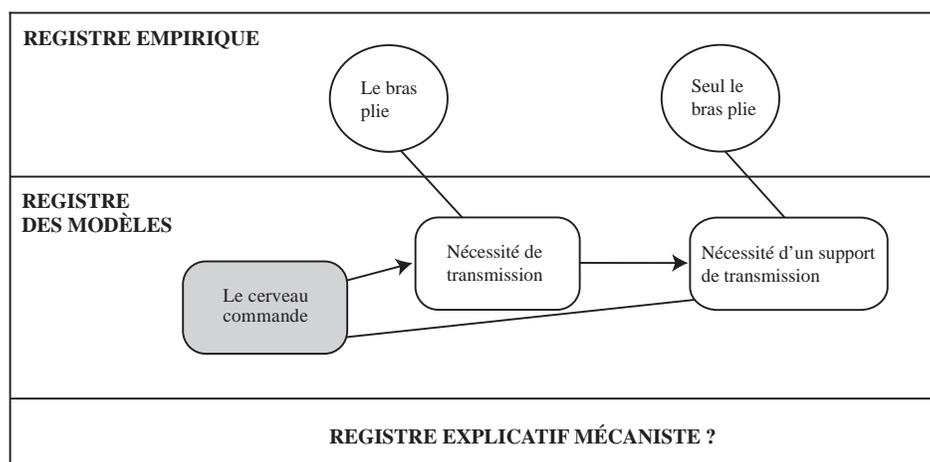
Il apparaît donc dans cet ensemble de propositions une seconde contrainte empirique qui sera reprise par les autres groupes : seul le bras plie ; elle est présente implicitement dans les propositions (26, 28, 68, 77) qui évoquent les conséquences du modèle proposé par le groupe (sans support, les ordres vont partout).

...est-elle vraisemblable pour les élèves ?

La proposition 30 laisse supposer une mise en relation entre cette contrainte et une autre nécessité sur les modèles : nécessité d'un support, d'une liaison anatomique.

L'espace de contraintes construit lors de la discussion de la production du premier groupe est donc très limité du moins au départ mais il fait émerger de nouvelles contraintes et nécessités par les interventions des élèves des autres groupes (cf. document 3).

Document 3. Espace de contraintes en jeu lors du débat autour de la production du groupe I



Malgré les objections des élèves des autres groupes Kevin ne modifie pas son explication ; il va cependant lors des échanges faire évoluer ses interventions indiquant par là une prise de conscience des raisons en jeu :

20 Kévin :	<i>Ben ils passent par le corps après il va dans le bras et puis il plie, le bras il plie.</i>
24 Kévin :	<i>Le cerveau il donne des informations qui vont dans le corps ; il donne des ordres et après il passe par le corps ça fait plier le bras.</i>
78 Kévin :	<i>Non ils vont dans le bras et puis après le bras il plie.</i>
83 Kévin :	<i>Par exemple il se dit je vais plier le bras après les signaux vont dans tout le corps ; alors le bras va plier c'est pas la jambe.</i>

évolution
du discours :

Les propositions 20, 24 et 78 comme la 4 citée au début du paragraphe décrivent le fonctionnement par une mise en histoire, ou récit (Bruner, 1991) comme passage obligé et « *moyen de penser* » partagé par les élèves de la classe. (Orange, 2003). On peut remarquer dans le cas considéré que les connecteurs utilisés sont : *après, et puis*.

prise de conscience
des raisons en jeu

La dernière intervention (83) que l'on peut comparer à la première (4), montre un changement dans la formulation avec un nouveau connecteur. L'utilisation de *alors* au lieu de *après* indique peut-être la mise en relation entre la transmission des signaux et le fait que le bras plie. On peut penser que Kévin est passé d'une simple mise en histoire dans son explication à une argumentation de preuve (Orange, 2003) et donc à un savoir raisonné. La proposition 83 articule en effet une contrainte empirique (« *le bras va plier, c'est pas la jambe* ») et l'idée de transmission (« *les signaux vont dans tout le corps* »). Toutefois, l'énoncé ne contient pas de formulation explicite de la nécessité ou d'une impossibilité (de la forme : il faut qu'il y ait quelque chose qui aille du cerveau au muscle, ou encore le muscle ne peut pas se contracter s'il n'y a pas d'ordre venant du cerveau). Malgré les objections, Kévin persiste dans son explication première : transmission dans tout le corps sans support, réaction du bras seul.

Nous allons revenir sur cet exemple plus loin : il pose en effet la question du registre explicatif utilisé implicitement que nous abordons dans le paragraphe 4.

3.2. Deuxième exemple : Position ou construction de problèmes ?

Lors du débat autour de l'affiche IV (Priscilla, Hasnah, Romain) il est question de la distinction entre message et énergie. Cette production est du type III (annexe 2) : le cerveau commande les muscles en leur envoyant un liquide ; les nerfs sont des tuyaux. C'est le seul groupe qui aborde ce problème. Leur explication fait intervenir ce qu'ils appellent des « neurones » ou « boules » qui se déplacent du cerveau au muscle.

RE-RM	436 Romain :	<i>En fait le cerveau envoie il passe des messages par des sortes de neurones qui sont là et après les neurones ils vont dans le muscle et ça le fait se contracter.</i>	CE
RE-RM	438 Romain :	<i>Une fois que les neurones vont sur le muscle le muscle il se tend et une fois qu'il se détend en fait ça repart.</i>	CE

modèle explicatif
par transmission
d'un liquide

À la différence des groupes précédents qui n'ont retenu comme contrainte théorique que la commande par le cerveau, le groupe IV a aussi une autre contrainte théorique qui est le besoin d'énergie du muscle (les propositions relatives à cette contrainte sont dans le 3^e extrait : 517 à 531). L'explication qu'ils retiennent et les nécessités qu'ils construisent lors du débat tiennent compte de ces deux contraintes.

RE-RM	483 Romain :	<i>C'est des boules et puis dedans il y a des messages et puis ils vont dans le muscle et ça devient tout du liquide et après.</i>	
RMf	484 Alexis :	<i>Je ne comprends pas pourquoi les boules sont liquides.</i>	
RMc	485 Romain :	<i>Si elles seraient pas liquides elles pourraient pas rentrer dans le muscle ; c'est pour ça qu'on a fait du liquide.</i>	CM

Le changement d'état des « boules » est lié à l'idée que les messages doivent entrer dans le muscle (485) et pas ailleurs ; cela semble confirmé par les propositions suivantes :

RE-RM	491 Romain :	<i>Oui c'est pour ça que c'est en boules pour ne pas que ça aille partout et une fois qu'il est dans le muscle il n'est plus en boule.</i>	CE-CM
RE-RM	504 Romain :	<i>Sinon l'ordre il va servir à rien ; si le cerveau dit un ordre il faut bien que l'ordre il rentre dans le muscle, il faut bien qu'il aille quelque part pour que le muscle puisse le comprendre ; c'est pour ça qu'il rentre dans le muscle.</i>	CE-CM

un support commun
pour le transport
des messages
et de l'énergie

Ainsi, ils estiment nécessaire que quelque chose entre dans le muscle pour que la transmission de message (491, 504) au muscle puisse se réaliser et que la contraction permette le mouvement. Ce quelque chose, ce sont des « boules » qui deviennent liquides avant d'entrer dans le muscle. On est bien sur une nécessité de continuité des structures (CM) en relation avec celle de transmission (CM) caractéristiques toutes les deux de la problématique cartésienne. Elles sont aussi toutes les deux en relation avec la contrainte empirique établie dans le projet précédent, selon laquelle c'est le muscle qui en se contractant permet le mouvement.

D'autre part, il semble que ce ne soit pas seulement le message qui est transmis du cerveau au muscle par ces « boules » mais aussi de l'énergie ; et on découvre la complexité du modèle dans les échanges suivants en étudiant les propositions de Romain.

RMf	517 Sandie :	<i>Oui mais pourquoi plusieurs boules ?</i>	
RMc	519 Amélie :	<i>Il pourrait y en avoir que quatre ; là on pourrait croire qu'il y a plusieurs ordres qui viennent.</i>	CM
RE-RM	520 Romain :	<i>Il y en a plusieurs pour qu'ils prennent assez de force pour faire contracter le muscle.</i>	CE-CM
RMf	521 Amélie :	<i>C'est de la force alors en fait ?</i>	
RE-RM	522 Romain : 524 Romain :	<i>C'est une énergie. Pour que les muscles se contractent.</i>	CE-CM

RMf	528 Emmanuel :	<i>En fait c'est des boules qui a de l'énergie à l'intérieur, qui ont de l'énergie à l'intérieur et qui rentrent dans le muscle et qui.</i>	
RE-RM	530 Romain :	<i>En fait c'est le message qui passe qui prend en même temps de l'énergie pour pouvoir faire contracter le muscle.</i>	CE-CM
RMc	531 Amélie :	<i>Donc il peut contenir deux choses à la fois ? ce qui fait l'énergie c'est le muscle.</i>	
RE-RM	533. M (14) : 534 Romain :	<i>L'énergie nécessaire à la contraction du muscle vient du cerveau ; est ce que c'est ce que tu penses ? Ben oui.</i>	CE-CM

énergie
et messages
proviennent
du cerveau

D'abord Sandie et Amélie (517-519) contestent le fait de représenter plusieurs « boules » car pour elles une « boule » est un ordre. Cela amène le groupe à préciser le rôle exact de ces « boules » qui sont plutôt des réserves d'énergie (522). Ce qui émerge dans ces diverses interventions, c'est la nécessité d'une source d'énergie mise en relation avec la contrainte empirique que le mouvement ne peut se faire que si le muscle se contracte. La mise en tension n'est explicitement réalisée que dans la proposition 520 émise par Romain. Elle est reprise en 533 mais par le maître de la classe. La source d'énergie pour ce groupe est le cerveau ; cette idée est contestée par Amélie qui comprend le muscle comme producteur d'énergie (531) ; mais elle ne développe pas vraiment d'argumentation pour appuyer ses dires. L'existence d'un moteur central correspond bien à un registre explicatif mécaniste (cf. document 4).

On observe que cet espace de contraintes contient deux éléments non reliés au reste :

L'un pourrait constituer une contrainte empirique (les deux muscles ne se contractent pas en même temps).

L'autre une nécessité sur les modèles (nécessité de coordination).

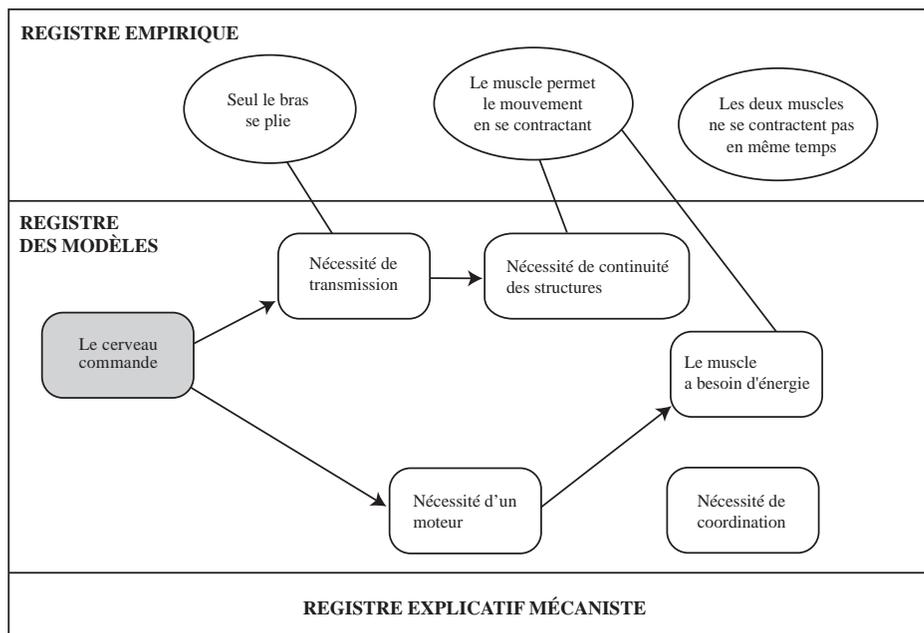
différences
entre perception
et construction
du problème :

quelques éléments

Elles sont présentes dans l'espace global que nous avons décrit dans le paragraphe 2, donc repérées et construites à d'autres moments du débat. Mais dans l'épisode concerné, il en a été question alors qu'aucune mise en tension n'a vraiment été effectuée. Pourtant, les échanges effectués à ce sujet nous intéressent car ils vont être l'occasion de caractériser des distinctions qui nous paraissent importantes à faire lorsqu'on cherche à mesurer l'implication des élèves dans le processus de problématisation : différences entre position et construction de problèmes. Nous avons abordé cette distinction dans le premier paragraphe d'un point de vue théorique, voyons comment nous pouvons le repérer dans les propositions d'élèves.

(14) M désigne l'enseignant de la classe.

Document 4. Espace de contraintes en jeu lors du débat autour de la production du groupe IV



Le débat autour de cette production est l'occasion de soulever le problème de la liaison nerveuse entre cerveau et muscle(s) : y a-t-il un ou deux nerfs ?

437 Romain : *En fait le cerveau envoie, il passe des messages par des sortes de neurones qui sont là et après les neurones ils vont dans le muscle et ça le fait se contracter.*

446 Kévin (GI) : *Les informations ils vont qu'à un seul muscle ?*

448 Romain : *Ben oui parce qu'il envoyait les messages qu'à un seul muscle...*

problème
perçu et formulé

Romain explique la commande nerveuse de la flexion par une transmission de messages envoyés par le cerveau. Il prend appui sur des faits établis précédemment (« le muscle se contracte et ça fait plier le bras ») et un présupposé théorique (« le cerveau commande ») pour envisager un modèle possible de transmission entre le cerveau et le muscle (les neurones supports des messages sont dans un nerf. Ils pénètrent dans le muscle et ainsi le font se contracter) : c'est un modèle explicatif soumis à la critique des autres élèves de la classe.

Suite à l'intervention de Romain, la question de Kévin indique que pour lui quelque chose fait problème.

Le problème perçu par Kevin est exprimé dans sa question qui contient une partie de l'explication de Romain (« ils vont qu'à un seul muscle ») et implicitement une objection (pourtant ça

devrait aller aux deux muscles) ou encore (il y a deux muscles dans le bras).

problème perçu... Le problème émerge du fait que le modèle proposé par Romain ne tient pas compte apparemment de ce qui pour Kévin est une contrainte empirique (le fonctionnement simultané des deux muscles). L'explication de Romain ne répond pas à la nécessité de coordination.

Romain lui n'a pas perçu ce problème. Ce n'est que par la suite, en relation avec les questions posées par l'enseignant et d'autres élèves que son argumentation évolue et que l'on peut dire qu'il y a pour lui une prise de conscience du problème car identifiable dans ses propos.

- | | |
|--------------|---|
| 463 Amélie : | <i>Parce que si le triceps il n'a pas l'ordre de se décontracter, il ne va pas laisser le biceps [mouvement de l'avant bras qui se plie par rapport au bras].</i> |
| 464 Romain : | <i>Là il donne l'ordre à celui là qu'il faut qu'il se plie et après il donne l'ordre à celui là de se déplier sinon...</i> |
| 465 Amélie : | <i>Oui mais comment il lui donne l'ordre puisqu'il n'y a pas de nerf ?</i> |
| 467 Romain : | <i>On a oublié de faire une précision sur le schéma.</i> |
| 468 M : | <i>Et quelle serait cette précision ? Vous pensez qu'il manque quelque chose ?</i> |
| 469 Romain : | <i>Oui de reproduire quelque chose.</i> |
| 470 E : | <i>De faire autre chose ? Qu'est ce que vous rajouteriez alors ?</i> |
| 471 Romain : | <i>De refaire un tuyau là et puis...</i> |
| 473 Romain : | <i>Il irait de là à là [du cerveau au deuxième muscle].</i> |

Après les critiques d'Amélie et Kévin, Romain rectifie son explication et propose de compléter son schéma avec un deuxième nerf. Mais à aucun moment il ne formule de propositions dans lesquelles on pourrait déceler qu'il a effectué une mise en tension entre registre empirique et registre des modèles en exprimant une nécessité de coordination en relation avec la contrainte de la contraction et du relâchement simultanés des deux muscles antagonistes (sauf en 464 de façon incomplète). En revanche, cette nécessité est exprimée par d'autres de façon plus ou moins nette soit lors du même épisode (Amélie ci-dessus 463 et 465) soit dans d'autres phases du débat (Emmanuel ci-dessous 631, 633 et 635).

- | | |
|----------------|--|
| 631 Emmanuel : | <i>Parce que si jamais par exemple on va seulement au biceps, le biceps va contracter ça va faire plier le bras mais le triceps va rester contracté parce qu'il aura pas reçu l'ordre.</i> |
| 633 Emmanuel : | <i>Qu'il faut qu'il se décontracte.</i> |
| 635 Emmanuel : | <i>Sinon on ne peut pas avoir le mouvement.</i> |

Ainsi les élèves dont nous avons suivi partiellement les interventions n'expriment pas le même « degré » de problématisation dans leurs propos :

Kévin a perçu et exprimé un problème. Romain a perçu le problème et a fourni la solution attendue par les autres élèves sans qu'on puisse savoir s'il l'a construit.

différents degrés
de problématisation

Amélie et Emmanuel ont non seulement perçu le problème mais on peut détecter dans leurs interventions des indicateurs de construction de problèmes : leurs propositions mettent en tension des contraintes empiriques (quand le biceps est contracté, le triceps est relâché) et nécessités sur les modèles (nécessité de deux ordres opposés arrivant aux deux muscles).

C'est bien parce qu'il s'engagent dans une argumentation que les élèves sont conduits à expliciter les raisons en jeu dans le problème scientifique discuté. Le débat scientifique dans la classe constitue un moment favorable pour cela. Mais il s'avère que tous ne parviennent pas au même degré de problématisation ; seul le suivi des interventions de chaque élève au cours d'un débat peut nous donner des indications sur son parcours cognitif.

Les indicateurs de perception et de construction de problèmes que nous utilisons sont les suivants :

problème perçu...

- La perception de problèmes se manifeste sous la forme de controverses plus ou moins explicites en ce qui concerne la position de problèmes : cas de Kévin (446), ou d'énigmes : cas d'Amélie (465).

- La construction de problèmes est décelable dans les propositions mettant en tension contraintes et nécessités : exemple d'Emmanuel (631, 633, 635) ou Amélie (463).

...et construit

Une remarque peut être faite à l'issue de cette première analyse fine :

La mesure de l'engagement des élèves dans la problématisation pourrait être plus complète en suivant chacun des élèves de façon très précise avec des outils des sciences du langage, ce que nous ne savons pas encore très bien faire.

4. REGISTRES EXPLICATIFS MOBILISÉS : QUELQUES HYPOTHÈSES

Nous avons considéré dans les analyses précédentes que le cadre dans lequel se situaient les élèves dans leur explication était mécaniste (de type cartésien). Le cas du groupe I (Kévin, Ayoub) mérite d'être discuté ainsi que celui du groupe V.

4.1. Cas de Kévin : explication *mécaniste, animiste ou vitaliste* ?

L'exemple de ce groupe a été étudié précédemment (paragraphe 3.1.) dans une autre perspective. Nous y revenons pour essayer de mieux en cerner le cadre explicatif. Le questionnement et les critiques auxquels il a été soumis n'ont pas permis d'explicitier davantage le modèle (le cerveau envoie des signaux dans le corps mais il n'y a pas de support matérialisé entre cerveau et muscle du bras).

Dans les deux cas, les objections de Camille et de Florian (26, 28, 30, 68, 77) sont acceptables dans le sens où Kévin n'a pas

fourni une explication satisfaisante au fait que seul le bras plie alors que pour lui les ordres vont dans tout le corps. Son modèle ne peut fonctionner que dans la mesure où les muscles du bras sont les seuls à reconnaître les signaux venant du cerveau, ce qui implique que ces derniers soient spécifiques : Kévin exprime peut-être cette idée quand il dit en parlant du cerveau : « *par exemple il se dit je vais plier le bras* » (83). Le signal est porteur d'une double signification, celle du lieu et du type d'action qu'il engendre.

L'explication mécaniste cartésienne fait appel à des déplacements de matières (esprits animaux), aux tractions des éléments nerveux pour rendre compte de la transmission entre cerveau et périphérie. Mais ceux-ci se font dans des supports particuliers que sont les nerfs, dont la structure décrite par Descartes permet ce type de transmission. Camille et Florian (des groupes IV et V) ont élaboré des modèles s'inscrivant bien dans ce REX.

quels registres
explicatifs
envisager ?

Au contraire la réponse de Kévin est différente et pose question quant au registre explicatif dans lequel il se situe :

S'agit-il d'une explication *animiste* dans laquelle le cerveau siège de l'âme par la seule pensée peut commander le mouvement du bras ?

S'agit-il d'une explication *mécaniste* dans laquelle n'a pas encore été construite la contrainte de la spécificité du mouvement, ni reconnue l'existence d'éléments nerveux dans tout le corps ? La transmission pourrait en ce cas se faire pour lui sous forme d'ondes (ce que suggère le schéma réalisé annexe I) issues du cerveau n'agissant que sur les muscles du bras mais passant bien par tout le corps. Il s'agirait dans ce cas d'un mécanisme physique. Ou bien, ce serait une communication humorale, se faisant donc par l'intermédiaire des liquides contenus dans tout le corps, mais ne provoquant la contraction que des seuls muscles du bras. On pourrait alors évoquer un mécanisme chimique.

Peut-on parler d'explication *vitaliste* dans la mesure où le mouvement du bras ne nécessite pas d'action matérielle mais seulement la présence du cerveau actif comme condition de déclenchement d'actions spécifiques dans le corps ?

le REX mécaniste...

Nous ne disposons pas d'éléments suffisants pour trancher. Cependant, les interventions ultérieures de Kévin dans le débat vont dans le sens de la deuxième interprétation (REX, mécaniste) : nous avons pu noter dans le paragraphe précédent que des objections de Kévin (par exemple en 446) portent sur la nécessité de liens nerveux entre cerveau et les deux muscles antagonistes du bras. Or, si nous nous référons à Kuhn pour définir ce que nous appelons le REX, animisme, vitalisme et mécanisme sont des cadres explicatifs incommensurables (Orange 1997, 2002), conduisant dans les débats à des « dialogues de sourds ». Si Kévin est en mesure de critiquer les modèles des autres groupes, on peut penser qu'il est capable d'entrer dans leur explication ; son objection est cependant limitée à une question qui n'exprime pas de raisons

...est le plus probable...

mais seulement le constat d'un manque du modèle (absence d'un nerf) au vu des contraintes (le fonctionnement coordonné des deux muscles antagonistes) qui restent implicites dans son intervention. L'adhésion de Kévin au point de vue mécaniste n'est donc pas certain si on s'en tient à ses seuls propos, mais possible si on prend en compte son implication dans le débat.

...bien que non explicite

La large part faite à l'interprétation de certains éléments d'explication ouvre des perspectives d'exploration des principes et fondements sous-jacents en relation avec le registre explicatif. Cela nécessite de procéder à des interprétations des propos d'élèves avec toutes les limites que cela implique.

4.2. Émergence d'un problème dans un nouveau registre explicatif.

Pour le groupe V (Emmanuel, Soufyen, Julie) : À nouveau la discussion porte sur la coordination du fonctionnement musculaire. La production de ce groupe (annexe 3) est du même type que dans le cas précédent mais le cerveau est relié à chaque muscle du bras par un nerf.

L'explication de la production de ce groupe pointe de façon nette l'importance des deux muscles dans le mouvement du bras. Le problème discuté est celui de la coordination du fonctionnement des muscles antagonistes :

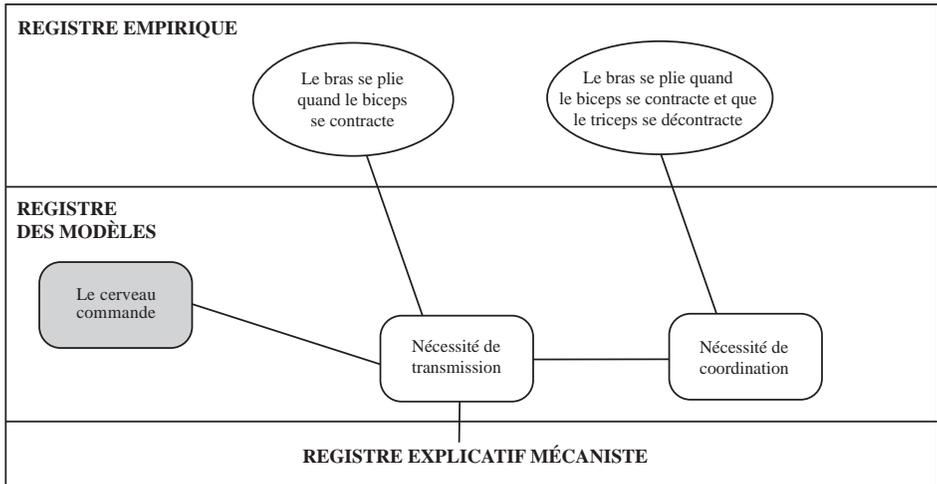
RE-RM	621 Emmanuel :	<i>Ben oui parce que en fait si jamais ça va qu'au biceps et que le biceps il se contracte pour plier le bras, le triceps il restera contracté parce qu'il n'aura pas eu l'ordre.</i>	CE-CM
RE-RM	630 Emmanuel :	<i>Parce que si jamais par exemple on va seulement au biceps, le biceps va contracter ça va faire plier le bras mais le triceps va rester contracté parce que il aura pas reçu l'ordre</i>	CE-CM
RE-RM	631.M : 632 Emmanuel : 633.M : 634 Emmanuel :	<i>Il aura pas reçu l'ordre de quoi ? Qu'il faut qu'il se décontracte. Qu'il faut qu'il se décontracte ; tu es sur le besoin qu'il faut que les deux reçoivent l'ordre pour que le mouvement puisse avoir lieu Sinon on ne peut pas avoir le mouvement.</i>	CE-CM

émergence de la nécessité de coordination

Les propositions 621 et 630 articulent une contrainte empirique, le biceps se contracte pour plier le bras avec la nécessité d'une transmission jusqu'au biceps ; mais en même temps émerge une impossibilité de mouvement (634) si le triceps ne reçoit pas l'ordre de se décontracter (633). Cette dernière proposition est formulée par la maîtresse.

On a bien là la nécessité de coordination du fonctionnement des muscles antagonistes en relation avec les contraintes empiriques travaillées dans le projet précédent de contraction du biceps et de décontraction du triceps pour que le bras puisse se plier. Ces deux contraintes ne sont pas cependant communes au groupe classe mais ont particulièrement marqué ce groupe (cf. document 5).

Document 5. Espace de contraintes en jeu lors du débat autour de la production du groupe V



envois d'ordres
par le cerveau...

D'autres points ont été discutés lors du travail dans ce groupe mais ne donnent pas lieu à une véritable construction. Ils contiennent cependant l'émergence d'un problème étranger à la problématique mécaniste cartésienne : la permanence de fonctionnement du cerveau en relation avec le tonus musculaire envisagée par Emmanuel (évidemment dans des termes différents) entre en conflit avec la conception d'Amélie basée sur le « tout ou rien. »

Voyons en détail les argumentations développées par les deux protagonistes :

- 637 Amélie : *Il y a un autre problème aussi ; ils disent construit en permanence ; les neurones sont construits en permanence par le cerveau et sont envoyés quand on en a besoin, mais si ça se trouve il peut envoyer la mauvaise.*
- 638 M : *Mais qu'est ce que tu appelles la mauvaise ?*
- 639 Amélie : *Ben celle qui part pour faire plier le pied.*
- 640 M : *L'ordre qui ferait plier le pied serait envoyé par erreur.*
- 641 Amélie : *Ben oui il pourrait se tromper.*
- 642 M : *Toi qu'est ce qui te pose problème dans son explication ? C'est le fait que ce soit en permanence, c'est le mot permanence.*
- 643 Amélie : *À la fin il ne peut pas savoir lequel il doit envoyer, donc il peut envoyer celui pour le pied.*

...en permanence...

Dans ce premier échange, Amélie conteste le modèle du groupe sur un point : la permanence de construction de messages par le cerveau. Elle justifie cette objection par le risque d'un envoi d'un message erroné. Pour mieux comprendre son raisonnement il est utile de rechercher quels peuvent être les principes sur lesquels elle s'appuie. À cet effet nous allons recourir à une interprétation des propositions

... ou seulement... s'inspirant du schéma d'argumentation (Toulmin, 1993) : ce dernier relie données (D) et conclusion (C) de façon logique au vu d'une garantie (G), elle-même basée sur un fondement plus général (F). Garantie et fondements ne sont pas toujours explicites mais peuvent être déterminés par interprétation ce qui va nous permettre d'explorer les fondements implicites et ainsi d'accéder à une meilleure compréhension de la façon dont les élèves construisent des raisons. Signalons qu'on ne peut retrouver dans les propositions des élèves tout le raisonnement qui suit : en particulier les fondements ou principes d'explication sont le fruit de notre interprétation avec toutes les précautions et limites qui en découlent.

...en cas de mouvement

Ainsi pour Amélie qui conteste les explications du groupe V sur la permanence d'envoi de messages par le cerveau : ils disent que le cerveau envoie en permanence des ordres, pour faire plier le bras ou lever la jambe (D), donc il peut en envoyer des mauvais (par exemple le message « *je veux lever la jambe* », quand je veux plier le bras) (C) (637), vu que le message « *je veux plier le bras* » doit partir quand je veux plier le bras et non quand je veux lever la jambe (G), en vertu du fait qu'il n'y a pas d'erreur dans le fonctionnement (F). En conséquence le cerveau n'envoie pas des ordres en permanence mais seulement quand il y en a besoin. Le risque d'erreurs est alors moins important.

On peut dire qu'Amélie s'appuie sur un fondement régional (Orange, 2003) de type constat empirique : le fonctionnement du corps se fait sans trop d'erreurs. (On ne bouge pas le pied quand on a besoin ou envie de plier le bras).

Voyons maintenant l'argumentation développée par Emmanuel :

644 Emmanuel :	<i>Oui mais si ce n'est pas fabriqué en permanence tu ne pourrais pas tenir sur tes jambes.</i>
645 Amélie :	<i>On tient sur les jambes parce qu'on a des os.</i>
646 Emmanuel :	<i>Non, c'est les muscles qui donnent cette force ; quand on est comme ça il y a de la force ! Sans muscles tu ne peux pas tenir sur tes jambes. Les os c'est juste comment je peux dire pour pas que ce soit mou pour que ça reste dur quoi.</i>
647 M :	<i>Tu veux dire qu'en permanence le cerveau il construit là les neurones et il en envoie en permanence et pas seulement quand on plie le bras</i>
648 Amélie :	<i>C'est écrit envoyer quand on en a besoin.</i>
650 Emmanuel :	<i>Par exemple quand tu parles la mâchoire elle est obligée de bouger et c'est grâce aux muscles ; si tu aurais que des os tu ne pourrais pas bouger.</i>
651 Amélie :	<i>Oui je sais.</i>
652 Emmanuel :	<i>Tu fais des mouvements en permanence.</i>
653 Amélie :	<i>Mais là je ne fais pas de mouvements !</i>
701 M :	<i>Est-ce qu'il les envoie quand on en a besoin ou est ce qu'il les envoie tout le temps, Emmanuel ?</i>
702 Emmanuel :	<i>Quand on en a besoin, on en a besoin tout le temps.</i>
703 M :	<i>Sauf que tu penses qu'on en a besoin tout le temps ?</i>
704 Emmanuel :	<i>Oui sinon...</i>
705 M :	<i>Là tu parles de ce qui se passe au niveau des jambes ; de l'ensemble aussi.</i>
706 Emmanuel :	<i>Sinon [mouvement d'affaissement].</i>

vers une explication
systémique...

Deux enchaînements interviennent :

- le premier porte sur les rôles respectifs des os et des muscles ; les muscles donnent la force (pour se tenir sur les jambes) (D) (646), donc sans muscles on ne peut pas se maintenir seulement avec les os (C), vu que ce sont les muscles qui permettent le mouvement et pas les os (G). Ce raisonnement s'appuie sur un fondement de type théorique du type « les os et les muscles n'ont pas la même fonction » (F).
- le second revient à la permanence du fonctionnement du cerveau (702) ; sans les muscles le corps s'affaisse donc des messages sont envoyés en permanence, vu que les muscles pour fonctionner doivent recevoir des messages du cerveau. Là encore il est fait appel à un fondement théorique, présumé retenu à l'issue du projet précédent et pris comme contrainte théorique : « les muscles sont commandés par le cerveau ».

Amélie s'appuie à nouveau sur le constat empirique de la contraction musculaire liée à un mouvement particulier (653), celui qui a été étudié dans la séquence.

...de la posture
et du tonus
musculaire

Pour Emmanuel, l'idée sous jacente est que même s'il n'y a pas de mouvement, les muscles sont dans un certain état de contraction : il a construit le concept de tonus musculaire sans que le terme lui soit connu. Sa réflexion ne semble donc pas cantonnée à la situation proposée mais s'est élargie au fonctionnement de l'ensemble du corps.

De plus, il s'appuie sur des fondements théoriques tout à fait acceptables issus des références communes établies par la classe en particulier lors de la séquence précédente (centrée sur le mouvement du bras) mais aussi comportant une idée nouvelle, celle de fonctionnement permanent relevant plus d'un registre explicatif systémique que mécaniste cartésien. L'explication mécaniste (cartésienne) envisage d'un côté un message sensoriel déclencheur du départ d'un message moteur du cerveau vers les muscles concernés. En revanche les modèles actuels (physico-chimique mais contenant des apports de la cybernétique) (Beorchia, 2003) considèrent que l'ensemble des éléments nerveux est en activité permanente, ce qui rend nécessaire les processus d'intégration (ou de traitement) dans les centres nerveux.

5. CONCLUSION

L'espace de contraintes schématisé à partir de l'analyse épistémologique de ce débat permet de se faire une idée de ce que des élèves de CM2 peuvent construire comme raisons à partir de la question de la commande nerveuse du mouvement du bras, dans un registre explicatif très voisin de la mécanique cartésienne et donc assez éloigné des problématiques actuelles de la communication nerveuse.

comprendre
ce qui se joue
dans les débats...

Les schématisations des espaces de contraintes sont essentielles comme outils d'analyse globale de la construction de problèmes mais ne suffisent pas pour mesurer le degré de problématisation des élèves. Dans cet article nous avons essayé d'avancer sur deux aspects :

La distinction entre problème perçu et problème construit donne des indications sur l'engagement des élèves dans le processus :

- expression d'énigmes ou de controverses pour les problèmes perçus,
- mises en tension entre contraintes empiriques et nécessités pour les problèmes construits.

La recherche des principes et fondements des explications constitue une piste d'investigation utile à la compréhension du processus d'accès aux raisons. Deux points ressortent de l'analyse.

...pour envisager
d'autres
questionnements

Le registre explicatif mobilisé principalement par les élèves de cet âge semble être mécaniste simple c'est-à-dire s'appuyant sur une transmission nerveuse de type mouvement de matière du cerveau jusqu'au muscle, la contraction n'étant liée qu'à un seul ordre. La plupart des groupes de cette classe (sauf peut-être le groupe I) ont débattu dans ce cadre explicatif.

Nous avons pu constater l'émergence d'une problématique systémique, dans laquelle l'idée de permanence d'activité nerveuse est présente. Elle est restée cependant à l'état d'ébauche (un seul groupe concerné) et n'a pas été explorée dans les séances qui ont suivi. Un questionnaire de départ plus centré sur la posture du corps que sur un mouvement particulier semble être une piste possible à envisager.

Françoise BEORCHIA,
IUFM Basse Normandie Centre de Saint Lô
CERSE, université de Caen
CREN, université de Nantes
francoise.beorchia@caen.iufm.fr

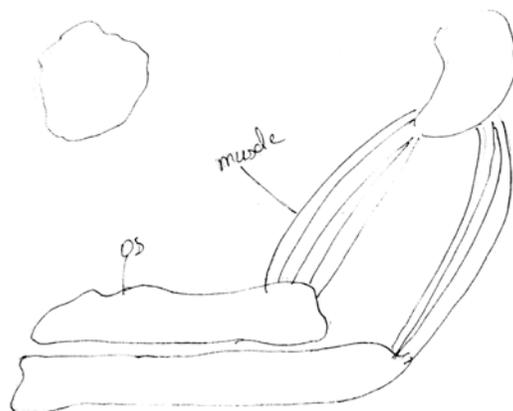
BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- BACHELARD, G. (1947). *Le rationalisme appliqué*. Paris : Presses universitaires de France.
- BAKHTINE, M. (1984). *Esthétique de la création verbale*. Paris : Gallimard.
- BEORCHIA, F. (2003). *La communication nerveuse : conceptions des apprenants et problématisation. Importance des explications mécanistes et vitalistes*. Université de Nantes.
- BRUNER, J. (1991). *...car la culture donne forme à l'esprit*. Paris : Eshel.
- CANGUILHEM, G. (1955). *La formation du concept de réflexe aux XVII^e et XVIII^e siècles*. Paris : Presses universitaires de France.
- CANGUILHEM, G. (1988). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des Sciences de la vie*. Paris : Vrin.
- CANGUILHEM, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- FABRE, M. (1999). *Situations-problèmes et savoirs scolaires*. Paris : Presses universitaires de France.
- FABRE, M ORANGE, C. (1997). Construction de problèmes et franchissement d'obstacles. *Aster*, 24, 37-57.
- GRIZE, J.-B. (1982). *De la logique à l'argumentation*. Genève : Droz.
- KUHN, T.-S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Champs Flammarion.
- LAUDAN, L. (1977). *La dynamique de la science*. Bruxelles : Mardaga.
- ORANGE, C. (2000). Mémoire de recherche HDR Idées et raisons. Université de Nantes.
- ORANGE, C. FOURNEAU & J.-C. BOURBIGOT, J.-P. (2001). Écrits de travail, débats scientifique et problématisation à l'école élémentaire. *Aster*, 33, 11-133.
- ORANGE, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation : le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster*, 37, 83-107.
- POPPER, K. (1991). *La connaissance objective*. Paris : Flammarion.
- POPPER, K. (1985). *Conjecture et réfutations*. Paris : Payot.
- TOULMIN, S. (1973). *L'explication scientifique*. Paris : Armand Colin.
- TOULMIN, S. (1993). *Les usages de l'argumentation*. Paris : Presses universitaires de France.

ANNEXE 1. PRODUCTION DU GROUPE I (AYOUB, KÉVIN)

Le cerveau reçoit des informations.
 Ensuite, il envoie des signaux qui ordonnent
 aux muscles de se contracter.
 Les informations viennent de
 nous.
 ex : je veux plier le bras.
 Cette information va donner ordre
 au cerveau. Le cerveau

envoie l'information au bras et le bras se plie



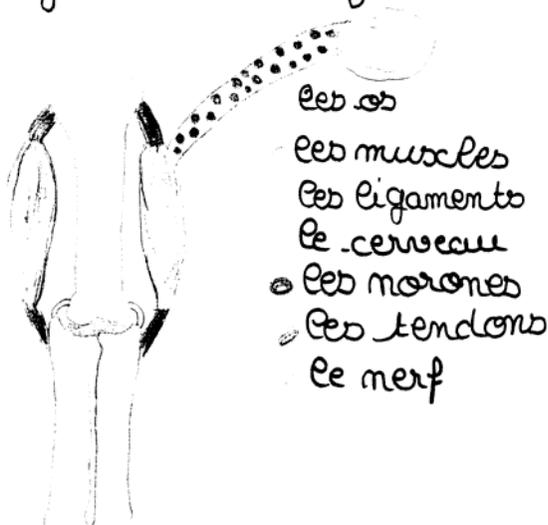
**ANNEXE 2. PRODUCTION DU GROUPE IV
(PRISCILLA, HASNAH, ROMAIN)**

Le cerveau est relié au muscle par un tuyau (le nerf), qui lui transmet des sortes de messages.

Dans le tuyau il y a des neurones (sorte de boule). Dès que le message arrive dans le muscle, il se contracte.

Les neurones se rejoignent au muscle.

Entre le cerveau et les muscles il y a du sang, des veines, des vaisseaux sanguins et le nerf.



**ANNEXE 3. PRODUCTION DU GROUPE V
(EMMANUEL, SOUFYEN, JULIE)**

Le cerveau est relié au muscle par une sorte de tuyau. Par le tuyau, des neurones construits par le cerveau sont envoyés quand on a besoin. (en permanence)

