

Pédagogie et formation



**Des idées pour enseigner
les sciences
et les mathématiques**

Pratiques et théories

Jean-Claude Noverraz

Pédagogie et formation

**Des idées pour enseigner
les sciences
et les mathématiques**

Jean-Claude Noverraz

Table des matières**(voir table détaillée aux pages 219 à 227)**

<i>Introduction – Pourquoi, pour qui, comment ?</i>	3
<i>Première partie - Deux histoires vécues</i>	12
1 Approche du métabolisme et modélisation à 14 ans	13
2 Premiers pas en électricité à 11 ans	33
3 Regard sur ces histoires vécues	57
<i>Deuxième partie - Concevoir la séquence d'enseignement</i>	67
4 La construction d'une séquence d'enseignement - Modèle des trois phases	68
5 Pertinence et limites du modèle	81
6 Trois autres histoires vécues	85
<i>Troisième partie - Des considérations épistémologiques aux outils pratiques</i>	95
7 Épistémologie, modélisation, pratiques expérimentales	96
8 La problématisation, un levier didactique essentiel	111
9 Aides à la construction de séquences	119
<i>Quatrième partie : - Quelques suggestions issues d'expériences d'enseignement</i>	155
10 La lumière et sa modélisation	156
11 Quand mathématiques et sciences vont de pair	165
12 Du corps humain	191
<i>Conclusion - Entre espoirs et vœux : donner du sens !</i>	215
1 Espoirs	216
2 Quelques propositions	217
3 Projet, motivation et sens, moteurs des apprentissages	218

Les apports de la didactique des sciences à l'enseignement scientifique

Préface par le professeur André Giordan, Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences (LDES), université de Genève

L'enseignement des sciences dans le secondaire paraît désormais plutôt rébarbatif aux yeux des élèves. Pour eux, tout leur semble affaire de pure mémorisation, de vocabulaire abscons et de moult formules mathématiques ! Les programmes, les méthodes, les cours de sciences ne prennent pas en compte suffisamment le plaisir qu'a le jeune de découvrir et de comprendre. Ils cherchent à « faire passer » le message d'une science idéale et neutre, plutôt que de permettre aux jeunes de s'approprier les savoirs ou les compétences scientifiques dont ils ont besoin pour comprendre le monde, leur environnement, leur propre corps ou encore la place des savoirs technologiques dans nos sociétés.

Pourtant depuis 30 ans, en Suisse Romande, en France, en Allemagne et maintenant dans nombre de pays anglo-saxons, un certain nombre de chercheurs –dont Jean Claude Noverraz- dénoncent fortement ces aspects. Ils n'avaient pas attendu PISA !.. Parallèlement, ils ont entrepris, souvent à titre personnel, un ensemble de recherches et d'innovations pour réformer cet enseignement.

Comment éviter de faire perdre le désir d'apprendre aux élèves ? Quels sont les choix possibles pour faciliter *l'apprendre*, le *comprendre*, la *mobilisation* des savoirs ? Comment construire des séquences d'enseignement qui aient du sens pour eux ? Comment problématiser les savoirs à élaborer ? Quelle place donner à la modélisation ? Quels sont les savoirs pertinents dans la société actuelle ? Peut-on décroisonner les sciences et ouvrir l'école au monde ? Etc.

Telles sont quelques unes des questions qu'une nouvelle branche des sciences nommée : « Didactique des sciences » se pose ; et pour lesquelles elle a forgé problématiques, modèles explicatifs et méthodes originales. Son objet : tenter d'objectiver -dans la mesure du possible- le processus de diffusion, et surtout d'appropriation des savoirs à l'école et hors de l'école.

Phénomène essentiellement francophone à l'origine, elle rencontre aujourd'hui un retentissement international.

Les apports de la didactique à l'enseignement des sciences sont multiples. Ses principaux succès portent sur la connaissance de l'apprenant et sur les processus de l'apprendre. La didactique des sciences a mis en clarté que l'élaboration d'une connaissance ou l'appropriation d'une compétence ne procède pas : ni d'un modèle transmissif (le savoir ne peut toujours se transmettre frontalement d'un enseignant à un apprenant) ; ni d'un modèle additif (une nouvelle notion ne s'additionne pas directement aux connaissances antérieures ; chaque notion nouvelle provoquant une réorganisation de ces connaissances).

D'autres modèles plus systémiques, comme le *modèle allostérique* (Giordan et De Vecchi, 1987 - modèle explicité et souvent cité dans les pages qui suivent) se sont ainsi peu à peu imposés. Ce dernier met l'accent sur un *environnement didactique* constitué d'un « cocktail » de paramètres *facilitateurs*, tous indispensables pour permettre l'apprendre (Giordan, 2002). En effet, l'apprenant a peu de chance de "découvrir" seul l'ensemble des éléments pouvant transformer ses conceptions. Son apprentissage est facilité s'il est mis dans des situations adaptées (situations questionnantes, confrontations multiples), s'il trouve à sa disposition un certain nombre d'éléments significatifs (documentations, expérimentations, argumentations) et un certain nombre de formalismes restreints (symbolisme, graphes, schémas ou modèles) pouvant être intégrés dans sa démarche. On peut ajouter qu'un autre niveau de savoir ne se substitue à l'ancien que si l'apprenant y trouve un intérêt et apprend à le faire fonctionner !

Par ses observations très ciblées dans les classes, Jean Claude Noverraz a largement contribué au développement de ce modèle, d'abord au Séminaire pédagogique de l'enseignement secondaire puis à la Haute école pédagogique vaudoise à Lausanne. Dans ce cadre, il a même joué un rôle de pionnier en imaginant un grand nombre de situations pour motiver les élèves, donner du sens à leurs activités et pour interférer avec leurs conceptions. Dans de nombreux domaines de la physique et de la biologie, il a de plus mis au point des situations ou des activités pour :

- interpeller, questionner,
- déclencher une dynamique
- formaliser ou modéliser.

A chacune de ces situations, il a associé une recherche -et souvent une invention- de matériel très concret, très pertinent que les élèves peuvent utiliser en classe ou chez eux.

Ce corpus constitue un ensemble unique à ce jour ! Il serait regrettable que toute cette mine de savoirs pour l'enseignement reste plus longtemps méconnu du plus grand nombre.

Bibliographie

A. Giordan et G. De Vecchi, *Les origines du savoir*, Delachaux, Neuchatel, 1987
A. Giordan, *Apprendre !* Belin, 1998, nlle édition 2002
et le site LDES : <http://www.ldes.unige.ch>

Introduction

Pourquoi, pour qui, comment ?

1. Pourquoi ce livre et ces films ?

Le premier souci d'un enseignant est de faire que "ça marche en classe". Oui, mais qu'est-ce qui doit marcher, qu'est-ce que cela veut dire "marcher" ? Que les élèves ne chahutent pas, qu'ils "participent", qu'on puisse avec eux "faire le programme", qu'ils apprennent quelque chose ! Certainement, mais qu'est-ce qui peut aider l'enseignant qui se retrouve avec une "classe difficile" ?

Montrer des "possibles", c'est une première raison d'être de ce livre.

Commençons par un exemple. Il s'agit d'une classe d'adolescents manifestant très peu d'intérêt pour le cours de sciences qui leur est donné, généralement peu attentifs, préférant se livrer à d'autres activités que celles que leur propose leur enseignant. Jusqu'au jour où celui-ci les place par groupes de trois ou quatre et leur lance un défi :

Chaque groupe reçoit du fil résistant de différents diamètres (du constantan), un pot d'eau (tous le même), un thermomètre, une alimentation électrique réglable de 0 à 24 V (avec ampèremètre et voltmètre incorporés), des fils et de pinces de connexions.

Vous devez confectionner un corps de chauffe avec le fil résistant - Le diamètre et la longueur du fil sont à choisir.

Avec ce corps de chauffe et votre alimentation, vous devez chauffer l'eau du pot.

C'est au groupe qui chauffera le plus son eau !

Ces ados n'avaient pratiquement aucune connaissance en électricité. Si vous les aviez vu partir au quart de tour ! Premiers essais. Surprises : « C'est pas comme on pensait ! ». Comparaisons des premiers résultats obtenus. Discussions sur les paramètres à fixer pour que ces comparaisons aient du sens, apparition de la nécessité de la reproductibilité comme condition de crédibilité (faire des essais documentés par des mesures, par des schémas), hypothèses, tests des hypothèses, traitement des problèmes expérimentaux, découverte des grandeurs physiques tension et courant électriques et de leur relation, etc. Plus tard, l'optimisation de ces corps de chauffe a nécessité de construire des concepts, d'entrer dans une démarche scientifique, de voir se confronter les élèves à des conceptions-obstacles, de gérer des débats sociocognitifs. Le défi a servi d'amorce, de déclencheur et a permis aux élèves de fonctionner avec un projet auquel ils ont pu adhérer.

Cet exemple suggère que certains des problèmes comportementaux qui rendent difficile la conduite d'un groupe s'estompent lorsqu'on réussit à mettre les élèves en projet. Il montre aussi qu'un bon moyen de mettre les élèves en projet et de leur lancer un défi.

Donner envie ! Si ce livre pouvait y contribuer...

Une autre raison milite pour ce livre : répondre à une demande. Souvent les étudiants ou les enseignants en formation attendent de leurs formateurs des activités clé en main, des idées à appliquer. La réponse est une alchimie qui mêle une recette et une recommandation de ne pas appliquer la recette aveuglément, de l'adapter aux circonstances, à ses élèves. Mais la recette n'est pas toujours des plus simples à réaliser. Il faut essayer, oser faire, entrer dans une démarche pédagogique expérimentale !

Aider à préparer et à conduire une séquence d'enseignement.

Enfin, chez les étudiants surtout, on rencontre la difficulté de mettre en place des contrats didactiques clairs. Combien de fois, le stagiaire ne sait pas au juste ce qu'il attend d'une activité pratique ou d'un problème à résoudre. Par exemple : s'agit-il d'immerger l'élève dans une problématique, s'agit-il de le confronter à une *situation-problème*, s'agit-il de le mettre en demeure de manifester une *compétence*¹ ? Prenons le statut de l'erreur : Il n'y a pas d'erreur possible lorsqu'on sonde les représentations des élèves, tout au plus l'émergence de *conceptions*² divergentes ou adaptées à des situations courantes mais non adaptées aux situations dans lesquelles on souhaite placer les élèves. Dans une phase de conceptualisation, on va faire entrer l'élève dans une démarche de type essais-erreurs ; l'erreur sera ici le moteur attendu d'une dynamique d'apprentissage. Tandis qu'au moment d'un bilan de *compétences*, l'erreur met en évidence une insuffisance ! Inutile de dire que si l'enseignant n'est pas au clair avec ses intentions, l'élève peut être conduit à des comportements inadéquats. Il peut craindre de s'exprimer ou cacher les tâtonnements par lesquels il a passé et qu'il serait si précieux de faire exprimer dans le cadre d'un débat. Cela arrive d'autant plus que, très souvent, l'enseignant utilise l'évaluation sommative comme moyen de pression : « Je dis aux élèves que je peux mettre une note à tout moment ; comme ça, ils savent qu'ils doivent travailler sérieusement, ça les motive ». Malheureusement, un tel choix est contre-productif car il tend à inhiber la spontanéité de l'élève, sa prise de risque, car il conduit l'élève à se centrer sur des performances locales et temporaires plutôt que de le mettre dans le projet de manifester, à terme, une *compétence*.

Pour aider les étudiants à mettre de l'ordre dans la conduite de la classe, il est utile de leur proposer un modèle de structuration d'une séquence d'enseignement qui puisse les aider à clarifier leurs intentions, leurs attentes à l'endroit des élèves. Un modèle qui s'est avéré pertinent pour la formation des enseignants est le *modèle des trois phases* qui est décrit en détail au chapitre 3.

Apporter un témoignage, faire part d'expériences vécues, donner des idées, faire envie, encourager à oser. Promouvoir un enseignement qui se nourrit de la recherche en pédagogie et en didactique. Voilà le projet.

2. Pour qui ?

Ce livre et ces films s'adressent aux personnes (enseignants, étudiants, formateurs, décideurs) concernées par l'enseignement des sciences et des mathématiques, prodigué à des élèves de 10 à 16 ans. Il s'adresse aussi à tous ceux qui manifestant de l'intérêt pour les approches interdisciplinaires.

Plus précisément, ce livre et ces films s'adressent à ceux qui...

- attendent que les élèves, au-delà du savoir redire ou du savoir-faire, développent de véritables *compétences* ;
- souhaitent construire des séquences d'enseignement "propres", c'est-à-dire dans lesquels les attentes de l'enseignant sont claires et enchaînées dans un projet ;

1 Le sens donné au mot "compétence" et précisé au §4.2

2 Le terme "conception" a déjà été utilisé par Bachelard. Depuis, il est entré dans le vocabulaire de la didactique des sciences et on le trouve dans des publications de très nombreux auteurs (Astolfi, Giordan, Martinand, de Vecchi, pour ne citer qu'eux parmi bien d'autres !)

- veulent initier les élèves à des démarches qui caractérisent la science (et les mathématiques) et susciter chez eux un esprit critique et des exigences de rigueur
- tiennent à ce que les élèves se construisent une vision réaliste de la science ;
- désirent entraîner les élèves à la communication, à la gestion et à l'exploitation des différences de points de vue.

3. Une didactique pragmatique dans un contexte appelé à évoluer

Les choix méthodologiques qui sous-tendent les séquences d'enseignement présentées dans ce livre et dans les deux films ont été opérés en croisant deux approches : une approche empirique par de nombreux essais dans le terrain et une approche théorique d'assimilation d'un certain nombre de concepts de la pédagogie, de la didactique et de l'épistémologie. Les documents qui sont proposés au lecteur sont donc le fruit d'une démarche de recherche-développement.

Cette recherche s'est réalisée dans un contexte qui impose des contraintes fortes. Le plus souvent, un enseignant travaille seul avec sa classe. Il est soumis à une grille horaire rigide. Le cloisonnement disciplinaire ainsi que les cloisonnements qui séparent les élèves et les classes sont rigides. Les liens que cet enseignant peut avoir avec ses collègues n'interfèrent que peu sur son enseignement. Il n'y a pas d'équipe pédagogique (sinon celle qui est constituée par l'enseignant et le chercheur extérieur à l'établissement scolaire). Cela est vrai dans toutes les histoires vécues présentées ici, à l'exception de l'expérience interdisciplinaire "Un peu de sel à l'école" présentée au chapitre 6 et qui met en scène une équipe de trois enseignants.

Autrement dit, l'espace de liberté qui a été mis à profit dans ces expériences d'enseignement est limité. Il relève de la manière dont les enseignants formulent leurs intentions pédagogiques, de la manière dont ils interprètent le plan d'études auquel ils sont soumis, de la manière dont ils conduisent leurs élèves à des *compétences* nouvelles et de la relation qu'ils entretiennent avec leurs élèves. Dans cet espace, il est possible de travailler en ayant à l'esprit un modèle d'apprentissage, de miser sur les interactions sociales et d'agir sur le rapport au savoir des élèves.

Dans l'école de demain, et qu'on entrevoit déjà³, les écoliers travailleront sous la conduite d'équipes pédagogiques dans des groupes ad hoc disposant d'une certaine autonomie. Des projets pédagogiques et des réalisations tangibles fédéreront les activités des élèves qui évolueront dans des structures souples et ouvertes sur la société. L'école, plus qu'aujourd'hui, travaillera en partenariat avec des musées et des espaces interactifs, avec des groupes de parents, avec des personnes ressources, chercheurs, journalistes, animateurs, médiateurs, responsables politiques et économiques, etc. Les technologies de l'information et de la communication y seront intégrées de manière naturelle.

Les expériences d'enseignement présentées ici, le plus souvent confinées à une classe et à un enseignant, ne préfigurent pas l'enseignement de demain. Cependant, les concepts et les outils mis en œuvre dans ces expériences peuvent entrer dans des démarches visant à faire évoluer l'école.

3 Voir à ce propos, l'appel lancé par André Giordan dans son ouvrage : Giordan, A. (2002). Une autre école pour nos enfants ? Paris : Delagrave

4. Comment se servir de ce livre et des films ?

Première partie – Deux histoires vécues

Les chapitres 1 et 2 sont consacrés à la présentation de deux histoires vécues par un enseignant et une enseignante. Le chapitre 3 apporte des commentaires et propose une prise de recul sur ces deux expériences.

Sur chacun des deux DVD qui accompagnent le livre, un film retrace une séquence d'enseignement qui s'est déroulée sur plusieurs semaines. Le premier film se rapporte à un enseignement qui concerne le métabolisme humain et animal à des élèves de 14 ans, le second se rapporte à l'enseignement de notions d'électricité à des élèves de 11 ans. Ces films font entrer le spectateur dans les classes et lui permettent de vivre des expériences.

- Les **chapitres 1 et 2** décrivent les contenus des séquences filmées. Ils transcrivent ce qui s'est passé dans les classes en complétant ce que montrent les films. Ils permettent au lecteur de s'orienter et de sélectionner les parties d'un film qu'il souhaite voir. Ils s'arrêtent sur la question de la modélisation en explicitant et discutant les *modèles* sur lesquels s'appuie le travail conceptuel conduit avec les élèves.
Il faut noter que les films sont relativement longs et qu'ils ne se regardent pas facilement de bout en bout. Pour un travail didactique, il convient de sélectionner les scènes qui s'avèrent pertinentes. Certaines de ces scènes semblent tirer en longueur : la volonté était de faire percevoir le rythme réel de travail avec les élèves. Au risque de frustrer le spectateur, d'autres scènes sont courtes et ne montrent que quelques secondes d'un travail qui peut avoir duré quelques dizaines de minutes. Dans les activités qui se pratiquaient en travaux de groupes, il arrive que seul le travail d'un groupe ou deux est montré. De plus, des séances entières n'ont pas été filmées.
- Le **chapitre 3** propose une prise de recul sur les deux histoires vécues présentées dans les chapitres 1 et 2, une sorte de méta analyse.

Deuxième partie – Concevoir la séquence d'enseignement

Après être entré dans deux classes et avoir décrit les pratiques de leurs enseignants, la manière dont ces séquences d'enseignement ont été conçue est explicitée. Un modèle de structuration est proposé au chapitre 4 et discuté au chapitre 5. Le chapitre 6 donne les comptes-rendus de trois expériences.

- Le **chapitre 4** expose un modèle pour la construction et l'animation de séquences d'enseignement. Ce *modèle des trois phases* est présenté avec de nombreuses références aux exemples vécus présentés dans les deux films et les chapitres 1 et 2. Il s'agit d'une théorisation de la pratique inspirée par la recherche en didactique de ces dernières décennies.
- Le **chapitre 5**, est là à la fois pour conforter et relativiser le *modèle des trois phases*.
- Le **chapitre 6** apporte des ouvertures en présentant des séquences d'enseignement qui ne respectent pas le *modèle des trois phases* mais qui sont des témoignages d'une volonté de réaliser des projets pédagogiques bien identifiés.
Deux des trois séquences présentées concernent l'enseignement des mathématiques

Troisième partie – Des considérations épistémologiques aux outils pratiques

C'est manifestement la partie la plus théorique du livre. Elle propose une réflexion de nature épistémologique pour fonder un certain nombre de choix pédagogiques et didacti-

ques et en particulier mettre l'accent sur l'importance du concept de *modèle* dans l'enseignement des sciences ainsi que sur la problématisation. Cette partie se termine avec un certain nombre d'aides données sous forme de schémas et tableaux qui s'attachent à la conception d'une séquence d'enseignement, à la problématisation, à l'expérimentation par les élèves et aux interactions sociales au sein d'un groupe d'apprenants.

- Le **chapitre 7** présente les fondements épistémologiques qui sous-tendent l'approche pédagogique proposée. Au travers d'exemples, l'idée de *modèle* est développée et une catégorisation est tentée.
- Le **chapitre 8** s'attache à la problématisation en tant qu'outil privilégié dont dispose l'enseignant qui adhère à un modèle d'apprentissage de type socioconstructiviste.
- Le **chapitre 9** donne des outils pratiques pouvant aider l'enseignant à construire puis à conduire ses séquences d'enseignement.

Quatrième partie – Quelques suggestions issues d'expériences d'enseignement

L'intention, dans cette dernière partie, est de partager des expériences. Il ne s'agit pas de proposer des préparations de leçons "clé en main", mais de témoigner de réalisations pouvant donner des idées aux enseignants. Tout ce qui est présenté dans ces pages a été vécu avec des élèves, parfois après des essais renouvelés et des améliorations apportées d'une classe à l'autre, d'une année à l'autre.

Contrairement au choix réalisé pour les chapitres 1 et 2, les séquences d'enseignement ne sont pas relatées en détail. L'accent est encore porté sur la problématisation et la modélisation dans des projets de construction conceptuelle. Les avantages d'approcher les contenus d'enseignement de manière globale et systémique sont mis en avant. La nécessité du décroisement des disciplines, si l'on veut atteindre une meilleure efficacité dans l'acquisition de compétences, est également soulignée dans cette dernière partie.

- Le **chapitre 10** est consacré à un enseignement relatif à la lumière et à la vision.
- Le **chapitre 11** traite de huit sujets dans lesquels se rejoignent les intentions du professeur de mathématiques et du professeur de sciences.
- Le **chapitre 12**, au travers de trois exemples, montre comment des approches systémiques du corps humain peuvent être tentées.

Il n'y a pas d'entrée privilégiée dans cet ouvrage. Chaque utilisateur choisira sa façon de s'en servir. Il est possible de commencer par regarder des séquences filmées, puis de chercher dans les chapitres 1 à 5 des réponses aux questions que suscite ce visionnement. À l'inverse, on peut lire l'un ou l'autre chapitre puis regarder des scènes filmées. Les chapitres 6 et suivants peuvent être lus pour eux-mêmes en fonction d'un intérêt particulier.

5. La science dont il est question - brièvement

Qu'est-ce que la science ? Qu'est-ce que la science pour nos élèves ? Dans quel cadre épistémologique s'inscrivent les pratiques pédagogiques mises en œuvre dans les séquences d'enseignement présentées ? Cette question est traitée au chapitre 7.

Dans cette introduction, il s'agit de "planter le décor".

De nombreuses études⁴ ont décrit les conceptions des étudiants et des enseignants à propos de la science. Beaucoup d'entre eux s'imaginent la science comme une démarche de construction de connaissances, très formalisée, stricte et fiable, procédant d'hypothèses que l'on valide ou réfute. D'un autre côté, étudiants et professeurs admettent souvent que l'acteur de la science, le chercheur, est humain, qu'il est susceptible d'a priori, de partis pris, de subjectivité (voire même de malhonnêteté). La contradiction entre ces deux visions n'est souvent pas perçue ou pas résolue !

Ces études postulent que les conceptions épistémologiques de l'enseignant déterminent sa manière de présenter la science en classe et contribuent à modeler les conceptions de ses élèves. Une recherche⁵ conduite à la Haute école pédagogique de Lausanne confirme que des élèves âgés de 14 à 15 ans sont sensibles à la posture épistémologique de la personne qui leur a enseigné les sciences pendant deux années. De plus, cette recherche a montré que les conceptions d'un groupe d'élèves à propos de la science évoluent favorablement si on place ces élèves dans une situation de recherche authentique, c'est-à-dire s'ils font eux-mêmes consciemment de la science et analysent leur démarche. Cette expérience est rapportée dans le §6.2 ("Des élèves de 14 à 15 ans confrontés à l'idée de science").

Pour tous les chercheurs en didactique ou en épistémologie, il est clair aujourd'hui que l'on ne peut pas définir LA méthode scientifique. Et l'idée d'une science qui construit des certitudes au moyen d'une approche inductive directement fondée sur des observations est jugée simpliste.

Chez les didacticiens des sciences, on ne croit pas à la démarche d'inspiration positiviste qu'André Giordan⁶ a désignée par le sigle OHERIC (pour Observation – Hypothèse – Expérience – Résultat – Interprétation – Conclusion). Selon ce modèle, toute démarche scientifique commence par des observations a priori, sans hypothèse préalable, sans théorie préexistante. De ces observations vont naître des hypothèses puis des expériences seront conduites. Les résultats de ces expériences seront alors recueillis et interprétés. Enfin, une conclusion sera induite de cette démarche. Comme André Giordan, nombreux sont ceux qui ont dénoncé la naïveté de ce modèle. Parmi eux, Daniel Raichvarg⁷ a utilisé l'expression « OHERIC ne répond plus » !

Les pédagogues considèrent généralement qu'il y a une sorte de similitude entre la manière dont le savoir se construit au travers des générations et la manière dont il se construit dans la tête d'un apprenant. Le *modèle allostérique* d'apprentissage⁸ d'André Giordan est exemplaire à cet égard. Ce modèle décrit les processus d'apprentissage et permet de prévoir comment fonctionnera un dispositif d'enseignement. Selon ce modèle, les apprentissages se font par déconstruction et reconstruction. Apprendre, c'est transformer

4 Voir les divers comptes-rendus de recherche parus dans « L'enseignement scientifiques vu par les enseignants », Aster, 26, 11-30. Paris : INRP. Voir aussi : Larochelle, M., Desautels, J. (1992), Autour de l'idée de science - itinéraires cognitifs d'étudiants, Québec : Les presses de l'Université Laval & Bruxelles : De Boeck Université

Voir la thèse de doctorat de Jean-Yves Cariou (2009), Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences. Université de Genève : FPSE, Laboratoire de Didactique et d'Épistémologie des Sciences.

5 Noverraz, J.-C., Parisod, J. M., Chabloz, B. (2006). L'idée de science chez des écoliers du secondaire en lien avec l'enseignement reçu. Formations et pratiques d'enseignement en questions, Revue des HEP de Suisse romande et du Tessin, No 4, 305-334. Neuchâtel : CDHEP. (on trouve le texte sur le site Internet du LDES, REDS, Université de Genève)

6 Giordan, A. (1978). Une pédagogie pour les sciences expérimentales. Paris : Le Centurion/Formation

7 Voir l'article de Daniel Raichvarg « Décoder le réel » qui développe une réflexion épistémologique à partir d'une analyse historique (document accessible sur Internet).

8 Voir :

- Giordan, A. (1987). Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Neuchâtel - Paris : Delachaux & Niestlé

- Giordan, A. (1998). Apprendre ! Baume les Dames : Belin

- Giordan, A. (1995). Les nouveaux modèles pour apprendre : dépasser le constructivisme ? Perspectives. - Paris. - Vol. 25, no 1, pp. 109-127

des conceptions, les rendre fonctionnelles dans des situations nouvelles. Enseigner n'est pas transmettre, enseigner c'est créer et entretenir un milieu qui va engager l'apprenant à confronter son savoir à des exigences nouvelles, à rendre ce savoir opératoire. On comprend alors la métaphore d'un biologiste : le terme "allostérique" se rapporte aux mécanismes de fonctionnement de certaines protéines qui se transforment et se réorganisent sous l'action du milieu dans lequel elles évoluent.

Pour aider les enseignants à intégrer dans leurs pratiques une conception plus réaliste de la science, Jean-Yves Cariou⁹, leur propose une démarche qu'il désigne par l'acronyme DiPHTeRIC pour Données initiales – Problème – Hypothèses – Tests – Résultats – Interprétation - Conclusion. Cet acronyme, bien sûr, est là pour souligner le contraste : DiPHTeRIC se démarque de OHERIC essentiellement parce qu'un problème est posé qui va susciter des hypothèses et orienter les élèves vers une recherche. Et parce que, selon Jean-Yves Cariou, « "données initiales" fait allusion à un cocktail d'idées anciennes (dont les conceptions) et de faits nouveaux dont la rencontre, justement, pose problème ». Des idées et des "faits", qui, lorsqu'ils sont mobilisables par les élèves, sont des éléments de ce que Jean-Louis Martinand¹⁰ et à sa suite, Maryline Coquidé¹¹, désignent par "réfèrent empirique". Enfin, la démarche DiPHTeRIC met l'accent sur la résolution de problèmes par les forces intellectuelles des élèves, auxquels est laissée la part d'initiative nécessaire pour qu'ils conçoivent et discutent des stratégies de résolution. Jean-Yves Cariou insiste sur un aspect particulier de cette démarche. Il nous dit : « DiPHTeRIC se démarque aussi d'OHERIC par son caractère non linéaire, buissonnant et "suiveur" de l'élève. J'appelle d'ailleurs maintenant son mode d'emploi Quo Vadis ?, pour un "où vas-tu ?" posé à l'élève plutôt qu'un "va par là !" imposé... ».

9 - Cariou, J.-Y. (2002). La formation de l'esprit scientifique – trois axes théoriques, un outil pratique : bulletin de l'APBG Biologie-Géologie n°2-2002, pp 279-318

- Cariou, J.-Y. (2007). Faire vivre des démarches expérimentales. Paris : Delagrave, Guide de poche pour l'enseignement. Voir aussi : Cariou, J.-Y. (2009), note N° 4 de ce chapitre.

10 Martinand, J.-L. (1986). Connaître et transformer la matière. Berne : Peter Lang.

11 Voir par exemple : Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. Aster, 26. Paris : INRP

Deux histoires vécues

Deux séquences d'enseignement, deux films, deux chapitres

Dans les chapitres qui suivent, deux séquences d'enseignement sont présentées telles qu'elles ont été vécues dans des classes de l'école secondaire (cycle d'orientation et collège) du canton de Vaud, en Suisse.

☐ Ces deux séquences ont été filmées. Des extraits de ces enregistrements ont été assemblés, munis de quelques commentaires écrits, puis gravés sur des disques vidéo. Cela a abouti aux deux DVD qui sont joints à ce livre.

Des cadres d'enseignement un peu différents

La première séquence, **Approche du métabolisme**, a été conduite par un enseignant en charge de trois heures de cours hebdomadaires de science à 24 élèves d'environ 14 ans. Les élèves avaient cours tous ensemble durant une heure hebdomadaire et venaient par demi-classe en salle de sciences (laboratoire) alternativement tous les 15 jours.

La seconde séquence, **Premiers pas en électricité**, a été conduite par une enseignante en charge de deux heures hebdomadaires de cours de science à 21 élèves d'environ 11 ans. Tous les élèves bénéficiaient ensemble de deux heures de cours hebdomadaires.

Remarque : dans le canton de Vaud, une heure de cours dure en principe 45 minutes.

Un vécu à voir à des niveaux différents

Les pages qui suivent décrivent le déroulement des deux séquences avec des références aux scènes qui sont visibles sur les films. Le texte complète les images des films, d'une part en explicitant ce qui est donné à voir et, d'autre part, en décrivant des moments vécus par certains élèves ou la classe entière, moments qui n'apparaissent pas dans le film. En effet, lors des travaux en groupes, il a fallu faire des choix quant aux élèves filmés. D'autre part, certaines scènes ont dû être éliminées du film en raison de leur mauvaise qualité et quelques leçons n'ont pas été filmées du tout.

Cette description se fait ici à un premier degré. Il s'agit de témoigner de ce que les élèves ont vécu, d'accéder à ce qu'ils ont produit, d'accéder également aux documents produits par l'enseignant et par l'enseignante. Les intentions des enseignants, la structuration de leur séquence d'enseignement, ce qu'ils attendent des élèves n'apparaissent qu'en filigrane. Par contre, quelques paragraphes ont été consacrés à expliciter les *modèles* qui ont sous-tendus la conceptualisation du métabolisme dans la première séquence et la conceptualisation l'électricité dans la seconde séquence d'enseignement.

Un regard au deuxième degré peut être porté sur ce qui s'est passé dans ces deux séquences en relation avec une théorisation de la pratique. Ce regard est proposé dans les chapitres suivants.

1. Approche du métabolisme et modélisation à 14 ans

1.1. Structure de la séquence d'enseignement

Cette première séquence a été conduite par un enseignant en charge de trois heures de cours hebdomadaires de science à des élèves âgés d'environ 14 ans. Elle s'est déroulée sur 7 semaines. Les élèves, au nombre de 24, étaient répartis en deux demi-classes (demi-classe A et demi-classe B) comprenant chacune 12 élèves. Ces demi-classes étaient réunies les vendredis pour une heure d'enseignement hebdomadaire (classe entière). Cette heure d'enseignement avait lieu dans une salle de cours ordinaire (sans équipement de laboratoire). Les jeudis, il y avait alternance : chacune des demi-classes A et B bénéficiait, une semaine sur deux, de deux heures de cours en salle de science (équipée en matériel de laboratoire). Ainsi chaque élève avait en moyenne deux heures hebdomadaires de sciences. L'enseignant a tiré profit de cette configuration pour créer une dynamique de classe : l'heure commune était dévolue à des mises en commun et à des institutionnalisations ; les deux heures de labo étaient consacrées à des recherches et discussions en petits groupes ; souvent, durant l'heure commune, les élèves échangeaient à propos de ce qu'une demi-classe avait fait la veille au laboratoire.

Pochette du DVD



Sur le DVD, le début de chaque scène (chapitre) est un point d'accès au film. Il y a un point d'accès pour chacune des 11 séances filmées ainsi que pour un certain nombre d'activités significatives.

Le tableau ci-dessous donne la liste des scènes du film, leur durée, une indication quant à leur contenu et le numéro de la semaine dans le déroulement de la séquence d'enseignement. La dernière colonne caractérise la phase de la séquence selon le modèle qui est décrit au chapitre 4.

Dans ce tableau ainsi que dans la description de la séquence qui suit, on a les conventions suivantes :

- LABO A = demi-classe A travaillant en salle de sciences (laboratoire)
- LABO B = demi-classe B travaillant en salle de sciences (laboratoire)
- LABO A+B = demi-classe A (une semaine) puis demi-classe B (une autre semaine) travaillant en salle de sciences (laboratoire)
- CLASSE = classe entière (demi-classe A et demi-classe B réunies en salle de cours)
- Les séances ont été numérotées dans l'ordre chronologique du point de vue de l'enseignant – Les élèves ne vivent pas chacun toutes les séances puisque certaines d'entre-elles ne concernent qu'une demi-classe. Une séance CLASSE dure une heure (45 min.) Une séance LABO dure deux heures (100 min. avec 10 min. de pause)
- N° Scène = numéro de la scène (ou du chapitre) correspondant du film.

Tableau des scènes (chapitres) du film

N° Scène	Chrono en hh:mm:ss		Désignation de la scène (du chapitre)	Contenu de la scène (du chapitre)	Semaine	Phase
	Début	Durée				
1	0:00:00	0:00:23	Titre			
2	0:00:23	0:02:05	Labo A+B Séances 1+3	Rallye énergie	1+2	Immersion
3	0:02:28	0:00:35	Classe Séance 2	De Atkins au 1er principe de la thermodynamique	1	Immersion
4	0:03:03	0:02:35	Classe Séance 4	Formalisation de ce qui a été vécu dans le rallye	2	Immersion & conceptualisation
5	0:05:38	0:02:13	Labo A Séance 5	6 questions sur le métabolisme	3	Immersion & conceptualisation
6	0:07:51	0:14:55	Discussion hypothèses	Formulation d'hypothèses	3	Immersion & conceptualisation
7	0:22:46	0:10:13	Intro test hypothèses	Test des hypothèses	3	Conceptualisation
8	0:32:59	0:07:40	Classe Séance 6	Échanges sur les hypothèses	3	Conceptualisation
9	0:40:39	0:06:07	Synthèses positions	Synthèse - Réponses aux questions	3	Conceptualisation
10	0:46:46	0:01:57	Labo B Séance 7	Quelle énergie pour le corps humain ?	4	Conceptualisation
11	0:48:43	0:02:03	Synthèse des propositions	3 méthodes d'évaluation de l'énergie	4	Conceptualisation
12	0:50:46	0:07:30	Travail sur les hypothèses	Recherche pratique	4	Conceptualisation
13	0:58:16	0:08:58	Classe Séance 8	Communication de la recherche	4	Conceptualisation
14	1:07:14	0:06:35	Labo A Séance 9	Réflexion sur la recherche	5	Conceptualisation
15	1:13:49	0:03:52	Nouvelles recherches	Reprise de la recherche	5	Conceptualisation
16	1:17:41	0:07:36	Classe Séance 10	Bilan des recherches	5	Conceptualisation
17	1:25:17	0:02:35	Exercices de réinvestissement	Nouvelles situations – Évaluation formative	5	Réinvestissement
18	1:27:52	0:01:09	Labo A+B Séan. 11+12	Étude de cas (cochon d'Inde)	6+7	Réinvestissement
19	1:29:01	0:00:29	Élèves en action	Travail en groupes sur l'étude de cas	6+7	Évaluation certificative
20	1:29:30	0:00:20	Bilan et fin	Compétence atteinte !		
Fin	1:29:50	0:00:23				

1.2. Déroulement de la séquence – Le vécu des élèves

Séance 1 (90 min.)

Jeudi semaine 1

LABO A

Scène 2

Rallye énergie

En duos, les élèves passent par les postes du *rallye* d'immersion. Pour chaque poste, ils remplissent une fiche (annexe A1) qui va attester d'un savoir-faire ou exprimer une *conception*.

📋 Voici les consignes données aux élèves dans les postes visibles dans le film :

1. Énergie - pédaler sur un vélo ergomètre

Mets le compteur des kcal à zéro et pédale jusqu'à ce que tu aies dépensé 8 kcal c'est-à-dire l'énergie contenue dans un demi-morceau de sucre. Combien de temps as-tu mis ?

2. Énergie - combustion dans l'air expiré

Chronomètre le temps que la bougie continue à brûler à partir du moment où tu la recouvres avec le bocal en verre. Remplis le récipient d'air expiré et chronomètre à nouveau le temps que la bougie reste allumée. Indique ce qui se passe...

3. Énergie - aliments (nutriments)

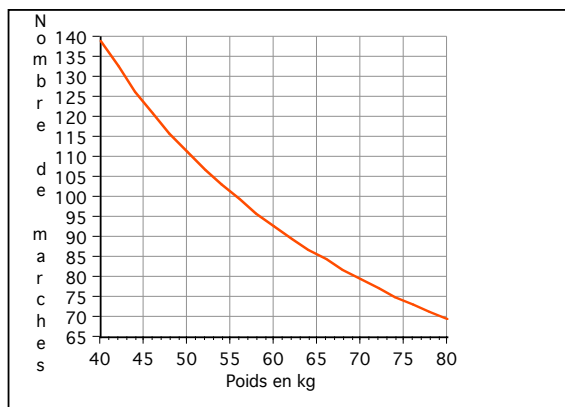
Trie les aliments en deux catégories: 1) ceux qui, d'après toi, peuvent donner de l'énergie quand on les digère, 2) ceux qui n'en donnent pas. Mets les noms des aliments dans le tableau !

4. Énergie - perte thermique - *modèle du tonneau*

Ce tonneau a été rempli de 60 litres d'eau tiède. Sur l'écriteau, on a écrit une heure et une température. C'était la température de l'eau à l'heure indiquée. Depuis, l'eau s'est refroidie. Remue l'eau avec la pagaie, indique l'heure et la température de l'eau au moment où tu passes dans ce poste (thermomètre No 1). Indique aussi la température de l'air (thermomètre No 2). D'après toi, vers quelle heure l'eau sera-t-elle à la même température que l'air de la salle ?

📋 Plusieurs postes du *rallye* n'apparaissent pas dans le film ou seulement en arrière-plan. Les consignes données aux élèves dans ces postes sont les suivantes :

5. Énergie - monter des escaliers



Dépense une énergie égale à celle qui est contenue dans un demi-morceau de sucre en montant des escaliers. Tu peux choisir de te charger ou non du sac à dos. As-tu pris le sac? Combien de marches as-tu gravi ? Combien pesais-tu avec le sac ?

Un diagramme accompagne la consigne, qui permet aux élèves de déterminer le nombre de marches à gravir en fonction de leur poids.

6. Énergie - température d'équilibre

Ici, on a trois thermomètres. Le premier est simplement posé sur la table, le deuxième est dans de la laine, le troisième est à l'intérieur d'une fourrure d'animal. Note sur la fiche ce qu'indiquent, selon toi, les deux derniers thermomètres. On ne les sortira qu'à la fin de la leçon !



7. Énergie – pertes thermiques - récipient isolé / non isolé



Un des récipients est nu, l'autre est habillé. Dans ces deux récipients, on a mis de l'eau chaude. La température et l'heure de remplissage sont écrites sur le carton. Regarde l'heure, relève la température du récipient nu, relève celle du récipient habillé. Indique l'heure et les températures ! Quelles seront les températures dans plusieurs jours !

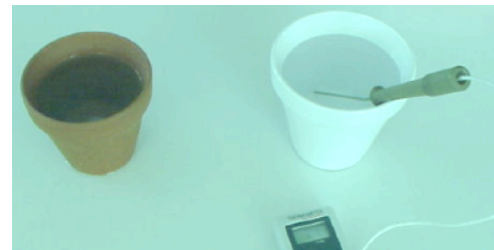
Le récipient nu est une simple boîte de conserve. Le récipient habillé est une boîte de conserve identique enveloppée d'un lainage.

8. Énergie - pouvoir énergétique - carotte, pain, chocolat

Découpe et mange successivement 1.5 g de chocolat, 3.5 g de pain, 20 g de carotte. Ces trois quantités contiennent chacune la même énergie que 2 g de sucre (un demi-morceau) ! Quand tu manges du chocolat, que manges-tu surtout ? Du sucre, de la graisse, du lait, du cacao ?

9. Énergie - refroidissement d'un récipient par vaporisation

Ces deux récipients ont été remplis, il y a quelques heures, avec de l'eau qui avait la même température. Relève la température actuelle de l'eau dans les deux récipients ! À ton avis, quelle est la température de l'air ambiant et pourquoi l'eau est-elle plus froide dans un des deux récipients ?



Dans ce poste, les élèves trouvent deux récipients en terre cuite contenant chacun la même quantité d'eau. L'un de ces récipients est poreux, l'autre, émaillé, est imperméable.

10. Énergie - vitesse de combustion - masse brûlée de saindoux

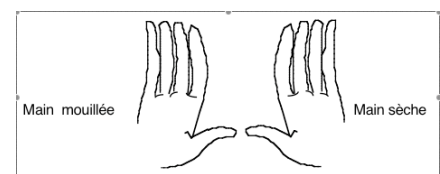


Le saindoux est de la graisse de porc. Cette graisse est de même nature que celle que tu stockes dans ton corps comme réserve d'énergie. Allume la lampe, pose-la sur la balance, regarde l'heure à ta montre et l'affichage de la balance. Il se trouve que cette lampe fournit justement à peu près l'énergie dont ton corps a besoin pour maintenir sa température. Combien de grammes de saindoux brûlent en 2 minutes ?

La lampe à saindoux est un pot de saindoux du commerce dans lequel on a planté une mèche en coton. Elle est posée ici sur le plateau d'une balance de laboratoire.

11. Énergie - refroidissement de la main par vaporisation

Mouille l'une de tes mains en la trempant dans l'eau. Place ta main sèche et ta main mouillée côte à côte dans le courant d'air du sèche-cheveux. Explique et dessine ce que tu ressens.



Séance 2 (45 min.)**Vendredi semaine 1****CLASSE****Scène 3****Réflexions à propos d'un documentaire sur le régime Atkins**

✘ Cette séance est mentionnée dans le film sous forme de textes (scène 3), mais n'a pas donné lieu à des enregistrements vidéo. Voici ce qui se passe durant cette séance.

L'enseignant lance une discussion à propos de l'obésité. Cette discussion fait émerger les *conceptions* des élèves à ce propos :

- « L'obésité, c'est quand on mange trop »
- « Je mange énormément, mais je prends pas de poids »
- « Ça dépend tout de ce qu'on mange »
- « C'est le gras qui fait engraisser »
- « Pour ne pas engraisser, il ne faut pas manger des choses sucrées »
- « Ce qui compte, c'est l'énergie. Il faut regarder ce qui est écrit sur les emballages »
- « Je connais quelqu'un qui pèse bien plus que moi et qui ne mange pas plus que moi »
- « L'obésité, c'est génétique. On n'y peut rien »
- « C'est peut-être génétique, mais si tu ne manges rien, tu ne va pas devenir gros ! »

L'enseignant fait remarquer aux élèves que bien que certaines des idées émises semblent contradictoires, rien n'est vraiment faux dans ce qu'ils viennent d'exprimer. Il leur dit : « L'obésité est un phénomène complexe qui n'a pas une explication simple. On peut à ce stade se demander si effectivement le bilan de tout ce qui est mangé (bilan énergétique) n'est pas plus élevé chez quelqu'un qui prend du poids que chez quelqu'un dont le poids est stable. On peut aussi se demander s'il est possible de demeurer obèse en ne mangeant pas plus que quelqu'un qui demeure maigre ».

Puis l'enseignant annonce aux élèves qu'il va leur montrer un film présentant un débat autour d'un régime permettant aux obèses de retrouver un poids raisonnable.

Le script de ce film est donné dans l'annexe B1 sous forme d'un texte divisé en 15 chapitres.

Les élèves sont mis en projet de la manière suivante : « Le régime dont il est question s'appelle "régime Atkins" du nom d'un médecin qui l'a proposé. C'est un régime particulier car il ne limite pas la quantité de nourriture mais proscrit certains aliments. Avant que nous regardions le film, j'aimerais que vous me disiez ce que vous en pensez ».

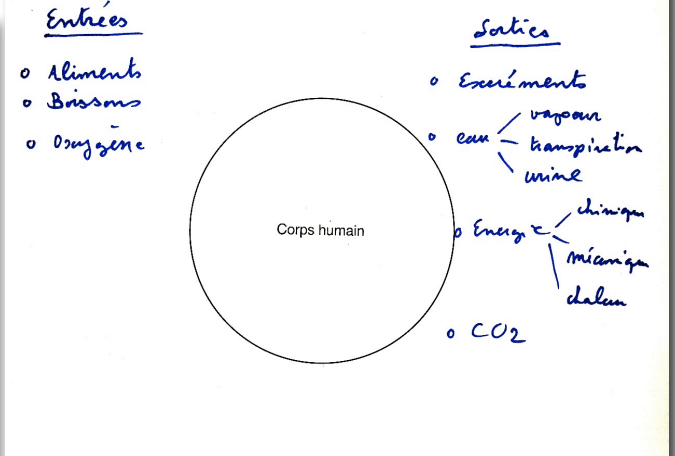
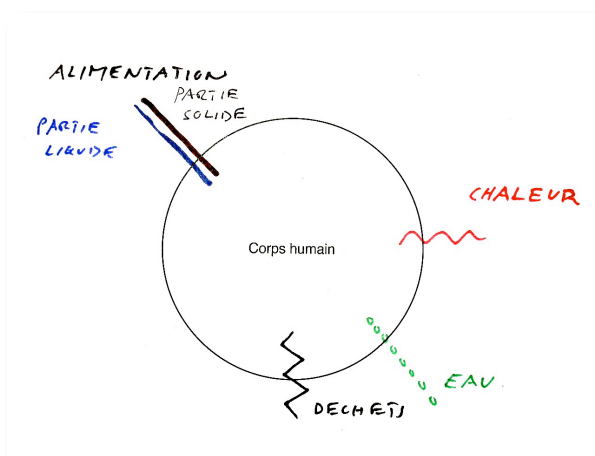
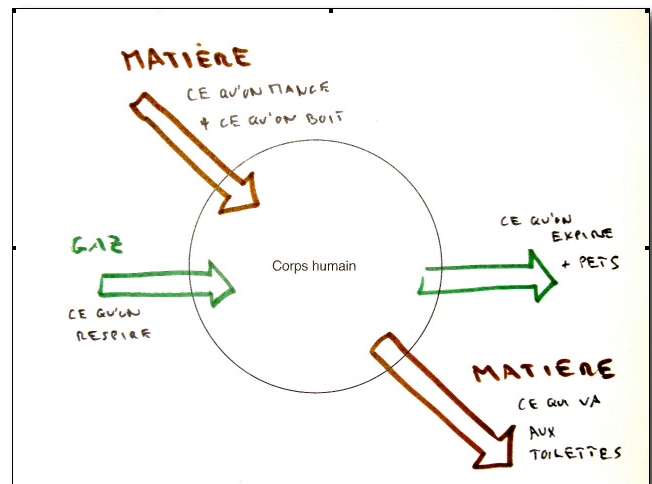
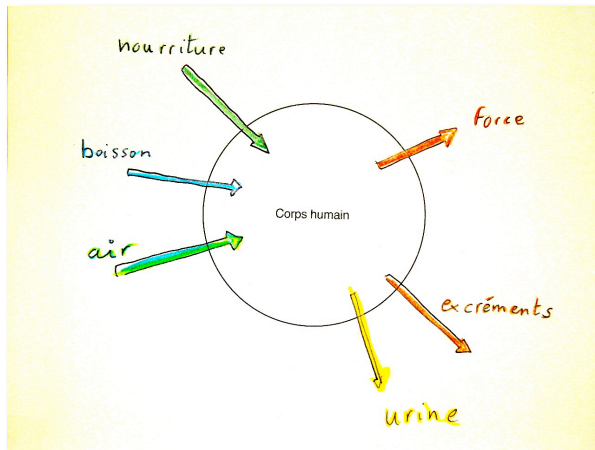
Cette mise en situation provoque une discussion dans la classe. Voici quelques points de vue exprimés :

- « Si on peut manger tout ce qu'on veut, on va continuer à trop manger et pas maigrir »
- « Ça dépend des aliments qu'on interdit »
- « Pour maigrir, il faut tout simplement ne pas manger de graisse »
- « Non, il ne faut pas manger de sucreries »
- « Si on ne mange que des légumes, pas de pâtes, de pomme de terre etc., on va forcément maigrir »

L'enseignant demande aux élèves de regarder le documentaire en tentant de voir si ces idées, « que l'on peut prendre pour des hypothèses », se confirment.

Les cinq premiers chapitres du documentaire sur le régime Atkins sont montrés aux élèves. L'enseignant opère quelques "arrêts sur image" pour apporter des explications sur des termes employés dans le commentaire. Il précise : « ce qu'on entend par hydrate de carbone, c'est ce que vous avez appelé pâtes, pomme de terre, sucreries etc. ».

Le visionnement est arrêté juste après que l'objection du « premier principe de la thermodynamique » est formulée. Pour conduire les élèves à une réflexion à propos de cette objection, l'enseignant place les élèves en groupes de quatre. Chaque groupe doit proposer un schéma des entrées et sorties du corps humain. Ces schémas sont comparés et des hypothèses sont émises sur la manière dont la matière et l'énergie est conservée. Cette conservation fait l'objet d'un consensus en ce qui concerne la matière, mais en ce qui concerne l'énergie, l'enseignant doit rafraîchir la mémoire des élèves avec les concepts qui avaient été étudiés l'année précédente (chaînes énergétiques, changements de formes et conservation de l'énergie).



Les schémas de quatre groupes d'élèves

Ensuite, la fin du documentaire est visionnée. Au cours du visionnement, l'enseignant explicite encore un certain nombre de termes utilisés : glucides, lipides, protides, protéines, métabolisme, cétose. Les élèves prennent acte des conclusions du documentaire qu'ils comparent aux hypothèses émises. Pour l'essentiel ces conclusions sont les suivantes :

- Il est vrai que les lipides et les glucides participent de l'excès de poids.
- Les personnes qui suivent le régime Atkins ne rejettent pas plus d'énergie que les autres, ni sous forme de chaleur, ni sous forme de substance énergétique.
- Pourtant, le premier principe de la thermodynamique est respecté. Donc, le régime Atkins est efficace dans la mesure où il fait perdre l'appétit.

L'enseignant demande aux élèves de prendre un peu de recul à propos de ce documentaire et de dire en quoi il est convaincant et en quoi il est discutable. Avec pertinence, les élèves observent que des effets journalistiques sont utilisés pour créer un certain suspense. Au début du film, par exemple, le personnage Brian est présenté en train de manger goulûment alors qu'il suit le régime Atkins. Le commentaire insiste en disant que Brian peut manger autant qu'il le veut. Cela est démenti dans la suite puisqu'on apprend que Brian a perdu l'appétit avec ce régime. D'autre part, les élèves remarquent que des affirmations contradictoires sont faites au nom de la "science" et que le sens de ce mot n'est pas clair. Tantôt, la "science" exige des explications (il faut raccrocher les affirmations à des *modèles* théoriques), tantôt la "science" exige des "faits" d'observation (il faut avoir fait des tests comparatifs).

Pour conclure, l'enseignant demande aux élèves de se souvenir de ce résultat qui va être utile à connaître dans la suite du cours :

Globalement, pour un poids corporel stable, l'énergie qui entre dans le corps en ressort nécessairement (sous une forme ou une autre).

C'est le premier principe de la thermodynamique.

Séance 3 (90 min.)

Jeudi semaine 2

LABO B

(Scène 3)

Rallye énergie (2^e demi-classe)

À son tour, la demi-classe LABO B, vit le *rallye* énergie (~~X~~ leçon non filmée).

Séance 4 (45 min.)

Vendredi semaine 2

CLASSE

Scène 4

Retour sur le *rallye*

L'enseignant demande aux élèves d'évoquer ce qu'ils ont vécu dans les postes du *rallye*. Il les fait échanger leurs points de vue et réfléchir aux phénomènes qui se sont manifestés.

Parmi les *conceptions* exprimées et qui pourront poser problème, il faut noter :

- « Les vitamines des aliments apportent de l'énergie ».
- « Le gaz contenu l'eau gazeuse apporte de l'énergie ».
- « L'huile ne donne pas d'énergie au corps, elle en prend car elle est difficile à digérer ».
- L'énergie nécessaire à accomplir une prestation sportive dépend de l'entraînement : « Plus on est entraîné, moins cela demande d'énergie ».
- « À poids égal, un costaud a besoin de moins d'énergie car il se fatigue moins que quelqu'un qui est moins fort ».
- Systématiquement, humide = froid, sec = chaud
- « Tout ce qui est mouillé est plus froid que l'environnement ».

L'échange des idées à propos de ces *conceptions* amorce la remise en cause de certaines d'entre elles.

Mais à ce stade, l'enseignant peut déjà tirer quelques conclusions partagées par ses élèves :

- La même énergie de 8 kcal a pu être dépensée rapidement moyennant un gros effort, en fait une grande puissance, ou lentement moyennant un effort plus modeste (une puissance plus faible).
- Lorsqu'il s'agit d'escaliers à monter, l'énergie dépensée par le corps humain peut être mise en rapport avec le poids.
- Il y a débat à propos des vitamines et des sels minéraux. Certains pensent que ce sont des substances qui apportent de l'énergie, d'autres pensent que ce n'est pas le cas !
- Le chocolat contient plus d'énergie que le pain qui, lui-même, en contient plus que la carotte. Pour certains, le principal constituant du chocolat est le cacao, pour d'autres c'est le lait, pour d'autres le sucre. Peu ont pensé que ce pourrait être de la graisse.
- L'évaporation crée un refroidissement – Certains disent que l'évaporation demande de l'énergie.
- La boîte de conserve « habillée » se refroidit moins vite que la boîte « nue ». La laine qui l'entoure freine le refroidissement.
- On l'a constaté après que tout le monde soit passé dans le poste N° 6, les thermomètres placés dans de la laine ou dans la fourrure indiquent la même température que le thermomètre « nu ». Le rôle d'un habit n'est donc pas de produire de la chaleur. Si on parle d'« habits chauds », on peut supposer que c'est parce qu'ils conservent la chaleur.
- La bougie brûle moins longtemps dans de l'air expiré. Certains l'expliquent par le fait que l'air expiré contient moins d'oxygène que l'air ambiant. D'autres disent que l'air expiré contient du gaz carbonique qui éteint la flamme.

L'enseignant distribue aux élèves un document intitulé “Ce qu'il faut retenir en lien avec les postes du *rallye*” (annexe C1). Ce document contient des affirmations qui vont parfois au-delà de ce que les élèves ont eux-mêmes proposé. Une amorce de conceptualisation a eu lieu qui autorise l'enseignant à faire un apport structurant. La suite montre que certaines de ces affirmations ne seront intégrées qu'après la poursuite d'un travail conceptuel. La réaction de combustion ou d'oxydation notamment.

Pour terminer la séance, l'enseignant donne des devoirs aux élèves :

Devoir pour chaque élève (à faire pour le vendredi de la semaine 3)

- Préparer et écrire une question de compréhension ou une remarque personnelle à propos du contenu du document “Ce qu'il faut retenir en lien avec les postes du *rallye*”.
- Venir en classe le vendredi avec ses questions ou remarques.
- Sur la base des observations recueillies dans le poste N° 10 du *rallye*, calculer la masse de graisses que brûle la lampe à saindoux en 24 heures.

Séance 5 (90 min.)

Jeudi semaine 3

LABO A

Scènes 5-6-7

Premier temps : six questions à traiter (20 min de travail – scène 5)

Le projet donné aux élèves est de travailler à partir de six questions relatives au métabolisme humain et à une comparaison entre corps humain et automobile, et de préparer des réponses qui pourront être communiquées à l'autre demi-classe et discutées.

Les élèves travaillent en cinq groupes. Il y a quatre duos et un groupe de trois (une élève est absente). La consigne est de proposer des réponses qui ont le statut d'hypothèses. Les questions sont les suivantes :

1. L'huile, on peut la brûler. A ton avis donne-t-elle la même énergie quand on la mange ?
2. À ton avis, que se passe-t-il avec l'air expiré pour que la bougie dans le bécher brûle moins longtemps ?
3. À ton avis, penses-tu que les excréments contiennent encore de l'énergie utilisable par le corps humain ?
4. Une voiture possède un réservoir dans lequel on trouve de l'essence ou du diesel. À quoi peut-on comparer ce réservoir chez l'homme ? fais une proposition !
Même question pour le jerrican que l'on emporte dans le coffre de la voiture.
5. À ton avis, à quoi servent le ventilateur et le radiateur d'une voiture. Y a-t-il un équivalent chez l'homme ?
6. L'hiver, on voit un nuage blanc sortir du pot d'échappement des voitures. Comment l'expliques-tu ? Y a-t-il un équivalent chez l'homme ?

Deuxième temps : discussion des hypothèses (25 min de travail – scène 6)

Les élèves sont réunis autour de quelques tables disposées en "cercle". L'enseignant conduit un échange des réponses proposées par chacun des groupes et reformule les hypothèses retenues par la demi-classe lors de cette mise en commun.

Troisième temps : vérification des hypothèses (35 min de travail – scène 7)

Des ressources (documents, poste Internet, matériel) sont mises à la disposition des élèves pour leur permettre de tester les hypothèses retenues. En principe chaque groupe doit traiter les six questions, mais l'enseignant veille à ce que chaque groupe commence par une autre de ces questions.

Parmi les ressources, figure un tableau des équivalences d'unités d'énergie qui est affiché en classe. Ces équivalences sont présentées comme des informations utiles (il n'y a pas de travail de conceptualisation à leur propos).

$1 \text{ (k)cal} = 4.2 \text{ (k)J}$	$1 \text{ Wh} = 3.6 \text{ kJ}$
$1 \text{ (k)J} = 0.24 \text{ (k)cal}$	$1 \text{ kJ} = 0.27 \text{ Wh}$

À la fin de la séance, l'enseignant attribue à chaque groupe les questions dont il sera responsable le lendemain pour un travail en classe entière.

Séance 6 (45 min.)

Vendredi semaine 3

CLASSE

Scènes 8-9

L'enseignant donne la solution du problème de la consommation de graisse par la lampe à saindoux et recueille les questions formulées par les élèves (devoir donné en fin de séance 4). ✕ Cette partie n'a pas été filmée.

Les élèves de la demi-classe A reprennent, avec les élèves de la demi-classe B, les questions et les réponses du travail de la veille (25 min de travail – scène 8)

L'enseignant met en place une structure de travail dans laquelle les élèves vont pouvoir poursuivre leurs réflexions à propos des six questions abordées la veille par la demi-classe A.

Les 24 élèves sont répartis en 6 groupes comprenant chacun deux élèves de la demi-classe A et deux élèves de la demi-classe B. Les élèves de la demi-classe A fonctionnent comme des experts. L'enseignant donne aux élèves un document comportant « les six réponses du maître » (annexe D1). Les groupes sont appelés à (re)prendre connaissance des questions, à comprendre les réponses élaborées la veille et à confronter ces réponses à celles de l'enseignant. Chaque groupe doit traiter au moins trois questions selon un plan donné. Afin d'avoir une vue d'ensemble, l'enseignant demande aux élèves d'exprimer le degré de compréhension finale de chaque réponse au moyen de pastilles colorées qu'ils doivent disposer sur un panneau.

Ce panneau comporte un tableau à cases qui croise les groupes et les questions/réponses. Dans ces cases, un élève, le « secrétaire » délégué de chaque groupe, va coller des pastilles selon le code suivant :

- Pastille verte : pas de problème, réponse de l'enseignant acceptée et comprise
- Pastille bleue : réponse de l'enseignant acceptée mais question(s) à poser pour bien comprendre
- Pastille rouge : désaccord ou incompréhension.



Les questions ou objections de chaque groupe doivent être écrites sur une feuille de papier et sont remises à l'enseignant en fin de leçon.

(Une reproduction de ce panneau, avec toutes les pastilles collées en fin de séance, est donnée dans l'annexe E1).

Synthèse des positionnements - apports de l'enseignant (15 min de travail – scène 9)

L'enseignant se réfère au panneau sur lequel les groupes ont collé des pastilles et reprend les questions pour lesquelles il y a des incompréhensions manifestes (pastilles rouges). La principale difficulté rencontrée par quelques élèves porte sur la notion d'oxydation. L'enseignant fait un apport en s'appuyant sur l'idée de combustion qui est plus familière aux élèves et sur une expérience¹ : il fait circuler de main en main un « coussinet thermique » qui devient chaud à partir du moment où on l'ouvre pour permettre à l'oxygène de l'air de venir oxyder un mélange contenant de la poudre de fer et du charbon actif.

En fin de leçon, l'enseignant distribue un document théorique de synthèse qui institue une comparaison entre l'homme et la voiture, (annexe F1). Il donne à tous les élèves une tâche à faire pour le vendredi suivant : « Chacun doit noter une interrogation, une incompréhension à propos de ce texte ».

Un devoir à faire (pour le jeudi suivant) est donné à trois élèves volontaires de la demi-classe B : Chacun d'eux doit établir la liste exacte de tout ce qu'il mange et boit durant une journée en précisant bien les quantités en grammes ou en décilitres. L'enseignant précise : « Ne pas oublier le sucre ajouté, le beurre, les huiles dans la salade, etc. - Chaque fois que c'est possible, relever les teneurs énergétiques des aliments, les nombres de kilojoules par 100 g indiqués sur les emballages ».

¹ Plus exactement une « expérienciation » selon la terminologie introduite dans le §4.7

Séance 7 (90 min.)**Jeudi semaine 4****LABO B****Scènes 10-11-12**

Pour cette séance de travail, les élèves sont répartis en trois équipes de quatre.

Détermination des besoins énergétiques journaliers, un défi (10 min de travail – scène 10)

L'enseignant pose le problème des besoins énergétiques d'un être humain sous forme d'un défi : « Nous savons que nous avons tous besoin d'énergie pour vivre, la question est de savoir combien il nous en faut. Comment le savoir ? – À vous de le trouver ! ». Il commence par donner cinq minutes aux élèves pour réfléchir à la question et lancer quelques idées. Durant ce temps, il précise que chaque groupe devra, pour la fin de la séance, préparer un poster rendant compte d'une méthode permettant de répondre à la question. Ce poster devra être présenté le lendemain aux élèves de la demi-classe A qui poursuivront ensuite la recherche. L'enseignant compare les élèves à des chercheurs qui devront faire une communication à des pairs.

Des idées pour relever le défi (20 min de travail – scène 11)

L'enseignant recueille les idées proposées par les élèves. Il note au tableau ces propositions. D'emblée, les élèves parlent de comparer l'énergie contenue dans les aliments ingérés en 24 heures à celle qui est contenue dans les excréments rejetés dans la même période (il a été institué que cette part, provenant de la cellulose, est de l'ordre de 10%, sans qu'il soit précisé que les informations diététiques données à propos des aliments ne comportent pas cette part). Une autre idée est émise très vite : la quantité d'oxygène consommé doit permettre de déterminer l'énergie à laquelle cet oxygène est associé (les élèves induisent cela de leurs expériences avec une bougie et du lien qu'ils ont été conduits à faire entre oxydation et combustion).

Une troisième méthode, directe celle-ci, consistant à mesurer l'énergie perdue par refroidissement n'est pas proposée d'emblée, mais vient à l'esprit d'un élève lorsque l'enseignant remarque que les deux méthodes évoquées concernent l'énergie qui entre et non pas celle qui sort du corps humain. Les élèves évoquent le poste du *rallye* dans lequel ils ont observé le refroidissement d'un tonneau d'eau de 60 litres.

Finalement, trois méthodes sont retenues, consistant à évaluer - les entrées alimentaires - la consommation d'oxygène - les pertes thermiques.

Recherches empiriques (55 min de travail – scène 12)

L'enseignant donne aux élèves un document qui formalise cinq principes, appelés « hypothèses de recherche », et qui les aide à élaborer des protocoles (Annexe G1).

Chaque groupe s'attache à l'une des méthodes retenues. L'enseignant assiste les élèves en passant d'un groupe à l'autre. Il veille à ne pas donner lui-même une marche à suivre et fait interagir les élèves au sein des groupes.

L'idée de mesurer la quantité d'oxygène utilisé est suggérée. Il manque aux élèves une relation qui puisse lier la quantité d'oxygène et l'énergie. Il leur manque aussi des informations qui leur permettent de déterminer la quantité d'oxygène contenu dans l'air inspi-

ré et dans l'air expiré. Aux élèves devenus demandeurs, l'enseignant donne un nouveau document "informations complémentaires" (Annexe H1).

Quant à l'idée de mesurer les pertes thermiques, elle est aussi suggérée par les principes ci-dessus, mais les élèves ont besoin d'un apport sur l'idée de modélisation. Il faut aussi qu'on leur dise qu'on peut travailler sur un petit intervalle de temps dans lequel le corps se refroidit sans compensation et à l'issue duquel l'énergie nécessaire pour faire remonter la température est mesurée ou calculée. La durée de cet intervalle doit être telle que le refroidissement soit mesurable avec peu d'incertitude (donc assez grand : de l'ordre de deux ou trois degrés) et qu'il ne soit pas trop grand pour éviter l'erreur provenant du fait que les pertes diminuent avec la baisse de température. Il s'agit ensuite de multiplier l'énergie nécessaire durant cet intervalle par le nombre d'intervalles que contiennent 24 heures.

Chacun des trois groupes prépare un poster qui servira à présenter sa démarche à la classe le lendemain. À cette fin, à l'issue de la séance, trois élèves sont désignés comme porte-parole de leur groupe.

Séance 8 (45 min.)**Vendredi semaine 4****CLASSE****Scène 13**

L'enseignant commence par recueillir les questions et remarques que les élèves devaient préparer à domicile à partir du document distribué la semaine précédente (annexe F1). L'enseignant dressera un tableau (annexe I1) de ces questions et remarques et s'en servira dans la suite de la séquence.

Travail interactif entre les deux demi-classes à propos de la recherche concernant l'énergie nécessaire en 24 heures

L'enseignant reformule lui-même le défi qui a été proposé la veille aux élèves de la demi-classe B et donne comme nouveau projet aux élèves de finir les calculs commencés s'il y a lieu, de discuter les résultats obtenus et de proposer des améliorations de protocole qui puissent être mises en pratique par la demi-classe A le jeudi suivant.

Les élèves sont disposés en 6 équipes comprenant chacune deux élèves d'un des groupes de la veille et deux élèves de la demi-classe A. Les posters préparés la veille sont affichés sur le tableau noir et présentés par les porte-parole. En plus, une grande affiche comprenant les schémas comparatifs "Corps humain – Véhicule à moteur" est placardée (schémas visibles au §1.3).

À l'issue des trois présentations, l'enseignant invite les élèves à prendre un peu de recul, à comparer les énergies trouvées par les trois approches et à discuter de la manière d'améliorer les résultats en les rendant plus fiables. Il passe dans chacun des groupes et stimule les élèves : « Est-ce que vous acceptez tels quels les résultats trouvés par vos camarades ? » - « Qu'est-ce que vous pourriez remettre en cause ? » - « Quel est votre projet pour jeudi prochain ? »

Le document "informations complémentaires" (annexe H1) est donné à tous les élèves. Les liens quantitatifs entre oxygène consommé et énergie produite ainsi que le lien entre variation de température de l'eau et énergie correspondante y sont précisés.

Séance 9 (90 min.)**Jeudi semaine 5****LABO A****Scènes 14-15****Examen critique des résultats obtenus jusqu'ici (20 min de travail – scène 14)**

Les posters produits le jeudi précédent sont repris et l'enseignant rappelle, en les écrivant au tableau noir, les chiffres trouvés la semaine précédente :

- Méthode dite “des aliments” : 4'200 – 8'000 kJ
- Méthode par l'oxygène consommé : 3'460 kJ
- Méthode par l'énergie cédée : 19'000 kJ

Une discussion est provoquée par l'enseignant : « Que vous suggèrent ces résultats ? – Sont-ils conformes ? - Les acceptez-vous tels quels ? ».

Un élève suggère que 19'000 kJ est une quantité trop importante. L'enseignant acquiesce et fait comprendre aux élèves que ces résultats méritent d'être mis en doute. Il conduit une discussion sur les sources d'erreurs possibles.

Pour la suite, l'enseignant donne à chaque élève un document qui résume des trois méthodes et les résultats obtenus (annexe J1).

Nouvelles recherches (60 min de travail – scène 15)

Les élèves sont répartis en trois groupes qui reprennent chacun l'une des méthodes de détermination de l'énergie quotidiennement nécessaire à un adolescent.

Le groupe qui s'occupe de vérifier si les “entrées des aliments” ont été estimées correctement travaille avec un logiciel de calcul des besoins énergétiques qui tient compte de l'âge et du type d'activité du sujet.

Le groupe qui s'occupe de la détermination des besoins en oxygène, reprend une approche expérimentale mais améliore la méthode de mesure en utilisant des sachets en plastique et des gros récipients (de plusieurs litres).

Le groupe qui reprend la détermination des pertes d'énergie du tonneau remplace la mesure directe de l'énergie à apporter au tonneau pour maintenir sa température par un calcul qui est fait sur la base du refroidissement du tonneau. Les élèves se servent de l'information selon laquelle « Un litre d'eau qui se refroidit d'un degré perd une énergie de 4.2 kJ et un litre d'eau qui se réchauffe d'un degré gagne une énergie de 4.2 kJ ».

Chacun des trois groupes doit produire un poster qui sera présenté et discuté en classe entière le lendemain.

Séance 10 (45 min.)

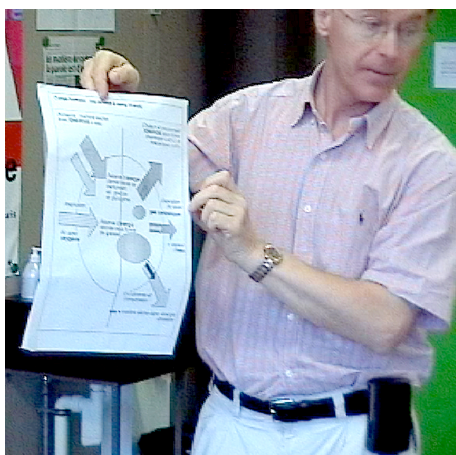
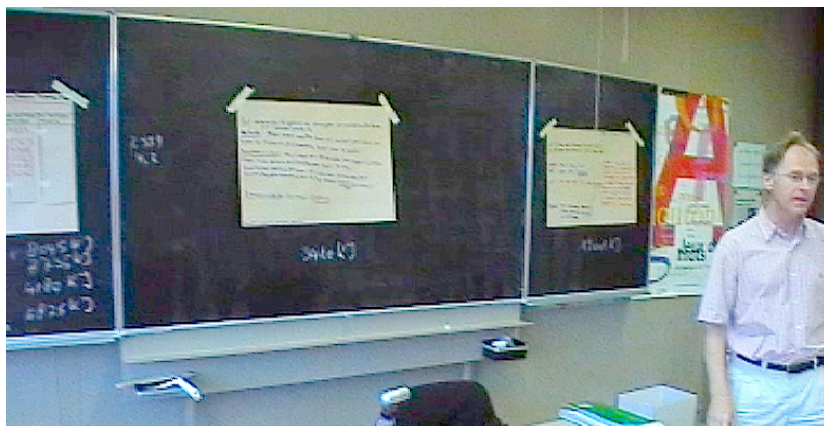
Vendredi semaine 5

CLASSE

Scènes 16-17

Aboutissement de la recherche sur le métabolisme (15 min de travail – scène 16)

L'enseignant a placardé les posters produits la veille, qui donnent les résultats obtenus par la demi-classe A. Il a en plus écrit en correspondance les résultats qui avaient été obtenus une semaine auparavant par la demi-classe B.



Il commente l'ensemble de ces résultats et fait remarquer aux élèves que les énergies journalières trouvées par les trois méthodes sont maintenant beaucoup plus proches et de l'ordre de 10'000 kJ. Il reprend le schéma des entrées et sorties du corps humain (schéma visible au §1.3) et relie les informations que contient ce schéma aux déterminations de l'énergie journalière qui entre et qui sort du corps humain. Il rappelle aux élèves que l'énergie est une grandeur conservée et leur dit qu'« il est normal que vous trouviez des valeurs assez proches les unes des autres ».

Exercices de réinvestissement (30 min de travail – scène 17)

L'enseignant annonce aux élèves qu'ils vont faire quelques exercices pour se préparer à une évaluation qui aura lieu en salle de science la semaine prochaine pour la demi-classe B et dans 15 jours pour la demi-classe A. Il indique que ce test consistera à choisir parmi plusieurs récipients, celui qui convient le mieux à modéliser un petit mammifère (il parle d'un rongeur, lapin ou rat).

L'enseignant donne à chaque élève un document (annexe K1) comportant des énoncés de problèmes. Il y a des problèmes se rapportant à l'eau qui se refroidit ou se réchauffe en lien avec l'énergie, des problèmes concernant l'énergie des aliments et des problèmes concernant la consommation d'oxygène et l'énergie correspondante. Les réponses attendues figurent également sur ce document afin de donner une autonomie de contrôle aux élèves.

Durant la fin de cette séance (~~X~~ non filmée), les élèves travaillent en duos. L'enseignant constate que les élèves n'ont pas de difficulté majeure. Il fait quelques apports complémentaires et revient sur des questions posées antérieurement par les élèves et qui étaient restées en suspens. Il donne des réponses à la manière d'un expert.

Séance 11 (90 min.)

Jeudi semaine 6

LABO B

Scènes 18-19-20

Mise en projet des élèves : modélisation d'un cochon d'Inde (10 min de travail – scène 18)

L'enseignant a affiché les six posters qui ont été réalisés les jeudis des semaines 4 et 5 par les groupes d'élèves des deux demi-classes LABO B et LABO A.

La première partie de la séance (❏ non filmée) est consacrée à la correction des exercices proposés le vendredi précédent). Ainsi tous les élèves auront vu...

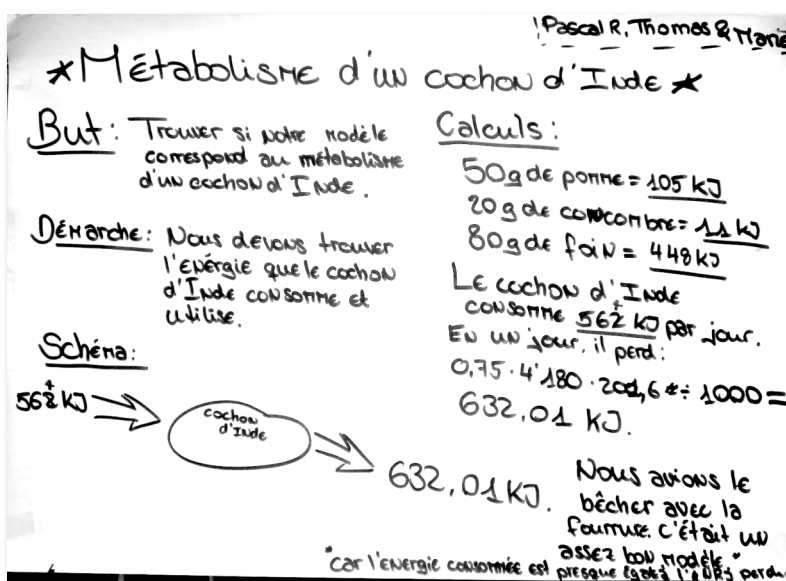
- un exemple de calcul d'énergie à partir des aliments,
- un exemple de calcul d'énergie perdue par refroidissement,
- un exemple de calcul d'énergie liée à l'oxygène respiré.

Puis l'enseignant met les élèves en situation en leur lisant la donnée d'un problème qu'ils vont devoir résoudre. Il s'agit d'une *étude de cas* qui va servir à une évaluation certificative. Le cas est celui d'un cochon d'Inde dont on connaît le régime alimentaire et que l'on modélise sommairement par un récipient d'eau dont il faut maintenir la température (annexe L1).

Les élèves sont placés en quatre groupes de trois. L'enseignant a constitué les groupes en veillant à ce que chaque groupe contienne un expert de chacune des trois méthodes de détermination du métabolisme. Le but de la classe est de chercher quel est le meilleur *modèle* parmi les quatre qui sont proposés. L'enseignant explique aux élèves que pour gagner du temps, chaque groupe ne va s'occuper que de l'un des récipients et que l'on comparera les résultats obtenus. Une deuxième question fait partie de l'étude de cas. Elle porte sur le volume respiratoire du cochon d'Inde en fonction de son rythme respiratoire et de ses besoins en oxygène.

Pour que la comparaison des *modèles* puisse se faire aisément, chaque groupe doit présenter sa démarche et son résultat sur un poster.

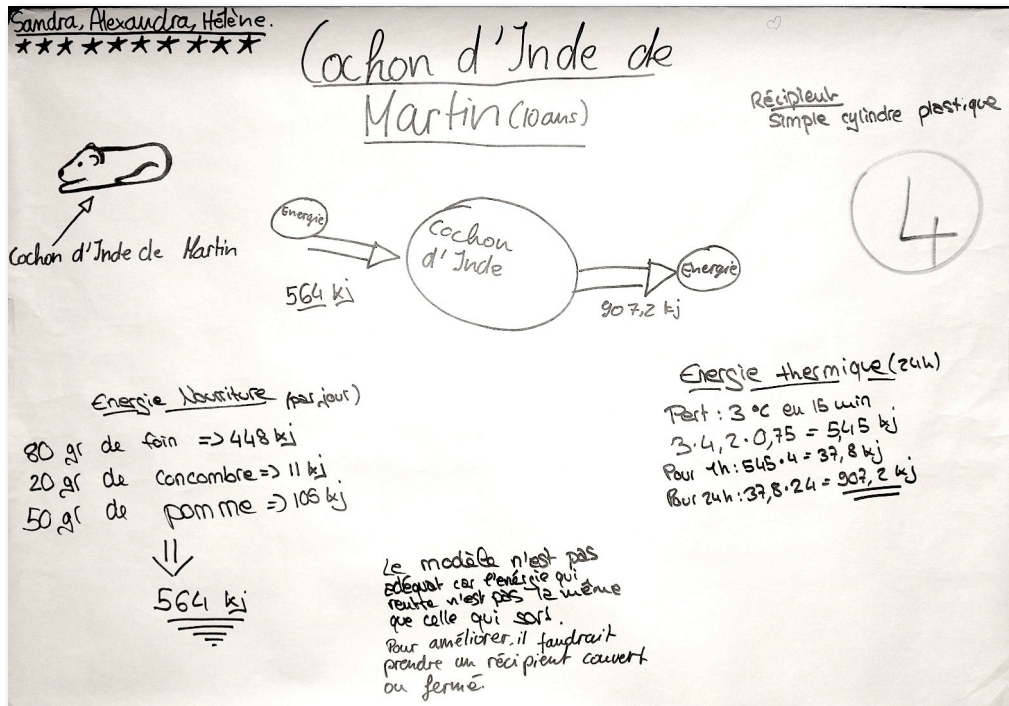
Élèves en action (75 min de travail – scène 19)



Les quatre groupes d'élèves s'activent. Ils sont à l'aise et donnent l'impression de dominer les difficultés que comporte cette étude de cas.

Le poster ci-contre est celui d'un groupe qui a conclu qu'un récipient en verre, isolé avec de la fourrure, s'avère être un assez bon modèle.

Le poster ci-dessous est celui d'un groupe qui a conclu qu'un simple cylindre en plastique ouvert, avec des pertes trop grandes, s'avère être un assez mauvais modèle.



La scène 20 du film donne le bilan de l'évaluation établi à l'issue de la séquence.

Vendredi semaine 6

(Pas de leçon de sciences)

Séance 12 (90 min.)

Jeudi semaine 7

LABO A

(Pas filmé)

Bilan de compétence : modélisation d'un petit mammifère

(Même projet et même animation que le jeudi de la semaine 6)

Séance 13 (45 min.)

Vendredi semaine 7

CLASSE

(Pas filmé)

Séance bilan et échanges

À titre d'exercice, la 2^e question de l'étude de cas du cochon d'Inde (sur le volume respiratoire de l'animal) est traitée en classe entière.

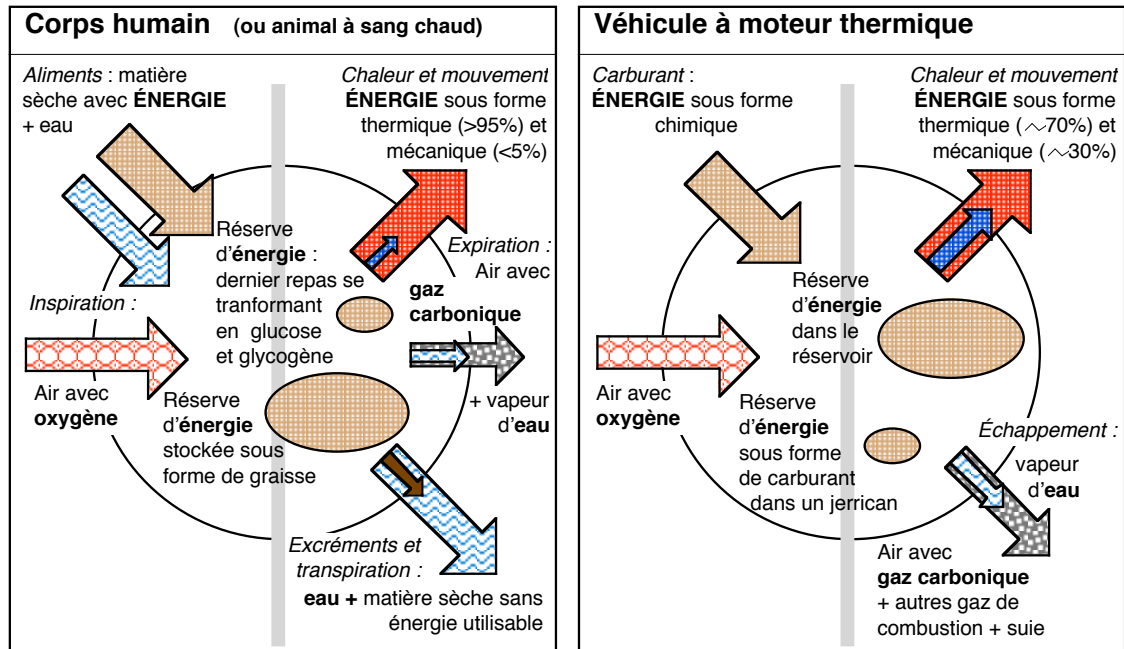
La leçon entière est consacrée à ce problème et c'est ainsi que se clôt cette séquence d'enseignement à propos du métabolisme humain et des petits mammifères.

Dans la dernière scène du film (scène 20), quelques panneaux de texte exposent brièvement le bilan de la séquence.

1.3. *Modèle comparatif du corps humain et du véhicule à moteur thermique*

Schématisation

Dans cette séquence, l'enseignant s'est appuyé sur une comparaison qu'il a instituée sous la forme de deux schémas mis en correspondance.



Transposition didactique

Cette comparaison entre corps humain et véhicule est bien sûr conceptuellement discutable. Il s'agit d'une *transposition didactique* avec sa pertinence et ses inconvénients potentiels. Elle misait sur un minimum de connaissances des élèves à propos du fonctionnement d'une automobile. S'il était clair pour les élèves que les deux tableaux expriment des similitudes quant aux entrées et sorties et s'accordent des principes de conservation, il y avait manifestement des zones d'ombres à propos du moteur thermique, de son rendement, de la production d'eau par la combustion, du rôle du ventilateur ou du réservoir d'eau de refroidissement.

1.4. *Modèle physique du récipient d'eau tiède pour le corps humain ou d'autres mammifères*

Conditions

Un récipient d'eau tiède auquel on apporte de l'énergie pour le maintenir à sa température peut être un *modèle* aux conditions suivantes :

- Le corps humain (ou le mammifère) se comporte comme une "machine thermique" en équilibre. Les quantités d'énergies qui entrent sont égales à celles qui sortent.
- L'énergie sort du corps sous forme thermique uniquement.

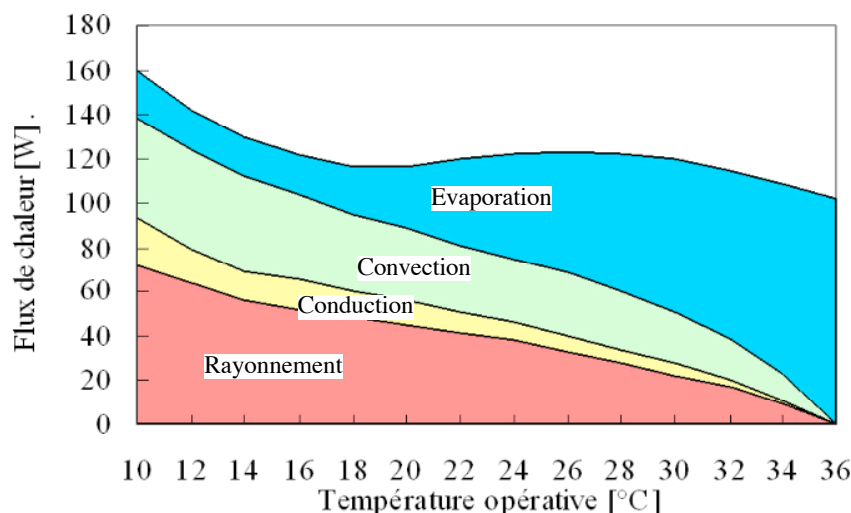
Cas du corps humain

Pratiquement, on comptabilise dans les énergies entrantes seulement celles qui peuvent être tirées des aliments par le système digestif et l'on admet que toute cette énergie est effectivement transférée (il n'y a pas de rejet de matière encore énergétique au sens donné ici).

On considère comme négligeable l'énergie transmise à l'environnement sous forme mécanique. Cela se justifie par les considérations suivantes : le rendement musculaire peut atteindre 25% lors d'un effort physique. Mais un tel effort, exception faite du cas des sportifs, ne peut pas être soutenu longtemps. Sur 24 heures, l'énergie fournie sous forme d'énergie potentielle ou d'énergie cinétique ne dépasse que rarement quelques pourcents.

On comptabilise dans l'énergie thermique, celle qui sert à vaporiser l'eau exhalée et l'eau de transpiration évaporée.

Le graphique² montre comment se répartissent les pertes thermiques d'un être humain au repos en fonction de la température de l'air dans lequel il est placé (température opérative).



On voit que, lorsque la température de l'air est la même que celle du corps, le seul moyen de refroidissement est l'évaporation. Les autres formes de refroidissement (rayonnement, convection et conduction) prennent d'autant plus d'importance que la température ambiante est basse. Ce diagramme montre aussi que la puissance totale des déperditions, entre 15°C et 32°C, est de l'ordre de 120 à 130 watts. Cette puissance donne des pertes journalières de 10'370 à 11'230 kilojoules, ce qui correspond bien au métabolisme d'un être humain au repos. La répartition des pertes thermiques d'un tonneau d'eau de 60 litres, en matière plastique, dont on brasse l'eau de temps en temps, est assez semblable à celle qui est donnée dans le graphique, du moins aux alentours de 20°C. Comme le tonneau est ouvert, on a aussi des pertes par évaporation, mais ces pertes n'augmentent pas dans la même proportion pour le tonneau que pour un être humain lorsque la température ambiante croît. C'est là une des limites du *modèle*.

² Source du graphique : Roulet, C. (2004). Santé et Qualité de l'environnement à l'intérieur des bâtiments. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (ISBN 2-88074-547-0).

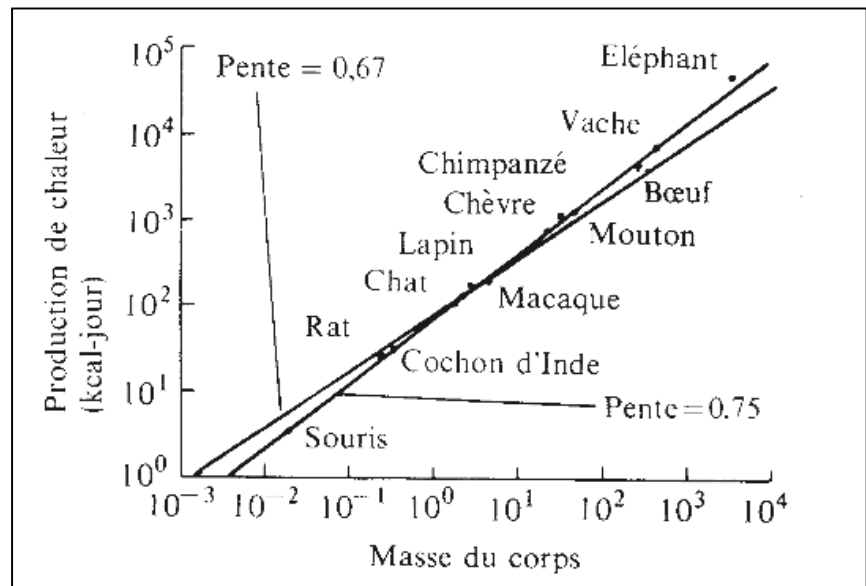
Le modèle pour des animaux de tailles diverses

Considérons une sphère de diamètre d et volume V . Si on admet que les pertes thermiques sont proportionnelles à la surface de la sphère, on constate que les déperditions P sont proportionnelles sa masse élevée à la puissance $2/3$. Tout cela pour des températures données de la surface de la sphère et de l'air ambiant.

$$\begin{aligned} P &\sim d^2 = [d^3]^{2/3} \\ d^3 &\sim V \sim \text{masse} \\ P &\sim d^2 \sim \text{masse}^{2/3} \end{aligned}$$

La question est maintenant de savoir si un *modèle* aussi rudimentaire s'applique aux mammifères, quelle que soit leur taille.

On peut trouver une réponse dans ce diagramme³ à échelles logarithmiques mettant en corrélation les pertes thermiques (production de chaleur) et la masse de divers animaux.



On constate que les mammifères, de la souris à l'éléphant, s'alignent sur une droite dont la pente avoisine le facteur

de puissance $2/3$ (0,67). La relative isomorphie des mammifères permet cette adéquation du *modèle*. La valeur un peu plus grande (0,75) du facteur de puissance peut s'expliquer par la forme non sphérique de l'animal et d'autres considérations physiologiques.

Dans le cas d'un récipient de forme cylindrique, au lieu d'une seule grandeur d , on a un diamètre D et une hauteur H . Pour rapprocher notre cylindre du *modèle* sphérique, il faut respecter la condition $D = H$. C'est ainsi que le rapport entre le volume du cylindre et sa surface est maximalisé et s'approche le mieux du rapport volume/surface d'une sphère de même volume. Reste encore à optimiser le *modèle* par un bon choix de la nature et de l'épaisseur de la paroi du récipient.

Dans la réalité de la classe, pour la modélisation du cochon d'Inde, les récipients étaient donnés. C'est donc une approche différente qui était demandée aux élèves. Ceux-ci ont envisagé d'autres variables, en discutant de l'opportunité d'isoler le récipient ou de lui donner une ouverture plus ou moins grande, permettant une évaporation plus ou moins marquée de l'eau qu'il contient.

3 Tiré d'un manuel de biologie (inconnu) qui cite comme première source : « T. Mc Mahon, science, vol. 179, pp 1201-1204, 23 mars 1973. © 1973 Associations Américaines pour l'Avancement de la Science »

2 Premiers pas en électricité à 11 ans

2.1 Structure de la séquence d'enseignement

Cette seconde séquence a été conduite par une enseignante en charge de deux heures hebdomadaires de cours de science à des élèves âgés d'environ 11 ans. Elle s'est déroulée sur 9 semaines. Les élèves, au nombre de 21, étaient tous présents lors de chaque séance.

Chacune de ces séances se déroule sur deux heures, séparées par une courte pause.

La séquence d'enseignement s'articule en trois étapes d'un travail de modélisation des circuits électriques. Elle comporte des activités de familiarisation avec la thématique, d'expression des conceptions, de résolution de problème, d'entraînement de savoir-faire, de constructions conceptuelles et de réinvestissement.

Elle a été l'objet du mémoire professionnel de l'enseignante¹

Les vacances de Noël et Nouvel an (4 semaines) ont séparé les séances 6 et 7.



Sur le DVD, le début de chaque scène (chapitre) est un point d'accès au film. Il y a un point d'accès pour

- Chacune des 8 séances de travail (la 9e séance n'a pas été filmée)
- Chacune des trois étapes de la modélisation
- Un certain nombre d'activités significatives

Pochette du DVD

Le tableau ci-après donne la liste des scènes (chapitres) du film, leur durée, une indication quant à leur contenu et le numéro de la semaine dans le déroulement de la séquence d'enseignement (les semaines durant lesquelles un enseignement est donné sur le thème de l'électricité). La dernière colonne caractérise la phase de la séquence selon le modèle qui est décrit au chapitre 4.

¹ De Loddere, C. (2006). Evolution des conceptions et des compétences des élèves d'une classe de CYT5 lorsqu'ils sont soumis à un enseignement de l'électricité. Lausanne : HEP

Tableau des scènes (chapitres) du film

N° Scène	Chrono en hh:mm:ss		Scène (chapitre)	Contenu	Semaine	Phase
	Début	Durée				
1	0:00:00	0:00:28	Début			
2	0:00:28	0:04:29	Séance 1 - Conceptions des élèves	Que se passe-t-il dans un circuit électrique ?	1	Immersion
3	0:04:57	0:08:31	Le premier “rallye”	8 activités à vivre pour faire et dire	1	Immersion
4	0:13:28	0:12:40	Séance 2 - Problématisation	Allumer la lampe avec une pile ronde	2	Immersion conceptualisation
5	0:26:08	0:05:48	Étape 1 de la modélisation	Jeu de rôles pour dire ce qu'on pense	2	Immersion conceptualisation
6	0:31:56	0:06:02	Séance 3 - Modèle jeu de rôles	Déstabilisation des élèves (boussole)	3	Conceptualisation
7	0:37:58	0:02:23	Modèle “carte d'énergie”	Le jeu de rôles devient modèle	3	Conceptualisation
8	0:40:21	0:00:16	Séance 4 - Technologie	L'intérieur d'une lampe et d'une pile	4	Conceptualisation
9	0:40:37	0:00:30	Séance 5 - “rallye” avancé	Des activités pour aller plus loin	5	Immersion conceptualisation
10	0:41:07	0:01:14	Poste A Lampes en //	1, 2 ou 3 lampes ? Avec la génératrice	5	Immersion conceptualisation
11	0:42:21	0:01:49	Poste B Lampes en série	1, 2 ou 3 lampes ? Avec la génératrice	5	Immersion conceptualisation
12	0:44:10	0:02:15	Poste C Circuits à eau et électrique	Analogie à développer	5	Immersion conceptualisation
13	0:46:25	0:01:02	Poste D Pressions dans le circuit	Où la chambre à air est-elle écrasée ?	5	Immersion conceptualisation
14	0:47:27	0:01:00	Poste H Codage poste D	Représenter les pressions perçues	5	Immersion conceptualisation
15	0:48:27	0:01:22	Poste F Les volts voulus	La bonne vitesse avec la génératrice	5	Immersion conceptualisation
16	0:49:49	0:00:57	Poste G Montage/schéma	Identifier le schéma d'un montage	5	Immersion conceptualisation
17	0:50:46	0:06:41	Séance 6 - Lampes en série	Mimer ce qui se passe (jeu de rôles)	6	Conceptualisation
18	0:57:27	0:03:46	Séance 7 - Lampes en parallèle	Mimer ce qui se passe (jeu de rôles)	7	Conceptualisation
19	1:01:13	0:05:30	Étape 2 de la modélisation Modèle symbolique.	Coder les pressions dans les schémas	7	Conceptualisation
20	1:06:43	0:03:23	Séance 8 - Modèle amélioré	Institutionnalisation du modèle	8	Conceptualisation
21	1:10:06	0:07:33	Étape 3 de la modélisation Modèle opératoire	Faire fonctionner le modèle (prévoir !)	8	Réinvestissement
Fin	1:17:38					

2.2 Déroulement de la séquence – Le vécu des élèves

Séance 1

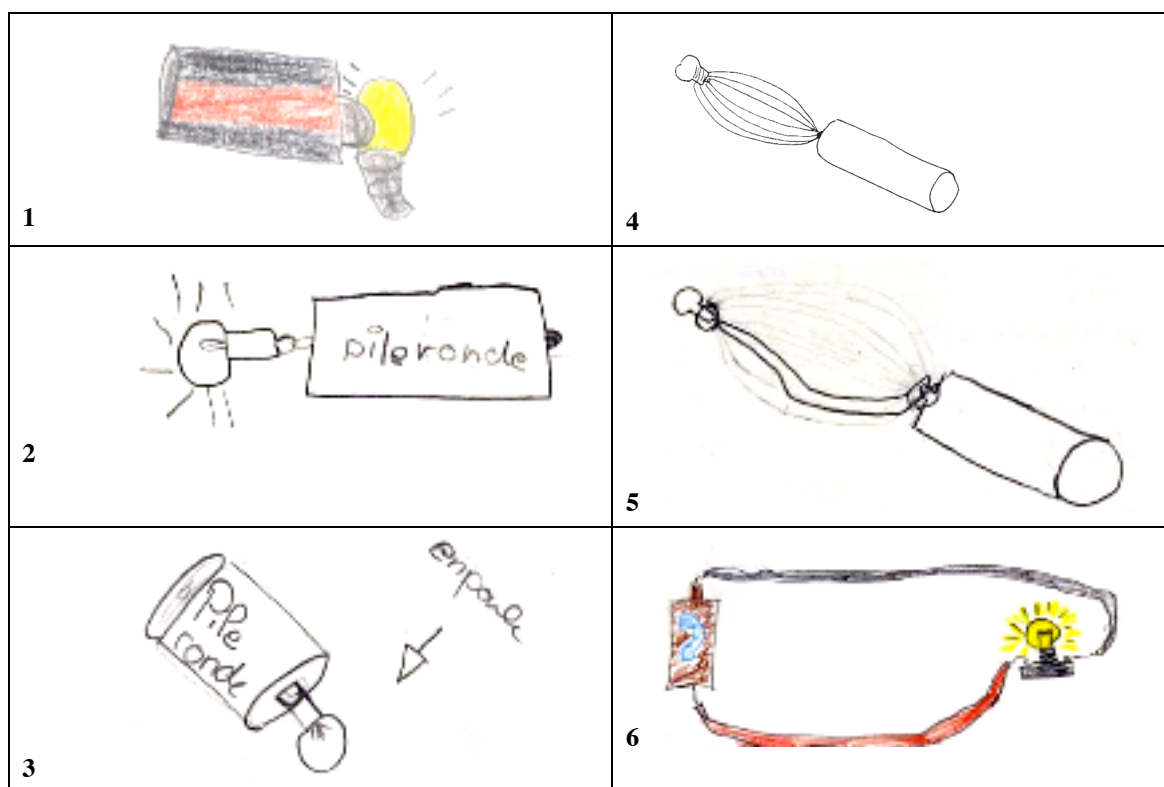
Semaine 1

Conceptions / Le premier “rallye”

Scènes 2-3

Conceptions premières des élèves (35 minutes de travail – scène 2)

L’enseignante met les élèves en projet en leur annonçant ce qu’ils vont devoir faire durant la séance. Pour commencer, elle leur demande de compléter deux fiches (annexe A2) par le dessin. Sur la première fiche, chaque élève doit indiquer comment il pense pouvoir allumer une lampe avec une pile électrique. Pour rendre explicite cette demande, l’enseignante présente à la classe une pile ronde et une ampoule de lampe de poche. Sur la seconde fiche, les élèves doivent dire chacun ce qui se passe à l’intérieur d’une pile, d’une lampe et des fils de connexions quand la lampe brille. Pour rendre explicite cette deuxième demande, l’enseignante présente à la classe un petit montage constitué d’une pile plate sur laquelle deux fils sont branchés qui sont eux-mêmes connectés à une lampe. La lampe est allumée. À la question d’une élève, « comment on sait, j’ai jamais fait d’électricité ? », l’enseignante répond : « imagine, invente, dessine ce que tu penses ! »



Ces quelques dessins d’élèves, en réponse à la première demande, sont représentatifs des conceptions des 21 élèves de la classe. Il n’y a pas de circulation d’un fluide, mais transfert de la pile à la lampe, et cela même pour l’élève qui est l’auteur du dessin N° 6. Celui-ci déclare en effet que « l’électricité passe par les deux fils pour aller à la lampe ; dans la lampe, ça se rejoint et ça fait des étincelles ». Dans les dessins N°s 1, 2 et 3, il suffit que la

pile et l'ampoule soient en contact. C'est souvent par le petit « bouton » (pôle +) de la pile que le transfert du « fluide » énergétique à lieu.

L'inexistence d'une circulation dans les représentations des élèves est confirmée par les réponses qu'ils donnent à la deuxième demande de ce test. Seuls deux élèves, sur les 21 que compte la classe, dessinent des flèches montrant que l'« électricité » pour l'un (dessin N° 5), le « courant » pour le second (dessins N° 6), circulent d'un pôle de la pile à l'autre en passant par la lampe. Trois élèves ne recourent pas à un transfert dynamique de la pile à la lampe. Le contact entre les deux objets suffit à faire éclairer la lampe : « C'est parce que ça touche que ça s'allume, [il n'] y a rien qui bouge ».

<p>1</p> <p>Explications : « L'électricité passe dans les fils après la lampe éclairer »</p>	<p>3</p> <p>Explications : « La pile passe l'énergie qu'il [qu'elle] fabrique à les fils et les fils [la] passe[nt] à la lampe pour l'éclairer »</p>
<p>2</p> <p>Explications : Dans les languettes il y a de l'électricité, ensuite les fils transmettent l'électricité à la lampe comme ça la lampe peut s'allumer.</p>	<p>4</p> <p>Interrogé, l'élève a ici précisé que les deux fils sont nécessaires, « sinon, ça ne marche pas ! »</p>
<p>5</p> <p>Explications : la pile fait passer l'électricité dans les fils et la lampe s'allume.</p>	<p>6</p> <p>Explications : la pile distribue du courant électrique à la lampe reçoit le courant/ le courant vaient dans la pile</p>

Rallye électricité (45 minutes de travail - scène 3)

La seconde partie de la séance se déroule sous forme d'un rallye et vise à enrichir le vécu des élèves et leur savoir-faire dans des situations qui mettent en jeu des piles électriques, des génératrices à main, des lampes, des câbles de connexions, des bacs à électrolyse, une boussole, ...

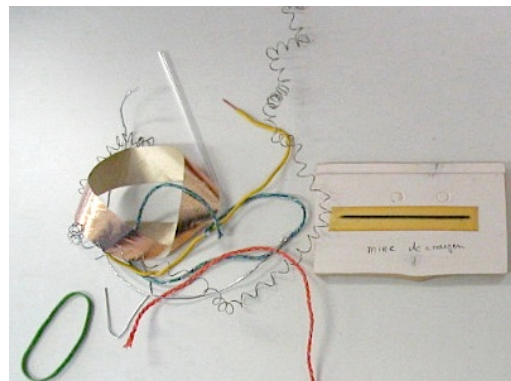
En duos, les élèves passent par les postes du *rallye d'immersion*. Pour chaque poste, ils remplissent une fiche (annexe B2) qui va attester d'un savoir-faire ou exprimer une *conception*.

📖 Voici les consignes données aux élèves dans les postes visibles dans le film :

1. Classer quelques matériaux en “conducteurs” et “isolants”

Au moyen du matériel dont tu disposes, sépare les échantillons en deux tas : d'un côté les échantillons de matière conductrice et de l'autre les échantillons de matière isolante.

Le matériel comporte divers matériaux, parmi lesquels des fils de fer, du verre, un élastique, de la ficelle pour parc à animaux avec fils conducteurs, mais aussi des bandes isolantes à l'aspect métallique et une mine de crayon qui n'est ni vraiment isolante ni bonne conductrice.



2. Effet du sens de rotation de la génératrice sur l'électrolyse de l'eau



Entraîne-toi à dire dans quel sens ton camarade tourne la manivelle de la génératrice d'après les dégagements de bulles gazeuses qui se produisent dans le bac.

Le bac à électrolyse contient de l'eau acidulée au moyen d'acide sulfurique à faible concentration. L'asymétrie du dégagement gazeux est facile à voir. L'hydrogène est produit avec des grosses bulles. L'oxygène se dégage dans un nuage de petites bulles. Et bien sûr le volume d'hydrogènes est double de celui de l'oxygène.

3. Fils intacts ou interrompus

Dans ce tube passent plusieurs fils électriques. Certains de ces fils sont cassés à l'intérieur du tube et le courant ne peut plus les traverser. Lesquels ?

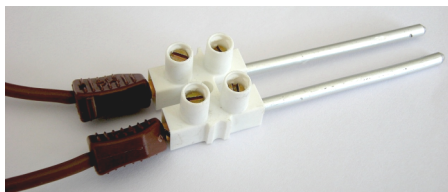


Les fils sont repérés par des couleurs. Une variante consiste à proposer des tubes dans lesquels certains fils sont en court-circuit. Les élèves doivent jouer au technicien qui recherche des défauts. Pour cela ils se servent d'une pile d'une lampe et de cordons électriques.

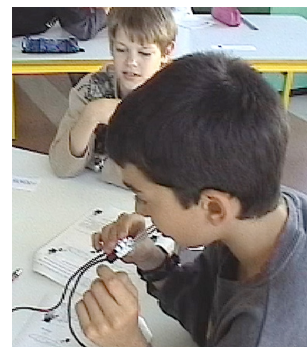
4. Perception de la différence de potentiel entre deux points de la langue ou des lèvres

Réalise les montages suivants et entraîne-toi à sentir la différence entre 1.5 V, 3 V, et 4.5 V au moyen de la bouche. Quand tu t'es exercé, bande-toi les yeux, demande à ton camarade de choisir des tensions et devine ces tensions. Quand tu as fini, range les électrodes que tu as utilisées dans la boîte « Électrodes à désinfecter » et passe au poste suivant.

L'élève porte à la bouche deux électrodes en aluminium, distantes de 1 cm environ, connectées à une paire de cordons électrique par l'intermédiaire d'un serre-fils.



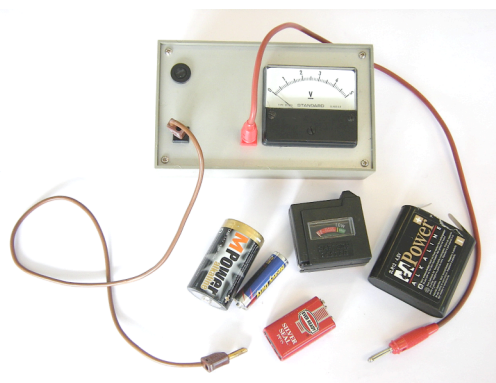
À l'autre extrémité, les cordons sont mis en contact avec les pôles d'une pile ou de plusieurs piles placées bout à bout.



5. Contrôle de l'état des piles

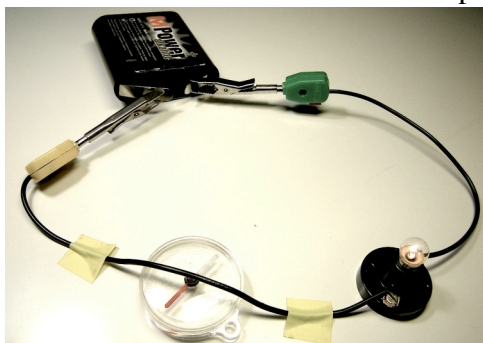
Lorsqu'une pile est usagée, elle a moins de volts que le nombre de volts indiqué sur la pile. C'est comme ça qu'on peut savoir si une pile est encore "bonne" ou non. Vérifie ces 5 piles avec le testeur de piles quand c'est possible et avec le voltmètre de professionnel dans tous les cas !

Deux des piles soumises à vérification sont neuves, deux sont usagées, la dernière est à plat.



6. Sens de branchement de la pile et déviation de la boussole

Utilise le circuit suivant. Comment peux-tu savoir dans quel sens est branchée la pile en regardant la boussole ?



Le fil électrique doit être posé dans le sens de l'aiguille lorsque la lampe est éteinte.

La lampe doit être assez puissante pour qu'un courant de quelques dixièmes d'ampère circule au moment où on la raccorde à la pile.

Une variante consiste à utiliser une génératrice à main et à associer l'orientation prise par l'aiguille de la boussole au sens de rotation de la manivelle (voir le poste C du rallye de la séance 5).

❑ Deux postes du rallye n'apparaissent pas dans le film. Les consignes données aux élèves dans ces postes sont les suivantes :

7. Conductibilité de l'eau salée

Mets de l'eau propre dans la cuve à électrolyse et branche les fils. Ça fait un circuit avec la pile et la lampe mais cette dernière ne s'allume pas. Ajoute du sel à l'eau en remuant. Tu devrais voir la lampe s'allumer. Avant de quitter ce poste, vide l'eau salée et rince la cuve.

Le bac à électrolyse est semblable à celui du poste 2. Il est monté dans un circuit comprenant une pile et une lampe.

8. Fonctionnement de l'interrupteur

On dit que le circuit est fermé lorsque l'ampoule s'allume. On dit aussi que le circuit est ouvert lorsqu'elle ne s'allume pas. À quoi vois-tu dans l'interrupteur que le circuit est fermé ?

Ici, l'interrupteur est un ancien modèle qui s'utilisait dans les installations électriques domestiques. On voit bien le contact s'ouvrir et se fermer quand on le manipule. Il est monté dans un circuit comprenant une pile et une lampe.



Séance 2**Semaine 2****Problématisation / Modélisation - Étape 1****Scènes 4-5****Fin du rallye (30 min de travail – début de la scène 4)**

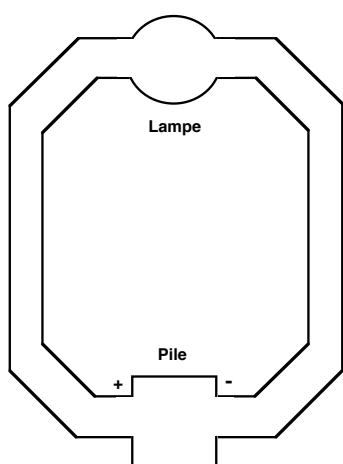
Dans la première partie de la séance, les élèves terminent le parcours des postes du *rallye* entamé la semaine précédente. Le film montre un groupe en train de passer en revue son compte-rendu en discutant des réponses données aux questions posées dans les consignes de chacun de postes.

Situation-problème (30 min de travail – suite de la scène 4)

Consigne : « Faites le schéma du montage qui fonctionne pour que l'ampoule s'allume ». Derrière cette consigne, il y a un défi : réussir à allumer la lampe. L'enseignante a préparé sur sa table des piles rondes, des lampes et des cordons électriques. Un élève par groupe vient chercher le matériel. Dans un premier temps, la plupart d'entre eux ne prennent pas les fils. Dans les groupes, on essaye, sans succès, d'allumer sa lampe en se passant des fils.

Cette situation déstabilise les élèves. Certains pensent que la pile ne fonctionne pas et se servent d'un testeur de piles pour en vérifier le bon état. D'autres demandent à l'enseignante de bien vouloir contrôler que leur lampe fonctionne.

En quelques minutes, l'idée d'utiliser deux cordons se répand dans la classe. Le problème qui surgit dans plusieurs des groupes est alors qu'on croit suffisant que les deux extrémités des cordons entrent en contact avec la partie métallique de l'ampoule pour que celle-ci s'allume. Sans le savoir, certains élèves mettent systématiquement la pile en court-circuit. Ils constatent que la pile ou le culot de leur ampoule deviennent chauds.

**Jeu de rôles – Etape 1 de la modélisation (25 min de travail – scène 5)**

Avec de la bande adhésive, l'enseignante a tracé au sol le dessin d'un circuit comportant une pile, une lampe et un couloir représentant les fils électriques.

La classe est scindée en deux équipes. Les élèves ont quelques minutes pour élaborer un scénario répondant à la question suivante : « Selon vous, que se passe-t-il dans le circuit lorsque l'ampoule brille ? Mimez la situation ! ».

Pendant que les élèves d'une équipe présentent un scénario les autres sont assis par terre et écoutent les explications données par leurs camarades.

Les deux équipes présentent des scénarios très semblables : De l'« électricité » ou de l'« énergie » se déplace de la pile à la lampe en empruntant les deux fils. Pour une équipe, il n'y a pas de retour, l'énergie s'accumule dans la lampe. Pour l'autre équipe, l'énergie retourne dans la pile sans emprunter les fils. Ce retour est un effet de scénario. Il faut faire durer la démonstration et

renouveler le contenu de la pile en énergie mais selon les élèves, « en vrai, l'énergie ne revient pas, il y en a pour un bon moment dans la pile ».

Séance 3

Semaine 3

Modèle jeu de rôle / Modèle cartes d'énergie

Scènes 6-7

Du jeu de rôles au *modèle* – quand la circulation devient nécessaire (60 minutes de travail - scène 6)

❏ Le début de la séance n'est pas filmé.

Pour reprendre les jeux de rôles, l'enseignante commence par poser à toute la classe la question : « comment pensez-vous que l'électricité circule dans les fils ? » Cela provoque une discussion qui fait naître plusieurs hypothèses qui se regroupent en trois ensembles de propositions qu'elle note sur le tableau noir. L'enseignante invite les élèves à se rallier chacun à un des ensembles de propositions. La classe est ainsi partagée en trois équipes.

Première équipe : « l'électricité bouge constamment. Il y a une boule d'énergie dans la pile et quand on branche, l'énergie est rejetée jusqu'à l'ampoule ».

Deuxième équipe : « C'est les électrons qui partent de la pile vers l'ampoule et puis ils s'évaporent dans les fils de retour. L'électricité part du pôle + de la pile et va au pôle – en passant par l'ampoule, où elle s'assemble et crée de l'énergie puis elle s'évapore vers le pôle – ».

Troisième équipe : « L'électricité tire et pousse 2 petits aimants dans la lampe et l'étincelle provoque l'éclairement. L'énergie circule dans un seul sens. L'énergie part du + et va au – en passant par l'ampoule ».

Chaque équipe est invitée à traduire en jeu de rôle, sur le schéma tracé au sol, l'ensemble des propositions auxquelles elle adhère. L'enseignante évoque l'expérience de la boussole vécue par les élèves lors du *rallye* introductif et demande que les jeux de rôles, répondent à la question : « Pourquoi l'aiguille de la boussole change-t-elle d'orientation lorsqu'on intervertit les pôles de la pile ? »

La première équipe ne présente rien de nouveau : l'électricité va par les deux fils de la pile à la lampe. Le changement d'orientation de la boussole lors de l'inversion des pôles de la pile laisse les élèves perplexes.

Avec les jeux de rôles des deux autres équipes, on voit apparaître l'idée d'une circulation. Ce qui circule est désigné de manière floue : de l'« électricité », de l'« énergie ». Un élève de la troisième équipe parle de « milliers d'atomes et d'électrons qui vont à la vitesse de la lumière ». Pour les élèves de ces deux équipes, il est clair que la boussole est sensible au sens de circulation du « fluide électrique » : - « L'électricité tape la flèche [l'aiguille] » dans un sens ou dans l'autre - « Ça tourne du côté d'où vient l'énergie ».

Du jeu de rôles au *modèle* – les cartes ou billets d'énergie (25 minutes de travail - scène 7)

L'enseignante distribue des « cartes » (qui seront appelées par la suite « billets », ou « plaques ») d'énergie aux élèves et énonce des règles : « Vous êtes presque tous un grain d'électricité et chacun possède une carte d'énergie ». « Dans la pile, il y a un petit génie qui et là pour pousser les grains d'électricité et puis leur donner de l'énergie – Ce que vous devez savoir, c'est que le petit génie, dans la pile, peut avoir différents voltages, dif-

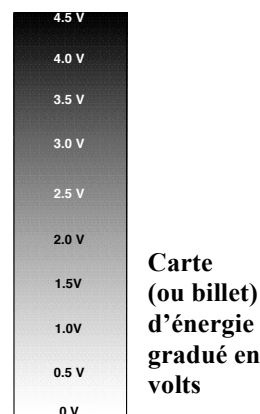
férentes pressions ; il va pousser les grains d'électricité plus ou moins fort en fonction du voltage de la pile ».

Une discussion à lieu qui montre que les élèves s'approprient ces nouvelles règles. Un élève propose une métaphore : « C'est un peu comme les fourmis qui viennent prendre la nourriture [dans la pile] et puis ils [elles] l'amènent à la reine [à l'ampoule] ».

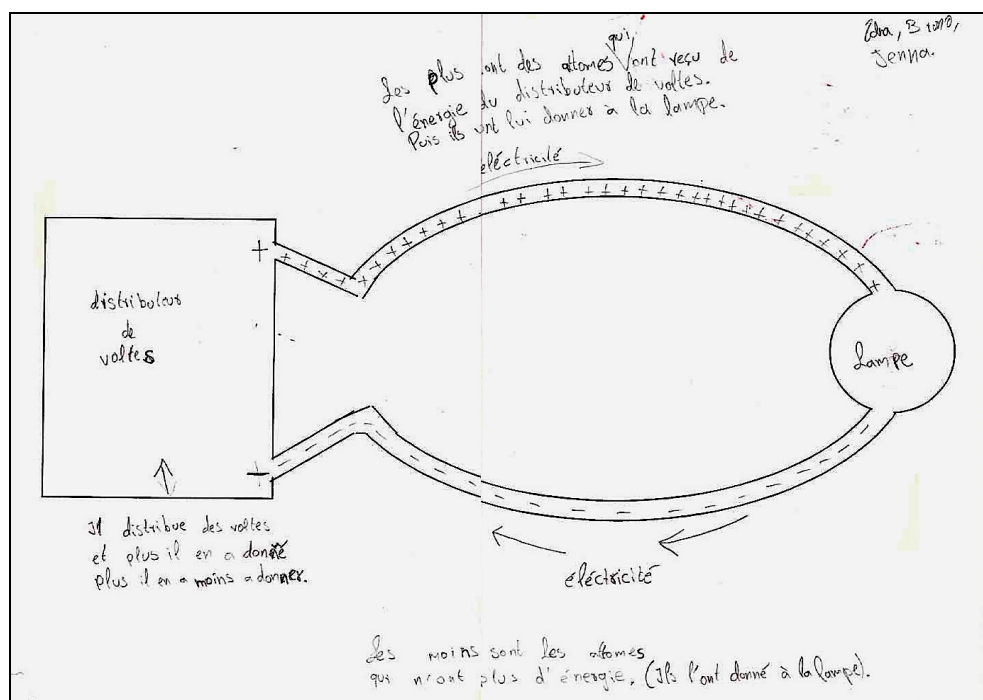
❑ La fin de la séance n'est pas filmée.

L'enseignante invite une partie de la classe à mettre en scène ces nouvelles règles. Cela donne lieu à un jeu de rôle (E que l'on peut voir filmé au début de la séance 6).

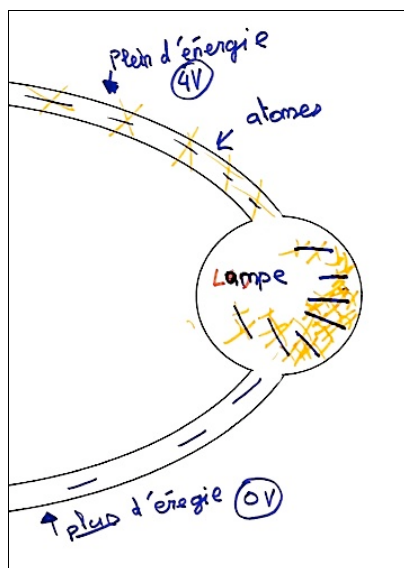
Pour terminer la séance, l'enseignante place les élèves en sept groupes de trois. Elle remet à chaque groupe un schéma à compléter (schéma qui a déjà servi à faire exprimer les *préconceptions* dans le test de la séance 1). Elle leur demande de traduire les règles instituées en ajoutant ce qu'il faut au dessin. Les sept productions font apparaître une circulation d'« électricité », d'« atomes » ou d'« électrons » se chargeant en énergie dans la pile et se déchargeant dans la lampe. Diverses manières de coder l'énergie émergent. On en voit ici quatre exemples représentatifs de ce que les sept groupes ont proposé.



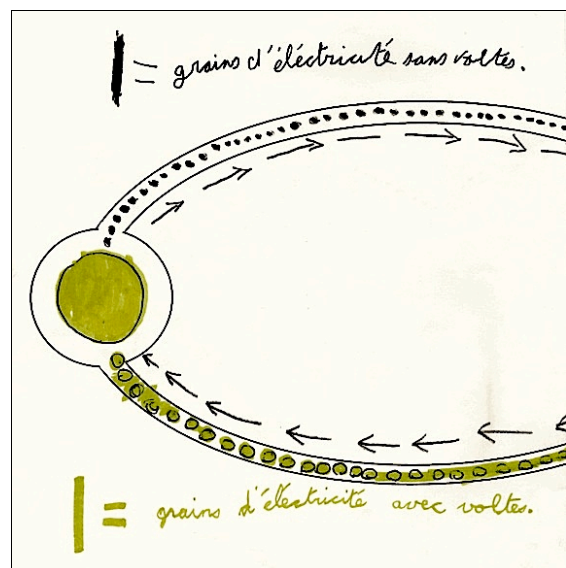
1. « Les plus sont des atomes qui ont de l'énergie – Les moins sont les atomes qui n'ont plus d'énergie (ils l'ont donné[e] à la lampe) »



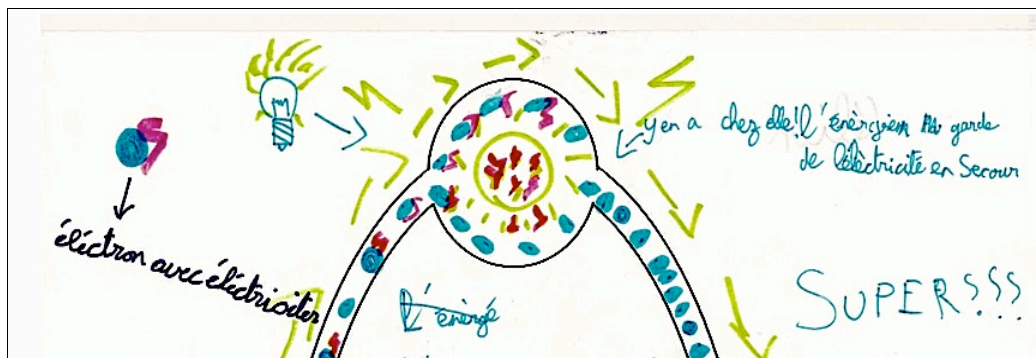
2. Des croix sur les atomes



3. Une couleur qui remplit et gonfle les grains

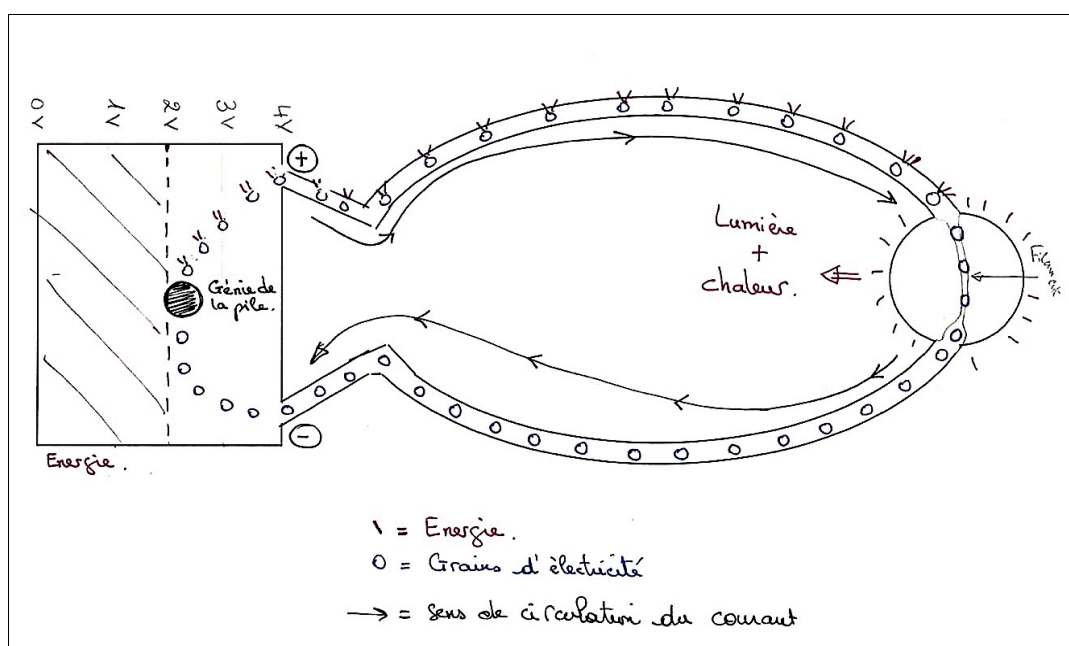


4 - Des petits éclairs associés aux « électrons »



Ces schémas sont comparés et discutés. Une version "officielle" est institutionnalisée dans le cahier de chaque élève.

Schéma "officiel"



Séance 4**Semaine 4****Technologie****Scène 8**

☒ Cette quatrième séance est signalée par du texte dans le film (scène 8) mais il n’y a pas eu de prises de vues.

Les “secrets” des piles et des ampoules

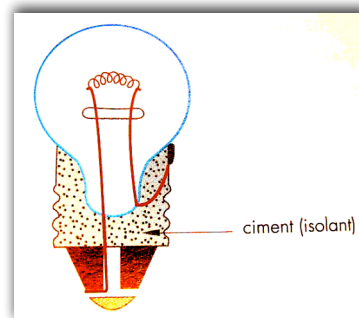
Cette séance est consacrée à une approche technologique des objets que les élèves manipulent dans cette séquence. Le démontage d’une pile plate de 4.5 V fait apparaître qu’elle est constituée de trois éléments montés en série. Des hypothèses sont demandées aux élèves quant à la raison de cet assemblage. Au moyen d’un voltmètre, on vérifie une des hypothèses émises, selon laquelle « chacune des trois piles donne 1.5 V ». Les élèves vérifient également qu’ils obtiennent le même éclat d’une lampe, qu’elle soit raccordée à un des éléments de la pile de 4.5 V ou à une pile ronde de 1.5 V.

En démontant cet élément de pile, les élèves constatent que le pôle + correspond à un charbon et que le pôle – correspond à un petit récipient en métal et que « dedans il y a du produit chimique ».

Une exploration un peu semblable a lieu avec les ampoules électriques. L’enseignante place les élèves en groupes et leur demande de dessiner comme ils imaginent « que c’est dedans ». Quelques dessins sont retenus à titre d’hypothèses puis chaque groupe démonte une ampoule pour « voir qui a raison ».

Finalement, un dessin tiré d’un manuel² sert de référence et permet l’institutionnalisation du principe de construction d’une ampoule à filament.

L’enseignante demande ensuite aux élèves ce qui se passe si on allume la lampe après avoir cassé le verre de l’ampoule. Quelques ampoules sont sacrifiées au nom de la science et permettent de constater que le filament brûle en un éclair. L’enseignante donne alors quelques explications et parle de la combustion du filament qui s’opère grâce à l’oxygène de l’air, oxygène qui est retiré des ampoules.



Jeu électrique des questions et réponses

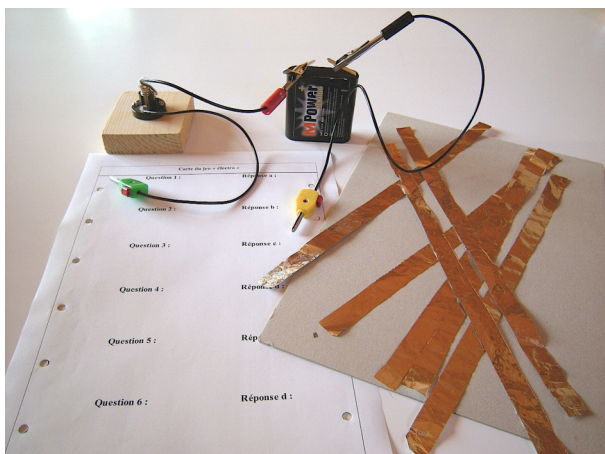
En groupes de trois, les élèves doivent construire un “jeu électro” inspiré d’un jouet que l’on trouve dans le commerce. Il s’agit de feuilles cartonnées de format A4 sur lesquelles sont écrites des questions à gauche et leurs réponses à droite (annexe C2). Les réponses ne figurent pas dans le même ordre que les questions. Des trous sont percés sur les bords de la feuille, un pour chaque question et un pour chaque réponse. Deux cordons électriques terminés chacun par une pointe conductrice, une pile et une lampe complètent ce matériel. Le montage est conçu de sorte que la lampe s’allume lorsqu’on met en contact les deux pointes. Le jeu consiste à associer réponses et questions, et à contrôler cette correspondance en plaçant une des pointes dans le trou de la question et l’autre dans le trou de la réponse. La réponse est la bonne si la lampe s’allume, c’est-à-dire si les trous correspondants sont électriquement reliés.

Questions	Réponses
1	c
2	a
3	f
4	e
5	b
6	d

L’un des tableaux de correspondance

2 Avanzi, P., Kespy, A., Perret-Gentil, J., Pfister, A. (2001). Physique chimie. Lausanne : Loisirs et pédagogie

Les élèves doivent formuler des questions et leurs réponses, les écrire sur la feuille perforée et placer derrière cette feuille des bandes conductrices en aluminium pour relier les trous qui se correspondent. Comme il y a des croisements des bandes conductrices, la difficulté est d'isoler ces bandes les unes des autres.



Chaque groupe reçoit un tableau des correspondances différent des autres, ce qui permet d'échanger les feuilles et de jouer à chercher les réponses aux questions sans savoir à l'avance où elles sont disposées sur la feuille.

Séance 5 Semaine 5 "Rallye" avancé / Postes A, B, C, D, F, G Scènes 9-16

Un rallye pour aller plus loin (85 minutes de travail)

L'enseignante fait à nouveau travailler les élèves en sept groupes de trois. La salle de sciences a été préparée avant l'arrivée des élèves. Huit tables servent de poste de travail. Sur chacune de ces tables, les élèves trouvent un lot de matériel et une fiche de consignes (annexe D2). Chaque groupe doit parcourir les postes en allant d'un poste libre à un autre (l'ordre de passage est indifférent excepté le poste H qui doit suivre le poste D). Pour éviter des attentes, certains postes sont dédoublés.

■ Dans le film, la scène 9 introduit la séance. Voici les consignes qui étaient données aux élèves dans les postes visibles sur le film (scènes 10 à 16), ainsi que quelques observations quant au comportement des élèves :

Poste A (scène 10) : Une, deux ou trois lampes en parallèle.

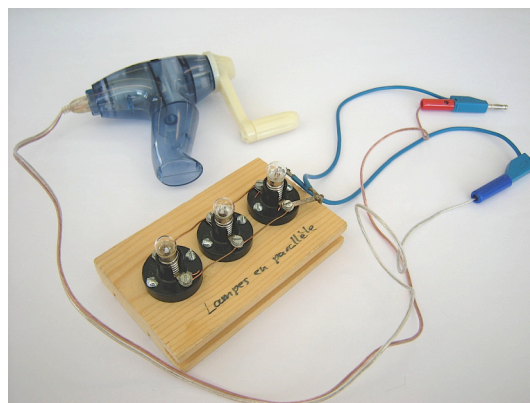
Branche la dynamo sur les lampes montées en parallèle. Tourne la manivelle de la dynamo. Dévisse une ou deux ou les trois ampoules et fais chaque fois tourner la manivelle de la dynamo. Entraîne-toi à sentir la différence.

Bande-toi les yeux et demande à ton camarade de visser tantôt une, tantôt deux, tantôt trois ampoules sans que tu le saches.

Essaye de dire en tournant la manivelle combien ton camarade a vissé d'ampoules. Y parviens-tu ?

Explique comment tu sais combien de lampes brillent...

Les élèves sentent que la manivelle est plus dure à tourner lorsque l'on veut allumer deux ampoules plutôt qu'une seule. Elle est encore plus dure à tourner lorsqu'on veut allumer trois lampes. Elle tourne dans le vide lorsque les trois ampoules sont dévissées.



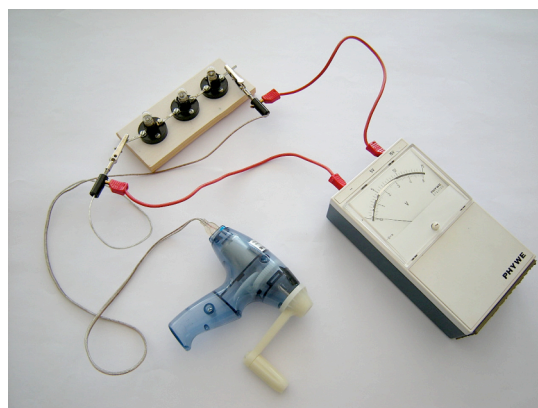
Poste B (scène 11) : Une, deux ou trois lampes en série

Un voltmètre est placé aux bornes de la dynamo. Branche la dynamo sur le montage de façon à allumer une lampe, tourne la manivelle pour que la lampe éclaire normalement.

En branchant la dynamo sur deux lampes en série, comment dois-tu faire pour que les deux lampes éclairent normalement (comme avant) ?

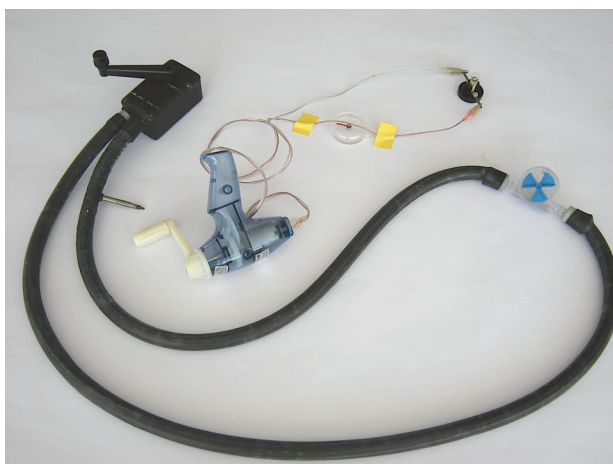
Même question pour trois lampes en série.

Attention : Ne fait pas griller les ampoules !



Les élèves sentent que pour allumer une lampe, il faut lui appliquer environ 1 à 2 V, pour deux lampes, il faut environ 3 à 4 V et pour trois lampes, il faut environ 4 à 5 V.

Ils constatent que pour “produire” plus de volts, il faut tourner la manivelle plus vite.

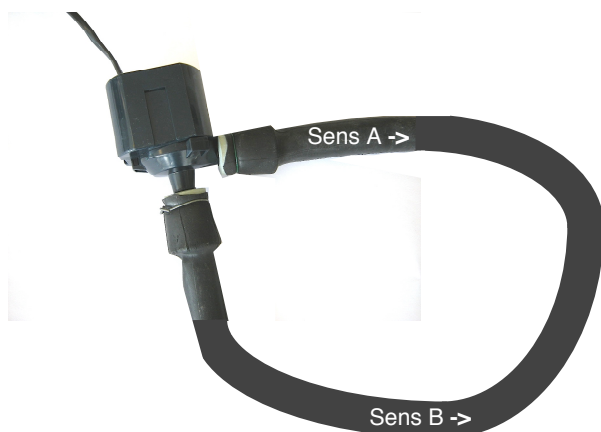
Poste C (scène 12) : Analogie entre circuit à eau et circuit électrique.

Génératrice	•	• tuyau
Lampe	•	• Hélice
Boussole	•	• Eau
Fil	•	• Pompe à manivelle

Sur la table se trouvent deux circuits : un circuit à eau et un circuit électrique. Peux-tu effectuer des regroupements entre les différents éléments de ces deux circuits ?

Relie les éléments équivalents et complète la case vide.

L'enseignante intervient dans plusieurs groupes pour faire comprendre aux élèves ce qu'elle attend d'eux. Après cela, les associations proposées par les élèves montrent que l'analogie s'est construite. À noter : l'hélice est mise en correspondance avec la boussole (indication du sens de circulation), la lampe (récepteur de l'énergie) ou les deux.

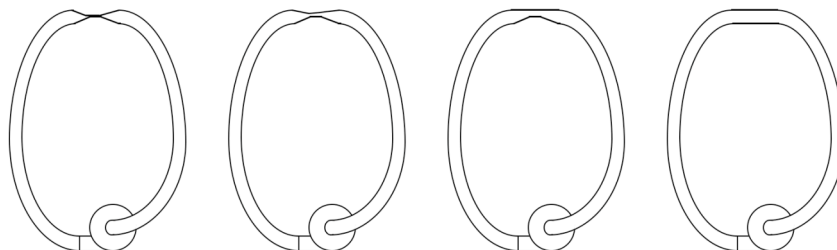
Poste D (scène 13) : Pressions dans un circuit d'eau - sentir les différences.

Quand la pompe du circuit à eau est enclenchée, l'eau circule dans le tuyau. Touche le tuyau. L'eau circule-t-elle dans le sens A ou dans le sens B ?

Les yeux bandés pose la main au milieu du tuyau et dis si ton camarade écrase le tuyau avant ou après ta main. Attention, n'écrase pas toi-même le tuyau sinon tu ne sentiras rien !

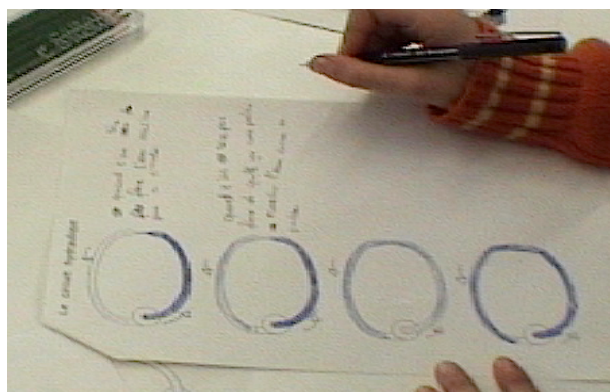
Les élèves n'ont pas de difficulté à trouver le sens de circulation de l'eau. Il est évident pour eux que l'eau arrive du côté où la pression augmente lorsqu'on écrase le tuyau. Ils savent donc que s'ils palpent un tuyau sous/sans pression, ils le font en un point situé avant/après l'endroit où le tuyau est écrasé (dans le sens de circulation de l'eau).

Poste H (scène 14) : Sur les schémas donnés, coder les pressions en se référant à ce qui a été vécu dans le poste D.



Après être passé au poste D, complète les dessins de manière à faire comprendre ce qui se passe avec les pressions dans le tuyau.

Les élèves codent la pression plus ou moins forte par des couleurs différentes, des hachures plus ou moins serrées ou des couleurs plus ou moins intenses. Dans les dessins de tous les groupes, on retrouve le fait que la différence de pression avant et après resserrement du circuit d'eau est d'autant plus grande que ce resserrement est plus marqué.

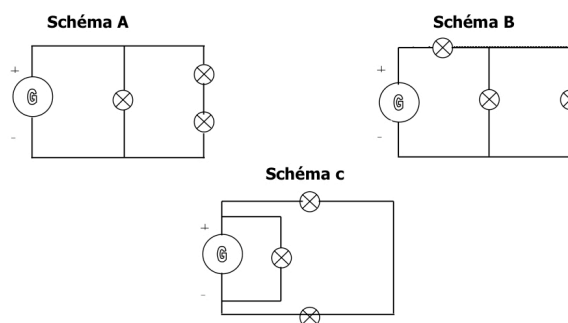
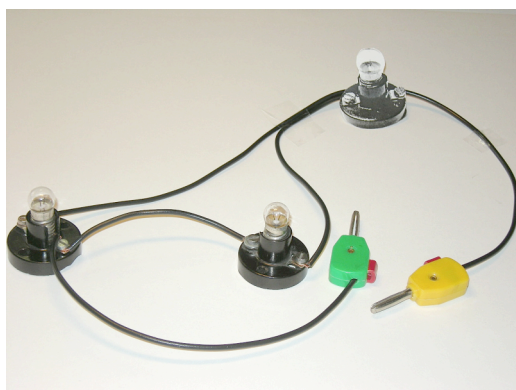


Poste F (scène 15) : Obtenir les volts voulus en tournant la manivelle d'une dynamo.

Branche la génératrice à main sur le voltmètre et tourne la manivelle. Entraîne-toi à faire 1 V puis 2 V puis 3 V et 5 V.

Quand tu es prêt, annonce la pression que tu compte faire, ne regarde plus le voltmètre et demande à ton camarade de vérifier la valeur. Ton camarade a le droit de t'aider à améliorer ton travail. Il doit remplir le tableau de la fiche.

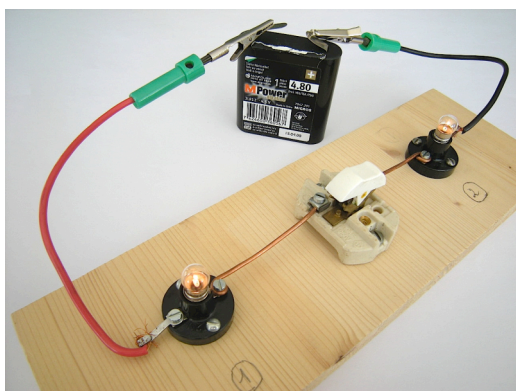
Bien qu'il ne soit pas facile de tourner la manivelle de la dynamo à une vitesse constante, les élèves parviennent assez bien à obtenir le nombre de volts demandé. L'essentiel, ici est qu'ils perçoivent la corrélation entre la vitesse et la tension électrique.

Poste G (scène 16) : Identifier le schéma correspondant à un montage donné.

Pour représenter ce montage, les électriciens utilisent un de ces dessins qu'ils appellent « schéma ». Lequel de ces schémas correspond au montage ?

Certains groupes trouvent facile cette activité, d'autres doivent se faire aider par l'enseignante. À noter que le montage de l'illustration correspond au schéma B.

☒ Un poste n'est pas montré dans le film :

Poste E : Utiliser voltmètre dans un circuit électrique comprenant un interrupteur et deux lampes montées en série.

Ici, l'enseignante doit assister les élèves et montrer ce que signifie « mesurer la pression aux bornes » par des exemples de mesures.

Pour mesurer la pression dans un circuit électrique, on utilise un voltmètre.

Dans le circuit déjà monté, mesure la pression aux bornes des différents éléments et remplis le tableau.


Attention, tu dois brancher le voltmètre en parallèle si tu veux obtenir la bonne mesure.

	Interrupteur ouvert	Interrupteur fermé
Lampe 1	.....V	.....V
Lampe 2	.....V	.....V
Lampe 1+2	.....V	.....V
Interrupteur	.....V	.....V
Pile	.....V	.....V

Mise en scène des phénomènes se passant dans un circuit comportant deux lampes en série (85 minutes de travail)

L'enseignante constitue trois groupes de sept élèves et désigne deux responsables dans chaque groupe. Elle choisit pour cela les six élèves qui ont jusqu'ici montré un bon niveau de compréhension. Elle présente la « nouvelle situation » : le circuit dessiné au sol comporte une pile de 4.5 V et deux lampes en série, « placées sur le même fil ». Les consignes données aux élèves sont : « Chaque groupe va mimer la situation (...) À vous de mimer ce qui se passe dans la pile, dans l'ampoule et dans les fils ».


Après discussion, chaque équipe présente sa vision du fonctionnement du circuit en série.

 Dans le film, on voit la présentation de deux équipes.

Dans ces jeux de rôles, il y a un « génie de la pile » qui fait circuler ses camarades « grains d'électricité » dans le circuit et qui leur distribue l'énergie. Il y a dans chaque lampe un élève qui reçoit l'énergie.

Dans la première équipe, le « génie de la pile » donne deux billets d'énergie de « 2 volts en séparé » aux « grains d'électricité ». Au passage dans la première lampe, ces « grains d'électricité » cèdent l'un de leurs billets d'énergie à la première lampe. Ils cèdent le second billet d'énergie à la deuxième lampe puis retournent à la pile les mains vides.

La deuxième équipe joue un scénario légèrement différent : chaque « grain d'électricité » reçoit de la part du « génie de la pile » un billet d'énergie de 4.5 V. Il donne ce billet à son camarade de la première lampe qui le déchire en deux parties égales et n'en conserve que la moitié. Le « grain d'énergie » poursuit son périple avec en main un demi-billet d'énergie qu'il cède à la deuxième lampe pour s'en retourner les mains vides à la pile.

La troisième équipe d'élèves ( non visible dans le film) joue le même scénario que la deuxième équipe.

Pour clore cette séance, l'enseignante revient au registre empirique et rappelle par une petite démonstration, que deux lampes montées en série dans le circuit éclairent moins fortement qu'une seule (ce qui est en accord avec ce qui vient d'être mimé).

Séance 7	Semaine 7	Lampes en parallèle / Modélisation – Etape 2	Scènes 18-19
----------	-----------	--	--------------

Mise en scène des phénomènes se passant dans un circuit comportant deux lampes en parallèle (45 minutes de travail – scène 18)

L'enseignante rappelle à toute la classe les scénarios joués la semaine précédente pour rendre compte de ce qui se passe dans les circuits comprenant deux lampes montées en série. Elle demande aux élèves s'ils veulent refaire ce jeu de rôle. Personne ne le souhaite si bien qu'elle expose la suite aux élèves : « vous aller mimer ce qui se passe dans le cas de deux lampes en parallèle ; vous allez refaire ces groupes [les mêmes groupes que la semaine dernière] : je vous laisse dix minutes pour créer un scénario »

La première équipe présente un jeu de rôles dans lequel les « grains d'électricité » circulent par paire. Le « génie de la pile » distribue un billet d'énergie à chacun des élèves de chaque paire. Ceux-ci partent en même temps de la pile puis se séparent pour passer l'un dans une branche du circuit (dans une lampe) et l'autre dans la seconde branche du circuit (dans la seconde lampe).

Interrogés sur le nombre de volts à inscrire sur chaque billet d'énergie, les élèves sont hésitants. Ils optent pour 2 V. L'enseignante leur fait dire que si c'est le cas, les lampes n'éclairent que faiblement puis revient au registre empirique en présentant un montage comportant deux lampes en parallèle. Au moment où elle le met en service, les élèves constatent que « les lampes brillent normalement ». L'enseignante fait réfléchir les élèves à ce que cela signifie en termes de volts à associer aux billets d'énergie. Les élèves de cette équipe ont quelques difficultés à réaliser que les billets d'énergie sont des billets pleins et que pour que les lampes brillent normalement, le débit de grains d'énergie que doit assurer la pile est deux fois plus grand que pour une lampe unique.

Les autres équipes reprennent ce jeu de rôle (❏ pas montré dans le film) et s'attachent à trouver le moyen de faire comprendre que le débit est doublé et que la pile s'use deux fois plus vite. Un problème rencontré est la manière de maintenir des paires de grains d'énergie alors que les deux partenaires de chaque paire se séparent et, ne parcourant pas des chemins de même longueur, ne se retrouvent pas ensemble après la traversée de leurs lampes respectives.

Introduction d'un *modèle* symbolique – Etape 2 de la modélisation (40 minutes de travail – scène 19)

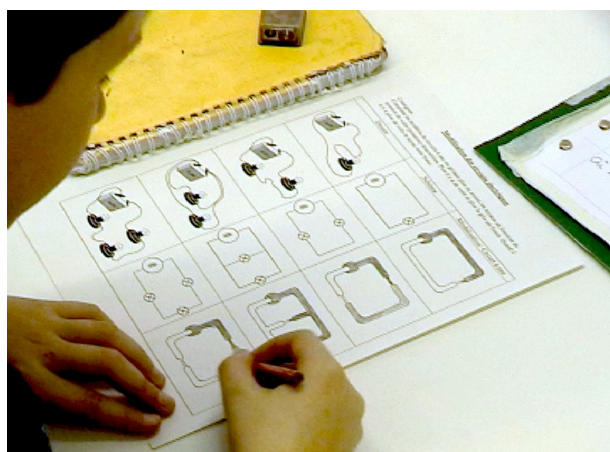
L'enseignante donne à chaque élève la fiche à compléter: « modélisation des circuits électriques » (annexe E2). Cette fiche comporte le dessin de quatre circuits constitués d'une pile et d'une, deux ou trois lampes montées de différentes manières. Pour chacun de ces montages, la fiche comporte un schéma électrique et un schéma hydraulique. Les schémas hydrauliques sont non coloriés, « les tuyaux sont vides ». Une consigne écrite sur cette fiche indique : « Complète les modèles de circuits à eau en grisant plus ou moins



les tuyaux en fonction du nombre de volts (pression) disponibles. Plus il y a de volts et plus le gris est foncé. Quand il n'y a plus de volts le tuyau reste blanc ».

Avant de donner des consignes relatives à cette fiche, l'enseignante invite un élève à venir revivre devant ses camarades l'expérience vécue par tous (poste D du second *rallye*). La manière dont les pressions se répartissent dans l'eau en circulation au moment où l'on écrase la chambre à air (pleine d'eau) est rappelée ici.

❏ Le film montre deux élèves qui, pendant ce rappel, ont anticipé et complété leur fiche en plaçant correctement les grisés dans les circuits hydrauliques. La consigne écrite leur a suffi.



L'enseignante enchaîne en se référant à la fiche qu'elle vient de distribuer et donne ses consignes : « Je vais représenter, en gris, la partie du tuyau qui est sous pression (...), en blanc la partie du tuyau dans laquelle il n'y a plus de pression (...); plus il y a de pression, plus c'est gris foncé, moins il y a de pression, plus c'est clair ».

L'enseignante montre comment elle colore les deux premiers schémas hydrauliques en apportant des commentaires puis

elle laisse les élèves colorier les deux schémas suivants.

Elle passe ensuite auprès des élèves pour vérifier que ces coloriages soient corrects et donner des aides personnelles à quelques-uns (les derniers schémas ont été plus difficiles à compléter pour certains).

❏ La fin de la séance n'est pas visible dans le film.

La séance se termine par une institutionnalisation des coloriages attendus, réalisée par la projection, sur l'écran de la classe, du document complété par l'enseignante.

Ce travail institue également la manière de dessiner des schémas électriques et de leur associer un schéma hydraulique. Les correspondances entre génératrice et pile, tuyau et fil, lampe (récepteur) et étranglement du tuyau sont aussi fixées ici.

Les élèves en avance sont invités à inventer un nouveau montage électrique et à en dessiner le *modèle* de circuit à eau.

Séance 8

Semaine 8

Modèle amélioré / Modélisation – Etape 3

Scènes 20-21

Mise en rapport du *modèle* des grisés et du *modèle* mimé des grains d'électricité – perfectionnement du *modèle* des grisés (20 minutes de travail -scène 20)

L'enseignante s'adresse à la classe et fait un apport structurant en reprenant la fiche des quatre circuits (annexe E2) qui a servi à l'institutionnalisation du *modèle* des grisés. Elle évoque les jeux de rôles réalisés pour les montages comportant deux lampes en série et deux lampes en parallèle. Quelques élèves corrigent leur fiche.

L'enseignante demande aux élèves d'ajouter à leurs dessins le sens de circulation de l'électricité. Tous les élèves placent des flèches montrant que le “fluide” électrique tourne dans les sens des plus hautes aux plus basses pressions (du + au – du générateur), Des flèches sont disposées correctement dans les branches en parallèle des montages.

Ensuite, l'enseignante présente deux documents qui instituent les règles de fonctionnement du *modèle* ainsi que les règles de brillance des lampes (annexe F2). Elle explique qu'une lampe brille normalement si un côté est gris foncé (tension du générateur, par ex. à 4.5 V) tandis qu'il n'y a pas de couleur grise de l'autre côté (tuyau laissé en blanc, 0 V). Elle indique que si le grisé est plus clair, la lampe éclaire plus faiblement. Elle omet de signaler le cas que rencontreront les élèves, celui où il y a un gris foncé d'un côté et un gris clair de l'autre, situation dans laquelle la lampe éclaire faiblement aussi (ce cas figure par contre dans le document remis aux élèves). Elle précise encore que la lampe est éteinte chaque fois que les grisés sont identiques des deux côtés de la lampe ou « si c'est blanc des deux côtés ».

L'enseignante demande ensuite aux élèves de noter la brillance des lampes dans les quatre montages de la fiche selon la convention : N : normalement, F : faiblement ; TF : très faiblement. Les élèves s'acquittent de cette tâche sans trop de problèmes (☒ pas montré dans le film).

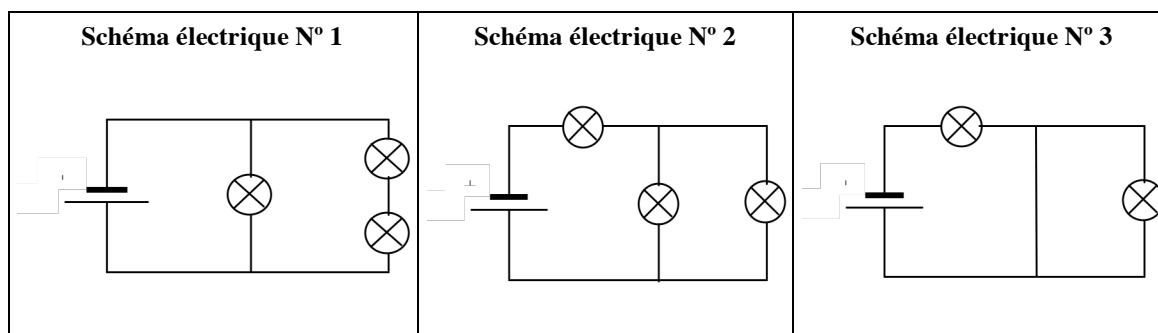
Réinvestissement en situation concrète nouvelle et en équipes d'élèves - Etape 3 de la modélisation (65 minutes de travail -scène 21)

Les élèves sont répartis en trois équipes de sept et reçoivent un document (annexe G2).

L'enseignante lance un défi à chaque équipe. Il s'agit de réaliser le montage correspondant à un schéma électrique, de dessiner le schéma hydraulique correspondant en y plaçant les grisés voulus et de se servir de cette modélisation pour prévoir l'éclat des lampes du montage. Chaque équipe se voit attribuer un schéma différent et le matériel nécessaire à la réalisation du montage mais sans la pile. L'enseignante désigne un rapporteur pour

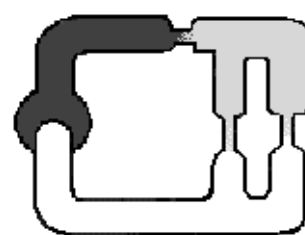
chaque équipe qui va être responsable de présenter à la classe le travail de son équipe. Le rapporteur doit préparer un transparent avec l'aide de ses camarades. L'enseignante met les élèves en projet en leur indiquant que la vérification de la brillance des lampes sera faite dans la présentation finale. C'est quand les élèves auront fait part de leurs prévisions qu'elle branchera la pile sur leur montage.

Malgré quelques difficultés de concentration et de partage des tâches au sein des équipes, celles-ci arrivent au but et présentent à tour de rôle leur travail.



Le film montre la deuxième équipe (schéma N° 2) au travail. On voit ensuite la première équipe (schéma N° 1) qui présente son montage et ses prévisions à la classe. Les élèves de cette équipe ont fait une erreur de prévision qui est décelée par la mise en service du montage et qui est corrigée par des camarades. On voit ensuite la troisième équipe (schéma N° 3), autour d'une table, interrogée à propos d'une déduction tirée du *modèle*, selon laquelle une des lampes ne brille pas (elle est court-circuitée). Un des élèves exprime des doutes, mais décide de faire confiance à la déduction que lui a dictée la mise en œuvre du *modèle*. Les dernières images du film montrent le rapporteur de cette équipe présenter sa situation et l'enseignante interpellier la classe sur cette prévision surprenante. Les élèves de la classe, qui n'ont pas réfléchi à propos de ce montage, ne pensent pas qu'une lampe puisse demeurer éteinte. Finalement la vérification donne raison aux élèves de cette troisième équipe !

La présentation du travail réalisé par l'équipe du schéma N° 2 n'est pas montrée dans le film. Les élèves de cette équipe ont dessiné un schéma hydraulique correct, Ils ont prévu que les trois lampes éclairent faiblement mais n'ont pas su dire que la première des trois lampes brille plus fortement que les deux lampes placées en parallèles (le *modèle* ne permet pas cette prévision).



Modèle des grisés appliqué au circuit du groupe 2. Une lampe éclaire assez fortement, deux lampes éclairent faiblement

Séance 9

Semaine 9

Bilans personnels de compétences

(Pas dans le film)

☒ Cette neuvième séance n'est pas signalée dans le film.

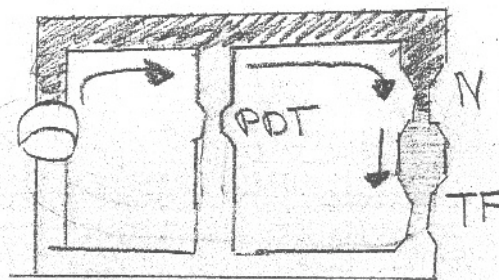
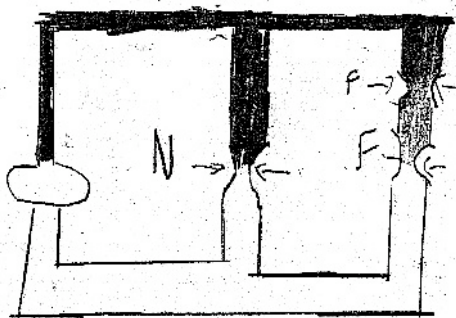
Test de *compétences* passé individuellement par tous les élèves de la classe

Le test reprend la même forme et les mêmes consignes que le travail de groupe de la séance précédente. Les montages utilisés lors des travaux en équipes sont maintenant tous les trois proposés à chaque élève.

Ce bilan montre que la plupart des élèves sont parvenus à dessiner le circuit hydraulique de manière satisfaisante.

Le taux de réussite dans l'application correcte du *modèle* des grisés est plus faible :

10/21 élèves ont placé des grisés corrects dans le montage N°1. Les autres élèves ont indiqué la bonne pression au départ puis se sont trompés pour la suite.



Dans le premier de ces dessins, les grisés sont corrects et ont permis à l'élève de prévoir sans erreur les éclats des lampes (N pour normalement, F pour faiblement). Dans le second exemple, l'élève n'a pas appliqué correctement la règle des grisés selon laquelle les changements de pressions ne peuvent avoir lieu que dans les lampes et le générateur (règle B4 – annexe F2). Il n'a pas non plus respecté le code (règle B5) selon lequel une lampe n'éclaire pas normalement si la différence des grisés entre son entrée et sa sortie n'est pas celle pour laquelle elle est conçue (celle qu'on trouve aux bornes de la pile). Les conventions utilisées sont ici PDT pour pas du tout, TF pour très faiblement.

Pour le montage N°2, 13/21 élèves ont placé des grisés corrects.

Par contre, le court-circuit du montage N° 3 a constitué un obstacle que les élèves n'ont pas surmonté. Seuls quelques élèves de l'équipe qui avait traité cette situation la semaine précédente ont ici appliqué correctement le *modèle*.

Les élèves ont aussi montré que les règles de brillance des lampes ne sont pas fonctionnelles pour environ une moitié d'entre eux puisque 10/21 élèves ont su décrire logiquement la brillance des lampes dans le montage N°1, 14/21 élèves ont su décrire logiquement la brillance des lampes dans le montage N°2 et 14/21 élèves ont su le faire pour les lampes du montage N°3.

2.3 *Modèle des “grains d’électricité”*

Des jeux de rôles au modèle

Grâce aux jeux de rôles, l’enseignante a pu confronter les élèves à des situations qui remettent en cause leurs *conceptions*. Avec l’introduction des billets d’énergie portés par des “grains d’électricité” parcourant le circuit électrique, ces jeux de rôles se sont mis à fonctionner comme un *modèle*. Le travail des élèves sur les circuits avec deux lampes en série puis deux lampes en parallèle montre un aller et retour entre le registre empirique (l’enseignante montre aux élèves les phénomènes) et le registre du *modèle*.

L’enseignante s’est appuyée sur la *conception* énergétique des élèves pour leur proposer un *modèle* qui concilie le transfert d’énergie de la pile à la lampe tout en rendant compte des effets de la polarité dans le branchement de la pile (pour nous, du sens du courant).

Dans ce *modèle*, l’énergie portée par un grain d’électricité augmente avec le « voltage » du billet d’énergie véhiculé par ce grain. L’énergie cédée à la lampe est représentée par ces billets d’énergie. Dans le montage des deux lampes en série, chaque lampe reçoit une moitié de l’énergie transportée par un grain d’électricité. Dans le montage des deux lampes en parallèle, il faut doubler le débit des “grains d’électricité” en faisant circuler ceux-ci par paire de sorte que les lampes éclairent chacune comme si elle était la seule qui soit branchée à la pile.

Le sens de circulation admis tacitement avec les élèves est le sens conventionnel du courant électrique (du pôle + du générateur au pôle – à l’extérieur de celui-ci).

Transposition didactique

Le *modèle* ainsi construit peut heurter le physicien qui sait que l’éclat de la lampe (flux lumineux) peut être mis en relation (d’ailleurs non linéaire) avec la puissance dissipée par la lampe, puissance qui est le produit de la différence de potentiel à ses bornes par l’intensité du courant électrique qui y circule. En associant, de manière explicite, l’énergie à la tension seulement, on induit donc ici une “fausse” représentation. Plus exactement, on ne fait qu’un bout de chemin. L’idée de courant électrique est sous-entendue dans ce *modèle*, mais elle n’en n’est pas absente. Le courant est représenté par le débit des grains d’électricité. Dans le jeu de rôles, ce débit apparaît concrètement par le nombre d’élèves qui cèdent leur énergie à une lampe par unité de temps. Les élèves ont senti cela en faisant circuler les grains d’électricité par paire dans le cas des lampes en parallèle. Pour que chaque lampe continue à éclairer normalement, il faut en quelque sorte que deux courants se superposent dans la partie commune du circuit et notamment dans la pile qui, comme le disent les élèves, « s’use maintenant deux fois plus vite ». Quant au facteur qui limite l’intensité du courant, à savoir la résistance électrique, il est aussi sous-entendu dans cette approche. Plus exactement, ce qui est sous-entendu, c’est que les lampes sont toutes identiques et que c’est pour cela que, placées en série, elles dissipent la même énergie associée à la même chute de tension. C’est aussi pour cela que, placées en parallèle, elles éclairent toutes deux de la même manière.

Cela dit, l’enseignement de l’électrodynamique insiste traditionnellement sur le courant qui semble plus facile à conceptualiser et peine à proposer aux élèves une représentation de la grandeur tension. L’énergie est généralement liée aux grandeurs électriques par $\Delta E = RI^2 \Delta t$ mais plus rarement par $\Delta E = U^2 \Delta t / R$. Et qui plus est, courant, tension, résistance et puissance électriques ne se conceptualisent pas simultanément tandis qu’ici, le choix est de privilégier une approche systémique.




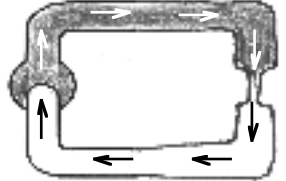
Le progrès conceptuel attendu suffit à rendre compte de ce qui est observable dans les situations bien choisies (les lampes sont toutes identiques, on néglige la résistance interne de la pile et celle des conducteurs). Cela induit peut-être des *conceptions* qui pourront un jour faire problème et engendrer des obstacles. On est là face à un paradoxe connu des didacticiens et plus généralement des pédagogues : dans tout apprentissage, les représentations qui se construisent sont provisoires, locales, partielles. Des “choses fausses” sont “enseignées” qui font avancer les élèves ! On retrouve le parallèle entre la manière dont le savoir savant se construit au cours du temps et la manière dont il se construit dans la tête d’un apprenant. Sauf qu’ici, de par les choix arrêtés par l’enseignante, de par la *transposition didactique* opérée, le cheminement de la construction conceptuelle s’écarte du cheminement historique.

2.4 Modèle symbolique des grisés

Du concret vers l’abstrait

Dans ce *modèle*, on substitue aux schémas électriques des schémas hydrauliques dans lesquels on fait apparaître les potentiels électriques sous forme de pression dans des tuyaux. Ce *modèle* ne prend sens pour les élèves que fortement ancré dans la représentation engendrée par les jeux de rôles du *modèle* des “grains d’électricité” ainsi que dans l’approche sensible d’un véritable circuit hydraulique réalisé au moyen d’une chambre à air remplie d’eau.

Des analogies sont construites selon le tableau suivant :

Circuit hydraulique matériel	Circuit hydraulique symbolique	Circuit électrique
Pompe d’aquarium ou pompe à manivelle		Pile électrique ou génératrice à main
Étranglement du tuyau		Lampe (récepteur)
Eau	Ce qui circule dans les tuyaux	“Fluide électrique”, “grains d’électricité”
Pression	 Grisé plus ou moins intense	Potentiel électrique, tension, « voltage »
Débit d’eau	 Des flèches indiquent le sens de circulation	Courant électrique, nombre de “grains d’électricité” par unité de temps
Sens de circulation de l’eau		Sens de circulation du “fluide électrique”
Sens de rotation de la manivelle de la pompe		Sens de rotation de la manivelle de la génératrice ou choix de la polarité de la pile

Un document plus complet sur ce *modèle* des grisés, destiné aux enseignants, fait l’objet de l’annexe H2.

Perspectives

Ce *modèle* des grisés ne va guère au-delà du *modèle* des “grains d’électricité”. Il a les mêmes limites que ce dernier et l’idée de débit (courant électrique) y est encore moins apparente. Par contre, il a l’avantage de permettre une meilleure formalisation des règles qui le rendent opératoire. Il est plus facile de prévoir ce qui se passera dans une situation donnée avec ce *modèle* qu’avec le précédent. De plus, c’est un *modèle* qui peut facilement s’enrichir et se complexifier. On peut introduire une symbolique qui exprime l’intensité du courant (par de flèches à queues plus ou moins nombreuses ou plus ou moins épaisses par ex.). On peut introduire une symbolique qui exprime la résistance électrique (par des resserrements plus ou moins marqués par ex.). On peut quantifier ce *modèle* en chiffrant en volts les grisés, en chiffrant en ampères les flèches représentant les courants et en chiffrant en ohms les étranglements représentant les résistances. On peut aussi chiffrer en watts les puissances dissipées. Appliqué à des situations de récepteurs ohmiques (résistances constantes des récepteurs) un tel *modèle* devient alors très performant pour résoudre des problèmes de circuits relativement complexes.

Trois exemples d’extension du *modèle* des grisés avec des élèves de 15 ans

1) Résoudre un problème en se servant des grisés.

Dans ce premier exemple, le problème est de dimensionner la résistance à utiliser pour faire fonctionner correctement une lampe avec une pile de tension trop élevée.

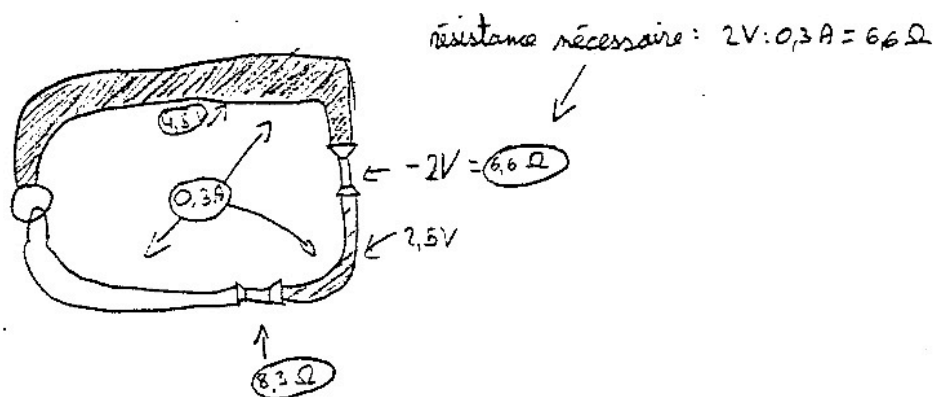
Donnée du problème

Tu dois faire fonctionner normalement (sans la faire griller) une ampoule portant la mention **2.5 V / 0.3 A** au moyen d’une pile de 4.5 V. L’idée est de mettre une résistance additionnelle dans le circuit.

Réalise la résistance additionnelle au moyen d’un fil de fer de 0,2 mm de diamètre, fais le montage puis vérifie que ta lampe brille normalement.

On voit ici comment un élève se sert du *modèle* des grisés et trouve que la résistance additionnelle doit être de $6,6 \Omega$

Les 0.3 A sont un débit imposé qui est le même dans tout le circuit. Le problème est alors de chercher quelle résistance crée la chute de tension de 2 V permettant de n’avoir que les 2.5 V voulus aux bornes de la lampe. Ici l’élève se sert de la loi d’Ohm.

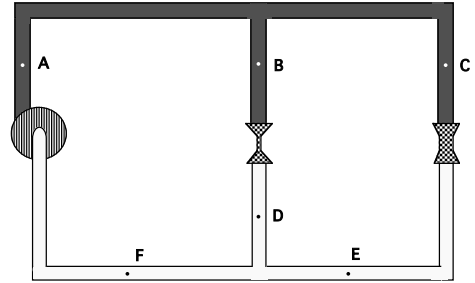


2) Représenter la valeur des résistances.

Ce deuxième exemple montre un exercice dans lequel on utilise un codage pour exprimer la résistance électrique.

Donnée du problème

Ce circuit hydraulique peut être comparé à un circuit électrique comprenant un générateur et deux récepteurs reliés par des fils conducteurs.



Question 1

Dessine le schéma d'un circuit électrique, correspondant au circuit hydraulique, dont le générateur serait une pile et les récepteurs des lampes. Incorpore au schéma des appareils de mesure permettant de connaître les débits d'électricité aux 5 endroits désignés par les points A à F. Propose des valeurs plausibles pour ces débits d'électricité.

Question 2

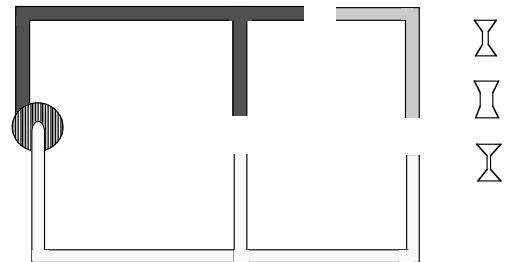
Indique laquelle des deux lampes est la plus puissante.

3) Associer les grisés et le codage des résistances.

Ce troisième exemple est celui d'un exercice faisant appel à une bonne représentation de ce qui se passe dans un montage comportant trois récepteurs.

Donnée du problème

Dans ce circuit hydraulique, une pompe fait circuler l'eau dans les tuyaux. Trois étranglements freinent la circulation de l'eau. Ces étranglements sont disposés de manière à ce que le débit d'eau engendré par la pompe se partage en **des parts égales** dans les deux branches du circuit.



Ce circuit hydraulique peut être comparé à un circuit électrique comprenant un générateur et trois récepteurs reliés par des fils conducteurs.

Question 1

Mets à leur place, en les redessinant, les trois étranglements (récepteurs). Tiens compte de leurs différentes épaisseurs.

Question 2

Dessine le schéma d'un circuit électrique, correspondant au circuit hydraulique, dont le générateur serait une pile et les récepteurs des lampes.

Question 3

Partant du fait que la tension aux bornes de la pile est de 4 volts, propose des tensions qui pourraient être mesurées aux bornes des lampes.

3. Regard sur ces histoires vécues

3.1. Des histoires uniques

Même si elles ont été un peu arrangées pour leur présentation, les deux expériences relatées dans les chapitres précédents, comme toutes celles qui sont relatées dans les chapitres qui suivent, sont authentiques. Certaines ont été réalisées par des étudiants ou des enseignants dans le cadre de stages, d'accompagnements, ou de recherches. Elles ont parfois été conduites avec la volonté de décloisonner les disciplines et de mettre en oeuvre des formes de coopération entre élèves dans les processus d'apprentissage. Mais attention ! Ces expériences sont personnelles et contextuelles ; elles ne sont assurément pas reproductibles ! On peut cependant en tirer des enseignements : elles ouvrent des pistes, montrent des possibles, des limites aussi. Au-delà des faits tangibles, c'est l'esprit qui anime les enseignants en actes qui est important dans ces expériences, un esprit d'ouverture, de recherche et de réflexion sur sa pratique professionnelle.

3.2. “L'élève au centre”

Beaucoup de travaux de recherches ont été publiés au 20^e siècle et en ce début de 21^e siècle à propos des mécanismes d'apprentissage. Une conception “socioconstructiviste” des processus par lesquels un individu apprend est née de ces recherches. Elle nourrit une mouvance pédagogique qui a beaucoup de peine à s'imposer dans les pratiques car elle implique le dépassement du paradigme de la transmission du savoir. L'un des slogans souvent associé à cette mouvance est « plaçons l'élève au centre ». Dans un courant libertaire issu du mouvement de mai 68, ce slogan a pu être amalgamé avec la “théorie” de l'enfant-roi. Dès lors, l'échec de certaines éducations limitant l'exercice de l'autorité sur les enfants (l'enfant-roi devenu l'enfant tyran) fournit un levier à ceux qui contestent la pertinence d'un enseignement fondé sur le socioconstructivisme. Un malentendu est là, entretenu par certains, sur le sens de l'expression “l'élève au centre”.

Dans la conception socioconstructiviste, l'élève est au centre de **ses apprentissages**. Cela veut dire qu'on pense que ce sont des mécanismes d'organisation et de structuration des informations, propres à l'individu apprenant, qui lui permettent d'élaborer ses savoirs. On a reconnu l'importance capitale des interactions entre le sujet apprenant et l'objet de son apprentissage, interactions mobilisant des mécanismes d'adaptation par assimilation et accommodation¹ ou, selon André Giordan, des mécanismes qu'une métaphore permet de comparer à ceux qui déterminent la structure et le fonctionnement de certaines protéines dites « allostériques ». On a aussi reconnu la grande importance des interactions sociales entre les sujets apprenants ainsi qu'entre un apprenant et un “médiateur”² (un parent, un pair, un enseignant, un animateur...). On croit souvent que le “modèle socioconstructiviste” s'oppose au “modèle transmissif” et au “modèle comportementaliste” d'apprentissage. Plus généralement, on pense que les théories basées sur les contenus à enseigner, les théories basées sur le sujet apprenant et les théories basées sur les interactions sociales et matérielles s'excluent les unes les autres. Ce n'est sûrement pas si simple !

¹ Ce sont les travaux de Jean Piaget qui ont fondé cette compréhension des mécanismes d'apprentissage

² On cite très souvent les travaux de Lev Vygotski à propos de la dimension interactive des apprentissages

Chaque enseignant sait à quel point son “état intérieur”, son enthousiasme, sa disposition envers son public, son rapport au savoir enseigné, sont déterminants pour les apprentissages qu’il va susciter chez ses élèves. Si l’on croît au modèle constructiviste, on peut aussi admettre que des mécanismes de construction de savoir sont suscités par des circonstances non planifiées. Concrètement, il se peut qu’un discours de l’enseignant, apparemment de nature transmissive, provoque une démarche de questionnement, de formulation d’hypothèses, d’expériences de pensée, crée des conflits cognitifs dans la tête d’un apprenant. Il se peut aussi que le discours de l’enseignant “tombe à pic”, que le destinataire, dans un processus de construction de savoir, se trouve justement en situation de recevoir une réponse, de voir se confirmer les hypothèses qu’il a échafaudées. Bref, il se peut qu’un enseignant, par l’art d’un discours qui capte l’attention, par chance aussi, soit en phase avec les processus d’apprentissage de quelques élèves au moins. Pour ces élèves, cet enseignant aura l’impression d’avoir “transmis” alors que ces élèves se seront appuyés sur son discours pour “construire” du savoir. La question est alors : comment atteindre plus d’élèves à coup sûr, et même presque tous ? Une réponse se trouve dans les outils que propose l’approche socioconstructiviste : le questionnement, les *situations-problèmes*, les énigmes, les études de cas, les projets de réaliser, les projets de communiquer, la confrontation des idées, le débat. La « ruse pédagogique » consiste à refuser d’enseigner d’abord pour d’abord rendre l’élève demandeur. Cette ruse a ses limites. Comme le dit Philippe Meirieux³, face à des élèves qui, par principe, refusent d’apprendre, elle ne fonctionne pas. Mais sont-ils nombreux ?

L’intérêt des séquences d’enseignement sur le métabolisme (chapitre 1) et sur l’électricité (chapitre 2), est qu’elles montrent comment, un enseignant et une enseignante qui s’inspirent du modèle d’apprentissage socioconstructiviste, s’y prennent pour, justement, ne pas enseigner d’abord, mais pour créer des situations dans lesquelles les mécanismes d’apprentissage peuvent se mettre en route. Ces séquences témoignent aussi du fait qu’enseigner à partir du paradigme socioconstructiviste n’exclut pas des moments d’apports frontaux de type transmissif ou même des moments de drill d’inspiration behavioriste. Par cette approche, des fenêtres s’ouvrent, dans lesquelles un apport sur le mode transmissif ou sur le mode behavioriste s’avère pertinent.

Encore une précision : s’adapter à la manière de penser des élèves ne signifie pas se laisser diriger par eux. Dans les séquences sur le métabolisme et sur l’électricité, les enseignants conduisent chacun fermement sa classe vers des **compétences définies a priori**.

3.3. Les rôles de l’enseignant

Dans la perspective socioconstructiviste, l’enseignant doit mettre en place des situations propices aux apprentissages et créer un climat particulier de travail. Pour cela, plus que dans un enseignement qui serait essentiellement transmissif ou behavioriste, il doit, par la problématisation, interpeller et déstabiliser ses élèves, mais il doit aussi les mettre en confiance, leur apporter des réponses, leur donner des moyens. Il doit les responsabiliser, mais aussi les faire réussir. Il doit les faire interagir avec le matériel et avec les autres ressources. Il doit les faire interagir entre eux, échanger des idées. Il doit les conduire à formuler des hypothèses, à débattre, à être critique.

Avec des extraits de textes tirés des deux chapitres qui précèdent, le tableau illustre comment ces rôles sont endossés par les enseignants.

³ Philippe Meirieux est professeur à l’Université-Lumière Lyon 2. Voir son texte sur les nouvelles missions et nouveaux défis pour l’Ecole et ses enseignants sur <http://www.meirieu.com/ARTICLES/nouvellesmissions.pdf>

Rôles		Textes et citations tirées du chapitre 1, séquence d'enseignement sur le métabolisme	Textes et citations tirées du chapitre 2, séquence d'enseignement sur l'électricité
Problématiser	Interpeller	<p>« Chacun doit noter une interrogation, une incompréhension à propos de ce texte » (Séance 6)</p> <p>« Nous savons que nous avons tous besoin d'énergie pour vivre, la question est de savoir combien il nous en faut. Comment le savoir ? – À vous de le trouver ! » (Séance 7)</p>	<p>« Imagine, invente, dessine ce que tu penses ! » (Séance 1)</p> <p>« Utilise le circuit suivant. Comment peux-tu savoir dans quel sens est branchée la pile en regardant la boussole ? » (Séance 1)</p> <p>Derrière cette consigne, il y a un défi : réussir à allumer la lampe. (Séance 2)</p> <p>« Selon vous, que se passe-t-il dans le circuit lorsque l'ampoule brille ? Mimez la situation ! (Séance 2)</p>
	Déstabiliser	<p>« Est-ce que vous acceptez tels quels les résultats trouvés par vos camarades ? » - « Qu'est-ce que vous pourriez remettre en cause ? » - « Quel est votre projet pour jeudi prochain ? » (Séance 8)</p> <p>« Que vous suggèrent ces résultats ? – Sont-ils conformes ? - Les acceptez-vous tels quels ? » (Séance 9)</p>	<p>Cette situation déstabilise les élèves. Certains pensent que la pile ne fonctionne pas et se servent d'un testeur de pile pour en vérifier le bon état. D'autres demandent à l'enseignante de bien vouloir contrôler que leur lampe fonctionne. (Séance 2)</p> <p>« Pourquoi l'aiguille de la boussole change-t-elle d'orientation lorsqu'on intervertit les pôles de la pile ? » (Séance 3)</p>
Mettre en confiance - Apporter des réponses - Donner des moyens		<p>Parmi les ressources, figure un tableau des équivalences d'unités d'énergie qui est affiché en classe. Ces équivalences sont présentées comme des informations utiles. (Séance 9)</p> <p>L'enseignant donne la solution du problème de la consommation de graisse par la lampe à saindoux. (Séance 6)</p> <p>En fin de leçon, l'enseignant distribue un document théorique de synthèse qui institue une comparaison entre l'homme et la voiture. (Séance 6)</p> <p>L'enseignant donne aux élèves un document qui formalise cinq principes, appelés « hypothèses de recherche », et qui les aide à élaborer des protocoles. (Séance 7)</p> <p>« Il est normal que vous trouviez des valeurs assez proches les unes des autres ». (Séance 10)</p> <p>L'enseignant annonce aux élèves qu'ils vont faire quelques exercices pour se préparer à une évaluation. (Séance 10)</p>	<p>L'enseignante distribue des « cartes » (qui seront appelées par la suite « billets », ou « plaques ») d'énergie aux élèves et énonce des règles. (Séance 3)</p> <p>L'enseignante enchaîne en se référant à la fiche qu'elle vient de distribuer et donne ses consignes : « Je vais représenter, en gris, la partie du tuyau qui est sous pression (...), en blanc la partie du tuyau dans laquelle il n'y a plus de pression (...) ; plus il y a de pression, plus c'est gris foncé, moins il y a de pression, plus c'est clair ». (Séance 7)</p> <p>L'enseignante s'adresse à la classe et fait un apport structurant en reprenant la fiche des quatre circuits (annexe E2) qui a servi à l'institutionnalisation du <i>modèle</i> des grisés. (Séance 8)</p>
Responsabiliser		<p>À la fin de la séance, l'enseignant attribue à chaque groupe les questions dont il sera responsable le lendemain pour un travail en classe entière. (Séance 5)</p> <p>Chaque groupe doit traiter au moins trois questions selon un plan donné. Afin d'avoir une vue d'ensemble, l'enseignant demande aux élèves d'exprimer le degré de compréhension finale de chaque réponse au moyen de pastilles colorées qu'ils doivent disposer sur un panneau. (Séance 6)</p> <p>Chacun des trois groupes prépare un poster qui servira à présenter sa démarche à la classe. (Séance 7)</p>	<p>L'enseignante constitue trois groupes de sept élèves et désigne deux responsables dans chaque groupe. (Séance 6)</p> <p>L'enseignante désigne un rapporteur pour chaque équipe qui va être responsable de présenter à la classe le travail de son équipe. Le rapporteur doit préparer un transparent avec l'aide de ses camarades. (Séance 8)</p>
Faire réussir		Les quatre groupes d'élèves s'activent. Ils sont à l'aise et donnent l'impression de dominer les difficultés que comporte cette étude de cas. (Séance 11)	Certains groupes trouvent facile cette activité, d'autres doivent se faire aider par l'enseignante. (Séance 5)

Faire interagir avec le matériel et les autres ressources	<p>En duos, les élèves passent par les postes du <i>rallye d'immersion</i>. Pour chaque poste, ils remplissent une fiche (annexe A1) qui va attester d'un savoir-faire ou exprimer une <i>conception</i>. (Séance 1)</p> <p>Des ressources (documents, poste Internet, matériel) sont mises à la disposition des élèves pour leur permettre de tester les hypothèses retenues. (Séance 5)</p>	<p>La seconde partie de la séance se déroule sous forme d'un <i>rallye</i> et vise à enrichir le vécu des élèves et leur savoir-faire dans des situations qui mettent en jeu des génératrices à main, des piles, des lampes, des câbles de connexions, des bacs à électrolyse, une boussole, ... (Séance 1)</p> <p>Consigne : « Faites le schéma du montage qui fonctionne pour que l'ampoule s'allume ». (...) L'enseignante a préparé sur sa table des piles rondes, des lampes et des cordons électriques. Un élève par groupe vient chercher le matériel. (Séance 2)</p> <p>Les élèves sentent que la manivelle est plus dure à tourner lorsque l'on veut allumer deux ampoules plutôt qu'une seule. Elle est encore plus dure à tourner lorsqu'on veut allumer trois lampes. Elle tourne dans le vide lorsque les trois ampoules dont dévis-sées. (Séance 5)</p>
Faire interagir entre eux les élèves	<p>Les élèves travaillent en groupes, en équipes.</p> <p>L'échange des idées à propos de ces <i>conceptions</i> amorce la remise en cause de certaines d'entre elles. (Séance 4)</p> <p>Le projet donné aux élèves est de travailler à partir de six questions relatives au métabolisme humain et à une comparaison entre corps humain et automobile, et de préparer des réponses qui pourront être communiquées à l'autre demi-classe et discutées. (Séance 5)</p>	<p>Ces schémas sont comparés et discutés. (Séance 3)</p> <p>Le film montre la deuxième équipe (schéma N° 2) au travail. On voit ensuite la première équipe (schéma N° 1) qui présente son montage et ses prévisions à la classe. (Séance 8)</p>
Faire pratiquer la formulation d'hypothèses	<p>L'enseignant demande aux élèves de regarder le documentaire en tentant de voir si ces idées, « que l'on peut prendre pour des hypothèses », se confirment. (Séance 2)</p> <p>Ces schémas sont comparés et des hypothèses sont émises sur la manière dont la matière et l'énergie est conservée. (Séance 2)</p> <p>La consigne est de proposer des réponses qui ont le statut d'hypothèses. (Séance 5)</p>	<p>Pour reprendre les jeux de rôles, l'enseignante commence par poser à toute la classe la question : « comment pensez-vous que l'électricité circule dans les fils ? » Cela provoque une discussion qui fait naître plusieurs hypothèses qui se regroupent en trois ensembles de propositions qu'elle note sur le tableau noir. (Séance 3)</p> <p>Des hypothèses sont demandées aux élèves quant à la raison de cet assemblage. Au moyen d'un voltmètre, on vérifie une des hypothèses émises, selon laquelle « chacune des trois piles donne 1,5 V ». (Séance 4)</p>
Faire débattre Rendre critique	<p>Il y a débat à propos des vitamines et des sels minéraux. Certains pensent que ce sont des substances qui apportent de l'énergie, d'autres pensent que ce n'est pas le cas ! (Séance 4)</p> <p>L'enseignant demande aux élèves de prendre un peu de recul à propos de ce documentaire et de dire en quoi il est convaincant et en quoi il est discutabile. (Séance 2)</p> <p>« Est-ce que vous acceptez tels quels les résultats trouvés par vos camarades ? » - « Qu'est-ce que vous pourriez remettre en cause ? » (Séance 8)</p>	<p>L'enseignante invite les élèves à se rallier chacun à un des ensembles de proposition. La classe est ainsi partagée en trois équipes. (...) Chaque équipe est invitée à traduire en jeu de rôles, sur le schéma tracé au sol, l'ensemble des propositions auxquelles elle adhère. (Séance 3)</p> <p>Quelques dessins sont retenus à titre d'hypothèses puis chaque groupe démonte une ampoule pour « voir qui a raison ». (Séance 4)</p>

3.4. Contrat pédagogique, contrat didactique

Tant dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme que dans celle qui se rapporte à l'électricité, les objectifs visés par les enseignants sont clairs dès le départ. Ces objectifs sont formulés sous forme de *compétences* attendues des élèves. Pour le métabolisme, il s'agit d'être capable d'étudier un cas à partir des savoirs construits par le biais d'une modélisation. Un bilan de *compétences* est réalisé à propos du cas du cochon d'Inde. Pour

l'électricité, il s'agit d'être capable de prévoir ce qui va se passer dans un montage électrique en se servant d'un *modèle*. Dans la mesure où les élèves sont informés de cette finalité et peuvent se représenter ce qui est attendu d'eux, on peut dire que, pour l'essentiel, le contrat pédagogique est clair. Il est clair dans sa dimension cognitive tout au moins : les savoirs et savoir-faire attendus sont connus des élèves. Il est moins clair en ce qui concerne les savoir-être requis dans la mise en œuvre des *compétences*. Dans les deux séquences, les élèves travaillent beaucoup en petits groupes ou en équipes. Les enseignants désignent des « responsables », des « chefs » ou des « rapporteurs » et font savoir aux élèves que l'entité qui doit produire un résultat est le groupe et non un élève. Le message est donc bien une valorisation de la qualité des relations et des interactions au sein des groupes. Pourtant les enseignants ne vont pas jusqu'à mettre en place des dispositifs qui permettraient aux élèves de contrôler et d'améliorer le fonctionnement des groupes ou des équipes.

Sur le plan didactique, les deux séquences d'enseignement permettent d'illustrer les aspects à la fois paradoxal et évolutif du contrat didactique qui se noue entre les enseignants et leurs élèves. Après le paradoxe de la *transposition didactique*, déjà évoqué, voici celui qu'engendre une conception socioconstructiviste de l'apprentissage. La conceptualisation requiert une confrontation de l'apprenant à des obstacles qui sont ancrés dans les expériences premières, dans les croyances, dans les *conceptions*. L'acte d'apprendre requiert de sortir victorieux de cette confrontation, mais les moyens de cette victoire font justement partie de ce que l'élève doit construire !

Dans l'exemple de la construction du concept de courant électrique, on voit bien que la *conception* énergétique ne permet pas aux élèves de rendre compte des effets d'une inversion des pôles de la pile. L'obstacle est là. L'enseignante a conduit les élèves dans une situation de blocage. Son rôle est alors d'introduire dans la situation didactique un élément auquel les élèves vont pouvoir s'accrocher. Elle insiste sur la contradiction devant laquelle ils se trouvent, elle problématise la situation : « Pourquoi l'aiguille de la boussole change-t-elle d'orientation lorsqu'on intervertit les pôles de la pile ? ». Ce que l'enseignante a réussi ici c'est la « dévolution » d'un problème. Les élèves reconnaissent le problème posé par l'enseignante comme le leur. Ils s'engagent pour trouver une solution qui les satisfasse.

Elle obtient ainsi de la part de quelques élèves l'« audace » de penser autrement, d'imaginer une circulation orientée du « fluide » électrique, puis elle va compter sur les interactions sociales pour que cette audace devienne contagieuse. Mais cette audace a un prix puisque l'idée de circulation entre en conflit avec la *conception* énergétique du transfert de l'énergie de la pile à la lampe. Ici l'enseignante aurait pu tomber dans le piège de l'effet Topaze⁴. Elle aurait pu vouloir à tout prix que les élèves trouvent le moyen de concilier la vision énergétique et la vision circulatoire, quitte à suggérer par de mots et des mimiques, une proposition qui lui permette de dire aux élèves : « vous avez trouvé ! ». Au lieu de cela, elle provoque une « rupture » et fait un « cadeau » à ses élèves. Elle expose le *modèle* des cartes d'énergie. Les élèves se l'approprient instantanément.

4 Ce phénomène a été décrit par Guy Brousseau et Jean-Pierre Astolfi notamment (voir effet topaze effet Jourdain au §5.2)

3.5. L'évolution des *conceptions* des élèves

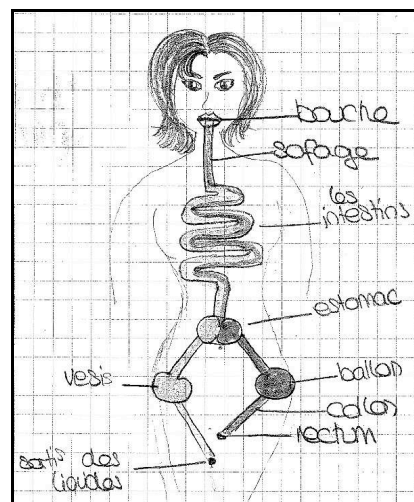
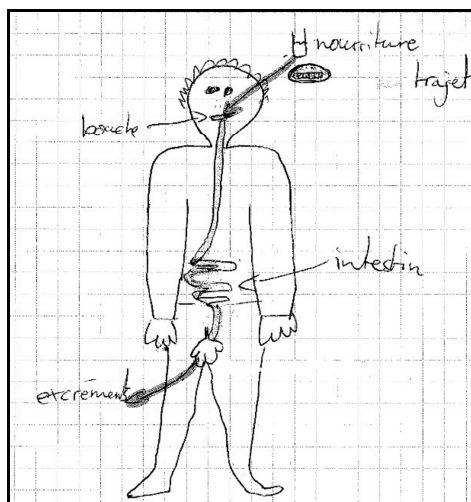
Une définition de la *conception*

Selon André Giordan⁵, « tout apprentissage significatif doit se réaliser par rupture avec les *conceptions* initiales de l'apprenant. Lors de l'acquisition d'un concept, l'ensemble de sa structure mentale est profondément transformée, son cadre de questionnement est complètement reformulé, sa grille de références, largement réélaborée ».

Voici ce qui pourrait être une définition :

Une *conception* est une représentation, associée à un concept et élaborée par un sujet pour répondre à une question ou opérer dans une situation donnée.

Cela signifie que la *conception* n'est pas univoquement déterminée par l'objet sur lequel elle porte ainsi que par l'état des connaissances du sujet, mais qu'elle peut aussi être déterminée par la situation dans laquelle elle est opératoire. On peut illustrer cela au moyen de l'exemple classique qui concerne la manière de se représenter le tube digestif. Si le sujet doit rendre compte de ce qui se passe avec de la nourriture ingérée, il dessinera un tube digestif allant de la bouche à l'anus, mais n'ajoutera généralement rien au dessin qui concerne l'élimination urinaire. Si le sujet doit rendre compte du fait que ce qui est ingéré ressort du corps en excréments solides et liquides par des voies séparées, il dessinera, le plus souvent, un tube qui se divise en deux, une partie aboutissant à l'anus et l'autre à l'orifice urinaire.



Un autre exemple, rencontré dans le chapitre 2, est celui des *conceptions* concernant l'électricité. Les élèves auxquels on présente une pile ronde et une ampoule pensent qu'un simple contact permettra d'allumer la lampe. Si on leur présente un montage dans lequel une lampe brille grâce au fait qu'elle a été raccordée à la pile au moyen de deux fils, les élèves construisent une *conception* qui nécessite les deux fils (dessins des élèves reproduits au §2.2 – Séance 1).

De ce qui précède, il découle que lister des *conceptions* d'élèves n'a de sens que si le contexte dans lequel ces *conceptions* s'expriment est connu.

Dans la séquence sur le métabolisme, le tri des aliments en catégories énergétiques peut conduire des élèves à considérer que l'huile n'apporte pas d'énergie à celui qui la consomme : « c'est une substance lourde pour l'estomac, qui nécessite de l'énergie pour

⁵ Voir son article « Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage » sur le site Internet du Laboratoire de didactique et d'épistémologie (LDES) de l'Université de Genève.

être digérée » ; ces **mêmes élèves** peuvent considérer que l'huile est un aliment qui fait prendre du poids.

Dans la séquence sur l'électricité, des élèves placés devant un circuit comportant une lampe et une pile et des fils conducteurs, peuvent considérer que deux sortes d'électricités se rejoignent dans la lampe pour produire l'effet lumineux ; **les mêmes** élèves peuvent être certains que si deux lampes sont placées en série, « la première éclaire plus fort car le courant n'est pas encore usé ».

Ces contradictions traduisent un niveau de conceptualisation insuffisant, tantôt à propos du fonctionnement du corps humain, tantôt à propos de la nature de l'énergie, tantôt à propos des phénomènes de l'électrodynamique.

Un autre constat peut paraître surprenant : si un sujet a remis en cause une *conception* “naïve” et élaboré une *conception* mieux adaptée à une situation qui lui est proposée, il fera fonctionner, dans des situations similaires, la *conception* pertinente. Mais, placé à nouveau dans des situations où la *conception* “naïve” avait précédemment fonctionné, c'est elle qu'il mobilisera. Autrement dit, un travail conceptuel ne permet généralement pas de substituer des *conceptions* aux anciennes, mais permet au sujet de faire fonctionner des *conceptions* nouvelles, mieux adaptées aux situations qu'il rencontre. Souvent, ces dernières cohabitent avec les premières.

Constance et pertinence des *conceptions*

Le fait que les *conceptions* dépendent des situations dans lesquelles elles se manifestent n'empêche pas que l'on y retrouve certaines constantes. C'est que les situations dans lesquelles les enseignants (ou les chercheurs) plongent leurs élèves sont souvent les mêmes.

Dans ce tableau, où sont rappelés quelques exemples des *conceptions* observées lors des séquences d'enseignement sur le métabolisme et sur l'électricité, beaucoup d'entre-elles sont des “classiques”. Tout en étant “fausses”, ces *conceptions* ont une certaine pertinence et une vertu explicative.

Dans la séquence sur le métabolisme	Dans la séquence sur l'électricité
<ul style="list-style-type: none"> • « Les vitamines des aliments apportent de l'énergie ». • « Le gaz de l'eau minérale apporte de l'énergie ». • « L'huile ne donne pas d'énergie au corps, elle en prend car elle est difficile à digérer ». • « À poids égal, un costaud a besoin de moins d'énergie car il se fatigue moins que quelqu'un qui est moins fort ». • « L'obésité, c'est quand on mange trop » • « C'est le gras qui fait engraisser » • « Pour ne pas engraisser, il ne faut pas manger des choses sucrées » • « L'obésité, c'est génétique. On n'y peut rien » • « Tout ce qui est mouillé est plus froid que l'environnement ». • L'air ambiant contient du CO₂ [bien plus qu'en réalité]. • L'énergie n'entre pas en même quantité dans le corps humain qu'elle en sort (le corps peut être un puits ou une source d'énergie). 	<ul style="list-style-type: none"> • L'électricité passe de la pile à la lampe par simple contact • La lampe est vue comme un réceptacle et non comme une entité possédant une entrée et une sortie • L'électricité va de la pile à la lampe par les deux fils simultanément. • Il y a deux sortes d'électricités qui se rejoignent dans la lampe. • « L'électricité bouge constamment. Il y a une boule d'énergie dans la pile et quand on branche, l'énergie est rejetée jusqu'à l'ampoule ». • « C'est les électrons qui partent de la pile vers l'ampoule et puis ils s'évaporent dans les fils de retour. L'électricité part du pôle + de la pile et va au pôle – en passant par l'ampoule, où elle s'assemble et crée de l'énergie puis elle s'évapore vers le pôle » • « L'électricité tire et pousse 2 petits aimants dans la lampe et l'étincelle provoque l'éclairement. L'énergie circule dans un seul sens. L'énergie part du + et va au – en passant par l'ampoule ».

“Prégnance” des *conceptions*

Il est bien connu que les *conceptions* premières sont très fortement ancrées et ne se sont remises en question qu’au prix d’un important travail. Ce qui se passe dans la séquence d’enseignement sur l’électricité illustre particulièrement bien ce point.

Sans que l’enseignante en soit forcément consciente, les consignes qu’elle donne véhiculent des *conceptions* étrangères à celles de ses élèves. Elle dit par exemple : « Dans ce tube passent plusieurs fils électriques. Certains de ces fils sont cassés à l’intérieur du tube et **le courant ne peut plus les traverser**. Lesquels ? » (consigne du poste 3 du premier rallye). Or, à ce stade, les élèves sont complètement insensibles à cette idée de « courant qui traverse les fils ». Ailleurs, à plusieurs reprises, en s’adressant aux élèves, elle fait des gestes qui traduisent son idée de circulation d’un “fluide” électrique. De plus, elle emploie très souvent le mot « circuit ». Mais pour les élèves, ces gestes et ce mot ne sont là que pour exprimer l’aspect visuellement circulaire du dispositif permettant de faire fonctionner une lampe au moyen d’une pile et de fils électriques. Les élèves ne sont manifestement pas prêts à tirer un enseignement de ces suggestions. Ce n’est que plus tard qu’ils adopteront une *conception* circulatoire d’un “fluide” électrique.

Prétests et post-tests

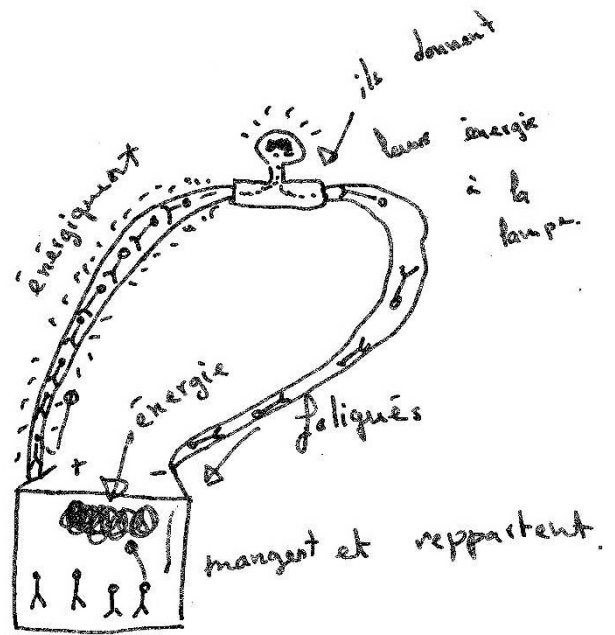
Il est d’usage, dans la formation à l’enseignement des sciences, de prescrire des prétests et des post-tests à propos des *conceptions*. Les prétests sont censés mettre à jour les *conceptions* des élèves et en particulier celles qui feront obstacles aux apprentissages visés. Les post-tests sont censés permettre, après coup, de vérifier que les *conceptions* des élèves ont évolué dans le sens attendu. Cet usage mérite une réflexion.

D’abord, il faut rappeler que d’un point de vue didactique, il n’est intéressant de connaître les *préconceptions* des élèves qu’à la condition qu’elles se manifestent dans les situations rencontrées à l’occasion des apprentissages attendus. C’est dans ces situations, et pas au travers de questionnaires standard, que l’on peut y accéder de manière utile. Pour qu’un prétest serve à quelque chose, il faut donc qu’il se déroule dans un milieu didactique adéquat. Dans les séquences d’enseignement sur le métabolisme et sur l’électricité, c’est à l’occasion d’activités de familiarisation (dans les *rallyes*) ou face à un dispositif expérimental, ou face à une *situation-problème* que les *conceptions* des élèves sont recueillies.

Soumettre les élèves à un post-test, semblable au prétest, juste après un enseignement qui est censé avoir modifié les *conceptions* des élèves donne généralement un résultat trivialement positif. Les élèves ont compris que ce qu’ils pensaient avant est “faux” et connaissent les “réponses justes”. Or, on l’a vu, les *conceptions* naïves ne sont pas forcément éliminées par un travail conceptuel. Elles s’effacent au profit de *conceptions* plus pertinentes dans les nouvelles situations données. Autrement dit, un post-test n’est intéressant que s’il permet de voir fonctionner des *conceptions* opératoires en situation de bilan de *compétence*. Dans les séquences d’enseignement sur le métabolisme et sur l’électricité, c’est ce qui se produit lorsque les élèves doivent conduire une étude de cas à propos du cochon d’Inde ou à propos d’un circuit électrique.

Traces durables de certaines activités

La confrontation à des obstacles peut laisser des traces durables si elle est faite dans des circonstances qui engagent fortement les élèves. Les jeux de rôles en électricité sont un exemple d'activité qui marque les élèves. Une étude portant sur plusieurs classes le confirme. Quatre ans après avoir mimé le courant électrique par un jeu de rôles sur un circuit dessiné au sol, la majorité des élèves a conservé une représentation circulatoire du courant électrique. A contrario, plus de la moitié de leurs camarades n'ayant pas vécu une telle activité, pour expliquer ce qui se passe quand on branche une lampe sur une pile ont encore la vision des courants antagonistes ou du déversement d'un "fluide" par les deux fils.



Ce dessin a été réalisé par un élève âgé de 15 ans, avant une reprise de l'étude de l'électricité. Quatre ans après une approche de l'électrodynamique qui s'appuyait sur des jeux de rôles, on voit réapparaître des "personnages" qui circulent en transportant de l'énergie de la pile à la lampe et en revenant « fatigués » à la pile.

Le vocabulaire

Jamais, dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, l'enseignante n'utilise elle-même les termes "atomes", "particules", "électrons". Elle reprend les termes « électricité » et « énergie » introduits par les élèves. Les termes « atome » et « électrons » ont été prononcés par deux ou trois élèves, mais elle ne les a pas repris. Par contre elle a utilisé les termes « grains d'électricité », « pression », « volts », « voltage ».

La nature de ce qui est appelé « grains d'électricité » n'est pas discutée. L'enseignante a jugé prématuré d'instaurer un vocabulaire "savant" (charge électrique, électron, potentiel, intensité du courant électrique, puissance, etc.).

Son parti pris est que l'usage précoce de termes scientifiques n'est pas un gain dans la mesure où les concepts qu'ils représentent sont encore mal construits. Au contraire, il arrive que l'emploi de termes savants crée des blocages induits par les *conceptions* qui leur sont associées.

La règle qui en découle est que...

Donner aux élèves une définition rigoureuse d'un concept scientifique avant qu'une représentation en soit construite dans leur tête est inutile et même contreproductif.

3.6. Des approches systémiques

Les *modèles* proposés aux élèves tant à propos du métabolisme que des circuits électriques sont de nature systémique. Au lieu d’aborder ces thèmes d’étude par des aspects particuliers, locaux, c’est une approche globale et contextuelle qui a été choisie.

Pour le métabolisme, l’enseignant aurait pu choisir de traiter séparément et pour eux-mêmes, des sujets comme la composition chimique des aliments, les mécanismes de digestion et assimilation, les mécanismes de respiration et d’oxydation, la production de chaleur et sa dissipation, etc. Au lieu de cela, le *modèle* thermique qui a été proposé aux élèves considère le corps humain comme un tout. De l’eau, de l’air (avec de l’oxygène) et des aliments y entrent. De l’air (avec du gaz carbonique), de l’eau, des déchets en ressortent. Et pour que le bilan soit complet et équilibré, le *modèle* prend en compte l’énergie thermique produite et évacuée. Le parti pris est qu’une vision globale et systémique soutient la compréhension des mécanismes plus fins qui se déroulent au sein de l’organisme et qui peuvent être étudiés par la suite.

Pour l’électricité, l’enseignante aurait pu se limiter à des connaissances technologiques et à des savoir-faire. Elle aurait pu se contenter de faire conceptualiser ce qui se passe dans le cas simple d’une lampe branchée sur une pile. Pourtant, l’ambition était de conduire les élèves à comprendre les interactions qui ont lieu entre les éléments d’un circuit et à s’attaquer à certaines *conceptions*. L’une de ces *conceptions*, courante, consiste à croire que la manière dont une lampe éclaire ou le courant qui la traverse ou la tension à ses bornes, sont univoquement déterminés par la lampe elle-même. Une autre *conception* obstacle est celle du courant qui s’use au fur et à mesure qu’il traverse des récepteurs. À l’évidence, seule une vision systémique d’un circuit électrique permet de dépasser de telles *conceptions*. Le *modèle* des grains d’électricité, concrétisé sous forme de jeux de rôles, invite les élèves à occuper tout l’espace qui représente le circuit électrique et à répercuter en tout point une modification apportée ici ou là. Le *modèle* symbolique des circuits hydrauliques et des grisés implique lui aussi de prendre en compte l’ensemble des éléments du circuit pour en dégager le comportement.

3.7. L’aptitude des élèves à travailler au moyen d’analogies et d’abstractions

La conduite des séquences d’enseignement sur le métabolisme et sur l’électricité fait fortement appel à la capacité d’abstraction des élèves et au raisonnement par analogie.

Dans la séquence sur le métabolisme, il s’agit de comparer une voiture automobile à un être humain (ou un mammifère). Il s’agit surtout d’accepter l’idée que l’on puisse comparer un animal à sang chaud à un récipient d’eau tiède et de voir en quoi le comportement d’un tel récipient nous enseigne quelque chose sur l’animal.

Dans la séquence sur l’électricité, un jeu de rôles accompli sur un dessin tracé sur le sol de la classe est bien loin de ressembler au montage qu’il évoque, fait d’une pile, d’une lampe et de fils électriques. Dessiner un schéma électrique, un “circuit hydraulique”, des grisés dans ce dernier pour dire quelque chose sur ce qui se passe dans un circuit relève d’une forte abstraction.

Les élèves, même jeunes (10-11 ans et probablement bien plus tôt), sont capables de comprendre des analogies et des métaphores. Ils sont capables de se servir de *modèles* et d’en construire. Ils peuvent parfaitement distinguer ce qui relève du *modèle* de ce qui relève de la “réalité” décrite par ce *modèle*.

Deuxième partie

Concevoir la séquence d'enseignement

4 La construction d'une séquence d'enseignement

Modèle des trois phases

4.1 Séquence d'enseignement – Un groupe d'élèves, un thème, une *compétence*

Convenons d'appeler séquence d'enseignement une suite de moments périodiques d'enseignement vécus par un groupe d'élèves dans un contexte scolaire. Assez souvent, la séquence d'enseignement commence avec l'étude d'un thème nouveau et se clôt par un test à visée formative ou sommative dans lequel les élèves doivent manifester une *compétence* attendue.

Dans les exemples d'enseignement sur le métabolisme et sur l'électricité, le groupe est une classe et le contexte est un enseignement disciplinaire donné par une enseignante et par un enseignant.

On peut imaginer un regroupement d'une autre nature et un contexte plus ouvert (conduite de l'enseignement en équipes, cours à option ou à niveaux, projet interdisciplinaire...).

4.2 Approche par les *compétences* attendues des élèves

La manière de contrôler les apprentissages révèle la nature des apprentissages attendus. Le courant dans lequel s'inscrivent les expériences rapportées ici considère que les apprentissages utiles, ceux qui donnent de l'autonomie, ceux qui permettent d'appréhender des situations et d'adapter des comportements à ces situations ne peuvent pas s'évaluer par de simples tests de connaissances. Le "savoir redire" n'est pas suffisant. Ce qui est visé est le savoir mobilisable pour résoudre un problème, pour prendre une décision, pour choisir un comportement. C'est donc bien de *compétences* qu'il s'agit !

Les institutions scolaires de nombreux pays ont adopté des *référentiels de compétences* applicables aux divers degrés de la scolarité. Des plans d'études ont été écrits en conformité avec les *compétences* attendues des élèves. À titre d'exemple, nous avons relevé ces quelques formulations tirées du plan d'études des écoles secondaires du canton de Vaud (Suisse) en vigueur en 2010 :

- Utiliser une approche de type scientifique pour choisir des comportements qui préservent l'environnement et la santé.
- Faire fonctionner un modèle pour élaborer des prévisions à partir de conditions définies
- Communiquer par écrit ou par oral en utilisant le vocabulaire approprié.
- Pratiquer une approche de type scientifique à partir d'une situation faisant problème (aller-retour entre question, hypothèse, expérience, essai, erreur, débat scientifique, communication des observations).

Un autre exemple est celui des « socles de compétences » en vigueur en Belgique francophone que l'on peut décrire au moyen du tableau¹ suivant :

Une compétence clé :						
Résoudre une situation complexe par la mise en œuvre d’une démarche scientifique						
Trois compétences :						
Appréhender une réalité complexe		Investiguer des pistes de recherche		Structurer les résultats, les communiquer, les valider, les synthétiser		
Sept savoir-faire :						
Faire émerger l’énigme à résoudre	Identifier les indices et dégager les pistes propres à la situation	Confronter des pistes perçues, préciser des critères de sélection des pistes et sélectionner selon ces pistes	Récolter des informations par la recherche expérimentale, l’observation et la mesure	Récolter des informations par la recherche documentaire et la consultation de personnes ressources	Rassembler et organiser des informations sous une forme qui favorise la compréhension et la communication	S’interroger à propos des résultats d’une recherche, élaborer une synthèse et construire de nouvelles connaissances

SOCLES DE COMPETENCES

Six domaines de savoirs :					
Les êtres vivants	L'énergie	La matière	L'air, l'eau, le sol	Les hommes et l'environnement	Histoire de la vie et des sciences

L'idée de *compétence*

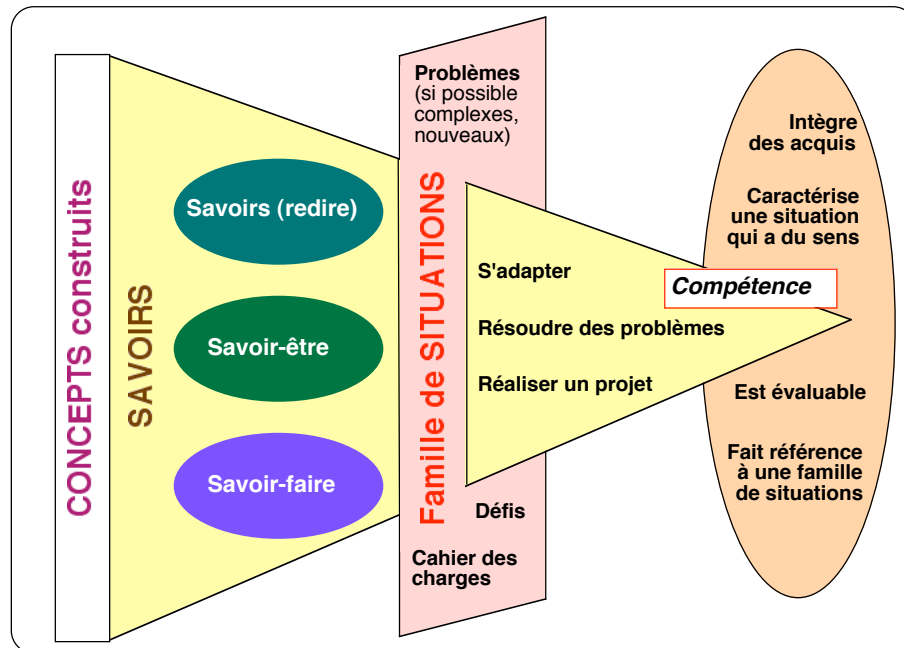
Dans cet exemple belge, l'enseignement des sciences vise donc une *compétence* clé qui se décline en trois *compétences* s'appuyant sur sept savoir-faire. Ces savoir-faire s'exercent dans six domaines de savoir. Ces domaines de savoirs sont détaillés en éléments pouvant donner lieu à des apprentissages de type conceptuels ou de type "savoir redire".

On voit apparaître l'idée qu'une *compétence* intègre des savoirs et savoir-faire, idée que l'on retrouve dans les définitions données par de nombreux auteurs. L'une de ces définitions, souvent citée² dans des contextes de formation des enseignants, est la suivante :

<p>Compétence :</p> <p>Ensemble intégré et fonctionnel de savoirs, de savoir-faire et de savoir être qui permettent, face à une catégorie* de situations, de s'adapter, de résoudre des problèmes et de réaliser des projets.</p> <p>*On parle souvent aussi de famille de situations</p>
--

1 Tableau adapté de la brochure « Socles de compétences – Enseignement fondamental et premier degré de l'enseignement secondaire », du ministère de la communauté française, Bruxelles, 1999.

2 Source : Paquay, L. et Al. (2002). L'évaluation des compétences chez l'apprenant, Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain.

Schématisation de l'idée de *compétence*

Tant dans l'exemple du canton de Vaud que dans l'exemple belge, les *compétences* sont énoncées en termes très généraux. Or, pour qu'une *compétence* puisse être évaluée, il faut décrire avec précision les situations dans lesquelles on veut placer les élèves.

Ce travail se fait lors de la préparation d'une séquence d'enseignement. Partant d'un plan d'études ou d'un projet d'équipe pédagogique, il s'agit de définir une famille de situations dans lesquelles l'élève peut manifester la *compétence* attendue. Il s'agit aussi d'explicitier ce que sont les indicateurs de cette *compétence*.

C'est à partir de là que les concepts et les savoirs à mobiliser dans la *compétence* peuvent être précisés.

Dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme, la *compétence* visée est de discuter de la validité d'un modèle physique qui représente un cochon d'Inde. Ce modèle est matérialisé par un récipient dont on attend que, placé dans les mêmes conditions climatiques, il nécessite la même énergie que le cochon d'Inde pour maintenir sa température (métabolisme de base). A priori, rien ne permet à l'élève de dire si un modèle, plutôt qu'un autre convient à modéliser un animal donné. Pour répondre, il doit avoir **suffisamment conceptualisé ce qu'est l'énergie, comment elle est transférée et conservée au travers de ses changements de forme**. Il doit **savoir associer** une énergie à des aliments (utiliser des tables, faire des calculs de proportionnalité), il **doit savoir calculer** une perte thermique à partir des mesures (notion de chaleur massique), etc. Des **savoir-être** sont mobilisés pour conduire une suite d'opérations aboutissant à un test expérimental. De plus, la *compétence* attendue devant être manifestée en groupes, elle requiert des aptitudes à la collaboration et à l'organisation du travail (savoir-être).

Pour les élèves, les indicateurs de réussite se trouvent dans une certaine cohérence des résultats obtenus par les divers groupes avec des récipients différents. L'enseignant reçoit des élèves des comptes-rendus qui lui permettent de contrôler que les savoirs et savoir-faire énoncés ci-dessus sont mis en œuvre.

Ici, la situation est donnée par des récipients remplis d'eau, faits de divers matériaux, pouvant être ouverts ou fermés, isolés thermiquement ou non. Dans la même famille de

situations, on aurait pu s'intéresser à un autre petit mammifère. On aurait aussi pu aller plus loin et demander aux élèves, empiriquement, de mettre au point un modèle physique pour représenter un mammifère donné.

Dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, la *compétence* visée est de prévoir comment se comportent des lampes dans un circuit donné. La famille de situations se rapporte à une multitude de configurations possibles pour des circuits électriques comprenant plusieurs lampes. Il ne s'agit pas pour l'élève de se rappeler qu'avec telle configuration, on a tels effets (ce qui serait du savoir redire). Pour prévoir les éclats des lampes, l'élève doit **faire fonctionner les concepts** desquels il découle qu'une lampe brille d'autant plus que le nombre de volts à ses bornes est grand (la différence de pression ou de potentiel). Il doit **savoir représenter** un circuit électrique au moyen d'un dessin évoquant un circuit hydraulique. Il doit **savoir coder** les volts (potentiels ou pressions électriques au moyen de grisés). Il doit avoir, au moins partiellement, construit les **concepts de circulation et de pression** pour pouvoir **appliquer les règles du modèle symbolique des grisés**. Il doit posséder le **savoir-faire** qui lui permet de réaliser un montage pour **valider sa conclusion**. Et puis il y a tout le **savoir être** qui lui permet d'organiser son travail, de se centrer sur la tâche, de résoudre son problème en équipe et de communiquer ses résultats.

L'indicateur principal de la *compétence* attendue est le verdict expérimental. Les prévisions faites à propos des éclats des lampes sont contrôlées par les élèves eux-mêmes. L'enseignante a d'autres indicateurs qui complètent cette vérification et qui pallient à une erreur de montage du circuit ou à un problème technique. Elle vérifie l'adéquation entre le schéma codé et le schéma électrique donné ainsi que la bonne application des règles du modèle. Elle vérifie aussi la cohérence des conclusions tirées par les élèves.

4.3 Trois phases : *Immersion*, conceptualisation, réinvestissement

Les moments vécus dans une séquence d'enseignement sont très divers. Le rôle de l'enseignant, la manière dont il s'adresse aux élèves, les interactions sociales qui se produisent dans la classe, la finalité des activités expérimentales, le statut des erreurs, tout cela évolue au cours de la séquence d'enseignement. Cette séquence passe donc par des phases distinctes plus ou moins nombreuses. Il est commode de distinguer trois phases principales dans une séquence d'enseignement :

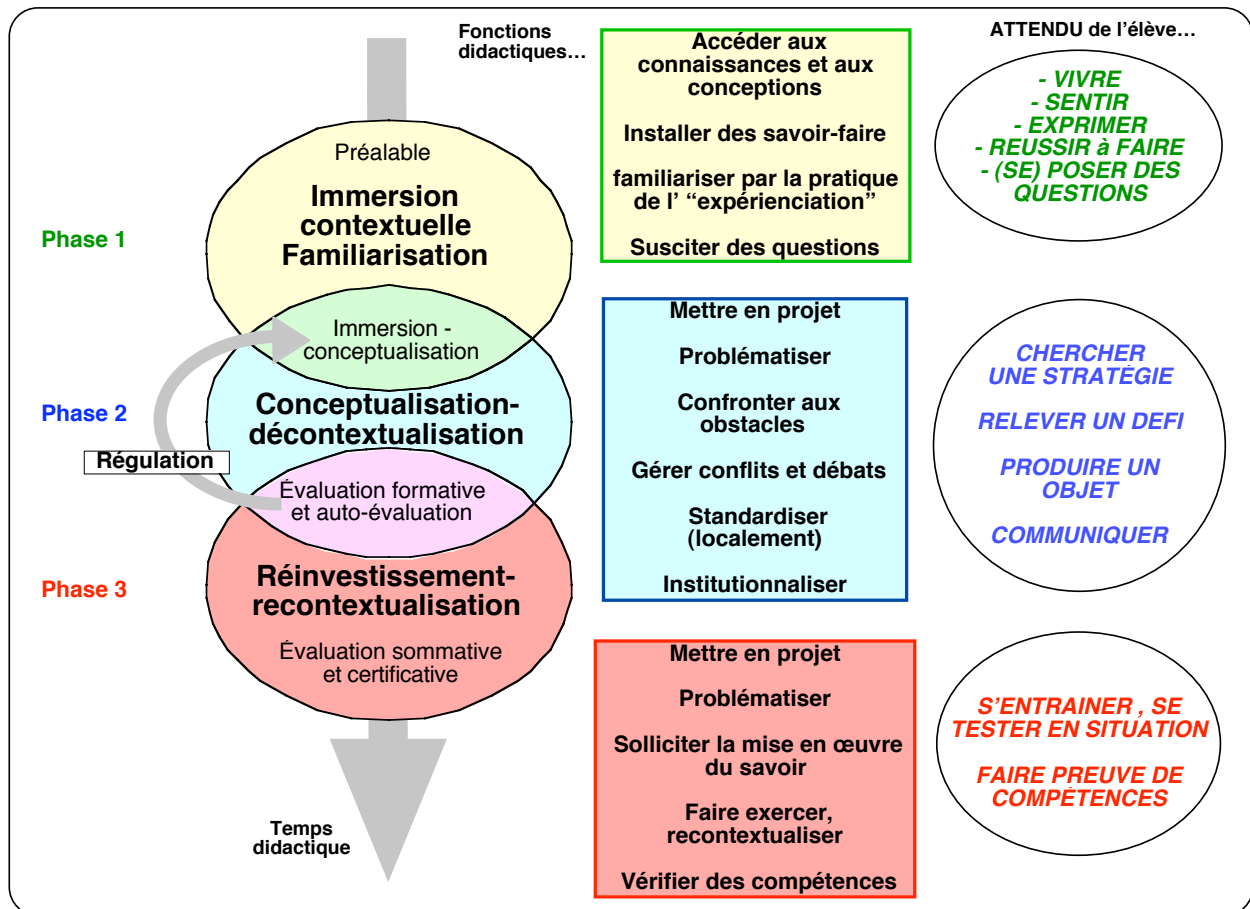
1. La phase d'*immersion* contextuelle et de familiarisation
2. La phase de conceptualisation et décontextualisation
3. La phase de réinvestissement (exploitation des acquis et recontextualisation)

Ce "modèle des trois phases" permet d'aider les enseignants en formation à structurer leurs premières séquences d'enseignement. Il permet aux enseignants expérimentés de clarifier les contrats didactiques qui régissent les parcours vécus avec leurs élèves.

Ce modèle s'applique aux conditions suivantes :

- La *compétence* attendue des élèves à l'issue de la séquence a été fixée au départ et les élèves en ont une idée aussi précise que possible.
- Cette *compétence* implique un travail de conceptualisation de la part des élèves. La séquence d'enseignement ne vise donc pas simplement à transmettre des informations ou à installer des savoir-faire.

Les trois phases d'une séquence d'enseignement ne sont pas isolées. Certaines activités peuvent se situer à cheval sur deux phases (phases intermédiaires d'*immersion* - conceptualisation ou d'évaluation formative).



Représentation synoptique du modèle des trois phases

La phase de conceptualisation est au cœur de la séquence d'enseignement. C'est là que les obstacles se révèlent, que l'enseignant doit trouver des stratégies permettant, comme le dit André Giordan³ de « faire avec pour aller contre » les *conceptions* des élèves (*modèle allostérique* d'apprentissage). Mais, la plupart du temps, le *réfèrent empirique* des élèves n'est pas adéquat pour démarrer ce travail conceptuel. Il faut les familiariser avec les objets et phénomènes qui vont par la suite retenir leur attention, il faut pouvoir compter sur certains savoir-faire, il faut susciter leur curiosité. Il est également utile de faire un premier repérage de l'état des *conceptions* des élèves. Souvent, les enseignants tablent sur une familiarité qui aurait été acquise en dehors du contexte scolaire ou espèrent que cette familiarité se développe dans le cadre du travail de conceptualisation. Pourtant on constate que beaucoup de difficultés rencontrées par les élèves viennent de ce manque de familiarisation. Une véritable phase d'*immersion* a donc sa place avant la phase de conceptualisation.

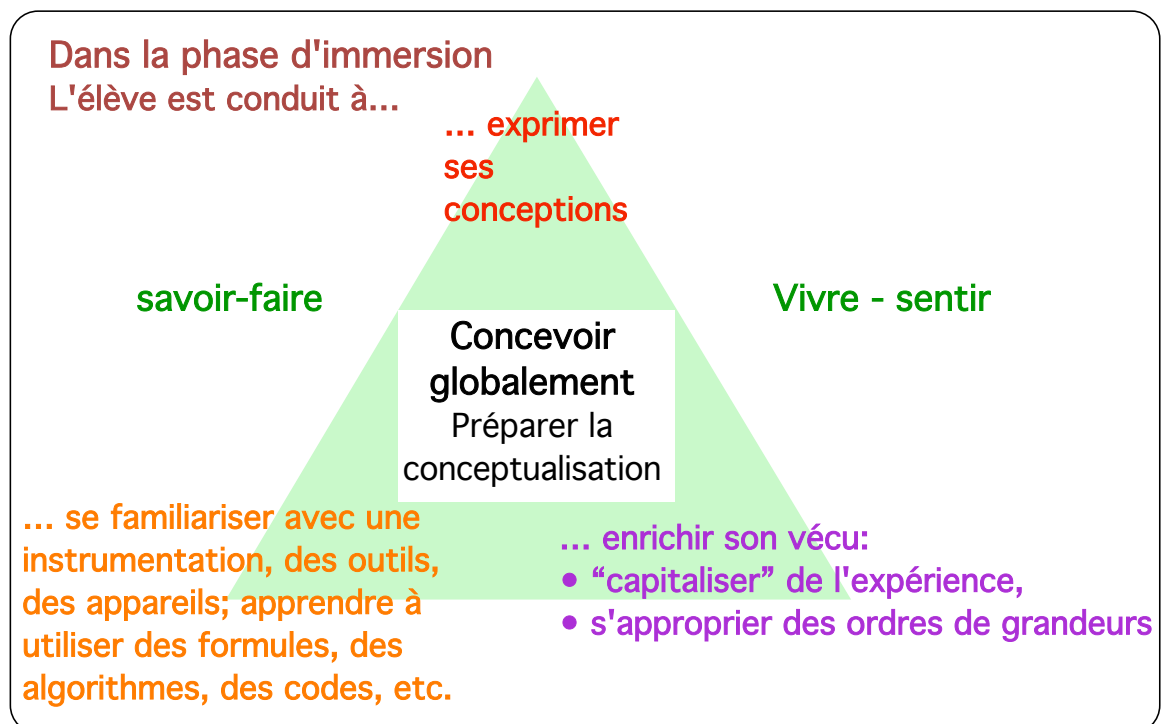
3 Giordan, A. (2006). Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage. URL : http://www.lides.unige.ch/publi/rech/th_app.htm

4.4 Phase d'*immersion* contextuelle et de familiarisation

Il s'agit de créer à l'intention des élèves des occasions de familiarisation empirique. De plus, dans cette phase, des informations (savoir redire) sont apportés aux élèves et ils peuvent développer des savoir-faire et savoir-être qui seront utiles dans les phases ultérieures.

Dans la phase d'immersion, l'enseignant observe ses élèves aux prises avec un nouveau milieu et capte leurs *conceptions* dans des situations concrètes, non imaginaires.

Les rôles attendus de cette phase peuvent être représentés à l'aide d'un triangle.



Triangle de l'immersion

Dit de manière plus synthétique, la phase d'*immersion* a trois finalités distinctes:

1. Permettre à l'élève de vivre-sentir des objets et phénomènes.
2. Lui permettre de développer ou réactiver des savoirs et savoir-faire requis dans la suite.
3. Capter ses conceptions et ses questions.

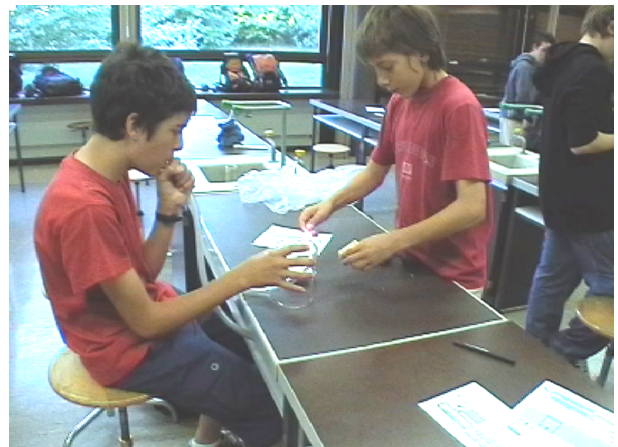
Par *vivre-sentir* des objets et phénomènes, il faut entendre permettre à l'élève d'enrichir son capital d'expériences vécues, expériences qui pourront ultérieurement être évoquées au gré des besoins :

- Lui faire sentir des “choses” qu'il n'avait encore jamais senties.
- Lui faire sentir des “choses” qu'il associe, par ses perceptions, à des grandeurs mesurables (la force, le moment de force, la pression, la tension électrique, la température, l'acidité, la salinité...).
- L'amener à isoler ses sensations, à discriminer celles-ci en fonction d'un projet d'observation, à obscurcir des sensations “parasites”, à relativiser des perceptions “trompeuses”.

Une modalité courante de cette phase est ce qu'on appelle un *rallye d'immersion*. En groupes de deux ou trois, les élèves passent dans des postes pour y accomplir une tâche qui les invite à s'exprimer et à interagir avec des objets et des phénomènes.

Dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme, la phase d'*immersion* se vit sous la forme d'un *rallye* et par le visionnement d'un film-débat à propos du régime Atkins. Les postes de ce *rallye* se parcourent par équipes de deux élèves. Les trois finalités de la phase d'*immersion* apparaissent au travers des activités demandées aux élèves dans ces postes. Dans le film du DVD joint à ce livre, on voit d'abord une élève en train de pédaler pour dépenser une énergie équivalente à celle qui est contenue dans un demi-morceau de sucre. Il s'agit d'éprouver (*vivre-sentir*) le fait de dépenser une énergie donnée en faisant un effort physique. Puis on voit des élèves en train de trier des aliments selon qu'ils sont énergétiques ou non. L'enseignant recherche ici certaines de leurs *conceptions*. Parmi ces *conceptions*, il en est qui devront être dépassées par certains élèves : notamment le fait que l'huile n'apporte pas d'énergie ou que la vitamine en contient ! Remarquons que la consigne aurait pu être : « au moyen des indications figurant sur les étiquettes (les kJ), classe ces aliments par ordre de pouvoir énergétique ». L'enseignant aurait alors visé l'installation d'un savoir-faire, mais il aurait probablement passé à côté des *conceptions* des élèves. Dans le poste du tonneau d'eau, c'est un *vivre-sentir* d'une autre nature qui est recherché : les élèves constatent la manière dont ce récipient d'eau tiède se refroidit. Il y a aussi un savoir faire qui est mobilisé ici : établir une courbe de décroissance de la température au moyen d'un thermomètre.

Le poste "air expiré" permet de faire *vivre-sentir* par les élèves un fait expérimental : avec un même volume d'air à disposition, une bougie brûle moins longtemps dans de l'air expiré que dans de l'air ambiant. Ce *rallye* donne l'occasion aux élèves d'entraîner d'autres savoir-faire : lire l'instrument de mesure d'un ergomètre, se servir d'un chronomètre, réussir à enfermer une bougie allumée dans un récipient contenant de l'air expiré, ...



Ce *rallye* est suivi d'une séance de travail dans laquelle les élèves sont appelés à faire un bilan de ce qu'ils en retirent. On est ici, à l'intersection de la phase d'*immersion* proprement dite et de la phase de conceptualisation, dans une phase intermédiaire d'*immersion* "conceptualisante". Un certain nombre de faits sont reconnus (de manière intersubjective) et institutionnalisés.

L'autre activité des élèves qui participent d'une immersion dans la problématique du métabolisme est le visionnement du film-débat sur le régime Atkins. Même si l'enseignant compte sur ce visionnement pour pouvoir asseoir le fait que la conservation de l'énergie s'applique au corps humain, ce visionnement a pour effet de familiariser les élèves avec un vocabulaire ("glucides", "lipides", "protides"), de leur faire vivre-sentir les liens entre énergie, alimentation et variation de poids corporel. En plus, ce visionnement donne aux élèves l'occasion d'exprimer des *conceptions*.

Dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, la phase d'*immersion* comporte plusieurs étapes. Il y a (séance 2) une "pêche aux *conceptions*" a priori : « Dessine comment tu ferais pour allumer une lampe avec une pile » - « Dessine ce que tu imagines qui se

« passe dans la pile, les fils et la lampe » - « Comment, d'après-toi brilleraient deux lampes branchées en série / en parallèle ? ».

Ensuite, il y a un premier *rallye* qui fait *vivre-sentir* des phénomènes liés au sens du courant électrique (déviation de la boussole, asymétrie de l'électrolyse) et qui invite les élèves à percevoir le potentiel (électrodes sur la langue). Ce rallye installe aussi quelques savoir-faire (identifier conducteurs et isolants, tester des piles, adapter la vitesse de la manivelle de la génératrice à la situation). Après deux séances consacrées à un travail conceptuel, on revient (séance 5) à une phase intermédiaire d'immersion et de conceptualisation. Les élèves, en petites équipes de trois, parcourent un nouveau *rallye*. Les trois finalités de la phase d'*immersion* apparaissent au travers des activités demandées aux élèves dans les postes de ce second *rallye*. Les postes A et B font *vivre-sentir* les effets d'un branchement des lampes en parallèle ou en série. Le poste F fait *vivre-sentir* le lien entre vitesse de rotation de la génératrice à main et la tension (pression) obtenue. Le poste C fait exprimer les *conceptions* des élèves au travers d'une comparaison entre circuit électrique et circuit hydraulique ; ce poste va au-delà d'une recherche des *conceptions* puisque l'enseignante interagit avec les élèves pour induire une analogie entre ces deux circuits. En ce sens, ce *rallye* s'inscrit déjà partiellement dans la phase de conceptualisation. Le poste G institue un savoir en exposant aux élèves la manière de schématiser des circuits électriques. Le poste H induit une manière de représenter les pressions perçues avec le circuit constitué d'une chambre à air de vélo remplie d'eau du poste D. Tous ces postes induisent également certains savoir-faire : savoir brancher des lampes en série ou en parallèle, savoir adapter la vitesse de rotation de la génératrice à l'effet désiré, savoir comparer des pressions au toucher, savoir utiliser un voltmètre et lire ses indications, savoir associer un schéma à un circuit...



4.5 Phase de conceptualisation

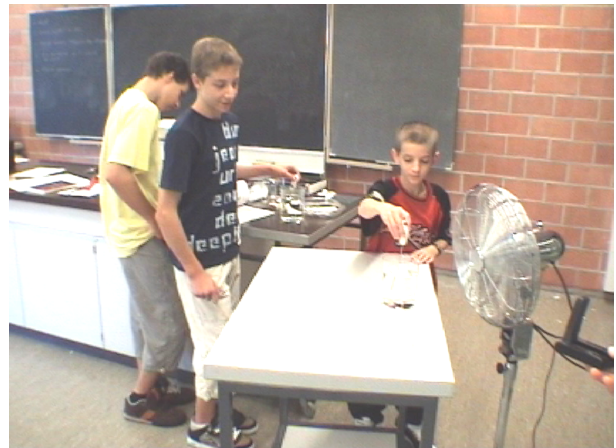
La phase de conceptualisation est centrale dans la séquence. C'est ici que l'enseignant crée des besoins cognitifs par une forme de *problématisation* : études de cas, énigmes, projet de réalisation, projets de communication, *situations-problèmes* (Voir §8.2). L'enseignant place les élèves dans des situations qui vont leur permettre de formuler des questions. Face à la tâche, les élèves font des conjectures, recherchent de l'information, expérimentent, élaborent des stratégies, construisent des modèles. L'enseignant fait jouer les interactions sociales dans la classe, suscite des débats.

Cette phase se clôt en principe par une standardisation des résultats qui vaut comme "théorie locale" et qui n'est à priori valable que pour la classe. Une institutionnalisation de savoirs plus savants (transposé pour les élèves) peut aussi être faite ici.

Dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme, l'enseignant fait commencer le travail de conceptualisation par une réflexion à propos du régime Atkins, réflexion qui aboutit à l'instauration du principe de conservation de l'énergie. Ce principe ne se heurte pas à un obstacle pour des élèves qui ont déjà eu l'occasion de réfléchir à la nature de l'énergie et qui ont déjà travaillé avec le concept de chaîne énergétique. Les nouveaux

concepts à construire sont de nature biologique : la respiration, l'assimilation. Ils sont de nature physique : la déperdition thermique, la chaleur massique. Ces concepts ne seront d'ailleurs construits que partiellement. Deux modalités didactique permettent cette construction. D'abord les élèves sont confrontés à six questions portant sur le métabolisme. Trois de ces questions conduisent à élaborer une analogie entre un véhicule à moteur thermique et le corps humain. Ensuite, l'enseignant place les élèves dans une *situation-problème* qui doit les conduire à déterminer leurs propres besoins énergétiques en faisant fonctionner des concepts qui régissent le métabolisme.

L'enseignant met à profit le fait que les deux demi-classes travaillent alternativement au labo et se rencontrent une fois par semaine en salle de cours. Il fait interagir les élèves à propos des six questions. Les élèves d'une des demi-classes sont d'abord appelés à donner des réponses ayant le statut d'hypothèses. Ils vérifient ces hypothèses au moyen de recherches documentaires et de quelques expériences de physique. Ils transmettent leurs réflexions à leurs camarades tout en confrontant leurs réponses aux réponses "savantes" fournies par l'enseignant. Après avoir fait quelques apports complémentaires, l'enseignant donne à ces réponses le statut de savoir institutionnalisé, savoir qui pourra être mobilisé dans la suite. Des schémas de bilan des flux d'énergie du corps humain et du véhicule à moteur thermique aident à fixer ce savoir.



La deuxième modalité didactique permettant aux élèves de construire des concepts est une *situation-problème* qui est d'abord posée aux élèves de la demi-classe B sous la forme d'une question: « comment connaître la quantité d'énergie dont vous avez besoin chaque jour ? ».

Ici à nouveau, l'enseignant s'appuie beaucoup sur les interactions sociales entre les groupes d'élèves. Il joue sur le fait qu'une des demi-classes a obtenu par les trois méthodes mises en oeuvre des résultats peu cohérents. L'énergie dissipée par le corps humain en 24 heures est beaucoup plus grande que l'énergie calculée par les aliments ou l'oxygène ingérés.

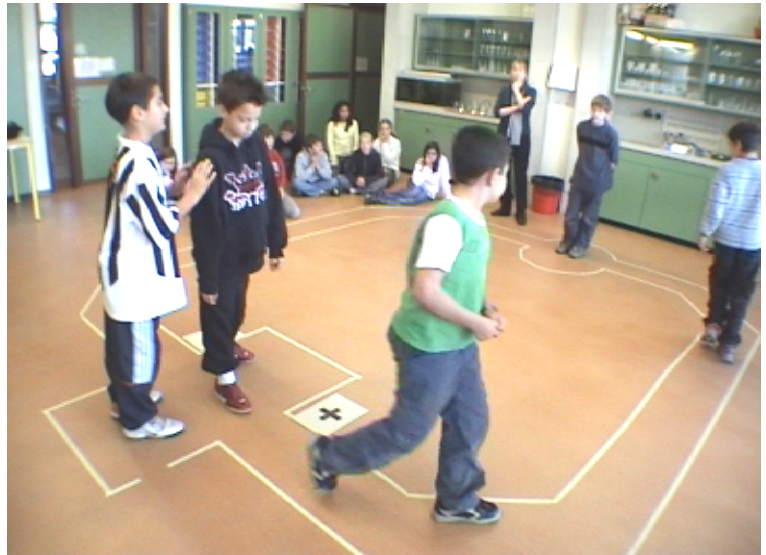
En provoquant les élèves, « Pourquoi les résultats trouvés par les trois groupes de la demi-classe B diffèrent-ils à ce point (du simple au double) ? », l'enseignant crée une tension qui va pousser l'autre demi-classe à progresser dans une meilleure conceptualisation du métabolisme et dans son évaluation quantitative.

Les méthodes d'évaluation sont améliorées et les nouveaux résultats sont présentés ensuite à l'ensemble de la classe. Ils sont validés par le fait que les énergies trouvées par les trois méthodes sont assez proches l'une de l'autre et par le fait qu'elles correspondent au standard admis pour un adolescent (elles sont de l'ordre de 8'000 à 10'000 kJ/24 heures).

Pour terminer cette phase de conceptualisation, des exercices sont donnés à faire à domicile. Ces exercices s'inscrivent dans la fin de la phase de conceptualisation et ouvrent la phase de réinvestissement. C'est l'occasion pour les élèves de faire un bilan formatif. On est donc dans une phase intermédiaire d'évaluation formative et d'auto-évaluation.

Dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, le travail de conceptualisation commence par une *situation-problème* : le défi que l'enseignante lance aux élèves de réussir à allumer une lampe avec une pile ronde sans que les fils de connexions leur soient donnés d'emblée : « Voilà une pile et une lampe, comment allumes-tu la lampe ? » Il s'agit de confronter les élèves à leurs *conceptions*. En réussissant à allumer la lampe, ils devront abandonner l'idée qu'un simple contact entre la pile et la lampe permet de transférer une "énergie" de la première à la seconde. On le voit bien avec ce qui se passe par la suite, il n'y a pas encore naissance de l'idée de circulation. Le transfert d'énergie prime, mais va nécessiter d'utiliser les deux pôles de la pile et deux fils

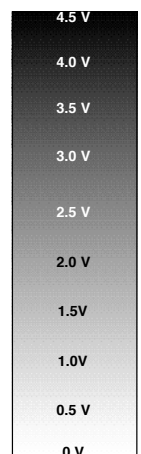
Le travail de conceptualisation se poursuit au travers de jeux de rôles qui permettent de faire exprimer les *conceptions* des élèves, de les confronter entre elles et aux phénomènes observés. Le moment clé de ce travail a lieu lorsque les élèves prennent conscience du fait que leur représentation d'un double flux des "grains d'électricité" par les deux fils ne permet pas de rendre compte des effets dus à l'inversion des pôles de la pile. L'enseignante place les élèves face à l'obstacle en leur rappelant l'effet magnétique mis en évidence au moyen d'une boussole (il y avait aussi l'effet chimique dans un bac à électrolyse que l'enseignante n'évoque pas)⁴.



Le besoin est créé de remettre en cause la *conception* des courants antagonistes et quelques élèves suggèrent une circulation des « grains d'électricité » dont le sens est déterminé par la place des pôles + et - de la pile.

Pourtant cette idée pose un nouveau problème aux élèves. Leur représentation avait l'avantage d'être celle d'un « courant qui s'use » et rendait compte de l'épuisement progressif de la pile. Comment concilier l'idée de circulation et celle d'une pile qui contient un nombre limité de « grains d'énergie » ?

L'enseignante va faire sortir les élèves de l'impasse en leur faisant un "cadeau" sous la forme d'un modèle plus élaboré. C'est à ce moment qu'elle leur met dans les mains des « billets d'énergie », petites cartes sur lesquelles figure une coloration grisée progressive, correspondant à des indications de tension électrique.



Le modèle proposé aux élèves est maintenant un modèle dans lequel l'énergie est transportée de la pile à la lampe par les « grains d'électricité ». Les grains circulent et se conservent. L'énergie est stockée dans la pile, s'écoule vers la lampe, mais ne se renouvelle pas.

⁴ On aurait pu imaginer d'autres situations-problèmes obligeant les élèves à tenir compte de la polarisation des piles comme, par exemple, le défi de faire briller plus ou moins fortement une lampe en utilisant deux ou trois piles en série. L'idée que deux piles en opposition annulent leurs effets ou que deux piles tournées identiquement renforcent leurs effets aurait pu nourrir la conceptualisation d'une circulation électrique. Une autre idée, testée avec succès, consiste à introduire des diodes dans les circuits (les diodes ne laissent passer le courant que dans un sens avec une très faible résistance).

Toujours sous la forme d'un jeu de rôles, certains élèves vont pouvoir proposer à leurs camarades des règles nouvelles qui s'appliquent au cas des lampes montées en série ou des lampes montées en parallèle. Pour le montage en série, deux propositions équivalentes sont formulées :

1. les grains d'électricité se déchargent d'une demi-carte d'énergie dans la première lampe et de la seconde demi-carte dans la deuxième lampe.
2. Les grains d'électricité partent de la pile avec deux demi-cartes et en distribuent une à chaque lampe. Dans les deux cas, les demi-cartes sont quantifiées par une tension qui est la moitié des 4,5 V de la pile. L'éclat réduit des deux lampes en série est donc associé à un nombre de volts plus petit.

La conceptualisation se poursuit avec le cas du circuit contenant deux lampes en parallèle. Après quelques difficultés des élèves qui nécessitent que l'enseignante revienne au registre empirique et leur montre à nouveau ce qui se passe dans un montage comportant deux lampes en parallèle, le modèle se précise. Dans le cas des lampes en parallèle, les « grains d'électricité » quittent la pile par paires et se séparent pour passer l'un dans une lampe et l'autre dans la seconde lampe. Les lampes brillent normalement. Le débit de grains d'énergie que doit assurer la pile est deux fois plus grand que pour une lampe unique.

Une étape supplémentaire dans l'abstraction est franchie en donnant aux élèves quelques éléments d'un modèle formel, symbolique et graphique. Dans ce modèle, l'enseignante dessine les circuits électriques à l'image des circuits hydrauliques en représentant les conducteurs comme des tuyaux, le générateur comme une pompe et les récepteurs (les lampes) comme des étranglements des tuyaux. Les potentiels électriques sont assimilés à des pressions et codés par des grisés plus ou moins foncés. Pour s'approprier ce modèle, les élèves s'appuient sur des évocations se rapportant aux expériences sensibles réalisées en phase d'*immersion* avec un circuit hydraulique souple (circuit fait d'une chambre à air remplie d'eau et d'une pompe d'aquarium en guise de "générateur"). Ils s'appuient également sur le *réfèrent empirique* se rapportant aux circuits électriques qu'ils ont manipulés. Certains élèves induisent immédiatement les règles qui leur permettent de représenter correctement ce qui se passe dans diverses configurations de circuits. D'autres ont plus de peine à faire ce pas. On est peut-être arrivé, aux limites possibles de l'abstraction pour des élèves de cet âge, sur un *obstacle ontogénique* (§9.6).



Modélisation d'un circuit avec deux lampes en série

4.6 Phase de réinvestissement

La dernière phase de la séquence d'enseignement est celle qui donne à l'élève l'occasion d'exercer et de tester le savoir construit dans des contextes nouveaux, voire élargis (transferts, recontextualisation). C'est donc la phase dans laquelle trouvent place les exercices d'entraînement, l'évaluation formative et, le cas échéant, l'évaluation certificative qui doit en principe aboutir à la reconnaissance de la *compétence* attendue.

Dans cette phase, l'enseignant place l'élève face à des problèmes nouveaux et à des défis. L'élève doit trouver une solution, prévoir un comportement, prévoir la valeur numérique d'une grandeur mesurable, mais il n'est pas autorisé à interagir avec les objets et phéno-

mènes. Il ne peut plus se livrer à des “expériences”, c’est-à-dire faire des manipulations sinon pour prendre des mesures quand le protocole du test le demande. Chaque fois que c’est possible, une fois le travail abouti, l’élève valide lui-même le résultat trouvé ; pour cela, il a le droit de consulter des informations jusqu’alors non accessibles et d’expérimenter. Enfin, l’élève procède à une analyse critique de sa manière de résoudre le problème.

Dans la séquence d’enseignement à propos du métabolisme, la phase de réinvestissement comporte des exercices papier-crayon puis une mise en situation dans laquelle les élèves doivent manifester la *compétence* attendue.

Les exercices papier-crayon sont là pour solliciter un savoir redire et entraîner un savoir-faire calculatoire. Les réponses chiffrées sont données aux élèves. Il s’agit de leur permettre de mieux s’approprier la démarche et les concepts qui sous-tendent les trois manières d’évaluer le métabolisme.

Certaines questions testent aussi une compréhension phénoménologique :

- Pourquoi la composition de l’aliment pour chat ne mentionne-t-elle pas de glucides ?
- Que se passerait-il si une souris devaient s’acclimater à une altitude plus élevée ?
- Pourquoi arrive-t-il que de la buée se forme sur la paroi du récipient dans lequel on enferme une bougie ?

La mise en situation de *compétence* est donnée aux élèves sous forme d’une *étude de cas*. Les élèves doivent déterminer quel récipient demande la même énergie qu’un cochon d’Inde pour maintenir sa température à 38 degrés. Le choix doit se faire parmi plusieurs récipients de formes et matières différentes, remplis chacun d’une masse d’eau égale à celle de l’animal.

Ici encore, on peut identifier une *compétence* visée et des *compétences associées*.

Compétence visée :

Faire fonctionner le modèle des pertes thermiques dans une situation donnée.

Savoirs, savoir-faire, savoir-être (*compétences associées*) requis dans la situation donnée :

- Calculer la valeur énergétique d’une liste donnée d’aliments.
- Mesurer le refroidissement d’un récipient et calculer les pertes d’énergie correspondantes.
- Appliquer la règle de proportionnalité dans diverses situations.
- Se représenter le mammifère modélisé comme une machine thermodynamique en équilibre thermique (l’énergie qui entre change de forme, se dégrade et sort essentiellement sous forme thermique).
- Exprimer le métabolisme d’un mammifère en quantité d’oxygène et en quantité d’air nécessaires.
- Savoir-faire de laboratoire (convertir et mesurer des volumes, mesurer des températures, chronométrer, etc.)
- Savoir-être permettant de travailler en équipe et de conduire le travail.

Dans la séquence d’enseignement sur l’électricité, la phase de réinvestissement comporte une première étape de travail en groupe (test formatif) puis un travail individuel est demandé aux élèves (qui n’apparaît pas dans le film). Dans la première de ces étapes, la classe est divisée en trois groupes de sept élèves. Chaque groupe reçoit un schéma électrique avec pour consigne de réaliser, **sans la pile**, le montage du circuit, de dessiner le

schéma hydraulique correspondant et de prévoir, au moyen du modèle des grisés, l'éclat de chacune des deux ou trois lampes du montage. Chacun des groupes est ensuite appelé à présenter son problème aux autres élèves, à indiquer ses prévisions et à les vérifier en insérant la pile dans le circuit. Cette vérification se fait sous les yeux des camarades de classe qui sont ainsi pris à témoin.

Le choix des groupes de sept élèves est dicté par le souci de voir les élèves réussir. On a vu que le modèle des grisés, s'il est bien assimilé par quelques élèves, a de la peine à être opératoire pour d'autres. L'enseignante mise donc sur les interactions sociales au sein de chaque groupe pour venir en aide à ces derniers. Cela signifie que, selon notre modèle des trois phases, cette activité des élèves se situe encore à l'intersection de la phase de conceptualisation et de celle du réinvestissement. De fait, deux groupes parviennent à des prévisions qui se vérifient et un groupe fait une erreur sur l'éclat d'une lampe.

Le test individuel, semblable à celui qui vient d'être décrit, montrera que quelques élèves n'ont pas franchi le pas de cette modélisation au moment où l'enseignante décide de clore sa séquence. Cependant, globalement, son sentiment est que tous les élèves ont fait une avancée conceptuelle significative à propos des phénomènes se produisant dans des circuits électriques.

La *compétence* attendue se décline en une *compétence* visée qui est rappelée aux élèves et des *compétences associées* qui sont des outils à utiliser dans la *compétence* visée.

Compétence visée :

Prévoir comment se comportent des lampes dans un circuit donné.

Savoirs, savoir-faire, savoir-être requis dans la situation donnée :

- Réaliser un montage électrique à partir d'un schéma électrique.
- À partir du schéma électrique, dessiner un schéma hydraulique selon les conventions données pour le modèle.
- Appliquer les règles du modèle pour en déduire le comportement des lampes.
- Achever le montage électrique en y insérant une pile.
- Observer les éclats des lampes et les comparer aux éclats attendus.
- Savoir-être permettant de travailler en équipe et de conduire le travail.

5 Pertinence et limites du modèle des trois phases

5.1 Limites de l'approche par *compétences*

Ce qu'on appelle "l'approche par compétences" est dans l'air du temps. Elle est mise en avant dans beaucoup de systèmes éducatifs. Pourtant, elle est remise en cause par certains auteurs¹. Il est vrai qu'elle peut conduire à des dérives quand elle devient la seule finalité d'une séquence d'enseignement ou si elle intervient trop tôt dans cette séquence. De plus, le niveau de conceptualisation peut en souffrir, en particulier si on néglige le retour réflexif ou métacognitif sur les apprentissages effectués.

Ces objections sont particulièrement pertinentes lorsque les *compétences* sont imposées par un plan d'études sous une forme qui incite les enseignants à les prendre à la lettre.

Un autre danger de l'approche par *compétences* est son risque de sévérité. Dans des situations nouvelles ou les problèmes complexes, il peut suffire d'une petite lacune de la part de l'élève pour que la *compétence* attendue ne soit plus évaluable ou décrétée absente. Or, cette lacune peut être assez secondaire si elle se rapporte à un savoir-faire ou un "savoir redire" et non à une difficulté conceptuelle.

Pour répondre à ces objections, il convient de respecter ces quelques points :

- Les *compétences* attendues, bien que s'inspirant d'un plan d'étude, doivent être formulées (ou reformulées) par l'enseignant et adaptées à son public.
- Dès le début de la séquence d'enseignement, les élèves peuvent se faire une idée aussi précise que possible de ce qui leur sera demandé et qu'on appelle *compétence*.
- L'élève est prévenu à l'avance du moment de l'évaluation sommative.
- La situation dans laquelle l'élève est placé n'est pas trop différente des situations qu'il connaît déjà (il n'est guère possible dans le cadre scolaire traditionnel d'avoir pu entraîner sérieusement des transferts).
Un garde-fou à cet égard : l'épreuve sommative doit sembler facile à la plupart des élèves !
- La phase de conceptualisation se centre sur des concepts bien identifiés. Les obstacles épistémologiques attachés à ces concepts sont connus.
- Les savoirs construits sont institutionnalisés et font l'objet de retours réflexifs et métacognitifs.
- La phase de construction de savoir (phase de conceptualisation) ne fait en aucun cas l'objet d'une quelconque évaluation. L'apprenant doit s'y sentir totalement libre.

¹ Voir en particulier :

Schneider-Gilot, M. (2006) « Quand le courant pédagogique "des compétences" empêche une structuration des enseignements autour de l'étude et de la classification des questions parentes ». *Revue française de pédagogie*, 154, 85-96.

Crahay, M. (2006) « Dangers, incertitudes et incomplétude de la logique de la compétence en éducation ». *Revue française de pédagogie*, 154, 97-110.

5.2 Des contrats pédagogiques clairs

Un intérêt d'une structuration de la séquence d'enseignement tient dans la clarification des contrats pédagogiques qui se succèdent. L'enseignant sait exactement ce qu'il attend des élèves dans chacune des trois phases. Il sait qu'au sortir de la phase d'*immersion*, les élèves n'auront qu'amorcé le travail conceptuel qui sera attendu d'eux dans la phase de conceptualisation. Il peut leur demander de manifester des savoir-faire entraînés, mais il n'attend pas d'eux qu'ils soient capables de résoudre des problèmes.

Réciproquement, les élèves sont au clair sur ce qui est attendu d'eux. Ils savent quelles questions ils peuvent poser à l'enseignant et quelles sont les questions auxquelles l'enseignant attend qu'ils répondent eux-mêmes. Ils ne vivent pas la crainte de voir leurs productions sanctionnées, jugées, notées, ni dans la phase d'*immersion* ni dans celle de conceptualisation. Le statut de l'erreur est clarifié comme cela a été dit dans l'introduction (§1 : Pourquoi ce livre et ces films ?).

Une conséquence de cette clarification du contrat didactique est qu'elle contribue à mettre l'enseignant à l'abri de l'"effet Topaze" (l'enseignant, par des aides plus ou moins explicites, surmonte une difficulté à la place de l'élève). Elle tend aussi à le protéger de l'"effet Jourdain" (l'enseignant, pour maintenir l'intérêt de l'élève, survalorise ses réponses ou ses comportements).

5.3 Des phases intermédiaires ou de transition

C'est très visible aussi bien dans la séquence d'enseignement à propos du métabolisme que dans la séquence sur l'électricité, certaines activités se situent dans des moments de transition entre deux phases. On est dans une phase intermédiaire lorsque les élèves tirent un bilan d'un *rallye d'immersion* et constatent que ce vécu débouche sur des questions ou des problèmes qui sont l'amorce de la phase de conceptualisation. C'est aussi le cas pour des activités d'*immersion* qui sont pensées en fonction des concepts à construire.

On le voit dans l'activité qui demande aux élèves d'associer les éléments d'un circuit électrique à ceux d'un circuit hydraulique (séquence d'enseignement sur l'électricité). Il s'agit d'*immersion* dans la mesure où c'est un des moyens d'accéder aux conceptions des élèves (on leur demande ce qu'ils pensent sans présenter cette demande comme un problème à résoudre), mais les élèves qu'on voit réfléchir aux phénomènes qui se passent dans ces circuits pour proposer des analogies sont déjà dans en train de conceptualiser.

Lorsque les élèves doivent dire, les yeux bandés, combien de lampes sont branchées en série, on est dans le vivre-sentir. La manivelle de la génératrice est d'autant plus facile à tourner qu'il y a plus de lampes. Et c'est l'inverse dans le cas des lampes en parallèle. Mais au-delà de ce vivre-sentir, on a l'amorce d'une conceptualisation : à vitesse donnée (tension fixée), la génératrice fournit moins d'énergie à deux lampes montées en série qu'à une seule et encore moins à trois lampes (manivelle plus facile à tourner). Inversement, deux lampes en parallèle, puis trois, exigent plus d'énergie qu'une seule.

Il faut insister ici sur un point : la même activité n'est pas traitée par tous les élèves avec le même projet. S'il est clair pour l'enseignant qu'une tâche proposée aux élèves ne vise que des objectifs d'*immersion*, il est des élèves qui anticipent la suite et problématisent la situation dans laquelle ils sont plongés. Ces élèves sont, d'une certaine manière, déjà dans la phase de conceptualisation.

De même, il arrive qu'en phase de conceptualisation, des élèves anticipent les réinvestissements possibles et testent, dans des situations non proposées par l'enseignant, les savoirs qu'ils construisent.

5.4 Temps didactique long et temps didactique court

Le modèle des trois phases structure une séquence d'enseignement qui s'étend sur de nombreuses séances. Il donne un rythme que les élèves reconnaîtront d'une séquence à l'autre (temps didactique long). Mais ce modèle ne dit rien des rythmes d'une séance de travail (temps didactique court).

Être dans la phase d'*immersion*, par exemple, ne signifie pas que pendant une heure ou deux heures consécutives, les élèves ont la même activité. S'il s'agit d'un *rallye* d'*immersion*, il y a quelques minutes d'introduction durant lesquelles les consignes sont données et les groupes formés. Dans le cours de la séance, ou en fin de séance, il peut y avoir des moments particuliers où les élèves sont réunis autour d'un poste pour des échanges : « Que se passe-t-il ici ? » - « Qui est d'accord avec ce que vient de dire X ? » - « Comment vous expliquez-vous ce que vous ressentez ? » - « Comment faites-vous pour réussir ? » - etc.

Une phase de conceptualisation, qui peut s'étendre sur plusieurs séances, est aussi rythmée par diverses modalités de travail : - la mise en situation, - des moments de recherche - des confrontations entre élèves et groupes d'élèves à propos d'hypothèses ou de stratégies, - des moments de bilan, - des relances de l'enseignant, ...

5.5 Des hypothèses pas toujours vérifiées

Deux hypothèses fondent le modèle des trois phases (§4.3). D'abord, la *compétence* attendue des élèves à l'issue de la séquence est bien définie. Ensuite, cette *compétence* implique un travail de conceptualisation de la part des élèves.

Il est pourtant possible de conduire un enseignement "à vue" en n'ayant qu'une idée assez générale des *compétences* visées et en ne précisant ces *compétences* qu'à terme. Une telle "navigation" peut être dictée par le projet pédagogique. Notamment lorsque des enseignements s'adressent à des élèves en difficulté (classes de rattrapage, classes d'accueil, appuis apportés à des groupes d'élèves, etc.). C'est aussi le cas lorsqu'on donne une grande autonomie à un groupe d'apprenants (classes spéciales, camps d'étude, projets d'établissement scolaire, etc.). C'est encore le cas lorsqu'on conduit une recherche portant sur les effets de certains choix pédagogiques.

D'autre part, on peut imaginer des séquences d'enseignement de plusieurs semaines n'ayant pour finalité qu'un ensemble de savoir-faire et savoir-être.

Le modèle des trois phases n'est pas applicable dans ces circonstances. Le chapitre 6 apporte trois exemples de séquences d'enseignement dont le déroulement ne se conforme pas à ce modèle.

6 Trois autres histoires vécues

Des projets pédagogiques

Dans les exemples qui suivent, le modèle des trois phases ne s'applique pas. Les projets pédagogiques dictent d'autres règles de structuration des séquences d'enseignement.

Dans la première de ces séquences (§6.1), le projet est de permettre aux élèves d'acquérir un savoir faire instrumental, de développer leur aptitude à collaborer et leur autonomie (pédagogie coopérative). Dans la deuxième séquence (§6.2), l'enseignant a pour intention de faire évoluer les conceptions des élèves quant à la nature de la science et de les faire réfléchir à ce qui peut être considéré comme une "démarche scientifique". La troisième séquence (§6.3) met en scène trois enseignants dans ce qu'ils appellent un projet interdisciplinaire.

6.1 Une expérience de pédagogie coopérative visant l'acquisition de savoir-faire à propos de la détermination du volume d'objets courants

De la géométrie et des sciences, une heureuse intégration

C'est l'histoire d'un enseignant, appelons-le Monsieur Mathscience, chargé de donner les cours de sciences et les cours de mathématiques dans une même classe (six heures hebdomadaires en tout). Ses élèves, au nombre de 28, sont âgés de 13 à 14 ans. En sciences, ils doivent apprendre à déterminer le volume d'objets solides de formes parallélépipédiques, cylindriques et sphériques ainsi que des volumes de liquides. Pour cet enseignant, il s'agit d'inculquer un ensemble de savoirs et savoir-faire nécessaires pour approcher par la suite de manière expérimentale les concepts de masse volumique, de pression dans les fluides et de force d'Archimède. Comme le programme de géométrie de la classe comprend justement l'étude des volumes, Monsieur Mathscience va intégrer maths et sciences dans des activités très concrètes.

Entrons dans la classe...

On voit des élèves travailler par deux. Ici, un élève montre à son camarade comment il mesure le diamètre d'un fil électrique. Plus loin, un élève fait passer un petit examen à son collègue. Au travers d'interactions, ils apprennent à se servir de pieds à coulisses, de calibres micrométriques, de récipients gradués. Des objets à mesurer sont à disposition, en plastique, en bois, en métal. Il y a des cubes, des parallélépipèdes, des cylindres, des sphères. Il y a des fils électriques, des plaques de tôle ou de verre, des feuilles d'aluminium, des petites pièces utilisées en mécanique. Il y a aussi des récipients : tasses, verres, cuillères, gobelets, pots, etc.

Monsieur Mathscience a préparé sept postes de travail (annexe A6) comportant chacun un lot de matériel et des consignes. Chaque poste permet à l'élève d'acquérir certains savoir-



faire. Les tâches demandées dans ces postes nécessitent l'emploi correct d'instruments à vernier et de divers instruments de mesure de volumes des liquides comme des récipients gradués, des pipettes, des compte-gouttes, des seringues, etc.

L'encadré donne un exemple de consignes relatives à l'un des postes.

Les élèves doivent devenir habiles à mesurer des longueurs, calculer ou mesurer des volumes. Ils doivent être à l'aise avec les litres, décilitres, centilitres, millilitres, dm^3 , cm^3 , mm^3 .

Dans un cours précédent, Monsieur Mathscience a choisi quelques élèves « débrouilles » et leur a donné une rapide formation qui les a rendus « experts » dans un ou deux postes. Ces élèves se sont vus attribuer un « brevet de compétence » (il ne s'agit pas ici de compétence au sens donné au chapitre 4 mais d'un savoir-faire). Ils sont désormais habilités à former leurs camarades ou à leur faire passer un examen. L'examen réussi, les nouveaux experts peuvent à leur tour devenir formateurs ou examinateurs. Un tableau récapitulatif des brevets attribués, affiché dans la salle de classe (un exemple en est donné au §9.7, modalité V) se remplit peu à peu jusqu'à ce que tous les élèves se voient reconnaître les savoir-faire envisagés.

Consignes pour le poste N° 4

Longueur d'une torche de fil

Parvenir à déterminer la longueur du fil d'une torche de fil circulaire avec la meilleure précision possible sans dérouler la torche.

Mesurer la longueur du fil d'une torche de fil déroulée avec la meilleure précision possible et en choisissant l'instrument de mesure adéquat.

Matériel :

- - torches de fils
- - divers instruments de mesure

L'examineur vérifie que le candidat au brevet...

1. Prépare le matériel: dispose sur la table toutes les torches de fils et les instruments de mesure
2. Vérifie le bon état des instruments de mesure
3. Détermine la longueur d'une première torche de fil (de diamètre inférieur à 10 cm) sans la dérouler
4. Détermine la longueur d'une seconde torche de fil (de diamètre supérieur à 10 cm) sans la dérouler
5. Vérifie avec l'instrument de mesure adéquat la longueur de la première torche en la déroulant
6. Vérifie avec l'instrument de mesure adéquat la longueur de la seconde torche en la déroulant
7. Enroule soigneusement les torches et range et le matériel

Monsieur Mathscience donne aux élèves un projet de communication (§8.4) et recourt ici à une stratégie d'enseignement mutuel (§9.7, Modalité V). Cette organisation du travail plaît aux élèves qui apprécient de pouvoir cheminer à leur rythme et qui approfondissent leur compréhension en formant leurs camarades. De plus, il y a une stimulation réciproque : les élèves ont à cœur de voir les brevets attribués à toute la classe.

Remarques sur la conduite de cet enseignement mutuel

Le plus difficile est l'amorce du processus. L'enseignant doit attribuer lui-même les premiers brevets et s'assurer que les élèves savent conduire un examen. Après cela, le processus fonctionne tout seul si on laisse les élèves s'organiser eux-mêmes. Il faut que les élèves n'oublient pas de faire figurer les brevets attribués sur le tableau affiché dans la classe !

Ce type d'activité n'occupe pas nécessairement tous les élèves durant des séances entières. L'enseignant peut choisir les moments de travail particuliers. Ce peuvent être de moments "perdus" entre deux activités ou à la fin d'un cours, des heures avec un enseignant remplaçant, etc. Il n'est pas nécessaire que toute la classe soit impliquée en même temps.

6.2 Des élèves âgés de 14 à 15 ans confrontés à l'idée de science

Dans le cadre d'une recherche

Il s'agit d'une séquence d'enseignement conduite dans le cadre d'une recherche¹ à propos de l'idée de science chez des écoliers du secondaire, en lien avec l'enseignement reçu. L'enseignant, que nous appellerons Monsieur Epistémo, souhaite conduire ses 25 élèves à une meilleure compréhension de ce que l'on peut appeler "science" ou "démarche scientifique" ou "recherche scientifique". L'enjeu de cette séquence n'est donc pas une *compétence* faisant appel à des concepts nouveaux qui seraient à construire.

Monsieur Epistémo place ses élèves dans une situation qui les incite à "jouer" aux chercheurs et à porter un regard sur les mécanismes de recherche qu'ils mettent en œuvre. Il leur pose une question de recherche authentique en ce sens qu'il n'en connaît pas la réponse. Les élèves le savent, ce qui rompt avec le contrat didactique habituel dans lequel l'enseignant conduit la classe à un résultat qu'il connaît déjà.

Travail de recherche sur la méthode scientifique

Problème (défi ou "concours") posé à la classe

Question

Qui, dans la classe, est capable de détecter la plus faible concentration de sucre dans une solution (en la goûtant) et quelle est cette concentration minimale détectable ?

Indication N° 1

- ◇ La réponse à ce problème peut être : « La plus basse concentration de sucre perçue par un élève de la classe est de tant de % et cet élève est Un tel »
- ◇ La réponse peut aussi être : « C'est un problème auquel on renonce de répondre pour les raisons que voici : ... »
- ◇ La réponse peut encore se situer entre ces deux réponses extrêmes.

Indication N° 2

- ◇ Le problème est posé à la classe, pas à chaque élève ou à chaque groupe. C'est dire que la classe doit s'accorder sur une réponse et donc s'accorder sur la manière d'être d'accord ! Il se peut aussi que la classe aboutisse à un constat de désaccord (il reste plusieurs points de vue sur la réponse).
- ◇ La classe est comparable à une communauté scientifique à laquelle se pose la question.

Formulé ainsi, ce défi est en même temps un *problème ouvert* (§8.3) et un projet de communication (§8.4).

Pour relever ce défi, les élèves travaillent en salle de science et disposent du matériel habituel d'un laboratoire d'école. Ils ont tout ce qu'il faut pour préparer des solutions de sucre en concentrations connues.

¹ Voir dans l'introduction, le §5 « La science dont il est question – Brièvement » et la note N° 5 de ce paragraphe

Dans cette démarche, Monsieur Epistémo s'impose un principe méthodologique strict : à aucun moment, il se substitue aux élèves. Une fois le problème posé, les élèves conduisent leurs recherches de manière autonome. Les seuls appuis fournis sont d'ordre logistique (matériel, documents, moyens audio-visuels). Comme ils travaillent au laboratoire en alternance par demi-classes, les élèves doivent faire des communications adressées à leurs camarades et interpréter celles qui leur sont destinées. Le mode didactique de la pratique expérimentale est celui de l'*investigation empirique*². Lors de séances communes réunissant tous les élèves de la classe, Monsieur Epistémo demande aux élèves de mettre en commun leurs démarches de recherche et leurs observations. Il fait des apports de renforcement en puisant dans l'histoire des sciences ou en faisant allusion à un film vu en classe et relatant un débat entre scientifiques. Par ces apports, Monsieur Epistémo montre à ses élèves que leurs démarches, leurs hésitations, leurs questions sont de même nature que celles que rencontrent les "vrais" scientifiques.



Un groupe prépare des solutions sucrées

Dans un cahier d'élève

La méthode scientifique

Protocole :
une solution d'eau déminéralisée avec ou sans sucre va être présentée à deux goûteurs choisis selon leur résultat d'un passage. Entre chaque dégustation, un rinçage à l'eau du robinet sera nécessaire. Cette eau étant mélangée avec du chloro, des minéraux et d'autres produits pourant avoir la capacité de changer les papilles gustatives utilisées. Ceci pourra donner une impression spéciale qui aura pour utilité de ne plus avoir de goût de sucre dans la bouche.

But de l'expérience :
chaque goûteur aura pour but de déterminer laquelle des solutions contiendra le sucre et si la quantité aura augmenté ou diminué.

Tableau des sol

Sucre	St
2	0,5 %
5	0,1 %
3	1 %
1	0,96 %
9	0 %
6	0,35 %
10	1,5 %
8	0 %
7	0,2 %
4	0,45 %
12	4 %
11	2,5 %
13	0,03 %
14	0,07 %
Totale	
le meilleur	

Les élèves travaillent avec beaucoup d'assiduité. Ils crochent au problème durant une vingtaine d'heures du "cours de sciences" réparties sur une durée de trois mois. Au bout du compte, la classe rend un rapport final qui répond à la question posée. Deux élèves sont désignés meilleurs goûteurs et leur sensibilité au sucre est donnée avec une marge de variabilité. De plus, les élèves font des hypothèses sur les facteurs qui modifient leur sensibilité au goût sucré.

En bilan, Monsieur Epistémo constate qu'un tel défi pousse les élèves à élaborer des démarches de travail. Il les conduit à formuler des hypothèses et à imaginer des tests de validation, à concevoir des protocoles de mesures et à prendre des décisions sur la validité des résultats.

² Cette notion est précisée au §9.5

Ce que la classe a appris

En cours de travail, les élèves rédigent un document commun de synthèse résumant ce qu'ils ont appris, sur le plan de la démarche, en s'affrontant au défi. Un projet de texte est élaboré par un groupe de quatre élèves puis amendé et adopté dans une séance plénière. Voici la teneur du texte produit par la classe :

Ce que nous a appris notre recherche sur le goût sucré

A) Attention à l'interprétation des résultats d'une expérience

Une majorité peut cacher une minorité !

Dans l'expérience consistant à identifier le contenu de trois récipients, si le contenu de chaque récipient a été identifié par une majorité des personnes du groupe, ce n'est cependant qu'une minorité qui a identifié le contenu des trois récipients !

B) Il faut faire des tests en ne sachant pas...

Dans trois groupes de travail sur les quatre, on a soulevé le risque, au moment où l'on goûte, d'être influencé par le fait qu'on sait s'il y a ou non du sucre dans l'eau. On a donc proposé que l'on ne sache pas s'il y a du sucre ou non au moment où l'on goûte.

C) Il faut éviter les influences mutuelles au moment de l'interprétation d'une expérience

Cette idée est apparue dans un groupe lorsqu'une élève a demandé aux goûteurs de son groupe de ne pas dire ce qu'ils pensent avant que chacun ait goûté et se soit fait sa propre opinion.

D) Il faut travailler par comparaison

Cette idée est apparue dans un groupe lorsqu'il a testé la sensibilité d'un élève réputé bon goûteur en lui présentant de l'eau pure et de l'eau à 0.05 % de sucre. Elle est apparue dans un autre groupe où l'on goûtait parfois deux solutions différentes, l'une juste après l'autre. Elle apparaît dans un troisième groupe qui propose de préparer à la fois des récipients d'eau pure et des récipients d'eau sucrée.

E) Il y a des précautions à prendre au laboratoire

- Nettoyer le récipient avant d'y mettre une nouvelle solution,
- Ne pas utiliser une même pipette de dégustation pour deux liquides différents,
- Être deux à préparer les solutions pour diminuer le risque d'erreur sur la concentration (l'un fait les pesées et l'autre contrôle par exemple),
- Goûter deux ou trois fois pour se faire une opinion.

F) Les communications que nous avons rédigées à l'intention de nos camarades ne parlaient pas des discussions et des erreurs que nous avons faites puis corrigées dans nos groupes

On l'a observé en comparant ce qui s'est passé réellement [grâce à des enregistrements vidéo], aux comptes-rendus rédigés dans le but de communiquer aux autres sa méthode.

Ainsi, les élèves ont spontanément mis en place des éléments significatifs d'une démarche scientifique. Ils ont notamment fait des observations pertinentes à propos de la nature des "communications scientifiques". Ils ont dégagé certains principes de la méthodologie scientifique et "inventé" les tests à l'aveugle. Notons qu'ils ne sont pas allés jusqu'à ressentir le besoin de travailler en double aveugle. C'est Monsieur Epistémo qui leur a demandé de faire un tel test pour valider les conclusions finales de la classe.

Ce que chacun a appris

Après le bouclage de cette recherche sur le goût sucré, Monsieur Epistémo a demandé aux élèves ce qu'ils pensaient avoir appris par ce travail. Les élèves ont ici répondu individuellement.

Le tableau présente quelques-unes des réponses des élèves classées en deux catégories par l'enseignant : apprentissages de nature méthodologique et apprentissages de nature épistémologique.

<i>Ce que j'ai appris par la recherche sur la sensibilité au goût sucré...</i>	
Apprentissages de nature méthodologique	Apprentissages de nature épistémologique
<p><i>J'ai appris...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>que même en prenant toutes les précautions possibles, il y a toujours des résultats alternatifs et même parfois faussés</i> • <i>qu'il faut être plusieurs pour faire une expérience afin de pouvoir comparer</i> • <i>qu'il faut beaucoup travailler pour obtenir des résultats</i> • <i>qu'il faut être très précis car les recherches scientifiques sont très difficiles</i> • <i>que les résultats sont toujours avec un minimum de marge d'erreurs</i> • <i>que les expériences ne sont pas toujours très vite faites</i> <p>• <i>J'ai appris que les erreurs arrivaient très facilement et qu'une toute petite pouvait avoir de grandes conséquences, que malgré que c'est une expérience "scientifique", les résultats sont souvent au "bol"</i></p>	<p><i>J'ai appris...</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>qu'il faut d'abord faire des hypothèses avant de commencer l'expérience</i> • <i>à élaborer des hypothèses par rapport à un problème posé</i> • <i>la difficulté de trouver une démarche correcte et l'importance de cette démarche</i> • <i>qu'il n'est pas toujours facile de se mettre d'accord. Et qu'il faut faire une grande quantité de recherche pour pouvoir prouver quelque chose</i> • <i>qu'il faut faire des expériences pour trouver les résultats, mais aussi des constatactions en classe. Il n'y a pas que les expériences qu'il faut croire</i> • <i>les rapports des expériences, les démarches, le fait de communiquer les résultats à une assemblée</i>

De telles réponses montrent l'impact d'une expérience dans laquelle les élèves étaient largement autonomes et responsables.

6.3 Un projet interdisciplinaire en français, histoire, maths et sciences

En préambule : deux conceptions de l'interdisciplinarité

Depuis plusieurs années, les milieux économiques et certains milieux universitaires sont préoccupés par l'adéquation de la formation aux exigences de la société contemporaine et de la recherche. À ce titre, ils en appellent à l'interdisciplinarité. Il est vital, dit-on dans ces milieux que la formation académique s'ouvre à l'interdisciplinarité. Plus les spécialités deviennent pointues, plus le besoin d'élargissement se fait sentir.

Dans ces milieux, on considère généralement que le cursus de l'étudiant doit être disciplinaire. L'étudiant doit être formé par des spécialistes qui se centrent sur les savoirs de leur discipline. Une formation à l'interdisciplinarité doit s'ajouter à la formation disciplinaire. Il faut apprendre à comprendre ses partenaires dans un projet, devenir capable de mettre

en commun des savoirs pointus pour résoudre des problèmes. La médecine est un exemple frappant de la nécessité de l'interdisciplinarité. Dans cette science, les progrès ne peuvent que venir de la mise en synergie de connaissances pointues en biologie, chimie, physique, mais aussi en sciences psychologiques, sociales et éthiques.

D'un autre côté, dans les écoles maternelles, avec les petits enfants, on travaille depuis longtemps par projets, par centres d'intérêts, par ateliers thématiques. On n'y enseigne pas tellement du français pour le français, des maths pour les maths ou des sciences pour les sciences. On part du principe que les savoirs disciplinaires se construisent par les nécessités produites par les situations dans lesquelles les élèves sont placés. On prône une "interdisciplinarité - moteur des apprentissages".

On a donc deux conceptions de l'interdisciplinarité. Elle est d'une part une "superdiscipline" à laquelle s'initient des spécialistes d'une discipline. Elle est d'autre part une conception pédagogique selon laquelle les savoirs disciplinaires sont construits à partir de situations non disciplinaires.

À l'école secondaire, au collège et au lycée, ces deux conceptions de l'interdisciplinarité se juxtaposent. Mais au lieu qu'on les évoque tour à tour et qu'on en tire des pratiques qui rendraient l'école plus efficace, il arrive qu'on les oppose dans des débats stériles pouvant freiner l'innovation pédagogique.

Le texte qui suit permet de se plonger dans une expérience vécue par trois enseignants qui ont constitué une équipe pour encadrer un groupe de 27 élèves âgés de 12 à 13 ans. Cette expérience montre comment peuvent s'articuler le souci, pour chaque enseignant, de faire accéder ses élèves à des savoirs de sa discipline et le souci de fonder ces savoirs en les faisant apparaître dans des contextes qui puissent parler aux élèves. Ce texte est le témoignage d'un observateur invité par les enseignants.

Un peu de sel à l'école – Histoire vécue d'une matinée d'interdisciplinarité

Il est 10 h.10 au clocheton du collège. Les dix-sept filles et dix garçons de la classe sont rentrés de la récréation voici dix minutes. Ils se sont placés en groupes de trois ou quatre, autour des sept tables disposées de manière à permettre une circulation facile. On est dans la grande salle, attenante au local de préparation pour les sciences. L'enseignante a distribué aux élèves un document tiré du livre *La fabuleuse histoire du sel*³ et elle les interroge : « que signifie le titre "l'or blanc" ? ». Des réponses fusent : « c'est le sel », « autrefois c'était précieux, on se battait pour avoir du sel ». La maîtresse reprend : « donnez-moi des expressions avec le mot sel ». Les élèves en connaissent quelques-unes. Ils parlent du « grain de sel », de la « facture salée », du « sel de la vie ». Après quelques minutes de discussion, à tour de rôle les élèves lisent une partie du document à haute voix. Ce document raconte l'histoire du sel, son importance dans l'empire romain, les impôts puis, au Moyen-âge, la gabelle... Les élèves manifestent leur intérêt, ils posent des questions... Le sel n'était pas seulement un condi-



3 Besson, A. (1998). *La fabuleuse histoire du sel*. Yens sur Morges et Divonne-les-Bains : Cabédita

Extrait de l'avant-propos : « Ce livre n'a pas la prétention d'être un ouvrage d'érudition. Il n'est pas non plus exhaustif. Il a seulement pour dessein de vous divertir en vous racontant, d'une manière plaisante, l'histoire du sel, cette substance qui joua un rôle si considérable dans le destin de l'humanité »

ment, c'était un produit magique qui permettait de lutter contre les démons et les sorciers. C'est aussi un produit de conservation qui évite la fermentation et la putréfaction... À ce propos, l'enseignante demande : « Qui peut me dire la différence entre la fermentation et la putréfaction ? » Réponses floues, embarrassées. C'est alors qu'intervient le prof de sciences naturelles. Depuis huit heures moins quart, ce matin, il est là avec sa collègue, la prof de français-histoire-géo et avec un autre collègue, le prof de maths. Comme tous les mercredis matin, ils passent ensemble la matinée avec les élèves de cette classe. À cet instant donc, le prof de sciences se sent interpellé. Il a quelque chose à dire sur la putréfaction et la fermentation, quelque chose à faire dire aux élèves aussi. Avec eux, il évoque le jus de pomme qui devient cidre et la pomme qui pourrit dans l'herbe, le jus de raisin qui devient vin et les grains de raisins qui pourrissent sur le plant de vigne quand le temps est trop humide. La différence entre fermentation et putréfaction ? C'est d'abord l'apparence, c'est le goût, c'est l'odeur ! Bien sûr c'est aussi les "petites bêtes", les micro-organismes qui agissent dans la matière vivante... Pendant quelques minutes, les élèves ont changé d'enseignant, ils sont repartis dans le monde de "la science" où ils étaient



Échantillons de roches salines

plongés ce matin, avant la récréation, quand avec leurs éprouvettes, leurs balances leurs réchauds à gaz, ils avaient recherché si les échantillons de roche provenant d'un saline contenaient suffisamment de sel pour permettre une exploitation rentable ! Une énigme ! (§8.4). Ce matin, la prof de français-histoire-géo les avaient un peu aidés à faire de la chimie mais, surtout, elle les avaient observés, les voyant dans des activités et avec des comportements différents de ceux qu'elle observe dans ses leçons traditionnelles. Le prof de

maths, lui, a été un peu déçu. Dans les leçons qu'il passe seul avec les élèves, il leur avait appris à calculer des pourcentages, mais tout à l'heure, ils ne savaient pas utiliser cet outil. Pire : quand il leur a demandé le pourcentage de sel qu'il y a dans un échantillon de 100 g contenant 22 g de sel, personne n'a su ! De cette déception, il va tirer profit. Le concept de pourcentage n'est pas si facile à comprendre à cet âge, pas si facile à enseigner donc. L'expérience de ce matin lui donne plein d'idées : c'est vrai que la véritable compréhension se mesure face à une situation concrète, réelle, que le savoir-faire "scolaire" d'un exercice livresque ne garantit pas que le concept est installé, qu'il faut mettre les élèves en situation d'utiliser "pour de bon" leurs connaissances....

Ce matin, il est intervenu comme prof de math. Il a pris du temps pour expliquer à nouveau, pour permettre aux élèves de réussir dans une tâche qui avait du sens pour eux. N'est-ce pas cela, enseigner les pour-cent ? Un bout de gagné !

Revenons à notre histoire du sel. Maintenant, la maîtresse parle de la Suisse qui, pour son sel, dépendait longtemps de l'étranger. Elle parle de la découverte du sel dans notre sol, des salines. Alors les élèves s'animent. Les salines ? Ils connaissent ! Ils peuvent en parler depuis qu'ils sont allés en visiter une avec leurs trois profs. C'est qu'ils ne sont pas allés là-bas pour se promener ! Ils avaient un projet : réaliser, le mercredi suivant, au moyen de l'ordinateur (traitement de texte), un document sur un aspect de leur choix, observé sur place. Un travail dans lequel ils se sont engagés avec beaucoup de sérieux !

« Mais, n'est-il pas l'heure de faire un peu de français ? » Cette question, l'enseignante ne l'a surtout pas posée aux élèves. Elle sait parfaitement qu'elle pourra, après cette phase

"historique" amener les élèves, sans même qu'ils s'en rendent compte, dans la problématique de son programme de français : apprendre à formuler des questions et connaître les différents types de phrases interrogatives en corrélation avec les formes de réponses produites. Et c'est vrai : les élèves démarrent au quart de tour lorsqu'elle leur propose un exercice consistant à rédiger des questions dont les réponses soient constituées par certaines phrases du document sur le sel ! Après une phase de mise en commun et de correction, l'enseignante passe à un travail de groupe qu'elle présente sous la forme d'un jeu : à tour de rôle, chaque équipe pose une question à une autre équipe qui donne une réponse. Elle commente et corrige, si nécessaire, les questions et les réponses. Ensuite, elle distribue un nouveau document à chaque groupe : un document sur l'histoire du sel, un autre sur le calcul des pourcentages, d'autres encore sur l'extraction du sel. Elle propose l'exercice suivant : chaque groupe rédige une question "totale" (réponse possible par oui ou non) et trois questions "partielles" à propos du document reçu. En regard des questions, les élèves doivent aussi écrire les réponses qu'ils proposent.

Les trois enseignants travaillent avec les élèves, les aident, les corrigent.

Cet exercice fait apparaître des difficultés à l'égard des textes. Les profs de sciences et de math prennent connaissance des incompréhensions et des représentations manifestées par les élèves à propos de certains concepts scientifiques. Ils font des observations qu'ils ne feraient peut-être jamais dans le contexte habituel de leur enseignement, observations qui participent d'une meilleure compréhension des élèves, de leurs stratégies d'apprentissage, de leurs difficultés.

Soudain, la sonnerie retentit ! Il est 11 h. 30. Pour les élèves, c'est l'heure d'aller à la leçon d'anglais. On a rangé, paqueté ! « Que ces quatre périodes ont vite passé ! » (une période = 45 min.)

Les enseignants n'ont pas fini...

Pour les profs, jusqu'à midi trente, c'est l'heure de la concertation. Comme chaque mercredi, ils font le point sur les difficultés et les comportements de quelques élèves. Ils relèvent que certains groupes fonctionnent bien : les élèves travaillent vraiment ensemble, sont solidaires, se corrigent les uns les autres. Dans d'autres groupes par contre, certains élèves restent en retrait. Une élève s'est plainte auprès de ses camarades : « vous ne m'avez rien laissé faire ! »

Les trois profs constatent que le regard qu'ils portent sur les élèves n'est pas le même. L'enseignante a l'impression qu'un groupe travaillait mal. Le prof de sciences a l'impression contraire. Chacun a vu le même groupe à partir de sa relation particulière aux élèves, de ses attentes. Chacun, d'ailleurs, a prodigué au groupe des encouragements : l'un des encouragements à mieux travailler, l'autre des encouragements à continuer à bien travailler !

Sur le plan cognitif, l'équipe tire un bilan positif du travail de la matinée : « les élèves ont découvert beaucoup de choses. On a le sentiment que l'unité thématique a rendu l'enseignement plus efficace. Par exemple, le sens d'un mot peut tenir compte du sens particulier que lui donne le prof de sciences ou le prof de maths ».

Retour sur investissement

Trois enseignants pour 27 élèves durant une matinée chaque semaine, voilà qui semble un luxe qu'aucune école ne peut se payer ! Dans le cas présent, le surcoût engendré par la présence de trois enseignants dans la classe a été partagé entre l'institution et les ensei-

gnants. L'établissement scolaire a puisé dans un budget dédié à la réalisation de projets pédagogiques. Les enseignants ont consenti à des heures supplémentaires reconnues comme formation professionnelle personnelle. Après cette expérience, ces derniers ont poursuivi leur collaboration et ont continué à enseigner de manière concertée (sans être les trois ensemble dans la même classe). Le coût consenti a donc été un investissement dans la qualité de l'enseignement.

Troisième partie

Des considérations épistémologiques aux outils pratiques

7 Épistémologie, modélisation, pratiques expérimentales

7.1 Qu'est-ce que la science ?

Le tournant du 20^e siècle

Les connaissances scientifiques se sont notablement accrues à partir du milieu du 19^e siècle. Quelques repères, choisis parmi d'autres :

Dans les sciences de la vie, un modèle cohérent de l'évolution des formes de vie est proposé (Charles Darwin). La physiologie est reconnue comme une nouvelle science dont la démarche expérimentale est formalisée (Claude Bernard). Alors qu'on observe des cellules depuis 150 ans, le concept de cellule vivante se précise (Rudolph Virchow). On se risque à expérimenter des vaccins sur l'homme (Louis Pasteur). La génétique prend forme (Johan Mendel). La chimie se rationalise (Dimitri Mendeleïev). En physique, une théorie de la thermodynamique est née (Sadi Carnot) de même qu'une théorie de l'électromagnétisme (James Maxwell). Tous ces "succès" nourrissent une conception de la science inspirée par le positivisme du début du 19^e siècle (Auguste Comte). La raison et l'observation combinées permettent de comprendre le monde ; on écarte de la "science" toute spéculation qui ne peut être étayée par l'observation.

Mais certaines avancées telles que la "découverte" des rayons X (Wilhelm Roentgen), la théorie de la relativité (Albert Einstein), l'exploration de l'atome (Niels Bohr, Ernest Rutherford), la mécanique ondulatoire (Louis de Broglie), la mécanique quantique et son "principe d'incertitude" (Werner Heisenberg) ne vont pouvoir s'opérer qu'avec un changement de paradigme. On ne découvre plus à partir d'observations premières, on invente (puis on vérifie). Pire : on ne peut plus décrire la nature de manière déterministe.

En 1931, Kurt Gödel publie ses théorèmes d'incomplétude et d'inconsistance de l'arithmétique remettant en cause la possibilité même d'une rationalité absolue. L'école des philosophes positivistes logiques (Ecole de Vienne) des années vingt et trente (à laquelle appartient Gödel) anime les esprits. On tente encore de définir LA science par SA méthode. La psychologie, la psychanalyse (Sigmund Freud, Karl Jung) et de manière plus générale les sciences humaines qui revendiquent le statut de nouvelles sciences se voient dénigrées. Mais cette tentative des néopositivistes sera vouée à l'échec, LA méthode scientifique ne sera jamais arrêtée et la psychologie va prendre de l'importance. À partir des années trente, Jean Piaget publie ses travaux qui fondent une vision constructiviste du développement de la pensée chez l'enfant et l'adolescent. Et en 1934 paraît la première édition de La formation de l'esprit scientifique de Gaston Bachelard.

L'idée de science qui s'est développée au 20^e siècle résulte des contributions de nombreux scientifiques et philosophes. Certains d'entre eux ont laissé un héritage utile à qui enseigne les sciences. S'il fallait n'en citer qu'une demi-douzaine, ce pourrait être Bachelard, Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos et Chalmers. Passons ceux-ci en revue très sommairement.

Gaston Bachelard (1884-1964)

Bachelard s'appuie sur la psychanalyse pour étudier la manière dont le savoir est construit. Il introduit le concept d'obstacle épistémologique qui représente chez tout

individu une barrière à franchir, au-delà de ses représentations “naturelles“, pour accéder à une connaissance nouvelle. Bachelard a écrit cette phrase souvent citée¹ : « Quand il se présente à la culture scientifique, l'esprit n'est jamais jeune. Il est même très vieux, car il a l'âge de ses préjugés ».

Il précise² :

La notion d'obstacle épistémologique peut être étudiée dans le développement historique de la pensée scientifique et dans la pratique de l'éducation.

(...) C'est surtout en approfondissant la notion d'obstacle épistémologique qu'on donnera sa pleine valeur spirituelle à l'histoire de la pensée scientifique. Trop souvent le souci d'objectivité qui amène l'historien des sciences à répertorier tous les textes ne va pas jusqu'à mesurer les variations psychologiques dans l'interprétation d'un même texte. À une même époque, sous un même mot, il y a des concepts si différents ! Ce qui nous trompe, c'est que le même mot à la fois désigne et explique. La désignation est la même; l'explication est différente. Par exemple, au téléphone correspondent des concepts qui diffèrent totalement pour l'abonné, pour la téléphoniste, pour l'ingénieur, pour le mathématicien préoccupé des équations différentielles du courant téléphonique.

(...) Dans l'éducation, la notion d'obstacle pédagogique est également méconnue. J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs de sciences, plus encore que les autres si c'est possible, ne comprennent pas qu'on ne comprenne pas. Peu nombreux sont ceux qui ont creusé la psychologie de l'erreur, de l'ignorance et de l'irréflexion.

On voit là les prémisses d'un courant pédagogique qui va attacher beaucoup d'importance aux *conceptions* des élèves, ces *conceptions* qui sont au cœur du *modèle allostérique* d'apprentissage d'André Giordan.

Karl Popper (1902-1994)

Popper, admirateur d'Einstein, va tenter de démêler l'écheveau dans lequel s'imbriquent la métaphysique et la science “objective”. Il entre en conflit avec les néo-positivistes qui affirment que la scientificité consiste dans la vérifiabilité empirique des théories. Pour ces derniers, en effet, une théorie est confirmée par des expériences positives. Popper prend le contre-pied de cette posture qu'il conteste dans sa logique même. Il propose un critère de scientificité inverse : il s'agit du critère de “falsifiabilité” ou de “réfutabilité”. Popper prétend que la seule propriété qui permette de dire d'un énoncé s'il est scientifique ou non est son aptitude à être falsifié, c'est-à-dire réfuté par des expériences dont les résultats sont négatifs. « Le critère de la scientificité d'une théorie réside dans la possibilité de l'invalider, de la réfuter ou de la tester ».

Pour comprendre ce critère, on peut prendre des exemples simples : dire qu'il pleuvra mercredi prochain est une proposition digne d'être prise en considération par la science. On voit bien comment on pourra la réfuter. Dire que mercredi prochain, soit il pleuvra, soit il ne pleuvra pas, n'a pas de valeur scientifique. Cette affirmation est vraie, mais elle est irréfutable. Dire qu'il ne pleut jamais le mercredi, par contre, est réfutable. Sous nos latitudes, cette proposition sera réfutée et donc déclarée fausse. Dans certaines régions désertiques, elle ne sera jamais réfutée et donc admise comme vraie. Jusqu'au jour...

Quoique séduisant à première vue, ce modèle rencontre de sérieuses objections. Imre Lakatos le condamne vertement et Alan Francis Chalmers prend ses distances en parlant des « limites du falsificationnisme » (voir ci-après).

1 Bachelard, G. (1986) : La formation de l'esprit scientifique, Jean Vrin, Paris, p. 14

2 Même ouvrage, pp. 17-18

Mais ce critère de réfutabilité aura au moins eu le mérite de faire émerger l'idée selon laquelle la science avance aussi bien par des remises en cause que par des confirmations expérimentales, idée essentielle dans les conceptions épistémologiques actuelles.

Thomas Samuel Kuhn (1922-1996)

Le nom de Kuhn est essentiellement lié aux concepts de « science normale », de « crise et révolution scientifique » et de « paradigme ». Kuhn a complètement déboulonné l'idée d'une science qui se construirait de manière inductive, pierre par pierre, avec la sérénité tranquille d'une démarche partagée par l'ensemble de la communauté scientifique dans laquelle les concepts s'affineraient peu à peu avec l'accumulation des observations nouvelles.

Durant les périodes de « science normale », les scientifiques partagent, sans nécessairement les expliciter, les mêmes a priori sur les théories et les méthodes scientifiques : ils sont dans un même « paradigme » qui conditionne leur vision du monde. Ils sont peu critiques, à la fois les uns vis-à-vis des autres et par rapport aux fondements sur lesquels ils se basent. S'en écarter serait se discréditer. Cela n'exclut pas des variations d'un savant à l'autre ou d'un groupe à l'autre dans la manière d'interpréter le paradigme et dans les stratégies de recherche. Il y a des désaccords mais ceux-ci sont tranchés selon les normes du paradigme contemporain. Il y a des énigmes non résolues, mais la science peut avancer malgré elles.

C'est lorsque des anomalies persistent malgré les tentatives de les dépasser, lorsqu'elles bousculent certains principes admis et surtout lorsque émerge une manière de résoudre l'anomalie qui remet en cause le paradigme dominant, qu'une crise va éclater. Le monde des scientifiques entre en ébullition et les désaccords s'expriment, ce qui conduit à une révolution : un nouveau paradigme entre en concurrence avec l'ancien et finit par s'imposer, amenant un progrès substantiel dans la connaissance. Pour Kuhn, les progrès essentiels de la science se font ainsi par à-coups au travers de ces révolutions.

Paul Feyerabend (1924-1994)

Feyerabend est connu pour avoir remis en cause l'existence même d'une méthode scientifique. Pour lui la science est un phénomène humain. Les "savants" ne sont pas dépourvus de contradictions, de blocages, d'aveuglements, d'opportunismes dans leurs compétitions mais ils sont aussi riches de leurs traits de génie, de leurs intuitions, de leur inventivité. Il a écrit : « Toutes les méthodologies ont leurs limites et la seule "règle" qui survit c'est "tout est bon" ». Pour Feyerabend, ce n'est pas au moment où une approche méthodologique est mise en œuvre qu'on peut la juger. Ce n'est qu'après coup, selon ce qu'elle aura produit, qu'on pourra dire qu'elle était féconde ou inappropriée.

Mais Feyerabend va beaucoup plus loin dans sa vision anarchiste de la société puisqu'il nie la supériorité de la connaissance scientifique sur d'autres formes de connaissance et prône la liberté pour l'homme d'adhérer ou non aux discours de la science au même titre qu'il prône la liberté de choisir sa religion. Il prétend que si un état doit être laïque, il doit l'être aussi face à un choix entre les valeurs véhiculées par la science et celles qui peuvent être véhiculées au travers de la magie, de l'astrologie ou des médecines parallèles par exemple. Il faut noter que Feyerabend fonde, au moins en partie, son point de vue sur l'état apparemment de moins en moins cohérent de l'ensemble des théories scientifiques modernes et des contradictions que ces théories impliquent.

Imre Lakatos (1922-1974)

Lakatos prend acte du fait que les théories, même si elles rendent le monde plus intelligible, ne sont jamais ni achevées ni définitives. Il reconnaît que d'autres formes de connaissance, auxquelles on dénie le titre de science apportent aussi une intelligibilité au monde. Dès lors, son propos va être de caractériser la pensée et la démarche scientifique. Lakatos, contrairement à Feyerabend, tient à sauver la rationalité de la science. Il constate que ce qu'il appelle le falsificationnisme dogmatique (celui de Popper) se heurte à des arguments logiques. Une expérience qui invalide une théorie n'est pas plus fiable qu'une expérience qui la confirme. Lorsque le constat empirique est en désaccord avec la prédiction, cela peut aussi bien provenir du fait que la théorie qui sous-tend la prédiction est à remettre en cause, que du fait que des variables cachées interfèrent et masquent ainsi la validité de la théorie. De plus, l'observation elle-même n'est pas neutre, détachée de toute théorie. Le résultat d'une expérience peut donc être interprété de manières opposées. Si la force de la pensée scientifique ne réside pas dans les théories qu'elle produit, ni même dans l'adéquation des observations aux théories, si on refuse le falsificationnisme dogmatique, où faut-il aller chercher la rationalité de la science ? Lakatos répond en proposant son modèle de « falsificationnisme méthodologique ». Ce ne sont plus les théories en elles-mêmes qui font la valeur de la science mais la manière dont on enrichit une théorie ou dont on la rejette pour en adopter une qui soit plus universelle. Le progrès se mesure en quelque sorte par le nombre de nouveaux faits qui apparaissent à la lumière de la théorie enrichie ou nouvelle et qui n'étaient pas attendus dans l'ancien cadre théorique. En développant son concept de « programme de recherche », Lakatos se démarque de Kuhn. Alors que Kuhn explique les « révolutions scientifiques » par des situations qui deviennent intenable tant les contradictions s'accumulent, Lakatos pense qu'un programme de recherche doit se développer autour d'un certain nombre de « noyaux durs », théories que l'on ne réfute pas, aussi longtemps que possible. Selon Lakatos, un programme de recherche dégénère lorsqu'il cesse de prédire des faits inédits. C'est à ce moment seulement que se pose la question de l'abandonner au profit d'un programme de recherche concurrent.

Alan Francis Chalmers (1939)

Chalmers met en avant les apports des épistémologues contemporains et en particulier de Popper, Lakatos, Kuhn et Feyerabend tout en prenant ses distances par rapport à chacun d'eux. Il développe ainsi un point de vue personnel et pondéré en tentant de répondre à la question « *Qu'est-ce que la science ?* », titre de son premier ouvrage³. Chalmers veut protéger la science d'un scepticisme radical et défendre le rôle de l'expérimentation tout en refusant les thèses des empiristes. À l'aide d'exemples tirés de l'histoire de la physique, Chalmers s'oppose au positivisme logique de Popper et de Kuhn. Pour lui, il n'y a pas de méthode scientifique ahistorique universelle. Mais d'un autre côté, Chalmers s'oppose au relativisme sceptique de Feyerabend. Il construit une vision de la science qui lui laisse une certaine objectivité au travers de méthodes éprouvées d'observation. Même s'il reconnaît que l'objectivité des observations est contextuelle et historique, et s'inscrit dans un cadre social et politique qui peut être déterminant, il continue à croire qu'une loi ou une théorie peut être confrontée à la réalité par des tests et des expériences. D'autre part, il reproche au modèle de Lakatos son manque de force normative. Chalmers n'accepte pas qu'un programme de recherche ne puisse être réfuté au profit d'un autre.

3 Chalmers, Alan F. (1987). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : La Découverte

Si la science ne permet pas d'aboutir à des certitudes, au moins peut-on évaluer son efficacité par rapport aux buts qu'elle se donne nous dit Chalmers. Tout en prenant des précautions quant à une extension de ses propos aux sciences sociales, il pense que le but de la science est d'établir des généralisations applicables au monde réel. L'intérêt d'une théorie tient à l'augmentation des faits observables qu'elle englobe. Dès lors, il n'est pas utile de juger les méthodes ou programmes qui conduisent à cette théorie.

Dans sa position, Chalmers est en mesure d'identifier les pseudosciences par la manière dont elles se soumettent à l'exigence des confrontations à la réalité et par les buts qu'elles poursuivent. Chalmers se dit soucieux devant les abus perpétrés sous l'étiquette de la science et qui peuvent prendre la forme d'oppressions ou d'exclusions sociales. Il dénonce les extensions illégitimes des connaissances scientifiques permettant de justifier des décisions de nature économique ou politique. Il refuse que des questions sociales soient réduites à des problèmes qu'une pseudoscience économique pourrait résoudre.

En résumé...

Il faut admettre qu'aucune expérience ne peut prétendre au statut d'expérience cruciale, ce qui n'empêche pas que les tests expérimentaux destinés à confirmer ou à réfuter des hypothèses demeurent essentiels dans les démarches conduites par les scientifiques. La dimension sociale de la science et son caractère humainement irrationnel sont reconnus. Un certain relativisme est accepté bien que des balises existent, qui permettent d'opposer science et non science. La connaissance est constituée de *modèles* qui s'articulent à l'intérieur de théories générales, mais rien n'est considéré comme définitivement acquis. Les *modèles* sont contextuels et leurs limites précisées. La construction du savoir est vue comme un processus social et la "certitude" scientifique conçue comme le résultat d'un consensus historiquement situé. Une conception évolutive de cette construction, impliquant des démolitions et des reconstructions a pris la place d'une conception linéaire dans laquelle les savoirs se juxtaposent.

Le courant pédagogique socioconstructiviste reprend cette vision à son compte. Comme cela a été dit dans l'introduction, on considère généralement (Bachelard et Piaget y sont pour quelque chose) qu'il y a une forme d'isomorphisme entre la manière dont le savoir se construit au travers des générations et la manière dont il se construit dans la tête d'un apprenant. Cela explique la position des didacticiens des sciences, décrite dans l'introduction (§5 « La science dont il est question – Brièvement »).

7.2 De l'épistémologie aux indications pédagogiques

L'idée d'obstacle

Le concept d'obstacle épistémologique dû à Bachelard et le concept développé par Piaget du développement de l'individu par interaction avec son milieu, sont les fondements de la conception constructiviste des apprentissages. Bachelard, du reste, se souciait de l'éducation et en appelait à une prise en compte, par les enseignants, des connaissances que les élèves ont déjà sur les matières qu'on leur enseigne (qu'elles soient ou non scientifiques, d'ailleurs). Aujourd'hui, le concept d'obstacle est bien présent dans les recherches en didactique. On distingue les obstacles épistémologiques, des obstacles didactiques et des obstacles ontogéniques (une catégorisation des obstacles est donnée au §9.6).

Les obstacles didactiques sont induits par l'enseignement. Ils résultent des nécessaires simplifications opérées par la *transposition didactique*. On les trouve notamment dans les limites des *modèles* proposés aux élèves.

Par exemple, dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, le fait que deux lampes en série se partagent à égalité l'énergie reçue pourra devenir un obstacle didactique dans une situation où ces lampes (ou d'autres récepteurs électriques) ne seront pas identiques. Cet obstacle devra être levé en créant une situation de déséquilibre qui mettra cette limite du *modèle* en évidence.

Les obstacles de nature ontogénique proviennent des limitations dans l'aptitude à conceptualiser d'un sujet à un moment de son développement.

Dans la séquence sur l'électricité, certains élèves ne sont pas prêts à considérer qu'une intensité de grisé puisse représenter un nombre de volts. Pour ces élèves, on est dans un monde trop abstrait.

Les obstacles épistémologiques enfin, relèvent de difficultés plus fondamentales et universelles ayant été rencontrées dans l'histoire de la construction conceptuelle des objets de savoir.

Toujours dans la même séquence d'enseignement, l'absence de circulation électrique dans les *conceptions* premières des élèves, relève d'un obstacle épistémologique, c'est-à-dire d'une difficulté plus fondamentale et universelle ayant été rencontrée dans l'histoire de la construction conceptuelle de l'électricité.

Comment, en effet, un "fluide" électrique invisible peut-il circuler dans un conducteur sans que la "substance" qu'il véhicule soit produite à quelque part puis consommée ? N'est-il pas "naturel" qu'il se "déverse" d'une source vers un récepteur ? L'obstacle est dans la confusion entre l'énergie et le fluide (le courant électrique). On sait qu'historiquement, le concept d'énergie fut très long à construire.

Expérimenter pour réfuter

Il est important que les élèves soient placés dans des situations qui les conduisent à prendre leurs distances autant par rapport à des expériences qui semblent réfuter une hypothèse que par rapport à des expériences positives.

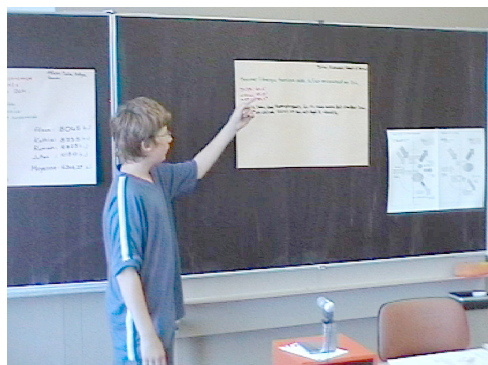
Trop souvent, en science, on laisse croire aux élèves qu'une expérience permet de vérifier une théorie, une hypothèse. Même si, épistémologiquement parlant, la "réfutabilité" de Popper est discutable, elle reste un outil qui peut avoir du sens dans une démarche scientifique.

Exercer la réfutation permet de développer chez les élèves cet "esprit critique" si souvent cité dans les plans d'études des disciplines scientifiques... et des autres disciplines.

L'idée de communauté scientifique

Du point de vue pédagogique, la vision de la science développée par Kuhn ainsi que celle de Lakatos s'opposent aux conceptions courantes. C'est la dimension sociale de la science qui est ici mise en avant, une dimension dont ne sont souvent pas conscients nos élèves. Il est donc important de la leur faire appréhender, voire de la leur faire vivre en assimilant la classe à une communauté scientifique. Il peut alors être possible de créer les conditions qui vont faire que cette communauté se heurte à la nécessité de changer de paradigme.

Dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme, l'enseignant fait travailler sa classe comme une communauté de recherche. Il le dit d'ailleurs explicitement aux élèves à plusieurs reprises. Il se sert du fait que la classe est divisée en deux et que chaque demi-classe va alternativement au laboratoire. Il rend responsables les élèves de présenter leurs recherches à leurs camarades de l'autre partie de la classe. Il organise des moments d'échanges entre les deux groupes, dans lesquels les démarches suivies sont explicitées et discutées.



Sur le plan conceptuel, il y a un “noyau dur” autour duquel s’organise le savoir à construire et qui s’exprime sous forme d’un modèle (modèle des pertes thermiques), lui-même fondé sur les principes de la thermodynamique (conservation et dégradation de l’énergie).

Dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, cet aspect de communauté scientifique est moins apparent. Des moments de communication des hypothèses formulées ou des résultats obtenus après certaines démarches de recherches existent cependant. Ici, c'est la modélisation des phénomènes ayant lieu dans un circuit électrique qui est centrale.

Dans l'expérience *Des élèves âgés de 14 à 15 ans confrontés à l'idée de science* (§6.2), c'est bien cette dimension sociale de la science à laquelle Monsieur Epistémo veut rendre attentifs ses élèves quand il leur demande de produire une réponse relevant d'un consensus de la classe.

Les concepts développés par Lakatos peuvent être transposés à la classe. Il est possible de faire vivre aux élèves des “programmes de recherche” en insistant sur le rôle de *modèles* joué par les “noyaux durs” retenus et en rendant visible leur fécondité.

Entre charlatanisme et scientisme

Du point de vue pédagogique, le message de Feyerabend inspire une certaine humilité et une certaine prudence dans les discours sur la science que l'on tient aux élèves. Il y a certes à respecter certaines formes de connaissance non conciliables avec une vision pure et dure de la science. Par contre, il semble utopique de nier la prégnance de la science et de la technologie dans un monde qui se globalise et s'uniformise autour de valeurs techno-scientifiques qui transcendent toutes les cultures et toutes les formes de croyances.

Chalmers donne des clés permettant de répondre à des questions telles que :

- Comment dénoncer les erreurs et le charlatanisme tout en prenant garde de ne pas faire du scientisme ?
- Comment, par exemple, parler avec ses élèves de la lévitation, de la voyance, de l'astrologie ? Comment aborder avec eux les débats actuels sur des thèmes comme l'homéopathie, les régimes amaigrissants, le réchauffement climatique, la vie ailleurs que sur Terre, etc. ?
- Comment permettre à nos élèves de mûrir, de devenir exigeants et critiques mais aussi prudents et ouverts ?

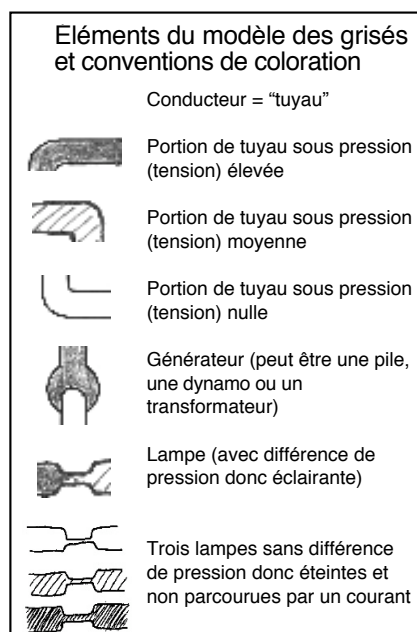
7.3 Modéliser pour apprendre

Au travers d'exemples...

Dans les deux séquences d'enseignement, à propos de l'électricité et à propos du métabolisme, la modélisation prend une place importante. Le fonctionnement d'un circuit électrique est modélisé physiquement par des jeux de rôles. Puis il est modélisé symboliquement par un ensemble de règles à appliquer à des schémas.

Le métabolisme d'un animal à sang chaud est modélisé par des schémas indiquant des flux d'énergie en entrée et sortie (*modèle* symbolique). Il est aussi modélisé par un récipient d'eau tiède dont la température doit demeurer constante (*modèle* physique).

Dans ces exemples, la modélisation vient soutenir la problématisation des savoirs et participe de la construction conceptuelle des contenus par l'apprenant.



Fondement épistémologique de la modélisation

Selon la vision contemporaine, la nature même de la science et de ses démarches peut se concevoir au travers du concept de modèle. En effet, cette vision comporte une part de relativisme. L'idée de modèle, permettant de décrire et prévoir des phénomènes observables, se substitue à l'idée de description absolue du réel.

Le modèle des grisés permet de décrire un circuit et de prévoir l'éclat des lampes insérées dans un circuit électrique.

Le modèle du récipient permet de décrire le phénomène de déperdition thermique et de prévoir les besoins énergétiques d'un animal.

Modéliser...

Le *modèle* ne prétend pas au réel. Il se veut une représentation des objets et phénomènes. Cette représentation est rationalisée au sein d'un champ théorique bien circonscrit.

Par exemple, la théorie de l'électrodynamique est le cadre dans lequel s'inscrivent le *modèle* des jeux de rôles et le *modèle* des grisés tandis que la thermodynamique sous-tend le *modèle* du récipient pour le métabolisme.

Modéliser, c'est indiquer les objets physiques ou symboliques dont le *modèle* est constitué, décrire les relations que ces objets entretiennent entre eux et préciser les liens sémantiques existant entre ces objets et relations d'une part, et les "faits" observables d'autre part, observations sur lesquelles on s'accorde de manière intersubjective (un schéma est donné ci-après au §7.4). Enfin, pour que le *modèle* soit complet, il faut encore préciser son domaine de validité.

Tableau des *modèles* mis en œuvre dans les séquences *électricité* et *métabolisme*

<i>Modèle</i> (exemple)	Objets / symboles	Relations entre objets est symboles	Liens sémantiques entre les objets ou symboles et les objets modélisés	Limites du <i>modèle</i>
----------------------------	----------------------	---	--	--------------------------

Métabolisme

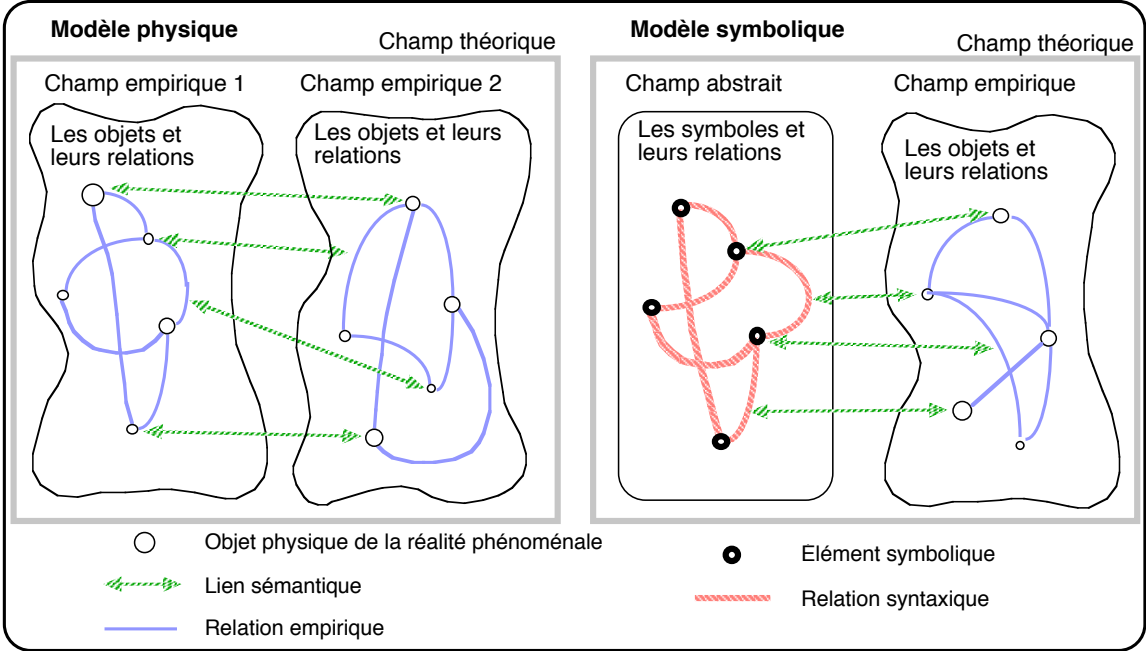
1. Analogie Corps humain – Machine thermique	Flèches de flux et réservoirs dans des schémas comparés du corps humain et d'un véhicule à moteur thermique	Règles de conservation	Liens qui unissent les symboles et les termes figurant dans les schémas aux fonctions métaboliques de l'être humain ou au fonctionnement énergétique du véhicule à moteur	<i>Modèle</i> basé sur une analogie, de nature descriptive et non quantitative
2. Récipient d'eau représentant un mammifère du point de vue thermique	Récipient et ses accessoires (couvercle, isolation, thermomètre)	Règles permettant de lier une variation de température à une énergie	Liens entre un récipient d'eau et l'animal qu'il représente, entre l'énergie entrant dans le "système" et la nourriture absorbée, entre les pertes thermiques du récipient et les pertes thermiques de l'animal.	Pas de <i>modèle</i> universel s'appliquant à tout mammifère.

Électricité

3. Jeux de rôles "circuit électrique"	Élèves qui miment les "grains électriques" et le dessin du circuit électrique sur lequel ils se meuvent	Règles comportementales (il faut marcher à l'intérieur des conducteurs dessinés ne pas dépasser son camarade, ne pas courir, ...)	Liens qui unissent un schéma dessiné au sol ou sur une feuille de papier et un vrai circuit électrique, le symbole d'une lampe et une vraie lampe, le transport de plaquettes d'énergie et le transfert d'énergie de la pile à la lampe	Les jeux de rôles décrivent des circuits ne comportant que des ampoules identiques avec des fils et une pile sans résistance propre
4. "Circuit hydraulique" avec codage des "pressions"	Pictogrammes représentants les divers éléments d'un circuit électrique	Règles qui permettent d'assembler et colorier les pictogrammes	Liens qui unissent les pictogrammes aux éléments d'un circuit électrique (conducteurs, lampes, générateur). Liens entre une intensité de grisé et un nombre de volts du potentiel électrique...	Les grisés décrivent des circuits ne comportant que des ampoules identiques avec des fils et une pile sans résistance propre

7.4 Essai de catégorisation des *modèles* et exemples

Représentation schématique de la modélisation



Ces schémas, adaptés de Guy Robardet⁴, formalisent les *modèles* physiques et symboliques. Les catégories du tableau des *modèles* mis en oeuvre dans les séquences électricité et métabolisme se retrouvent ici.

Tableau des typologies des *modèles* avec des exemples concernant l’œil et la vision.

Expression du <i>modèle</i> – Modèle de nature...				
Physique		Symbolique		
Un objet physique sert de support au <i>modèle</i>		Le <i>modèle</i> s’exprime par des signes et symboles		
		littéraire	iconique	mathématique
maquette anatomique d’un oeil	œil artificiel possédant certaines fonctions de l’œil (ballon d’eau avec lentille, par exemple)	Texte sur l’œil qui peut être descriptif (vocabulaire et syntaxe scientifique et logique) ou de type imagé (métaphorique ou poétique par ex.)	diagrammes, tableaux, abaquages, graphiques décrivant les mécanismes de la vision, les défauts de la vue, les corrections à apporter, etc.	formules et lois se rapportant à l’œil, sous forme algébrique ou géométrique

Certaines modélisations sont relativement faciles à faire entrer dans ces catégories. Par exemple, une maquette de l’œil permettant la projection, sur une pseudo rétine, d’une image réelle d’un objet “regardé”, est typiquement un *modèle* physique de l’œil. Elle permet de simuler l’accommodation et les défauts de la vue en gonflant plus ou moins la lentille en silicone qui tient lieu à la fois de cornée



4 Robardet, G., Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques : de la recherche à la pratique : théorie, modèles, conceptions et raisonnement spontané*. Paris: PUF (pp.112-118)

et de cristallin. Cette maquette appartient à un champ empirique 1 et représente un œil réel appartenant à un champ empirique 2. Elle est le siège de relations empiriques. Par exemple pousser sur les pistons des seringues a pour effet de gonfler le cristallin. Gonfler le cristallin a pour effet de rendre plus nette ou plus floue l'image sur la "rétine".

L'expression algébrique qui permet de chiffrer le degré d'accommodation de l'œil en fonction des distances P_{pp} et P_{pr} auxquelles se situent ses punctum proximum et punctum remotum, peut avoir le statut d'un *modèle* de type symbolique. Il permet de déterminer la faculté d'accommodation de l'œil à partir des mesures de P_{pp} et P_{pr} .

$$\text{Accommod} = \frac{1}{P_{PP}} - \frac{1}{P_{PR}}$$

Les exemples de *modèles* mis en œuvre dans les séquences d'enseignement sur l'électricité et sur le métabolisme sont moins faciles à analyser.

Les schémas comparatifs de l'exemple N° 1 du tableau du §7.3 sont de nature symbolique. Ils s'appuient sur une analogie avec un véhicule automobile qui fonctionne comme *modèle* physique du corps humain, mais qui reste abstrait (on ne peut faire parler ce *modèle* que par expérience de pensée). Dans l'exemple N° 2, le récipient appartient à un champ empirique 1 et participe d'un *modèle* physique du métabolisme d'un mammifère appartenant à un champ empirique 2.

Les jeux de rôles du circuit électrique (exemple N° 3) relèvent d'un *modèle* physique et symbolique tout à la fois (le schéma dessiné par terre est un objet physique qui conduit les élèves en même temps qu'une représentation symbolique). Quant aux schémas hydrauliques et leurs grisés (exemple N° 4), ils appartiennent à un champ abstrait et constituent un *modèle* symbolique du circuit électrique qui, lui, appartient à un champ empirique.

Trois niveaux d'implication de la modélisation

Il est utile de distinguer trois niveaux d'implication de la modélisation dans l'enseignement scientifique (sciences au sens large, et mathématiques) :

1. Le modèle en tant que forme de transposition didactique

C'est celui qui est donné aux élèves comme forme de savoir institué (la loi des lentilles, les formules de l'électrodynamique, les représentations des atomes et de leurs comportements dans des réactions chimiques, la classification d'une espèce vivante). Ce *modèle* est parfois présenté aux élèves comme une "réalité" qu'il n'y a pas lieu de discuter.

2. Le modèle participant de la conceptualisation

Le *modèle* est présenté aux élèves comme une tentative d'expliquer et de prévoir. Les élèves sont associés à sa discussion, ils en cherchent les limites de validité, sont appelés à l'améliorer ou à en comparer des variantes, voire à le rejeter.

3. Le modèle dans sa dimension épistémologique de construction du savoir

Ici, ce sont les élèves qui construisent le *modèle* (éventuellement à partir d'un germe donné par l'enseignant). Cette construction se fait au travers des confrontations entre l'attendu (au moyen du *modèle*) et l'observé⁵. Elle se fait aussi par la confrontation entre eux des *modèles* proposés par les élèves. Construire le *modèle* revient à construire une représentation de la réalité qui soit opératoire dans une famille de situations donnée.

⁵ On est dans un mode didactique de pratique expérimentale de type **élaboration théorique** selon Coquidé (§9.5)

Dans la séquence sur le métabolisme, le *modèle* est traité au niveau 2 dans la phase de bilan de *compétence*. Les élèves doivent en effet critiquer des variantes de *modèles*.

La manière dont on a mis en place le *modèle* “jeux de rôles” en électricité relève du niveau 3. On utilise la modélisation pour conduire les élèves dans un travail conceptuel.

Le *modèle* symbolique des grisés se situe entre les niveaux 1 et 2. Un germe de *modèle* a été fourni aux élèves, mais ceux-ci ont dû inférer des règles qui le rendent opératoire.

En résumé, pourquoi modéliser, pourquoi faire modéliser par les élèves ?

Utiliser des *modèles*, en faire voir les limites, initier les élèves à la construction de *modèles* a du sens pour...

- leur donner une image de la science qui se distancie de la vision empreinte d'empirisme naïf et qui prend en compte une forme de relativisme et de conventionnalisme, les aider à entrer dans des démarches hypothético-déductives,
- susciter chez eux la créativité dans l'acte de comprendre,
- favoriser, entre eux, l'émergence de débats d'idées,
- donner confiance à ceux qui sont effrayés par l'idée d'absolu et de rigueur.

7.5 Modes didactiques des pratiques expérimentales

Les activités pratiques des élèves ne sont pas de même nature selon qu'elles interviennent dans la phase d'*immersion*, dans celle de conceptualisation ou encore dans celle des réinvestissements.

Ce qui se passe dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme est exemplaire à cet égard. Lorsque les élèves doivent trier les aliments en fonction de l'énergie qu'ils contiennent ou imaginer la température indiquée par un thermomètre plongé dans un lainage, il n'y a pas d'enjeu conceptuel si ce n'est d'exprimer des *conceptions*. On trouve des enjeux de savoir faire quand il faut réussir à enfermer une bougie dans de l'air expiré et chronométrer un temps de combustion ou lorsqu'il s'agit de mesurer la température de l'eau du tonneau pour établir un graphique de refroidissement. De même lorsqu'il s'agit, de pédaler pour dépenser une énergie donnée. Les consignes données aux élèves sont de nature “faire pour dire” ou “réussir par adresse”. Elles ne sont pas de chercher une stratégie qui leur permette de réussir là où ils ne réussissent pas encore. Pour conduire les élèves sur le chemin de la conceptualisation, il faudra de réels défis, souvent sous forme de *situations-problèmes*. Les élèves devront répondre à des questions dont les réponses, non immédiates, doivent parfois se construire contre les *conceptions* premières. Ils devront relever le défi de quantifier l'énergie nécessaire à un être humain.

Des observations similaires peuvent être faites dans la séquence d'enseignement sur l'électricité. Lorsque les élèves doivent dire, les yeux bandés, en tournant la manivelle de la génératrice, combien de lampes sont branchées ou lorsqu'ils doivent obtenir un nombre donné de volts en adaptant la vitesse de rotation de cette génératrice, l'enjeu est de l'ordre d'un savoir faire. De même lorsqu'il s'agit, en tâtant la chambre à air dans laquelle circule de l'eau, de dire à quel endroit elle est écrasée. Les élèves ne sont pas face à un défi qui implique un travail conceptuel, une remise en cause des *conceptions*. La consigne dit : « entraîne-toi pour réussir ». Elle ne dit pas : « Cherche une stratégie » et encore moins « explique ce qui se passe ». Dans la phase d'*immersion*, les élèves manipulent des circuits électriques, deviennent familiers avec les phénomènes qui s'y produisent mais

leurs *conceptions* d'un courant unifilaire ou des deux courants antagonistes ne sont pas ébranlées, on le constate dans la suite. Ici encore, il faut de réels défis, des *situations-problèmes*, pour que les élèves fassent un bout de chemin. D'abord c'est le simple défi de devoir allumer une lampe avec une pile ronde, sans qu'autre chose leur soit donné. Puis ce sont les jeux de rôles qui doivent servir à "expliquer" ce qui se passe dans un circuit et notamment à rendre compte des effets de l'inversion des pôles de la pile.

Maryline Coquidé⁶ (voir aussi les travaux de Jean-Pierre Astolfi⁷), a étudié les divers modes didactiques des pratiques expérimentales mis en place par des enseignants. Elle distingue les trois modes suivants :

1. Le mode de familiarisation pratique ou "*expérimentation*"
2. Le mode d'investigation empirique ou "*expérimentation*"
3. Le mode d'élaboration théorique ou "*expérience-validation*"

Si les modes 2 et 3 fonctionnent typiquement dans une phase de conceptualisation, le mode 1 recouvre bien ce qui se passe lors de la phase d'*immersion*. Voici ce que dit Maryline Coquidé du mode de familiarisation pratique :

Dans ce mode d'activité, et d'un point de vue pédagogique, les pratiques expérimentales sont en relation avec des situations de familiarisation. Elles ont pour but de familiariser l'élève à des objets ou des phénomènes, de l'inciter à un questionnement, de constituer un *réfèrent empirique*. Les activités peuvent lui faire acquérir des savoir-faire préalables ou s'approprier des techniques d'investigation (instruments et procédures). L'élève expérimente "pour voir" ; il explore et contrôle peu à peu ses actions ; il apprend à maîtriser des pratiques. (p. 113)

Toujours selon Coquidé, dans le mode 2 d'investigation empirique, l'enseignant aide les élèves à problématiser ou à émettre un projet. Il favorise la mise en oeuvre des investigations, la rigueur dans la démarche de validation des élèves, les confrontations, la réflexion des élèves sur les démarches et les raisonnements qu'ils suivent.

C'est ce mode qui est activé quand les élèves mettent à l'épreuve les réponses qu'ils donnent aux six questions relatives à l'huile, la bougie, les excréments et à une comparaison entre corps humain et automobile. De même lorsqu'ils cherchent à améliorer les résultats obtenus dans la détermination de l'énergie quotidiennement nécessaire à un adolescent (séquence d'enseignement sur le métabolisme).

C'est ce même mode qui prévaut lorsque les élèves doivent réussir à allumer leur lampe au moyen d'une pile ronde (séquence d'enseignement sur l'électricité).

Dans le mode 3 d'élaboration théorique, l'enseignant propose des activités qui conduisent les élèves à faire des aller et retour entre registre empirique et conceptualisation. La *modélisation* est ici l'outil privilégié des constructions conceptuelles.

Ce troisième mode s'observe lorsque les élèves tentent d'évaluer les besoins énergétiques journaliers d'un être humain en évaluant les pertes thermiques d'un tonneau d'eau de 60 ou de 50 litres qu'il faut maintenir à la température de 37°C.

6 Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. Aster, 26, 109-132. Paris : INRP – Voir aussi son mémoire d'habilitation : Le rapport expérimental au vivant, Juin 2000, Université Paris-Sud (disponible sur Internet).

7 Voir en particulier : Astolfi J.-P., Peterfalvi B. & Verin A. (1998). Comment les enfants apprennent les sciences. Paris, Retz.

C'est encore ce dernier mode qui est mis en œuvre lorsque les élèves font des jeux de rôles en écho aux réalisations pratiques de circuits électriques ou, plus tard, lorsque des schémas codifiés avec les grisés des pressions doivent être mis en correspondance avec les observations concernant les éclats des lampes.

La question des modes didactiques des pratiques expérimentales est reprise au §9.5 qui fournit des tableaux pouvant servir d'outil pour le choix et l'analyse de ces pratiques.

8. La problématisation, un levier didactique essentiel

8.1 Les fondements de la *situation-problème* et du problème ouvert

L'idée de problématisation et le concept de *situation-problème* vont de pair avec une conception constructiviste des apprentissages. Cela a été souligné dans les paragraphes 3.2 et 3.3 à propos du socio-constructivisme, 3.4 à propos des contrats pédagogique et didactique, 4.5 à propos de la conceptualisation, 7.5 à propos des pratiques expérimentales. La problématisation du savoir est le moyen par lequel la "ruse pédagogique" permet de dépasser le paradoxe du socioconstructivisme (§3.4). C'est miser sur le fait que l'élève s'approprie un problème (phénomène de dévolution) qu'il ne sera capable de résoudre qu'en faisant fonctionner le savoir visé. C'est attendre qu'ainsi l'élève "construise" ce savoir, seul ou en s'appuyant sur des interactions sociales. Dans une vision quelque peu radicale de ce processus, l'enseignant se refuse à transmettre ce savoir et renonce en quelque sorte à son intention d'enseigner. Une telle situation est qualifiée d'a-didactique par Guy Brousseau¹. (voir l'encadré).

Le concept de *problème ouvert* nous vient également du monde des mathématiques. On y appelle *problème ouvert* une proposition non démontrée mais toujours vérifiée. La conjecture d'Euler-Goldbach (1742) qui énonce que tout entier pair autre que 2 est la somme de deux nombres premiers est un exemple de problème encore ouvert. Le dernier théorème de Fermat, qui énonce qu'il n'y a pas de nombres entiers non nuls x , y et z tels que: $x^n + y^n = z^n$ pour n entier ≥ 3 , est demeuré un *problème ouvert* durant plus de 300 ans jusqu'à ce qu'Andrew Wiles le démontre en 1994 (plus exactement jusqu'à ce qu'Adrew Wiles propose une démonstration acceptée par les mathématiciens capables de la comprendre). Ce qui caractérise le *problème ouvert* et qui a été retenu dans son usage pédagogique, c'est sa capacité à susciter des recherches, à mobiliser des ressources, à maintenir en haleine, à stimuler des savoir-être.

Il faut préciser que les concepts de *situation-problème* et de *problème ouvert* ne concernent pas seulement l'enseignement des mathématiques et des sciences. Liés au modèle d'apprentissage plus qu'aux contenus, on les retrouve dans les didactiques de pratique-

Situation fondamentale, situation a-didactique

La conception moderne de l'enseignement va donc demander au maître de provoquer chez l'élève les adaptations souhaitées, par un choix judicieux, des « problèmes » qu'il lui propose. Ces problèmes, choisis de façon à ce que l'élève puisse les accepter doivent le faire agir, parler, réfléchir, évoluer de son propre mouvement. Entre le moment où l'élève accepte le problème comme sien (le moment où la dévolution s'est opérée) et celui où il produit sa réponse, le maître se refuse à intervenir comme proposeur des connaissances qu'il veut voir apparaître. Une telle situation est appelée situation a-didactique (En ce sens que disparaît d'elle l'intention d'enseigner - elle est toujours spécifique du savoir - une situation pédagogique non spécifique d'un savoir ne serait pas dite a-didactique mais seulement non didactique). Chaque connaissance peut se caractériser par une (ou des) situation a-didactique qui en préserve le sens et que nous appellerons situation fondamentale. Mais l'élève ne peut pas résoudre d'emblée n'importe quelle situation a-didactique, le maître lui en ménage donc qui sont à sa portée.

Texte extrait de : Brousseau, G. (1986), Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, Éléments pour une modélisation, RDM, Vol. 7.2, 49. Grenoble : La pensée sauvage.
Voir aussi : Brousseau, G. (1998). La théorie des situations didactiques, Grenoble : La Pensée sauvage.

¹ Initialement instituteur, Guy Brousseau a consacré sa vie à l'étude des mathématiques et à la didactique des mathématiques. À Bordeaux, il a dirigé des centres de recherche sur l'enseignement des mathématiques. Il est Docteur en didactique de l'Université de Bordeaux et Docteur Honoris Causa des Universités de Montréal et de Genève.

ment toutes les disciplines. Il en est de même des autres formes de problématisation qui sont évoquées ci-après.

8.2 La *situation-problème*

En didactique des sciences, ce qu'on appelle *situation-problème* a été décrit par de nombreux auteurs². La *situation-problème* correspond tout à fait à la situation fondamentale de Guy Brousseau, mais on n'est peut-être moins absolu quant à la disparition de l'intention d'enseigner qu'elle comporte. Ce qui est essentiel dans une *situation-problème*, c'est qu'elle permette la dévolution d'un problème qui, pour être résolu, exige la construction d'un savoir nouveau. Quant à la manière de construire ce savoir et au rôle de l'enseignant dans ce processus, ils peuvent être discutés.

Dans l'exemple de la séquence d'enseignement sur le métabolisme, l'enseignant compte beaucoup sur les interactions sociales au sein de la classe, mais il ne se prive pas de raccourcir les recherches des élèves en leur fournissant des aides. Ces aides peuvent être des renforcements à propos des meilleures pistes de recherche proposées (inspiration behavioriste), elles peuvent prendre la forme de documents ciblés mis à disposition des élèves (inspiration transmissive).

Dans l'exemple de la séquence d'enseignement sur l'électricité, l'enseignante fait des “cadeaux” à ses élèves à des moments qu'elle juge opportuns. C'est typiquement le cas lorsqu'elle expose son *modèle* des grains d'électricité pour débloquer la situation de conflit cognitif dans laquelle elle a conduit la classe. On voit ici la “ruse” : Placer les élèves face à la difficulté de concilier, d'une part la *conception* de l'énergie qui s'écoule par les deux fils et, d'autre part, la nécessité de concevoir l'existence d'un courant électrique circulant d'un pôle à l'autre de la pile. Donner ensuite une solution que les élèves sont alors prêts à intégrer dans leurs *conceptions* puisqu'elle leur permet de résoudre le conflit.

Une autre caractéristique souvent évoquée pour les *situations-problèmes* est qu'elles doivent permettre à l'élève de décider si une solution trouvée est convenable ou pas. Cette caractéristique est importante dans la perspective socioconstructiviste. Pour être mis en demeure de se dépasser, de franchir un obstacle, de remettre en cause une *conception*, l'élève doit pouvoir constater lui-même l'efficacité ou l'inefficacité de la stratégie qu'il propose en réponse à la situation dans laquelle il est plongé. Idéalement, ce constat se fait au travers d'interactions avec le milieu.

Dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme, les six questions relatives au métabolisme humain et à une comparaison entre corps humain et automobile, peuvent être assimilées à des *situations-problèmes*. Chaque question renvoie en effet à un ou plusieurs concepts. Les élèves doivent répondre de manière hypothétique et ce sont eux qui valident leurs réponses soit par voie expérimentale, soit en consultant des documents fournis par l'enseignant ou trouvés sur Internet.

Il faut encore remarquer qu'une *situation-problème* n'est pas univoquement définie par un énoncé. Le saut conceptuel attendu doit être à la portée des élèves et la situation doit

² Voir entre autres :

- Arsac, G., Germain, G., Mante, M. (1988). Problème ouvert et situation-problème, Villeurbanne : IREM
 - De Vecchi, G., Carmona-Magnaldi, N. (2002). Faire vivre de véritables situations-problèmes, Paris : Hachette Éducation.
 - Robardet, G. (1990). Enseigner les Sciences physiques à partir de situations-problèmes, Bulletin de l'Union des Physiciens, 720, 17. Lyon/Paris : UdPPC

être adaptée aux comportements prévisibles des élèves ainsi qu'à leur cursus antérieur (et en particulier à leur *réfèrent empirique*). Comme le disent Gérard de Vecchi et Nicole Carmona-Magnaldi³,

Une situation-problème ne peut être considérée comme telle que pour un niveau d'apprenants donné et si elle est exploitée par le maître ou le formateur comme une réelle situation de recherche. De ce fait, plus qu'un ensemble de critères rigides, c'est surtout la mise en oeuvre d'un état d'esprit qui la définit.

Il est donc difficile d'établir des catalogues *de situations-problèmes*. Pour ce faire, l'énoncé de chaque situation devrait être accompagné de la description du contexte dans lequel elle a des chances de fonctionner.

En résumé

Une *situation-problème* "authentique" place les élèves devant un problème insurmontable sans la construction d'un savoir nouveau, a le caractère d'un défi dans lequel les élèves peuvent s'engager, offre aux élèves les ressources matérielles et documentaires dont il peuvent avoir besoin, permet aux élèves de contrôler la pertinence de la réponse qu'ils élaborent.

8.3 Le problème ouvert

En didactique des mathématiques, l'idée de *problème ouvert* est relativement bien standardisée. En didactique des sciences, ce concept est moins souvent utilisé.

Si la *situation-problème* est l'outil privilégié pouvant conduire à la construction des savoirs, le *problème ouvert*, quant à lui, est l'outil privilégié permettant d'initier aux démarches de recherches, de stabiliser et renforcer des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être. Il peut aussi être utilisé comme instrument d'évaluation de *compétences*. Il s'agit, par un *problème ouvert*, de placer les élèves dans une situation qu'ils vont pouvoir maîtriser (souvent par un travail de groupes) en utilisant des ressources qu'ils possèdent déjà. Mais les ressources mobilisables pour venir à bout du problème sont diverses et parfois même non prévues par l'enseignant. De plus, le traitement d'un *problème ouvert* peut nécessiter de compléter les données par des hypothèses. La solution proposée sera donc relative à ces hypothèses. Ainsi le problème est ouvert quant aux cheminements qu'il suscite et quant aux démarches pouvant être mises en œuvre pour le résoudre. Mais un *problème ouvert* peut tout à fait n'avoir qu'une solution... ou même aucune !

À l'échelle d'une séquence d'enseignement, contrairement à la *situation-problème* qui s'inscrit typiquement dans une phase de conceptualisation, le *problème ouvert* peut intervenir dans une phase d'articulation entre *immersion* et conceptualisation comme préalable à des *situations-problèmes*. Mais ne visant pas à installer des concepts nouveaux, il participe le plus souvent d'un enseignement dont le déroulement ne se conforme pas au modèle des trois phases (§5.5).

Dans l'exemple des élèves confrontés à l'idée de science (§6.2), le défi lancé aux élèves de trouver qui d'entre eux est capable de déceler la plus petite concentration de sucre dans de l'eau et d'indiquer cette concentration est a priori un *problème ouvert*.

³ Ibid., p. 47

8.4 Autres formes de problématisation

D'autres moyens que la *situation-problème* ou le *problème ouvert* sont à disposition de l'enseignant pour engager les élèves dans un travail de conceptualisation ou dans une initiation à la recherche, notamment le projet de communication, le projet de réalisation, l'énigme et l'étude de cas.

Cette liste n'est pas exhaustive et ces formes de problématisation ne sont pas standardisées. Dans le sens qui leur est donné ici, ces autres formes de problématisation ne s'excluent pas les unes les autres. Certaines activités demandées aux élèves peuvent relever de deux, voire de trois d'entre-elles. De plus, ces autres formes de problématisation peuvent parfois s'apparenter à des *situations-problèmes* ou des *problèmes ouverts* (tableau synoptique, §9.4).

Le projet de communication

Les élèves sont mis en demeure de communiquer des informations à un public donné. Les informations peuvent être les résultats d'une recherche empirique, un protocole d'expérimentation, les éléments d'une modélisation, des tests de validation d'hypothèses, des tests de mise à l'épreuve d'un *modèle*, etc. Le public peut être une partie de la classe, une autre classe, l'ensemble d'une volée, les spectateurs d'une exposition ou d'une animation, les lecteurs d'un document ou d'une publication, etc. Le support peut être un cahier, un poster, un article de journal, des pages Internet, un mode d'emploi, un jeu de rôles, une animation, etc. Pour motiver un travail conceptuel, le projet doit être authentique et non fictif. Une réaction du public cible doit être attendue. Dans les exemples qui suivent le mandant est l'enseignant, mais il peut être très stimulant pour les élèves que le mandant n'appartienne pas à la classe ni même à l'institution scolaire : rédaction du journal de la région, radio locale, service public, gérant d'un site Internet, ...

Exemples tirés des séquences d'enseignement des chapitres 1, 2 et 6 :

- Dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme, lors de la séance 5, le projet donné aux élèves est de travailler à partir de six questions relatives au métabolisme humain et à une comparaison entre corps humain et automobile relève de la situation-problème mais il relève aussi du projet de communication puisque les élèves doivent préparer des réponses qui pourront être communiquées à l'autre demi-classe et discutées.
- Lors de la séance 9 de la même séquence, les élèves travaillent en groupes sur les trois méthodes permettant de déterminer le métabolisme humain. Chacun des groupes doit préparer une communication adressée à l'autre demi-classe pour faire état des résultats de ses recherches.
- Dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, les jeux de rôles fonctionnent comme des projets de communication. À chaque fois, quelques élèves exposent à leurs camarades un point de vue à propos des phénomènes qui se produisent dans les circuits électriques.
- Le défi lancé aux élèves à propos du goût sucré (§6.2) est un *problème ouvert* qui s'accompagne du projet, pour chacune des demi-classes engagées, de communiquer ses résultats à l'autre demi-classe.
- Dans l'exemple de pédagogie coopérative (§6.1) à propos des savoir-faire relatifs à la détermination du volume d'objets courants, les élèves sont stimulés par le fait qu'ils sont responsables de former leurs camarades.

Le projet de réalisation

Les élèves doivent réaliser une machine, un montage, un appareil. Ce peut aussi être une réalisation architecturale ou artistique. Comme dans le cas du projet de communication, le mandat ne provient pas nécessairement de l'enseignant. Il est très motivant pour les élèves de répondre à une demande provenant d'une instance externe (parents, autorité communale, association, club, organe de gestion de l'école, etc.). Le travail se fait selon un cahier des charges. Une variante consiste non pas à construire mais à dépanner, réparer une machine, un montage, un appareil.

Pour exemple, dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, séance 4, les élèves doivent construire un "jeu électro" permettant d'associer des réponses à des questions et de contrôler cette correspondance par le fait qu'une lampe s'allume. L'objet produit est fonctionnel. Le réaliser est un projet qui pousse à conceptualiser ce qu'est un circuit électrique ouvert ou fermé et ce qu'est un court-circuit (les élèves doivent prendre garde à isoler tous les circuits correspondant à un couple question-réponse). Ici, le mandat est donné par l'enseignant, mais le projet est d'offrir ce jeu à quelqu'un en guise de cadeau de Noël.

L'énigme

L'idée d'énigme peut accompagner pratiquement toute situation dans laquelle il y a une problématisation. Les didacticiens soulignent souvent le caractère énigmatique d'une *situation-problème* ou d'un *problème ouvert*.

Une manière de définir l'énigme est de faire référence aux démarches qu'elle suscite :

L'énigme est un énoncé par lequel on demande aux élèves de répondre à une question concernant la nature ou le comportement d'un objet, d'une machine, d'un mécanisme, d'un organe ou d'un être vivant.

Il y a énigme dans la mesure où plusieurs méthodes concourent à donner une réponse à la question posée qui, par leur complémentarité, augmentent la pertinence de cette réponse.

Voici un exemple :

Les élèves reçoivent une bouteille contenant du sirop de fleur de sureau fait maison. Ce sirop est assez transparent et visqueux. Avec cela, les élèves reçoivent une feuille de papier sur laquelle est écrite la recette qui a servi à le fabriquer. On y lit combien il a fallu de grappes de fleurs de sureau, de jus de citron et d'eau. La recette dit aussi quelle quantité de sucre a été nécessaire, mais malheureusement le nombre de grammes est illisible.

La question est bien sûr : « Quel est ce nombre que l'on ne peut plus lire ? ».

Les élèves ont plusieurs angles d'attaque pour trouver la réponse. Il y a des méthodes empiriques qui consistent à fabriquer des sirops et les goûter. Il y a une méthode plus analytiques qui consiste à établir expérimentalement comment varie la densité d'un sirop en fonction de sa concentration et d'utiliser cette relation pour déterminer la concentration de sucre à partir du poids spécifique du sirop. Une autre méthode utilise un réfractomètre et se fonde sur le lien que les élèves établissent entre l'indice de réfraction du sirop et sa concentration en sucre. D'autres approches peuvent être tentées en passant par la chaleur massique du sirop ou son pouvoir calorifique.

Exemples tirés des séquences d'enseignement des chapitres 1, 2 et 6 :

Dans la séquence sur le métabolisme, séance 7, la demande faite aux élèves de déterminer la quantité d'énergie qui leur est nécessaire quotidiennement peut être vue comme une énigme.

Dans l'expérience de pédagogie coopérative du §6.1, l'une des activités consiste à déterminer la longueur du fil de fer d'une torche que l'on ne peut pas dérouler. C'est aussi un exemple d'énigme dans la mesure où l'on attend des élèves qu'ils déterminent cette longueur de plusieurs façons.

De même, dans le projet interdisciplinaire décrit au §6.3, lorsque les élèves doivent rechercher si les échantillons de roche contiennent suffisamment de sel pour permettre une exploitation rentable.

L'étude de cas

Dans la littérature pédagogique, l'étude de cas est décrite tantôt comme un outil de recherche, tantôt comme un outil de formation. Dans l'enseignement, l'étude de cas est utilisée pour l'évaluation de *compétences* ou pour obtenir des apprentissages.

Dans certains domaines, en psychologie, en médecine ou en management par exemple, le vocable "étude de cas" peut prendre des significations très spécifiques, parfois propres à une institution de formation.

Les caractéristiques qui sont les plus souvent données d'une étude de cas peuvent être regroupées dans la liste suivante :

Quant à sa nature, une étude de cas...

- s'attache à un "cas" exemplaire ou significatif dans une problématique donnée,
- est une question ou un problème posé dans un contexte réel ou réaliste,
- présente une situation complexe où les variables sont nombreuses,
- concerne une histoire vécue,
- s'inscrit dans une approche globale et systémique,
- articule le particulier et le général.

Quant aux démarches qu'elle suscite de la part de l'apprenant, une étude de cas...

- nécessite un travail visant à préciser des questions ou des problèmes,
- nécessite de faire des hypothèses qui complètent les informations sur la situation et qui ne sont pas forcément vérifiables,
- nécessite de structurer de l'information autour d'une question centrale,
- implique un travail de simulation ou de modélisation,
- se traite en s'appuyant sur des ressources documentaires ou en conduisant une expérimentation,
- se traite par étapes.

Quant aux savoir-être qu'elle contribue à développer, une étude de cas...

- suscite l'autonomie de l'apprenant,
- nécessite de développer une argumentation,
- nécessite de s'exprimer pour rendre compte.

Quant au résultat qu'on en attend, une étude de cas...

- aboutit à un "état de la question" relatifs aux hypothèses retenues mais n'aboutit pas à une solution absolue,
- aboutit à des solutions qui peuvent revêtir l'aspect de recommandations,
- valide, en les nuancant, les conclusions dégagées.

Ces caractéristiques ne sont pas toutes présentes dans une étude des cas. Dire si une situation d'enseignement est oui ou non une étude de cas relève d'une appréciation subjective.

Une étude de cas est généralement une activité d'une certaine ampleur. Elle peut être l'objet central d'une séquence d'enseignement et s'étendre sur de nombreuses séances de travail. Comme moyen de bilan de *compétences*, elle peut revêtir le caractère d'un examen. Dans les exemples donnés ci-dessous, les études de cas sont d'importance plus modeste et se déroulent sur une à deux heures d'enseignement.

Dans la séquence d'enseignement sur le métabolisme, le problème posé aux élèves pour l'évaluation certificative peut être considéré comme une étude de cas. Pour mémoire, les élèves doivent discuter de la pertinence d'un *modèle* rudimentaire du métabolisme d'un cochon d'Inde (annexe L1). On retrouve dans le travail demandé aux élèves un bon nombre des caractéristiques ci-dessus.

Dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, les problèmes posés aux élèves pour l'évaluation formative peuvent être considéré comme des études de cas bien qu'on ne retrouve dans cette situation qu'une partie des caractéristiques énoncées ci-dessus. Pour mémoire, les élèves doivent analyser un certain montage électrique et en prévoir le comportement (annexe G2).

Remarque : Ces études de cas, formulées presque à l'identique, auraient pu servir à mettre les élèves en recherche dans le projet de les conduire à construire le savoir qui est visé dans les séquences. Elles se seraient alors inscrites dans la phase de conceptualisation et se seraient apparentées à des *situations-problèmes*.

8.5 Au lieu des *situations-problèmes*

Des “vraies” *situations-problèmes* pas faciles à trouver !

La *situation-problème* est par excellence l'outil permettant de susciter des apprentissages. Malheureusement, il n'est pas toujours facile pour l'enseignant de concevoir d'authentiques *situations-problèmes* (§8.2) correspondant aux savoirs à construire. Si en mathématiques, on peut espérer trouver des « situations fondamentales » pour à peu près tous les concepts en jeu dans un cursus scolaire, si en physique, il est relativement aisé de trouver de telles *situations-problèmes*, c'est moins évident en chimie, en biologie ou dans les autres disciplines. D'abord parce qu'il est difficile de concevoir des situations mettant en jeu des phénomènes dans lesquels les variables ne sont pas trop nombreuses et puissent être isolées. Ensuite parce que la validation d'une hypothèse y est beaucoup moins immédiate qu'en mathématiques ou en physique. Les phénomènes étudiés peuvent en effet s'étendre sur des durées longues par rapport au temps didactique et les grandeurs qui interviennent dans la situation peuvent être difficiles à appréhender.

Exemples relatifs aux concepts d'effet Joule et de germination

À propos de l'effet Joule⁴, les élèves peuvent faire des conjectures sur l'influence de la section du fil d'un corps de chauffe, de sa longueur, de la tension électrique qui lui est appliquée. Ils peuvent expérimenter pour tester des conjectures. Moyennant l'équipement adéquat, cela peut se faire aisément et rapidement. S'agissant de l'étude des conditions de germination de certaines graines, les choses sont moins simples. Comment maîtriser des variables supposées avoir de l'influence sur le phénomène telles que l'humidité, la richesse du substrat, la température, la nature et la durée de l'éclairage ? Comment s'accommoder de la durée des expériences ? Il n'est guère possible ici de concevoir une authentique *situation-problème* mais, comme le montrent les exemples du tableau, il est possible de recourir à d'autres formes de problématisation.

4 Effet Joule : Concept qui permet d'appréhender le phénomène par lequel un courant électrique provoque l'échauffement du conducteur dans lequel il circule. Ce concept sous-tend une représentation de ce que sont le courant, la tension, la résistance électriques et, bien sûr, l'énergie et la puissance (débit d'énergie). Ces représentations permettent de donner du sens à des affirmations telle que « la puissance de dissipation (watts) est égale au produit de la tension électrique (volts) appliquée à la résistance par le courant (ampères) qui la traverse » ou telle que « la puissance de dissipation (watts) est égale au produit de la résistance (ohms) par le carré du courant (ampères) qui la traverse ».

Dans ce tableau, les énoncés ne sont que des exemples parmi d'autres possibles. De plus, quelques compléments d'informations et des indications quant à leur contexte seraient nécessaires pour les rendre explicites. Cela dit, ces exemples doivent permettre de clarifier ce qu'on peut entendre par *situation-problème*, étude de cas, énigme, projet de communication ou projet de réalisation. Ils montrent que ces autres formes de problématisation peuvent être des substituts de l'authentique *situation-problème* dans la mesure où ils sont conçus pour faire naître des besoins conceptuels chez les élèves. Deux de ces exemples sont repris au §9.3.

Problématisation	Concept d'effet Joule	Concept de germination
Situation-problème	<p>Réaliser le corps de chauffe le plus puissant possible, c'est-à-dire qui permette de chauffer le plus rapidement possible 3 dl d'eau placés dans le récipient donné.</p> <p>Matériel à disposition :</p> <ul style="list-style-type: none"> • fils électrique de Cu-Ni et de cuivre de diamètres différents • générateur, cordons électriques • voltmètre et ampèremètre • thermomètre • récipients, cylindre gradué 	<p style="text-align: center; color: red; font-size: 2em;">?</p> <p style="color: red;">C'est peut-être le projet de réalisation (ci-dessous) qui s'approche le mieux d'une <i>situation-problème</i></p>
Etude de cas	<p>On dispose de deux bouilloires du commerce. Sur la plaquette signalétique de l'une, on peut lire que la tension nominale pour laquelle elle est prévue est 230 V. Pour la seconde, cette tension est de 110 V (elle est prévue pour certains réseaux américains). Que se passe-t-il si on utilise la bouilloire 110 V sur le réseau 230 V et réciproquement (dangers, performance, courant de fonctionnement,...)</p>	<p>On a trois modèles de germeoir. Comparer leurs performances et leur adéquation à faire germer des graines de pois, de cresson et de radis</p>
Énigme	En quoi est fait le fil du corps de chauffe de cette bouilloire ?	<p>Voici des graines à germer et des pousses.</p> <p>Quelles pousses correspondent à quelles graines ?</p>
Projet de communication	Préparer un protocole de tests pour comparer les performances de diverses bouilloires	Rédiger le mode d'emploi de ce germeoir (le germeoir peut être un article du commerce ou peut avoir été fabriqué par les élèves)
Projet de réalisation	Réaliser une bouilloire selon le cahier des charges donné (quantité d'eau devant être portée à ébullition dans un temps donné)	Par groupes, transformer ces graines à germer en une salade qui sera consommée dans une semaine.

Remarque : La donnée de la liste du matériel à disposition, dans le cas de la *situation-problème*, en confirme le caractère contraignant. C'est que la situation dans laquelle on place l'élève doit créer un passage obligé vers les besoins conceptuels recherchés. Dans les autres formes de problématisation, le milieu est souvent fait d'objets en usage dans les pratiques sociales courantes. Mais du matériel d'enseignement (laboratoire) peut être requis pour réaliser des expérimentations.

9 Aides à la construction de séquences

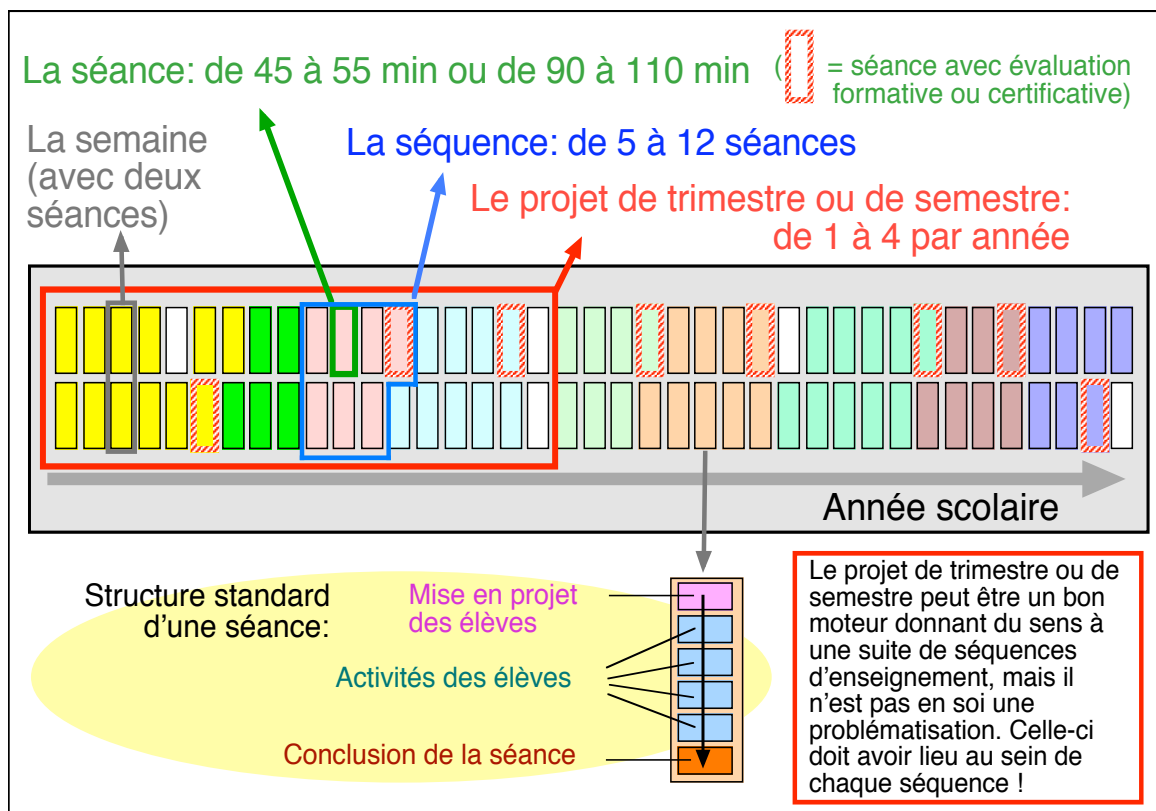
9.1 Planifier l'année scolaire

Dans une organisation standard et cloisonnée du temps scolaire, il y a, pour chaque discipline, une ou plusieurs séances de travail par semaine selon un horaire régulier. À l'échelle du temps scolaire, l'unité de travail est la séance (la "leçon") généralement d'une durée de 45 à 55 minutes qui peut être doublée (par exemple pour des travaux pratiques). Il y a une ou plusieurs séances hebdomadaires selon les disciplines (dans le tableau présenté ici, on en a imaginé deux). On voit, dans ce tableau, comment une séquence d'enseignement regroupe des séances et comment un projet de trimestre ou semestre peut englober plusieurs séquences.

Du point de vue didactique, c'est la séquence qui est l'unité de travail puisqu'elle se conçoit autour de certains contenus à enseigner et qu'elle se clôt, en principe, par un bilan formatif ou sommatif.

Des projets de trimestre ou semestre peuvent fédérer plusieurs séquences et donner un sens supplémentaire aux apprentissages. Ces projets sont d'envergure plus importante que les projets de communication ou de réalisation dont il est question au chapitre précédent comme forme de problématisation. Ce sont en général aussi des projets de communication ou de réalisation, mais qui exigent les *compétences* acquises sur plusieurs séquences et qui mobilisent un plus grand nombre de concepts.

Les échelles du temps didactique



9.2 Structurer une séquence selon le modèle des trois phases

Dans l'hypothèse retenue ici, la séquence d'enseignement est centrée sur un ou plusieurs concepts à faire construire par les élèves. La structuration de cette séquence en trois phases distinctes est donc appropriée.

L'esprit des trois phases est-il respecté ?

Une check-list sous forme de questions que se pose l'enseignant est donnée ci-après

	C'est tout bon !	Attention !	Aïe - Non !
Immersion	<ul style="list-style-type: none"> Je demande aux élèves de sentir, d'exprimer ce qu'ils pensent, de faire pour voir ce que cela donne, d'acquérir un savoir-faire Je fais travailler mes élèves en petits groupes de deux ou trois Je donne des règles, des recettes à appliquer Je fais faire par imitation Je cherche à connaître les conceptions de mes élèves 	<ul style="list-style-type: none"> Mes élèves cherchent des stratégies pour relever un défi Je place mes élèves dans des problèmes qui les obligent à un travail de conceptualisation 	<ul style="list-style-type: none"> La situation dans laquelle je place mes élèves doit me servir à évaluer leur niveau de compétence Je critique ou juge les <i>conceptions</i> exprimées par mes élèves (juste/faux) Je retiens les <i>conceptions</i> exprimées qui m'arrangent et j'ignore les autres
Conceptualisation	<ul style="list-style-type: none"> Je lance un défi aux élèves Je place mes élèves devant une <i>situation-problème</i> ou un cas à étudier La situation ou le cas comporte des contraintes précises Le problème est posé de manière à créer un besoin nouveau chez mes élèves Je laisse tâtonner mes élèves Je fais travailler mes élèves en groupes avec un projet de réussite et d'explicitation d'hypothèses ou de stratégies Je conduis un débat sociocognitif Je demande à mes élèves de concevoir un protocole de falsification La validation est donnée par la situation elle-même ou par un media, pas par moi Lorsque je juge le moment opportun, je fais des apports et je "standardise" le savoir 	<ul style="list-style-type: none"> Mes élèves connaissent déjà la stratégie attendue Je demande à mes élèves des comptes-rendus que j'évalue de manière formative Mes élèves sont obligés de résoudre le problème avant de valider leur réponse (j'interdis le tâtonnement) Je ne retiens que les <i>conceptions</i> exprimées qui m'arrangent Je demande aux élèves de rédiger une marche à suivre 	<ul style="list-style-type: none"> Je place mes élèves dans une situation qui me permet de certifier leurs <i>compétences</i> Je demande à mes élèves des comptes-rendus que j'évalue de manière sommative Aucun de mes élèves (aucun groupe) n'arrive à entrer dans le problème Je commence par faire des apports pour "standardiser" le savoir J'interdis les débats et les échanges Je demande aux élèves de vérifier une loi J'impose un protocole expérimental, une marche à suivre

	C'est tout bon !	Attention !	Aïe - Non !
Réinvestissement	<ul style="list-style-type: none"> Je place mes élèves dans une situation nouvelle mais suffisamment semblable aux situations qu'ils connaissent pour qu'un transfert soit possible Je place mes élèves dans une situation qui leur permet de s'auto-évaluer Mes élèves résolvent un problème puis valident leur réponse Mes élèves font des exercices de drill Je place mes élèves dans une situation qui me permet de certifier leurs <i>compétences</i> J'observe les comportements des élèves Je demande un compte-rendu à mes élèves 	<ul style="list-style-type: none"> C'est moi qui valide les réponses des élèves Je me contente d'une évaluation portant sur un compte-rendu écrit sans observation des comportements de mes élèves 	<ul style="list-style-type: none"> Mes élèves n'arrivent pas à résoudre le problème sans repasser par une phase d'essais-erreurs ou autrement que par une stratégie d'essais successifs (ils sont en fait dans une phase de conceptualisation) J'évalue les performances de mes élèves selon des critères que je ne leur ai pas annoncés

Plan de préparation et de conduite d'une séquence

Ce plan est spécialement utile à des enseignants en formation. Il peut les aider à préparer et à conduire une séquence d'enseignement dans le cadre d'un stage. Il montre que la séquence ne peut pas être entièrement planifiée à l'avance. Certaines parties (texte en gras) doivent être vécues avant que la suite puisse être précisée.

La progression de la séquence est ici très linéaire. Il faut prendre ce tableau comme un guide en sachant que dans la réalité, il pourra y avoir des retours de régulation.

Immersion	1	Mettre à plat ses intentions pédagogiques : énoncer les <i>compétences</i> attendues des élèves en fin de séquence en concevant une(des) situation(s) de mise en œuvre de ces <i>compétences</i> (évaluation sommative).
	2	Énumérer les concepts à construire ou à consolider, les relier à d'autres concepts (trame conceptuelle). Imaginer les obstacles prévisibles.
	3	Mettre à plat les contraintes et décrire les élèves (comportements prévisibles, acquis antérieurs).
	4	Préparer des situations d' <i>immersion</i> et des modes d'interactions dans la classe visant à... ... familiariser les élèves avec le contexte concerné (vivre et sentir) ... réactiver et installer des savoir faire ... faire émerger des questions ... faire exprimer des <i>conceptions</i> , anticiper des obstacles
	5	Vivre la phase d'<i>immersion</i> dans le terrain... ...en tirer les enseignements

Conceptualisation	6	<p>Définir une stratégie et prévoir des modes d'interactions sociales permettant aux élèves de faire le travail de conceptualisation attendu et de développer les <i>compétences</i> visées:</p> <ul style="list-style-type: none"> - concevoir/choisir des situations-problèmes ou d'autres formes de problématisation (§8.4) <ul style="list-style-type: none"> ... comportant des défis (personnels ou collectifs) ... présentant des enjeux (nécessité de réussir) ... confrontant les élèves à leurs <i>conceptions</i> obstacles. - prévoir la manière dont on conduira les élèves à comparer et confronter leurs procédures, leurs stratégies, leurs erreurs par... <ul style="list-style-type: none"> ... des mises en commun ... des débats (débat sociocognitif) ... la mise à dispositions d'informations, de documents divers.
	7	Vivre la phase de conceptualisation
	8	Institutionnaliser le nouveau savoir et les comportements pertinents

Réinvestissement	9	Choisir des activités de consolidation. Imaginer des situations permettant de vérifier le transfert des acquis dans d'autres contextes (démonstration de la <i>compétence</i>).
	10	Vivre les activités de consolidation et une évaluation formative - Permettre aux élèves de se corriger, de s'entraîner, de se confronter aux <i>compétences</i> attendues
	11	Si nécessaire, reformuler la(les) situation(s) de mise en œuvre des <i>compétences</i>
	12	Réaliser la mise à l'épreuve des élèves (évaluation sommative)... ...en tirer un bilan et imaginer un prolongement

9.3 Quitter le "naturel" pour le socioconstructivisme

Indicateurs du type d'enseignement

Les tableaux qui suivent opposent des caractéristiques d'un enseignement qui prend en compte la conception socioconstructiviste des apprentissages et la nécessité d'une finalité déclinée en termes de *compétences* à celles qui caractérisent un enseignement que l'on peut qualifier de "naturel" ou de "traditionnel", mettant l'accent sur l'aptitude de l'élève à restituer de l'information et à reproduire des comportements.

On peut se servir de ces tableaux comme aide à l'enseignement ou comme grille d'observation dans une pratique de formation d'enseignants.

Le tableau ① s'attache aux attentes de l'enseignant.

Quant au projet de l'enseignant...

①	Indicateurs d'un enseignement visant des <i>compétences</i> explicites	Indicateurs d'un enseignement « traditionnel » restitution - reproduction
Conception des séquences d'enseignement	Séquence d'enseignement construite à l'avance avec des phases identifiées donnant lieu à des contrats pédagogiques et didactiques clairs pour les élèves puis conduite en tenant compte des réactions des élèves	Planification implicite de la séquence d'enseignement (habitude et part d'improvisation) Faible prise en compte des réactions des élèves (ceux-ci n'ont qu'à suivre !)
	Approche globale et systémique des contenus	Approche spécifique de contenus isolés
Compétences attendues et évaluation	Les <i>compétences</i> visées sont annoncées aux élèves au début d'une séquence d'enseignement	Les "compétences" visées ne sont précisées que par les contenus des tests au moment où les élèves y sont soumis
	Évaluation certificative des élèves bien circonscrite et sous forme de bilans de <i>compétences</i>	Évaluation certificative morcelée en nombreux tests annoncés ou non, et contrôlant des savoirs et savoir-faire isolés
	Évaluation formative explicite en cours de séquence d'enseignement (les élèves peuvent se situer par rapport aux <i>compétences</i> attendues)	Pratiquement pas d'évaluation formative explicite
	Des ressources sont à disposition de l'élève pour l'évaluation	Aucune ressource n'est à disposition de l'élève pour l'évaluation
Statut des sources d'information	Distanciation des manuels considérés comme ressources parmi d'autres dans lesquelles les élèves cherchent en fonction de leurs projets	Les élèves doivent "apprendre" des textes dans les manuels ou y rechercher des informations précisées par l'enseignant

Le tableau ② s'intéresse à ce que vit l'élève. Pour caractériser la nature des échanges entre l'enseignant et ses élèves, on y trouve les adjectifs « monologique » et « dialogique ». Jean-Pierre Astolfi, Brigitte Peterfalvi et Anne Vérin caractérisent, avec ces adjectifs, les dialogues qui se déroulent dans la classe.

Voici ce qu'ils écrivent à ce propos¹ :

La conduite de la classe à forte dominante dialoguée peut être décrite, avec les linguistes, comme étant dialogale mais non dialogique, le premier terme décrivant la forme de l'échange et le second sa structure. La forme est effectivement dialogale, puisqu'on n'a pas affaire à des monologues magistraux mais bel et bien à des interventions successives et croisées d'interlocuteurs distincts. Mais la structure reste malgré tout monologique (et non pas dialogique) dans la mesure où, derrière cette forme, n'existe qu'une progression thématique unique, et non deux discours qui se confrontent. Autrement dit, ce qui est exprimé à deux ou plusieurs voix pourrait tout aussi bien l'être d'une seule : celle du maître. L'avantage est plutôt, comme on dit, de « faire participer » la classe plus que de la faire débattre (p. 33)

Quant aux projets et procédures des élèves...

②		Indicateurs d'un enseignement visant des <i>compétences</i> explicites	Indicateurs d'un enseignement « traditionnel » restitution - reproduction
Mise en projet des élèves		Projets donnés aux élèves <ul style="list-style-type: none"> de réalisation (objets, supports de communication à créer), de communication à un destinataire authentique 	Pas de projets explicites donnés aux élèves, transcendant la « leçon » ou finalisant la séquence d'enseignement
Interactions sociales dans les apprentissages		Divers modes d'interactions sociales au sein des classes, entre autres des organisations qui favorisent les débats et l'apprentissage coopératif (§9.7)	Interactions sociales se réduisant pour l'essentiel à des dialogues (en général pseudo-dialogues) entre l'enseignant et certains élèves ainsi qu'au travail des élèves en duos
		Échanges de structure « dialogique »	Échanges de structure « monologique »
		Débats sociocognitifs – débats entre élèves, entre groupes d'élèves	Pas de réels débats dans la classe, tout au plus des mises en commun orientées par l'enseignant

Le dernier tableau (③) concerne les aspects liés à la conceptualisation et à la dimension épistémologique de l'enseignement. Il met en avant l'importance de la problématisation et de la modélisation dans la perspective socioconstructiviste.

Quant à la conceptualisation et à l'épistémologie

③		Indicateurs d'un enseignement basé sur une conception socioconstructiviste de l'apprentissage	Indicateurs d'un enseignement « traditionnel » restitution - reproduction
Prise en compte des <i>conceptions</i> des élèves		<ul style="list-style-type: none"> Dispositif destiné à faire exprimer les <i>conceptions</i> des élèves (questionnaires, mises en situations, productions d'élèves ou de groupes) 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de dispositif destiné à faire exprimer les <i>conceptions</i> des élèves – elles sont ignorées par défaut ou volontairement

¹ Texte tiré du chapitre 1- La communication dans la classe et ses pièges – d'un de leurs ouvrages : Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., Vérin, A. (2001). Comment les enfants apprennent les sciences. Paris : Retz
Il y a dans ce livre des exemples de dialogues dans lesquels de nombreux enseignants peuvent se retrouver

Problématisation et activités pratiques	<ul style="list-style-type: none"> • Activités sous-tendues par une épistémologie de type DiPHTeRIC² • Recours aux divers rôles des activités pratiques, notamment à l'<i>expérimentation</i> et à l'<i>expérimentation</i> (§7.5 et §9.5) • Recours à des situations-problèmes • Activités pratiques données sous forme de problème, d'énigme, de défi (chapitre 8) • Apports théoriques, structuration, institutionnalisation "standardisation" des savoirs comme aboutissement de démarches 	<ul style="list-style-type: none"> • Activités sous-tendues par une épistémologie de type OHERIC³ • Rôles non explicités (confus) des activités pratiques dans lesquelles les élèves sont engagés • Pas d'authentiques situations-problèmes • Activités pratiques données sous forme de fiche à compléter, "TP mode d'emploi" (voir ci-après) • Apports théoriques préalables selon les schémas : <ul style="list-style-type: none"> - théorie --> applications – exercices - théorie --> travail pratique
Modélisation, dimension épistémologique et méta-cognition	<ul style="list-style-type: none"> • Soucis de l'image de la science véhiculée par les choix pédagogiques et didactiques • Aspects explicites de la modélisation dans les savoirs scientifiques et construction conceptuelle de <i>modèles</i> par les élèves • Stimulation d'un regard métacognitif des élèves sur les démarches qu'ils construisent 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de soucis de l'image de la science véhiculée par les choix pédagogiques et didactiques • Les aspects de modélisation dans les savoirs scientifiques sont implicites pour les élèves – ceux-ci n'en sont pas conscients • Pas de regard métacognitif demandé aux élèves

Prendre en compte les *conceptions* des élèves

Pour tenter de comprendre, l'élève ne part pas de rien, il possède ses propres outils : les **conceptions**. Elles lui fournissent son cadre de questionnement, sa façon de raisonner et ses références.

Les conceptions

Le modèle allostérique
(André Giordan)

tout apprentissage significatif doit se réaliser par rupture avec les conceptions initiales de l'apprenant. Lors de l'acquisition d'un concept, l'ensemble de sa structure mentale est profondément transformée, son cadre de questionnement est complètement reformulé, sa grille de références, largement réélaborée.

A prendre en compte :

- Les conceptions initiales d'un sujet sont stables car fonctionnelles, économiques et sécurisantes.
- L'expérience à elle seule ne suffit pas à mettre en place durablement de nouvelles conceptions. Il faut créer des débats, trouver suffisamment de situations de déséquilibre et faire des apports structurants.
- **La mise en œuvre spontanée par un sujet de conceptions adaptées à la situation dans laquelle il est plongé est un bon indicateur d'un enseignement réussi.**

Ce tableau récapitulatif dont les textes sont tirés ou inspirés des publications d'André Giordan et Gérard de Vecchi⁴ reprend des idées exposées précédemment (§3.5). C'est un aide-mémoire utile quand on prépare et conduit une séquence d'enseignement.

2 Voir dans l'introduction, le §5 « La science dont il est question – Brièvement »

3 Idem

4 Voir :

- l'article d'André Giordan « Le modèle allostérique et les théories contemporaines sur l'apprentissage » sur le site Internet du Laboratoire de didactique et d'épistémologie (LDES) de l'Université de Genève.

- De Vecchi, G. & Giordan A. (1990). L'enseignement scientifique : comment faire pour que « ça marche » ? Nice : Z'édicions

- Giordan, A. (1987). Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Neuchâtel - Paris : Delachaux & Niestlé

- Giordan, A., Pellaud, F. (2009). Comment enseigner les sciences ? Paris : Delagrave

Bannir les travaux pratiques (TP) “prêts à l’emploi” ou “directifs”

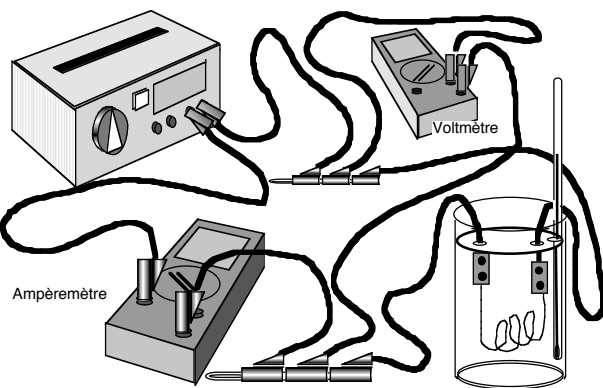
Un travail pratique est une activité qui fait interagir les élèves avec des objets et des phénomènes. Cela se passe le plus souvent dans un laboratoire (salle de classe équipée en infrastructures et en matériel), mais cela peut se passer à l’extérieur ou en salle ordinaire de cours (du matériel y est apporté par l’enseignant ou les élèves).

D’un point de vue socioconstructiviste, le TP est le lieu par excellence de la construction du savoir puisqu’il permet les interactions entre l’apprenant et les objets et phénomènes étudiés. Ces interactions se déroulent selon les modes didactiques que sont l’*expérimentation*, l’*expérimentation* et l’*expérience-validation*⁵. Le TP peut aussi être le lieu de bilans de compétences réalisés en situations réelles.

Malheureusement, on voit bien souvent pratiquées, des formes très réductrices de TP, inspirées d’une épistémologie de la “découverte par l’observation” et qui ne mettent pas l’élève aux prises avec un problème. Ce sont le plus souvent des “TP prêts à l’emploi” ou “TP directs”.

En voici deux exemples qui reprennent les thèmes relatifs aux concepts d’effet Joule et de germination (§8.5).

TP sur l’effet Joule



Consignes :

Réaliser le montage selon le dessin donné. Faire les mesures avec différents fils comme corps de chauffe et faire les calculs selon le tableau à compléter.

Le but est de trouver une manière de calculer la puissance électrique en fonction de la tension U et du courant I , de sorte à ce que l’énergie apportée électriquement soit celle qu’a reçue l’eau (plus les pertes qui sont assez faibles si on travaille entre 20 et 40 °C).

Masse d'eau chauffée:			300 grammes				Durée de chauffage: $t =$			secondes	
			Température				Diff.	Energie	Puis-		
Nature	Diamètre	Longueur	de l'eau		Courant	Tension	de	apportée	sance	Energie	
du fil	du fil	du fil	avant	après	I	U	tempér.	à l'eau	électr.	électr.	
	mm	cm	°C	°C	A	V	°C	J	W	J	
Cu-Ni											
Cu-Ni											

⁵ Voir le §7.5 et ci-après le §9.5

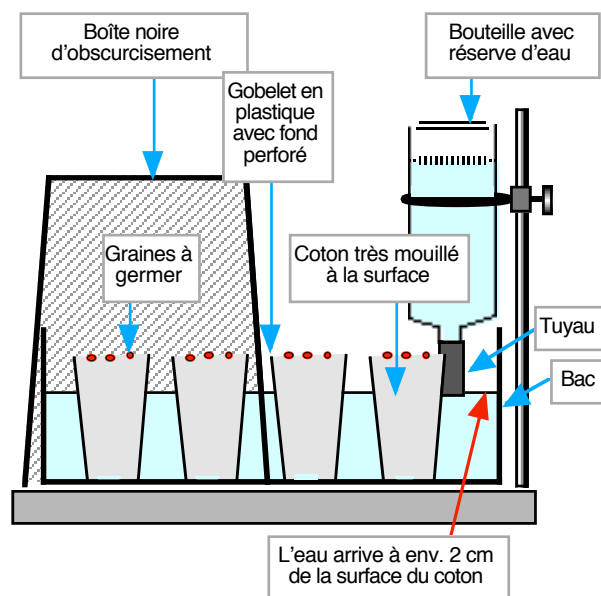
TP sur la germinationConsignes

Avec le matériel donné, réaliser le dispositif expérimental illustré par le dessin.

Chaque groupe choisit un type de graines parmi les suivantes : soja, cresson, radis.

Placer ce dispositif près de la fenêtre de sorte que du soleil puisse arriver dessus (durant un moment de la journée).

Observer jour après jour la germination et écrire ce qui se passe dans le cahier de laboratoire.



Ce qui est commun à ces deux TP, c'est qu'ils engagent les élèves dans des démarches conçues au préalable par l'enseignant. Au mieux, on peut imaginer qu'une discussion a précédé le TP et que des hypothèses ont été formulées sur ce qui va être observé. Au pire, le TP est donné ainsi sans anticipation de ce qui va se passer. Dans le premier TP, le tableau des résultats est fourni tout prêt aux élèves. Leur premier souci va être de le compléter correctement et les phénomènes qui se produisent vont passer à l'arrière-plan. Il est possible que les élèves, ainsi pris par la main, trouvent que la puissance électrique est donnée par la relation $P = U \cdot I$. Mais qu'auront-ils compris ? Dans le second exemple, l'enseignant a cru bon de restreindre le champ d'investigation à la seule variable luminosité. On peut supposer qu'il veut bousculer la conception selon laquelle la lumière est nécessaire à la germination. En réalité, ce qui va se passer, c'est que les graines qui sont à l'ombre vont germer plus vite. En effet, sous la boîte noire d'obscurcissement, la température est plus élevée qu'à l'air libre (lorsque la boîte est soumise à un rayonnement). Que vont conclure les élèves ? Qu'« il faut de la nuit pour que ça germe bien » ! Ce pourrait être l'amorce d'un véritable travail de recherche si l'enseignant sème le doute sur cette conclusion. Le TP directif pourrait alors se justifier. Il aurait servi à créer une situation qui apporte des questions, qui suscite des hypothèses. Il aurait en somme fonctionné comme une activité d'*immersion*. Encore faudrait-il maintenant laisser les élèves pendre l'initiative des opérations !

À ces deux TP directifs, peuvent être opposés d'autres projets donnés aux élèves (§8.5). La *situation-problème* consistant à devoir réaliser le corps de chauffe le plus puissant possible, c'est-à-dire, qui permette de chauffer 3 dl d'eau le plus rapidement possible, va confronter les élèves à des *conceptions* obstacles. Les uns voudront un corps de chauffe fait d'un fil fin et long pour que « ça résiste au courant, que ça chauffe et que ça ne garde pas la chaleur ». Les autres choisiront un fil gros et court « pour que ça fasse passer un maximum de courant ». Ni les uns, ni les autres ne gagneront le concours ! Ce seront ceux qui ont fait un compromis (ou qui n'ont tout simplement pas réfléchi !) qui obtiendront le plus grand échauffement. Ils auront un fil ni trop long, ni trop court, ni trop fin, ni trop gros et pourront appliquer à ce fil chauffant une tension proche de la tension nominale du générateur, tension qui génèrera un courant proche du courant limite possible avec ce générateur ou toléré par l'ampèremètre. Les élèves concluront que « rien ne sert d'avoir un tas de volts si l'on n'a pas d'ampères » et que « rien ne sert d'avoir un tas d'ampères si l'on n'a pas de volts ». Et si c'est l'enseignant qui doit leur faire réaliser que

le produit des volts par les ampères satisfait à ces observations, est-ce grave ? L'essentiel n'a-t-il pas été "ressenti" ? $P = U \cdot I$, voilà une formule que les élèves s'empresseront d'utiliser (et de mémoriser) puisqu'ils l'auront expérimentée et qu'elle leur servira à contrôler le phénomène de production de chaleur par effet Joule. Il est aussi possible de problématiser autour de $U / I = R$ (résistance) et du rôle joué par la longueur du fil et sa section. La même situation permet donc d'approcher la loi d'Ohm et la loi de Pouillet $R = \rho \cdot l / S$! (Approche globale). Remarque : un alinéa du §9.6 est consacré à la question des formules.

Pour la germination, le projet de réalisation consistant à demander aux élèves, par groupes, de transformer des graines à germer en une salade qui sera consommée dans une semaine, ouvre de nombreuses pistes. L'enjeu est là aussi de maximiser un effet. Les élèves vont inévitablement faire des hypothèses quant aux facteurs qui déterminent la vitesse de germination. Ces hypothèses pourront rester muettes dans un premier temps ou être formulées, mais ce sont elles qui sous-tendront les choix opérés par les élèves dans leurs dispositifs expérimentaux. Les uns choisissant un substrat nutritif, les autres un substrat ouateux « qui enveloppe et mouille bien », les uns se préoccupant de mettre les graines « au chaud », les autres « au frais », les uns « dans beaucoup de lumière », les autres « dans de l'ombre », ... Il est bien clair que les élèves ne vont pas à eux seuls décortiquer et dissocier l'effet de ces variables, du moins pas dans un premier temps, pourtant ils auront fait une authentique recherche et dégagé, non pas des certitudes, mais des hypothèses quant aux variables à prendre en compte.

Autonomie et socioconstructivisme

S'appuyer sur l'autonomie des élèves - les faire travailler d'après une conception socio-constructiviste des apprentissages : deux composantes pédagogiques à ne pas confondre !

Préambule

Certains dissent qu'il est difficile de pratiquer une approche inspirée par le socioconstructivisme avec des élèves qui manquent d'autonomie, en particulier les élèves qui ont le plus de difficultés scolaires et qu'au contraire, le socioconstructivisme est fait pour des élèves déjà autonomes et capables de se discipliner, en particulier ceux qui sont promus à des études longues.

Qu'en est-il ?

Caractéristiques d'une approche s'appuyant sur l'autonomie des élèves

L'enseignant attend des élèves qu'ils prennent en charge tout ou partie...

- du contrôle social de leurs comportements (respect mutuel, attention aux autres, etc.),
- de la formulation des questions et des démarches à engager pour y répondre.

Il peut leur demander...

- de structurer par eux-mêmes des productions en fonction du rôle attendu de ces productions (organiser un poster, un compte rendu, présenter oralement une stratégie, etc.),
- de pouvoir expliciter les stratégies d'apprentissage qui sont efficaces pour eux,
- d'adapter leur environnement aux exigences de leurs stratégies d'apprentissage (décider s'il faut prendre des notes, de la forme de ces notes, de l'organisation matérielle de leur place de travail etc.

L'autonomie est en quelque sorte le contraire de la dépendance (ou de la soumission) à l'enseignant. Le manque d'autonomie des élèves doit se compenser par la directivité de

ce dernier. Moins les élèves sont autonomes, plus le maître doit être directif et plus il doit exercer de contrôle sur les comportements des élèves.

Dans une certaine mesure, on peut s'attacher à développer l'autonomie des élèves en créant des situations qui leur permettent de se prendre progressivement en charge.

Caractéristiques d'une approche socioconstructiviste – Métaphore de la caisse à outils

Il s'agit de...

- Placer les élèves dans des situations qui les poussent à agir dans le sens d'un apprentissage ou de la manifestation d'une compétence : situation d'immersion, situations-problèmes, projets divers, situation de réinvestissement et évaluation formative, situation de bilan de compétence.
- Faire jouer les interactions sociales (§9.7).
- Être au clair sur son rôle d'enseignant: est-ce qu'on expose, explique, institue, fait un cadeau (cognitif) aux élèves ou est-ce qu'on attend des élèves qu'ils forment leurs pensées, livrent leurs conceptions, proposent leurs stratégies. **Ne pas mélanger !**
- Créer le besoin d'outils (métaphore de la caisse à outils), problématiser - mettre en situation provocante (idée de défi) - demander des productions concrètes qui soient visibles des autres et sur lesquelles on puisse échanger ou débattre.
- S'assurer de la dévolution des problèmes posés.
- Ne pas répondre à des questions que les élèves ne se posent pas.

Métaphore de la caisse à outils

À l'école, l'enseignant se comporte souvent comme un Maître menuisier qui ferait apprendre, un à un, l'usage des outils qui se trouvent dans la caisse à outils de l'apprenti. Des heures durant, ce dernier scie des planches jusqu'à être capable de les scier droit. Des heures durant, il enfonce des clous avec le marteau jusqu'à être capable des les planter sans qu'ils se courbent. Des heures durant, il rabote. Des heures durant, il perce. Des heures durant, il assemble deux pièces l'une à l'autre, ... Et ce n'est que quand il saura suffisamment bien se servir de ses outils que le Maître lui permettra de construire un meuble. Très motivant, n'est-ce pas ?

Au lieu de cette approche, le Maître menuisier peut dire à son apprenti : « voilà ta caisse à outil et des planches – fabrique-moi un buffet qui soit comme ceci, comme cela ! ». Nul doute que le premier buffet ne sera pas bien beau ! Mais la nécessité de scier droit, de planter des clous proprement, le percer aux bons endroits, de raboter plat, sera créée et les exercices de drill pour y arriver auront pris leur sens !

Socioconstructivisme et directivité ne s'opposent nullement

Il est possible de problématiser le savoir, créer des besoins, faire s'exprimer des élèves, s'assurer de la dévolution d'un problème, lancer des défis et créer des situations d'interactions sociales tout en étant extrêmement exigeant et directif. Il s'agit d'être attentif aux "dérives" comportementales, de poser clairement des balises dans l'espace et dans le temps (par exemple ne donner aux élèves du matériel que lorsqu'on a des raisons de penser qu'ils vont s'en servir de la manière que l'on souhaite). Il s'agit d'exiger des productions sous des formes très précises (par exemple montrer un *modèle* du poster attendu), de poser des exigences (réalistes) en termes de délais et de tenir ces exigences. Il s'agit de rassembler les élèves pour les échanges et les débats, de donner la parole, de vérifier qu'ils s'écoulent, ...

Les élèves les moins autonomes sont ceux pour lesquels le choix délibéré d'une approche socioconstructiviste est le plus nécessaire.

En effet, les élèves jouissant déjà d'une bonne autonomie sont capables d'imaginer eux-mêmes des situations ou des problèmes qu'un savoir faire ou un concept vont permettre de résoudre. C'est dire qu'ils se placent par eux-mêmes dans une perspective socioconstructiviste (et c'est l'une des composante de l'efficacité de leur stratégies

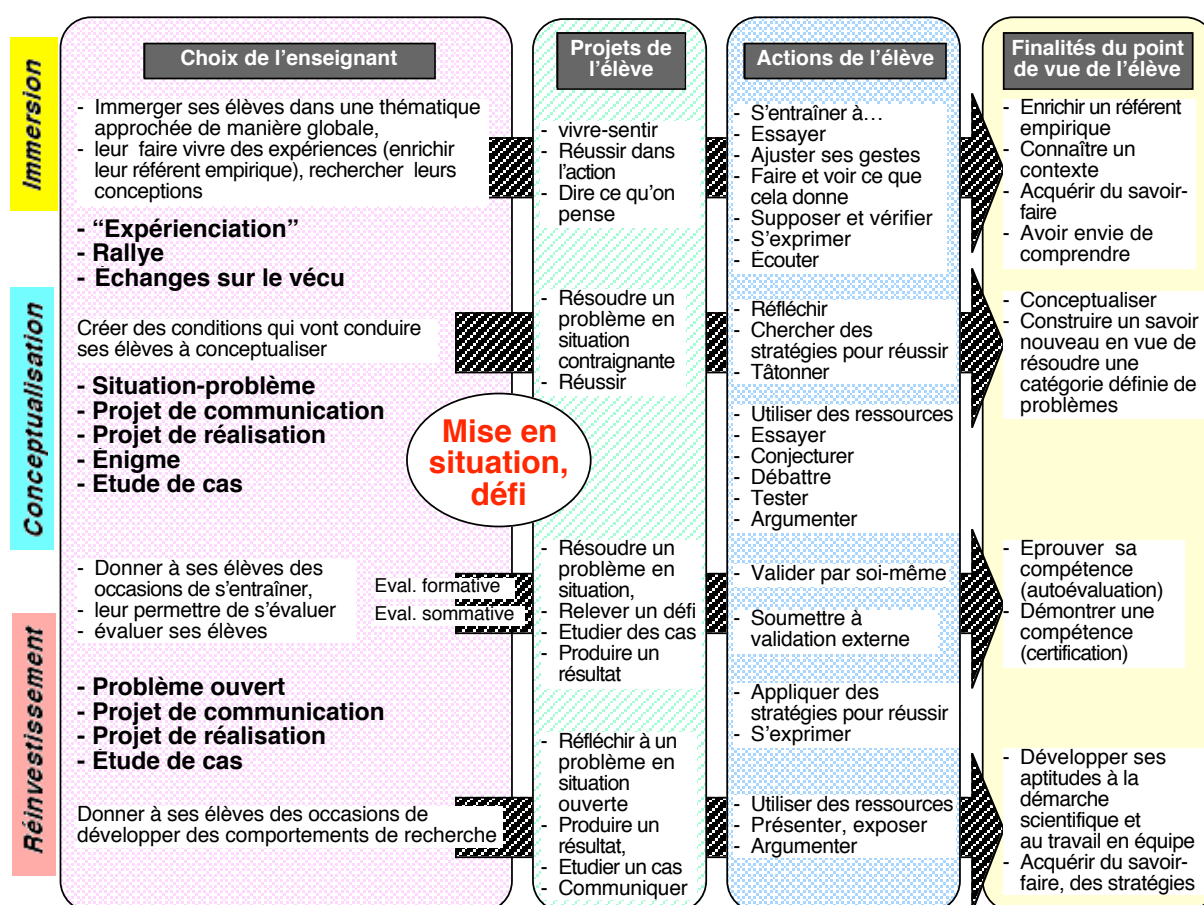
d'apprentissage). Inversement, les élèves les moins autonomes verront dans les problèmes, les défis, les productions attendues, des occasions de motivation qui leur permettront de se centrer sur des contenus.

En résumé, s'il est peut-être plus difficile de trouver les situations dans lesquelles les élèves les moins autonomes puissent s'engager, ces situations sont pour eux, encore plus que pour des élèves autonomes, nécessaires aux apprentissages.

9.4 Problématiser

Problèmes et situations – Tableau synoptique

Ce tableau résume un certain nombre d'idées apportées sans les chapitres précédents relativement à la problématisation. Il met en relation les intentions de l'enseignant, les outils mis en œuvre et ce qui se passe du point de vue des élèves. Dans le cas où il s'applique à une séquence d'enseignement conforme au modèle des trois phases, le temps didactique s'écoule de haut en bas (schéma du §4.3). Attention : les correspondances horizontales ne sont pas absolues. Cela dit, ce tableau a l'avantage d'être compact et peut être un instrument de planification ou de contrôle pour l'enseignant.

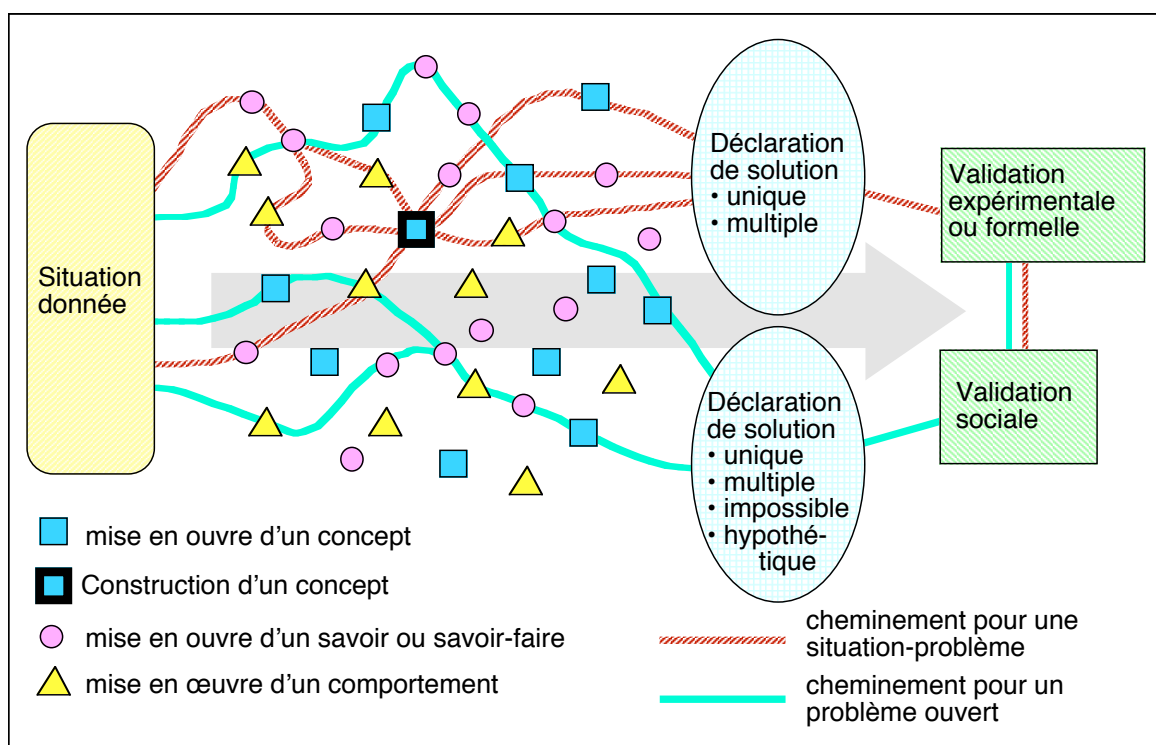


Le tableau suivant permet de comparer des cheminements d'élèves se déroulant autour d'un *problème ouvert* ou autour d'une *situation-problème* (ou autour d'une forme de problématisation fonctionnant comme telles). Une situation donnée peut jouer le rôle de *problème ouvert* et conduire à un travail qui ne requiert pas la construction d'un concept nouveau. Des concepts déjà à disposition, des savoirs et savoir-faire ainsi que des comportements adéquats permettent à l'élève de proposer une solution pouvant être soumise à

une validation. La même solution peut être trouvée par des cheminements différents et en mobilisant d'autres ressources.

Une autre situation (éventuellement formulée à l'identique, mais dans un contexte différent), peut exiger de l'élève qu'il passe par une étape de conceptualisation. Là encore, des cheminements différents sont possibles, mais le concept à construire est un passage obligé (c'est la vocation de la *situation-problème*).

Ce tableau montre que la solution d'une *situation-problème* se valide prioritairement par des critères formels (cohérence contextuelle, logique interne) ou par une expérience. Elle peut aussi recevoir une validation sociale (acceptation par les pairs, conformité aux pratiques sociales, approbation de l'enseignant). À l'inverse, la solution à un *problème ouvert* a plus de chance de se voir valider socialement plutôt que par une expérience, notamment dans le cas où cette solution repose sur des hypothèses qui restent ouvertes (§8.3)



Règles pratiques pour formuler le texte d'une *situation-problème*

Pour les élèves, la théorie et les techniques de travail ne sont pas une fin en soi. Elles n'ont d'intérêt que pour être investies dans des *compétences*.

Or, les consignes souvent données aux élèves sont orientées par la primauté du savoir théorique et d'une certaine méthodologie. Elles sont donc à éviter.

<p>Consignes à éviter</p> <p>orientées par la primauté du savoir théorique</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trouver ou établir... découvrir... vérifier... démontrer... une loi, une règle, une relation • Chercher... formuler... une théorie / donner une définition • Dresser une liste de mesures / faire un tableau de mesure / faire un graphique
---	---

Les comportements devant être obtenus par les consignes du tableau précédent sont parmi ceux qui sont attendus. Ils se produisent spontanément si on donne aux élèves des consignes orientées par des résultats attendus :

<p>Consignes ou injonctions à préférer</p> <p>orientées par des résultats attendus, ce sont des amorces propres à déclencher un travail conceptuel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réussir à... / réussir quelque chose / relever le défi / proposer une solution au cas (étude de cas) • Imaginer... prévoir... ce qui va se passer dans telle situation • Trouver la grandeur cachée, la source de la panne, l'erreur dans un document • Fabriquer... inventer... créer puis utiliser... un appareil, une machine selon un cahier des charges donné • Formuler des questions... produire des hypothèses... proposer des réponses étayées... en situation, face à un cas (étude de cas) • Prendre position... justifier sa position... en situation, face à un cas (étude de cas) • Communiquer (divers supports) / alerter / alarmer / rédiger un mode d'emploi – Vérifier que la communication est bien passée • ...
---	---

Les questionnaires et les questionnaires à choix multiples (QCM)

Les questionnaires sont un outil didactique couramment utilisé, et ce dans toutes les phases d'une séquence d'enseignement. Très souvent, ils sont conçus par l'enseignant qui s'en sert pour explorer les *conceptions* des élèves, pour amorcer une phase de conceptualisation (associé à une forme de problématisation) ou pour conduire une évaluation. Le questionnaire peut aussi être produit par les élèves eux-mêmes dans un projet de communication par exemple. Il peut alors servir à accrocher le destinataire du message ; il peut aussi servir à évaluer le succès de la communication. Les élèves peuvent rédiger un questionnaire pour rendre compte des questions auxquelles il souhaitent pouvoir répondre ou des questions auxquelles ils sont capables de répondre.

Les questionnaires peuvent être de type ouvert ou de type fermé. Un mode particulier est le questionnaire avec choix multiple de réponses (QCM). Parfois idéalisé, parfois décrié, le QCM mérite d'être brièvement examiné ici.

Structure d'un QCM

Chaque item comporte un texte de mise en situation (parfois accompagné d'illustrations, de documents ou de matériel). Une question est posée sur la base de la situation décrite, suivie d'une série de proposition de réponses. Une ou plusieurs de ces réponses sont celles qui sont attendues (bonnes réponses).

Avantages et inconvénients du QCM

Très vite corrigés mais longs à préparer ! L'exposé de la situation et le choix des bonnes questions sont difficiles à préparer. Ils nécessitent une forte adéquation au vécu des élèves. Souvent ce sont les réponses obtenues à un premier questionnaire, ouvert celui-ci, qui inspirent les réponses à proposer dans le QCM.

Risque majeur: le choix erroné d'une réponse (aux yeux de l'auteur du QCM), peut être un choix parfaitement cohérent et inversement car la situation imaginée par celui qui répond peut être différente de celle qu'a imaginée le rédacteur.

Quelques caractéristiques possibles des QCM

- À réponse par “oui” ou “non”
- À choix de réponse par cases à cocher (en principe de 4 à 6 propositions) en spécifiant s’il y a une ou plusieurs réponses possibles (QCM entièrement fermé)
- À choix de réponse par cases à cocher avec une case libre pour une réponse alternative (QCM partiellement ouvert)
- Avec information à donner sur la certitude de chaque réponse cochée

Quelques règles pour préparer un QCM

- Bien décrire les situations dans lesquelles on place les élèves ou être sûr que l’on évoque une situation connue d’eux.
- Éviter des réponses “à côté” (voir encadré)
- Dans les questionnaires oui/non, éviter les réponses négatives dont l’interprétation à toutes les chances de prêter à discussion (voir encadré)
- Multiplier les questions sur le même objet testé pour pouvoir recouper les réponses

Construction des affirmations proposées comme réponses

Les affirmations doivent satisfaire au moins à l’une ou l’autre des exigences suivantes:

- Correspondre à des *conceptions* connues observées ou non chez les élèves
- Avoir été données par les élèves au cours du travail qui a précédé, repérées et discutées ou débattues
- Avoir dû être apprises par cœur (savoir redire)
- Se rapporter à des concepts jugés importants

Exemple de taxonomie des niveaux de compétences pouvant intervenir pour choisir les réponses d’un QCM

- Réciter (savoir reproduire)
- Reformuler, se situer, se représenter
- Mettre en œuvre un concept, adapter
- Inventer, créer, transférer dans une situation nouvelle

Exemple de réponse “à côté” :Situation

Avec un même réchaud, on utilise plus d’alcool à brûler pour manger une fondue bourguignonne que pour manger une fondue chinoise.

Réponse proposée. “à côté”Réponse à éviter

Cette information me permet d’affirmer que la viande coûte plus cher pour de la fondue bourguignonne que pour de la chinoise. Oui ou non ?

Autre réponse (fausse) pouvant être proposée

Cette information me permet d’affirmer que le réchaud a moins de puissance lorsqu’on fait de la chinoise que lorsqu’on fait de la bourguignonne. Oui ou non ?

Réponse (juste) pouvant être proposée

Si la durée de fonctionnement du réchaud est la même dans les deux cas, cette information me permet d’affirmer que le réchaud a moins de puissance lorsqu’on fait de la chinoise que lorsqu’on fait de la bourguignonne. Oui ou non ?

Exemple de réponse négative :Situation

Voici un texte à propos de l’arc-en-ciel: “Une tradition populaire bien établie y comptait sept couleurs. Cette manière de voir est aujourd’hui confirmée par les scientifiques.”

Réponse proposée (à éviter)

Ce texte n’a aucune chance de se trouver dans un dictionnaire récent. Oui ou non ?

9.5 Faire expérimenter

Quelles pratiques expérimentales ?

Au §7.5, à l'aide d'exemples, il a été question de trois modes didactique de l'expérimentation en classe. Il s'agit maintenant de proposer des outils pouvant aider un enseignant à clarifier ses attentes et à adapter le mode didactique des activités expérimentales des élèves à son projet.

Ce tableau est emprunté à Maryline Coquidé⁶

Mode didactique	Contexte	Buts	Nature du dispositif pour l'élève	Priorité de guidage de l'enseignant
MODE DE FAMILIARISATION PRATIQUE : "expérimentation"	Soit initiation scientifique, soit abord d'un nouveau sujet d'étude.	Familiariser l'élève avec des objets, des phénomènes; développer un questionnement scientifique; faire progresser un savoir-faire préalable, faire s'approprier des techniques d'investigation; constituer un <i>référént empirique</i> .	Exploration empirique et contrôle des actions.	Proposer des situations variées et diversifiées, initier une articulation entre le réel et l'abstraction, favoriser les comparaisons, les confrontations multiples, relancer le questionnement, introduire le doute, aider à reformuler, favoriser un apprentissage technique.
MODE D'INVESTIGATION EMPIRIQUE : "expérimentation"	Pratiques d'investigation, recherche problématisée.	Initier à des démarches scientifiques, utiliser des techniques d'investigation.	Mise en oeuvre, en tout ou en partie, d'une réelle démarche d'investigation (recherche bibliographique, problématisation, investigation dont expérimentation, conception et réalisation de protocoles, communication, discussion) ; réalisation d'un petit projet.	Aider à problématiser ou à émettre un projet, favoriser la mise en oeuvre des investigations, favoriser la rigueur dans la démarche de validation des élèves, favoriser les confrontations multiples, favoriser la réflexion des élèves sur les démarches et les raisonnements qu'ils suivent.
MODE D'ÉLABORATION THÉORIQUE : "expérience-validation"	Élaboration conceptuelle ou modélisante.	Participer à la construction de concepts et à l'élaboration de <i>modèles</i> scientifiques (élaboration et application) ; élargir le <i>référént empirique</i> .	Sollicitation d'aller et retour entre registre empirique et conceptualisation.	Proposer des activités dans les domaines de validité des constructions théoriques qui doivent être explorés pour en éprouver la pertinence.

Dans le résumé de son article, Maryline Coquidé indique que sa recherche l'a conduite à déceler des confusions d'intentions dans les pratiques pédagogiques :

Des entretiens semi-directifs, auprès d'enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre intervenant dans l'option sciences expérimentales (classe de Première S) mettent en évidence différentes confusions et ambiguïtés concernant les situations d'activités expérimentales dans l'enseignement de la biologie.

6 Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. Aster, 26, 109-132. Paris : INRP (le tableau est tiré de la page 116)

– Voir aussi son mémoire d'habilitation : Le rapport expérimental au vivant, Juin 2000, Université Paris-Sud (disponible sur Internet).

Les propos concernant l'intérêt d'une pratique expérimentale reflètent, le plus souvent, des conceptions maximalistes sur l'intérêt didactique des activités expérimentales dans l'enseignement de la biologie : participer, à chaque fois et en même temps, à une élaboration théorique et à une validation empirique avec peu de place attribuée à l'exploration.

L'analyse de textes officiels et d'un guide pédagogique, reflète des conceptions d'une partie de la noosphère, montre des ambiguïtés épistémologiques et didactiques similaires, ce qui peut contribuer à renforcer les conceptions des enseignants (p. 109).

À propos de ces trois modes, Jean-Pierre Astolfi, Brigitte Peterfalvi et Anne Vérin présentent⁷ :

Sans doute ces trois logiques ne s'ordonnent-elles pas en classes disjointes et étanches, de nombreuses situations expérimentales ne relevant pas des caractéristiques «pures» [de ces trois registres de l'expérimentation] (p. 112)

Indicateurs des modes didactiques de l'expérimentation

Les indicateurs proposés ici ont été formulés pour aider les enseignants et les étudiants en formation pédagogique à analyser les pratiques expérimentales qu'ils observent ou qu'ils conduisent eux-mêmes :

Trois tableaux d'indicateurs possibles

(Les titres des tableaux reprennent les expressions utilisées par Maryline Coquidé et Jean-Pierre Astolfi)

<p>MODE DE FAMILIARISATION PRATIQUE Expérimentation ou expérimentation-action Les élèves...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. font des expériences pour <i>vivre-sentir</i> 2. « essayent pour voir » 3. s'entraînent dans des savoir-faire 4. découvrent une instrumentation 5. chiffrent des sensations 6. sont encouragés à exprimer ce qu'ils ressentent 7. sont appelés à dire (écrire, dessiner) ce qu'ils pensent 8. se prêtent la main pour se tester l'un l'autre 9. n'entrent pas (encore) dans des démarches de théorisation ou de construction de modèles mais formulent des questions, voire des hypothèses 	<p>MODE D'INVESTIGATION EMPIRIQUE Expérimentation ou expérimentation-objet Les élèves...</p> <ol style="list-style-type: none"> 10. travaillent à la formulation d'un problème 11. interagissent, collaborent 12. s'écoutent, prennent en compte ce que les autres disent 13. argumentent par rapport au problème 14. font des hypothèses 15. testent des hypothèses 16. expérimentent en petits groupes 17. comparent les résultats des groupes 18. changent d'idées, modifient leurs conceptions
<p>MODE D'ÉLABORATION THÉORIQUE Expérience-validation ou expérimentation-outil</p> <ol style="list-style-type: none"> 19. Il y a eu formulation d'hypothèses avant la partie expérimentale 20. L'expérience sert à tester les limites d'un <i>modèle</i> 21. L'expérience sert à répondre à une question élaborée au sein de la classe 22. L'expérience vise à tenter de trancher un débat 23. L'expérience vise à tester des <i>compétences</i>, à mettre les élèves en situation de faire fonctionner les concepts construits, à mettre en oeuvre les savoirs, savoir-faire et savoir-être 24. Des groupes sont en compétition 25. Une expérience unique pour un groupe ou toute une classe est réalisée, servant à valider ou à infirmer une construction théorique ou un <i>modèle</i> élaboré au sein du groupe ou de la classe 	

7 Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., Vérin, A. (2001). Comment les enfants apprennent les sciences. Paris : Retz

9.6 Obstacles et concepts

Une catégorisation qui aide à voir clair

Qui dit approche pédagogique fondée sur une conception socioconstructiviste des apprentissages, dit “obstacle”. Confronter l'apprenant à une situation qui l'oblige à remettre en cause ses *conceptions*, qui le met face à un manque, c'est d'une certaine manière le confronter à un obstacle. L'obstacle est ici de nature conceptuelle. Mais il y a d'autres types d'obstacles auxquels un apprenant se heurte (il a été dit quelques mots des obstacles au §7.2). Guy Brousseau, Jean-Pierre Astolfi⁸ et d'autres ont bien décrit la nature de ces obstacles. Les tableaux qui sont présentés ici sont inspirés de leurs écrits et les citations sont empruntées à Guy Brousseau.

OBSTACLE DIDACTIQUE

- L'élève projette de manière inadéquate, dans une situation donnée, des savoirs scolaires (concepts construits).
« Les obstacles d'origine didactique sont ceux qui semblent ne dépendre que d'un choix ou d'un projet d'un système éducatif ».
Ils résultent souvent des effets des *transpositions didactiques* effectuées au cours de l'enseignement.

Le problème de la *transposition didactique* a été abordé par les exemples rencontrés dans les séquences d'enseignement sur le métabolisme (§1.3) et sur l'électricité (§2.3). Dans le §2.3, il est question du paradoxe pédagogique qui conduit l'enseignant à induire des obstacles didactiques (voir aussi le §12.2).

OBSTACLE CONCEPTUEL

- L'élève est face à un blocage, un concept lui manque.
- L'élève injecte une conception personnelle inadéquate dans une situation.
Cas particulier : l'obstacle épistémologique.
« Les obstacles d'origine proprement épistémologique sont ceux auxquels on ne peut, ni ne doit échapper, du fait même de leur rôle constitutif dans la connaissance visée. On peut les retrouver dans l'histoire des concepts eux-mêmes. Cela ne veut pas dire qu'on doit amplifier leur effet ni qu'on doit reproduire en milieu scolaire les conditions historiques où on les a vaincus ».

L'obstacle conceptuel est celui auquel l'enseignant cherche à affronter ses élèves !

OBSTACLE ONTOGÉNIQUE

- L'élève est face à une difficulté liée à sa maturité intellectuelle
« Les obstacles d'origine ontogénique dépendent du développement psychogénétique des élèves ; les erreurs qu'ils entraînent s'expliquent alors en termes de limitation du sujet à un moment de son développement. ».

⁸ Brousseau, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques, RDM, Vol. 4.2. Grenoble : La pensée sauvage.

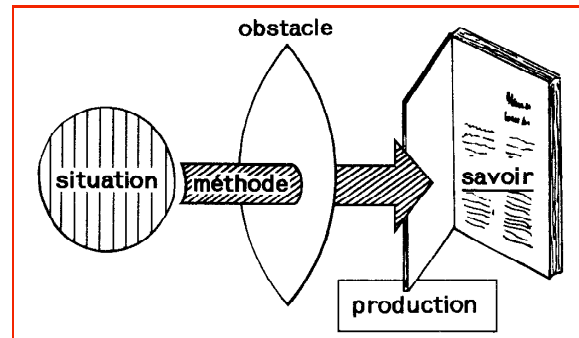
- Brousseau, G. (1998). La théorie des situations didactiques. Grenoble : La pensée sauvage.

- Astolfi, J.-P. (1997). L'erreur, un outil pour enseigner. Paris : Éditions ESF

Exemples d'obstacles conceptuels

Ce tableau donne des exemples d'obstacles conceptuels associés aux concepts qui entrent en ligne de compte dans la compréhension des processus métaboliques.

On retrouve dans ce tableau un certain nombre de *conceptions* observées chez les élèves dans le cadre de la séquence sur le métabolisme (tableau du §3.5)



Dessin tiré de : Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., Vérin, A. (2000). Comment les enfants apprennent les sciences. Paris : Retz (p.35)

Quelques concepts	Obstacles conceptuels courants
<ul style="list-style-type: none"> Énergie et lois de conservation Formes d'énergie (chimique, mécanique, thermique) Chaîne énergétique Chaîne alimentaire Énergie stockée Conservation de l'énergie Dégradation de l'énergie Conservation de la masse 	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'énergie nécessaire au fonctionnement des organes est consommée et disparaît (sans ressortir du corps) 2. Le corps humain ne prend aux aliments que l'énergie qui lui est nécessaire 3. L'énergie n'entre pas en même quantité dans le corps humain qu'elle en sort (le corps peut être un puits ou une source d'énergie) 4. L'énergie dépensée peut se mesurer au sentiment de fatigue ressenti
<ul style="list-style-type: none"> Aliments et transformations Besoins du corps humain Énergie des aliments Pouvoir énergétique Nutriment Réaction chimique 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Les corps gras sont non énergétiques 6. Les vitamines sont énergétiques 7. Le gaz carbonique (dans l'eau) est énergétique 8. L'énergie des aliments est dégagée dans le tube digestif 9. Il reste toujours de l'énergie dans les excréments et les urines (la digestion s'achève lorsque les besoins du moment sont couverts)
<ul style="list-style-type: none"> Fonctions physiologiques Circulation Respiration Transit alimentaire Digestion Assimilation Excrétion Oxydation 	<ol style="list-style-type: none"> 10. Le sang sort des vaisseaux sanguins pour remplir les tissus 11. L'oxygène de l'air passe des poumons dans le cœur (circulation pulmonaire non identifiée) 12. Le tube digestif se sépare en deux: une voie pour la partie solide du bol alimentaire, une voie pour les liquides 13. La digestion n'est qu'un fractionnement des aliments (intestin = passoire) 14. La digestion n'a lieu que dans l'estomac 15. La salive ne sert qu'à aider à la déglutition 16. La quantité d'eau qui sort du corps est égale à la quantité d'eau qui entre (pas d'eau produite par le métabolisme)
<ul style="list-style-type: none"> Dysfonctionnements Maladie Déséquilibre Maigreur Obésité 	<ol style="list-style-type: none"> 17. Ce n'est qu'en cas de maladie (diabète) qu'il y a du sucre dans le sang 18. La maigreur n'est due qu'à une sous-alimentation 19. L'obésité n'est due qu'à une alimentation trop grasse

La "formulite", une maladie répandue, spécialement dans l'enseignement de la physique

Des histoires vécues avec des élèves de 14 ans

Quatre événements observés en classe

1.	L'enseignant, donnant à l'élève un parallélépipède en bois (11 cm x 5 cm x 3 cm) et une règle métrique, dit à celui-ci : « calcule-moi le volume de cet objet ! ». L'élève pose le parallélépipède sur une grande face. Il mesure le grand côté horizontal puis le petit côté horizontal en expliquant : « Je fais la longueur, 11 cm, fois la largeur, 5 cm, ça fait 55 ». Ensuite il redresse le parallélépipède sur sa petite base de manière à placer verticalement le grand côté de 11 cm. Il mesure ce côté (pour la seconde fois) en disant : « maintenant je fais fois la hauteur, alors 11 fois 55 ça donne... ». Puis l'élève cherche sa machine à calculer...
2.	Un élève veut calculer l'énergie qu'aurait perdue en 24 heures, un tonneau de 60 litres d'eau sachant que durant un quart d'heure, ce tonneau s'est refroidi de 38.2 degrés à 37.8 degrés. Il applique la formule $\Delta E = m \cdot c \cdot \Delta t$ et se pose la question de savoir si Δt doit être pris en heures ou en secondes !
3.	Un élève veut calculer l'énergie perdue par 0.75 litres d'eau sachant qu'elle s'est refroidie de 3.3 degrés. Il fait $4.2 \cdot 3.3$ et divise le produit par 0.75. Quand on lui demande pourquoi il divise par 0.75, il répond : « pour avoir plus » !?!
4.	Un élève se trompe sur sa machine à calculer en utilisant la formule de Descartes pour la réfraction de la lumière. Il trouve un angle plus grand dans l'eau que dans l'air et ne s'en étonne pas.

On pourrait multiplier ces exemples !

Dans ces histoires, l'élève convoque une formule comme une recette permettant de passer des données à la "réponse". Et dans ces histoires, la démarche de l'élève n'est pas contrôlée par une représentation des phénomènes mis en jeu. Cela peut provenir d'un manque de familiarité avec ces phénomènes, d'un déficit conceptuel, mais aussi du contrat pédagogique selon lequel la "réponse juste", obtenue avec la bonne formule, a plus d'importance que la compréhension⁹ réelle de ce qui se passe. C'est de la "formulite" !

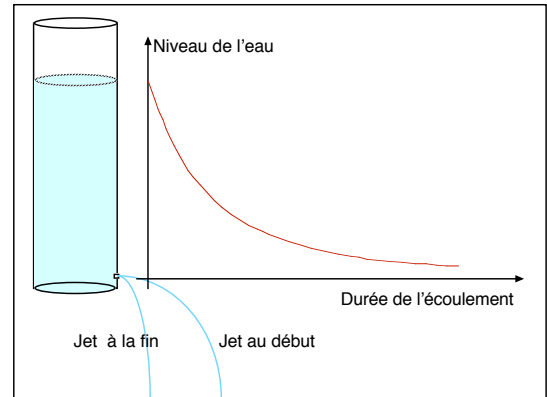
Il faut donc se pencher sur les raisons d'être des formules.

Lorsqu'on attend d'une formule qu'elle participe d'un savoir-faire et pas plus, l'élève doit être entraîné à l'appliquer dans un registre de situation bien circonscrit. Seul le drill permet d'atteindre ce but. Lorsque la formule résume un travail de construction conceptuelle conduit par les élèves, sa forme abstraite, écrite au moyen de symboles, est l'ultime étape de ce travail. Cette étape n'est pas une fin en soi. L'enseignant doit peser les avantages et les inconvénients de la proposer aux élèves. De toute manière, la formule doit être pensée comme l'expression d'un *modèle* et donc d'une réduction de la complexité de l'objet sur lequel elle porte. Cette réduction peut se justifier soit en vertu d'une *transposition didactique* jugée pertinente, soit parce qu'on veut précisément sensibiliser les élèves à la notion de *modèle* en montrant la nature et les limites.

⁹ Comprendre une réalité (dans ce contexte) : être capable de conduire correctement une expérience de pensée sur cette réalité.

L'approche d'un problème par la voie globale, systémique, analogique, imagée ne peut-elle pas transcender l'approche analytique ? L'esprit humain n'est-il pas capable de comprendre une réalité plus riche que celle qu'il est capable de décrire mathématiquement ? Pour répondre à ces questions, il suffit de penser à des situations qui se produisent en classe.

Par exemple, les élèves sont tout à fait capables de conceptualiser ce qui se passe avec une clepsydre bien avant de posséder le bagage mathématique qui permet d'en modéliser le fonctionnement. Ils peuvent nous dire : « plus l'eau s'écoule, moins elle s'écoule vite ». Certains préciseront : « elle s'écoule moins vite car moins il y a de hauteur, moins il y a de pression ». D'autres iront plus loin encore et diront : « la vitesse d'écoulement est proportionnelle à la pression ». Ces élèves pourront tracer



le graphe donnant la hauteur de l'eau dans la clepsydre en fonction du temps. On verra apparaître une courbe d'allure exponentielle alors qu'ils n'ont jamais entendu parler d'une telle fonction mathématique. Bien plus : ce graphe pourra tenir lieu de *modèle* et non seulement « représenter » le phénomène, mais encore permettre des prévisions.

Dans le même ordre d'idées, durant la séquence d'enseignement sur le métabolisme, les élèves réalisent tout à fait qu'un récipient d'eau se refroidissant, servant de *modèle* des pertes thermiques d'un animal, voit sa température décroître de manière non linéaire.

Dans la séquence d'enseignement sur l'électricité, les élèves, à 11 ans, ne seraient pas capables d'utiliser ne serait-ce que la loi d'ohm (et l'auraient-ils fait que cela aurait été une catastrophe). Pourtant ils se montrent capables de travailler avec un *modèle* parfaitement opératoire dans le monde des circuits électriques avec piles et lampes.

Quatre règles pour prévenir la «formulite»

1. S'assurer que la compréhension existe, que la construction conceptuelle est suffisante, avant d'autoriser l'élève à utiliser une formule.
2. Demander à l'élève de prendre du recul par rapport au résultat qu'il obtient par l'application de formules, de soumettre ce résultat au «bon sens».
3. Au moins dans un premier temps, éviter de donner des formules dans leur forme abstraite, symbolique. Leur préférer quelques exemples à imiter.
4. Privilégier des raisonnements quantitatifs à des raisonnements numériques.

La règle N° 4 mérite un développement :

Il est essentiel de faire pratiquer le raisonnement quantitatif par les élèves. C'est par un tel raisonnement que la pertinence des représentations et des *modèles* qu'ils manipulent se révèle. Mais raisonnement quantitatif ne signifie pas nécessairement «calcul», ni application de formule.

Les exemples qui suivent devraient rendre cela plus clair. Ils montrent comment des problèmes appelant un raisonnement quantitatif réorientent les intentions de l'enseignant vers des objectifs de nature conceptuelle et vers des *compétences* qui vont au-delà des simples savoir-faire ou savoirs redire.

Exemples comparés de problèmes faisant appel à une application numérique et de problèmes nécessitant un raisonnement quantitatif.

Problèmes appelant une application numérique	Problèmes appelant un raisonnement quantitatif
<p>On réalise un corps de chauffe en utilisant un morceau de fil de constantan de 50 cm de long et de 0,4 mm de diamètre. On plonge ce corps de chauffe dans 4 dl d'eau et on l'alimente au moyen d'un générateur réglé à 20 volts.</p> <p>Calculer l'élévation de température obtenue après 5 minutes de chauffage (négliger les pertes).</p> <p>On remplace le fil par un fil de 25 cm de long (ayant toujours un diamètre de 0,4 mm)</p> <p>Calculer la nouvelle élévation de température obtenue après 5 minutes de chauffage (on néglige les pertes et on maintient la tension du générateur à 20 V).</p>	<p>On réalise un corps de chauffe en utilisant un morceau de fil de constantan de 50 cm de long et de 0,4 mm de diamètre. On plonge ce corps de chauffe dans 4 dl d'eau et on l'alimente au moyen d'un générateur réglé à 20 volts.</p> <p>Après essai, on souhaite chauffer l'eau plus vite.</p> <p>Pour cela, on peut...</p> <ul style="list-style-type: none"> agir sur le réglage du générateur, remplacer le fil par un fil plus long ou plus court en conservant le diamètre de 0,4 mm remplacer le fil par un fil plus mince ou plus épais en conservant sa longueur de 50 cm. <p>Indiquer toutes les possibilités qui permettent d'augmenter la vitesse de chauffage de l'eau.</p>
<p>Calculer la puissance d'une ampoule économique sachant qu'elle consomme une énergie de 90 kJ alors que pendant le même temps, une ampoule ordinaire à incandescence de 100 W, qui éclaire la même chose, consomme 360 kJ</p>	<p>Une ampoule économique éclaire autant qu'une ampoule ordinaire à incandescence de 100 W.</p> <p>Que peut-on dire de la puissance inscrite sur l'ampoule économique ?</p>
<p>Lorsque le faisceau d'un laser arrive à la surface d'un bac de liquide transparent sous un angle de 30°, il pénètre dans l'eau sous un angle de 22°.</p> <p>Quel est l'angle dans le liquide si l'angle dans l'air est de 60° ?</p>	<p>On dirige un faisceau laser obliquement sur la surface d'un bac d'eau. Le rayon est dévié à son entrée dans l'eau.</p> <p>Cette déviation augmente-t-elle ou diminue-t-elle lorsque le faisceau est envoyé de manière toujours plus rasante sur l'eau (répondre par des dessins).</p>
<p>Dans une grande tasse, on ajoute 1 dl d'eau froide à 2 dl d'eau chaude. L'eau froide est à une température de 20°C, l'eau chaude est à 65°C. Quelle est la température du mélange ? (La "valeur en eau" de la tasse est négligeable)</p>	<p>On est placé devant une carafe d'eau froide et une tasse d'eau bouillante. Que peut-on dire de la température de l'eau dans la carafe quand on y aura versé l'eau de la tasse ?</p>
<p><i>Le problème ci-contre relève d'une étude de cas. La situation évoquée, en plus des notions de chaleur massique, de conservation de l'énergie et d'équilibre thermique, met en jeu le rayonnement thermique de la tasse et de son contenu, les pertes par convection et l'évaporation (pour le moins). Ce sont des phénomènes difficilement contrôlables ici d'autant que des données sont manquantes : la température de l'air et son état dynamique (courant d'air), son taux d'humidité, la géométrie de la tasse...</i></p> <p><i>Il n'est donc guère possible, ici, d'imaginer un problème numérique. Pourtant le problème n'est pas absurde et on peut argumenter en faveur d'une réponse. Cette argumentation se fonde sur les représentations que l'on a des phénomènes qui se produisent.</i></p>	<p>On est placé devant une tasse de café bouillant et on dispose d'une portion de crème à la température ambiante. On doit impérativement boire son café d'ici 5 minutes. On souhaite le boire le plus froid possible, avec de la crème et sans sucre. Que faut-il faire ?</p> <p>On a le choix entre :</p> <ul style="list-style-type: none"> verser immédiatement la crème dans le café et attendre 5 minutes, attendre 5 minutes puis verser la crème dans le café, attendre environ 2,5 minutes puis verser la crème dans le café, verser à n'importe quel moment la crème dans le café (c'est égal).

9.7 S'appuyer sur les interactions sociales

Des expériences convaincantes...

Les enseignants qui font travailler leurs élèves en petits groupes de trois ou quatre ou en plus grandes équipes savent que, comparé à un travail en solo ou en duo...

- Les activités en groupes sont bien adaptées à tout travail qui répond à une problématisation et conviennent particulièrement bien au projet de communication et au projet de réalisation.
- Les élèves se responsabilisent face à la tâche qui leur est proposée.
- La conceptualisation, stimulée par les échanges, est plus efficace – chaque élève bénéficie des apports de ses partenaires.
- Les échanges entre groupes prolongent les discussions et débats qui ont lieu au sein des groupes – une dynamique de classe s'installe au niveau des groupes.
- La gestion de la classe est plus facile. Si les groupes sont autonomes, ce sont eux les interlocuteurs de l'enseignant et non pas chaque élève ou duo.
- Les élèves sont plus facilement et plus longtemps actifs.
- Des apprentissages de nature sociale se produisent, notamment l'aptitude à écouter l'autre, à tirer parti des idées d'autrui, à l'empathie, à l'entraide, à la tolérance.
- Les élèves réservés sont stimulés, les élèves de type leader apprennent à maîtriser l'ascendant qu'ils exercent.
- Le travail en équipe donne aux élèves une bonne image de ce qu'est un travail de recherche et les initie à un tel travail (dimension épistémologique).

Des raisons profondes...

Plus fondamentalement, le travail en groupes s'inscrit naturellement dans une approche basée sur une conception socioconstructiviste des apprentissages puisque, dans cette approche, on considère que les interactions sociales sont un facteur d'apprentissage. En groupes, les élèves affrontent mieux le paradoxe constructiviste qui veut qu'ils se heurtent à des obstacles pour apprendre (§3.4). On trouve des fondements théoriques à cela dans les travaux de nombreux psychologues de l'apprentissage. Lev Vygotski¹⁰ a notamment développé le concept de zone proximale de développement (ZDP) qui est la distance qui sépare ce que l'enfant peut apprendre seul de ce qu'il peut apprendre en interaction avec des pairs ou des adultes. Dit d'une autre manière, la ZDP est tout ce que l'enfant ne peut pas encore maîtriser par lui-même, mais qu'il peut maîtriser lorsqu'il est conduit par un expert et qu'il pourra ensuite maîtriser seul grâce à cette étape d'interaction.

Mettre en place des activités dans lesquelles des interactions sociales se produisent est donc une NÉCESSITÉ et non pas seulement une manière de faire qui rompt la monotonie du travail individuel (en solo) ou en duo.

¹⁰ Au sujet de Vygotski, voir par exemple : Clot, Y. et alli (sous la direction de Clot, Y.). (1999-2002). Avec Vygotski. Paris : La Dispute

Voir aussi par exemple : Vygotski, L. (recueil de textes). (1985). Vygotsky aujourd'hui, Paris, Lausanne : Delachaux et Niestlé

Les tableaux qui suivent présentent diverses modalités de travail en précisant pour chacune d'entre elles, sa nature, ses indications et ses limites. Sont décrites six modalités de base puis huit modalités de structure plus complexes construites sur les modalités de base.

Toutes ces modalités s'adaptent à des élèves de tous les âges scolaires ainsi qu'à des adultes en formation. La liste des modalités donnée ici n'est pas exhaustive. Il existe de nombreuses variantes de travail apparentées à une ou plusieurs des modalités proposées ici.

Avant de détailler ces modalités, en voici un récapitulatif :

Modalités de base

1. Solo (individu)
2. Duo (ou dyade)
3. Trio
4. Groupe (dès 4 élèves)
5. Demi-classe

Modalités structurées

(construites sur les modalités de base)

- I. Jeu de rôles
- II. Brainstorming
- III. Puzzle
- IV. Bureau d'experts
- V. Échange de savoir-faire
- VI. Activité tournante sur une tâche unique
- VII. Activité tournante sur plusieurs tâches
- VIII. Activité en va-et-vient

Plusieurs des ces modalités sont mises en œuvre dans les séquences d'enseignement sur le métabolisme (chapitre 1) et sur l'électricité (chapitre 2). On peut les voir fonctionner dans les films des DVD joints à cet ouvrage.

Descriptif des six modalités d'interactions de base :

1 Modalité solo (individu)	
Nature	Les élèves travaillent tous individuellement. Il n'y a pas d'interactions entre eux. En principe aucune information n'est échangée. Les élèves sont seuls face à une tâche avec ou sans supports (cahiers, livre, instruments de calcul et de recherche, matériel de laboratoire, documents divers, etc.).
Indications	<p>Le mode <i>solo</i> convient</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lorsque l'enseignant s'intéresse aux <i>conceptions</i> individuelles des élèves 2. Lorsque l'enseignant veut faire un bilan individuel de <i>compétences</i>. 3. Comme phase préalable à un travail qui se déroulera selon une autre modalité (souvent travail en modalité <i>groupe</i>). Une telle phase peut servir à ce que tous les élèves lisent des consignes ou prennent connaissance d'un problème. Mais le principal intérêt de cette phase est de ne pas perdre des idées qui peuvent venir à l'un ou l'autre des protagonistes et qui peuvent ne pas apparaître si le travail à plusieurs démarre immédiatement.
Limites	<p>Attention : si l'enseignant dialogue avec l'un ou l'autre des élèves et que les autres entendent ce dialogue, on est dans la modalité <i>classe</i>. Si les élèves se mettent à échanger, on passe aussi dans une autre modalité. Il faut être attentif aux échanges non verbaux (signes, attitudes, textes écrits,...).</p> <p>Il n'est pas facile de savoir quand il faut faire passer les élèves de la modalité <i>solo</i> dans une autre. Si on le fait trop vite, tous les élèves n'ont pas eu assez de temps pour réaliser la tâche individuelle demandée. Si on le fait trop tard, certains élèves auront dévié sur un autre projet. Le plus souvent, l'enseignant observe les élèves, et lorsqu'il estime que les premiers ont épuisé les potentialités du travail individuel, il indique à toute la classe qu'il est désormais possible de passer du mode de travail individuel à une autre modalité. Ce sont alors les élèves qui décident du moment opportun.</p>

2 Modalité duo (ou dyade)	
Nature	Les élèves travaillent par deux. Il n'y a pas d'interactions entre les duos. Si l'enseignant intervient dans le travail d'un duo, il n'interfère pas avec ce qui se passe dans les autres duos. Les duos sont seuls face à une tâche avec ou sans supports (cahiers, livre, instruments de calcul et de recherche, matériel de laboratoire, documents divers, etc.).
Indications	<p>La modalité <i>duo</i> convient</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lorsque l'enseignant juge qu'une collaboration est nécessaire à la réalisation d'une tâche, mais qu'il tient à avoir le plus possible de productions de groupes. C'est notamment le cas dans des situations de recherche avec des petits effectifs (demi-classes par exemple) et plus spécialement lorsque du matériel doit être manipulé. 2. Lorsque l'enseignant veut faire un bilan de <i>compétences</i> des élèves, spécialement lorsqu'il s'agit d'évaluation formative (un tel bilan peut être complété par une partie individuelle). 3. Comme phase préalable à un travail qui se déroulera selon une modalité de travail en modalité <i>groupe</i> ou <i>demi-classe</i> ou en <i>classe</i> entière. 4. Lorsque l'enseignant tient à ce que chaque élève vive pleinement la tâche proposée mais que cette dernière requiert une collaboration. C'est souvent le cas dans les activités d'<i>immersion</i>, dans les <i>rallyes</i> notamment.
Limites	<p>Attention : si des échanges ont lieu entre les duos, on est dans un autre mode !</p> <p>La modalité <i>duo</i> n'est pas une modalité <i>groupe</i>. La dynamique n'est pas la même !</p> <p>Il arrive que la modalité <i>duo</i> soit la modalité standard de fonctionnement d'une classe (d'un enseignant) et fasse partie d'un contrat pédagogique tacite. Si c'est le cas, il peut être difficile pour l'enseignant de changer de modalité. De plus, il est des circonstances où la modalité <i>duo</i> peut dégénérer en un fonctionnement anarchique. Il est primordial que l'enseignant conserve le contrôle des interactions qui ont lieu dans sa classe et ait recours aux modalités les plus efficaces en fonction de ses intentions.</p>

3 Modalité trio	
Nature	Les élèves travaillent par trois.
Indications	<p>La modalité <i>trio</i> convient</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dans des cas qui requièrent explicitement la présence de trois personnes: tâche particulière ou regroupement de trois experts (voir modalité <i>bureau d'experts</i>), ou élèves sachant travailler à trois. 2. Quand on veut donner à un élève l'occasion d'observer (grille d'observation nécessaire) les échanges qui se déroulent entre ses deux camarades. 3. Pour un groupe unique dans la classe comme complément à des groupes de 4, voire de 5 élèves. 4. Pour un groupe unique dans la classe comme complément au mode <i>duo</i> lorsque le nombre d'élèves est impair.
Limites	Le trio peut se transformer en un duo qui exclut (ou dont s'exclut) le 3ème élève. Rendre les élèves attentifs à ce risque est la première mesure à prendre pour le limiter.

4 Modalité groupe (dès 4 élèves)	
Nature	<p>Les élèves travaillent en groupes de 4 personnes au moins. Il n'y a pas d'interactions entre les groupes. L'enseignant peut intervenir dans le travail d'un groupe, mais sans que les autres groupes soient concernés. Les groupes sont seuls face à une tâche avec ou sans supports (cahiers, livre, instruments de calcul et de recherche, matériel de laboratoire, documents divers, etc.).</p> <p>La composition des groupes peut être imposée par l'enseignant ou laissée au choix des élèves (dans un cadre précisé). Selon les attentes de l'enseignant, mais aussi selon les comportements des élèves, les groupes peuvent être constitués pour des périodes longues ou recomposés à chaque occasion. Les rôles sociaux et cognitifs joués au sein d'un groupe peuvent être explicités ou non avec les élèves. Lorsqu'ils sont explicités, il y a divers cas de figure possibles:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. les rôles sont imposés par l'enseignant 2. les rôles sont choisis par les élèves selon les circonstances 3. les élèves gèrent un tournus des rôles, voire définissent eux-mêmes les rôles de cas en cas. <p>Exemples de rôles au sein d'un groupe: gardien de la tâche, gardien du temps, secrétaire, responsable du matériel, documentaliste, graphiste, répondant (vis à vis de l'enseignant), rapporteur, ...</p>
Indications	<p>La modalité <i>groupe</i> convient</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lorsque l'enseignant donne aux élèves une tâche complexe qui requiert une maturation des idées pouvant se produire au travers des interactions au sein d'un groupe. De telles tâches sont notamment induites par la problématisation mise en place par l'enseignant. 2. Lorsque l'enseignant donne une tâche qui se subdivise en sous-tâches que peuvent se répartir les élèves. Cela arrive dans les cas où les élèves doivent produire un document ou réaliser un objet concret par exemple. 3. Lorsque l'enseignant veut faire un bilan des <i>compétences</i> des élèves et que ces <i>compétences</i> impliquent des comportements sociaux de collaborations et d'interactions (un tel bilan peut être complété par une partie individuelle). <p>Remarque: un travail en mode <i>groupe</i> est généralement suivi d'un travail mené dans la modalité <i>demi-classe</i> ou dans la modalité <i>classe</i>.</p>
Limites	<p>Il arrive que les groupes se scindent en sous-groupes. Ce n'est pas un inconvénient si ces sous-groupes peuvent ensuite mettre en commun et relier ce qu'ils ont produit. Mais il y a problème lorsque les sous-groupes ont divergé dans des projets différents.</p>

5 Modalité demi-classe	
Nature	<p>La classe est scindée en deux parties qui travaillent sur un projet commun. Chaque demi-classe travaille selon l'une ou l'autre modalité d'interactions. Les deux parties de la classe peuvent avoir des effectifs sensiblement égaux ou très différents. On passe en mode <i>classe</i> lorsque des échanges ont lieu entre les demi-classes.</p>
Indications	<p>La modalité <i>demi-classe</i> convient</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lorsque, pour des raisons institutionnelles, une classe est partagée en deux (travaux pratiques de sciences par exemple) et que l'enseignant tient à conserver une unité de la classe autour d'un projet unique. Il organise alors des interactions qui peuvent avoir lieu dans des moments de travail collectif (modalité <i>classe</i>) ou via des échanges de documents et d'informations entre les élèves (qui ne sont pas forcément réunis). 2. Lorsque l'enseignant veut créer une dynamique mettant aux prises deux collectivités. <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lorsqu'il veut faire fonctionner deux communautés scientifiques en parallèle afin de travailler avec les élèves sur les mécanismes et les enjeux mis en œuvre dans ce type de collectivité. • Lorsqu'il veut développer séparément deux aspects d'une même problématique. • Lorsque des élèves doivent développer une activité qui requiert un public comme des jeux de rôles présentés par un groupe au reste de la classe. • Lorsque la classe doit se séparer en deux clans opposés pour préparer un débat. <ol style="list-style-type: none"> 3. Lorsque l'enseignant donne aux élèves une tâche qui se subdivise en deux sous-tâches.
Limites	<p>L'unité du projet de classe est parfois difficile à assurer.</p> <p>La conduite des interactions entre deux demi-classes peut nécessiter pas mal d'ingéniosité de la part de l'enseignant.</p>

6 Modalité classe	
Nature	Les élèves travaillent de manière interactive dans la classe entière sous la direction de l'enseignant ou de manière autogérée.
Indications	<p>La modalité <i>classe</i> convient</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pour la mise en commun des productions réalisées en solo ou en équipes (duos, trios ou groupes) lors d'une phase antérieure et en particulier pour la mise à plat des difficultés rencontrées, pour la mise en évidence des hypothèses et des stratégies développées, et comme lieu de réalisation d'un débat sociocognitif. 2. Dans des phases de synthèses et d'apports de l'enseignant notamment lors de l'institutionnalisation de connaissances construites dans une phase de conceptualisation. 3. Pour des échanges, des discussions et des débats impliquant tous les élèves d'une classe.
Limites	<p>Lors de la mise en commun des productions, un danger guette l'enseignant; celui de la lassitude des élèves dans le cas où il y a plus de trois ou quatre présentations. Il n'est pas nécessaire que tous les individus ou toutes les équipes rapportent en détail leur cheminement. On peut sélectionner les apports qui sont pertinents, divergents et qui vont faire avancer la réflexion. Pour ne pas frustrer les élèves, on peut mettre en valeur ce qu'ils ont produit tout en leur demandant de ne présenter que ce qui diffère de ce qui a déjà été exposé.</p> <p>Attention : la modalité <i>classe</i> est la modalité habituelle d'un enseignement de type transmissif. Or, on sait qu'un tel enseignement n'est pertinent qu'à certaines conditions et que son efficacité n'est souvent qu'illusion: l'enseignant interroge des élèves choisis pour se persuader que son discours a porté (§9.3).</p> <p>L'effet Topaze et l'effet Jourdain menacent l'enseignant !</p>

Descriptif des huit modalités d'interactions structurées :

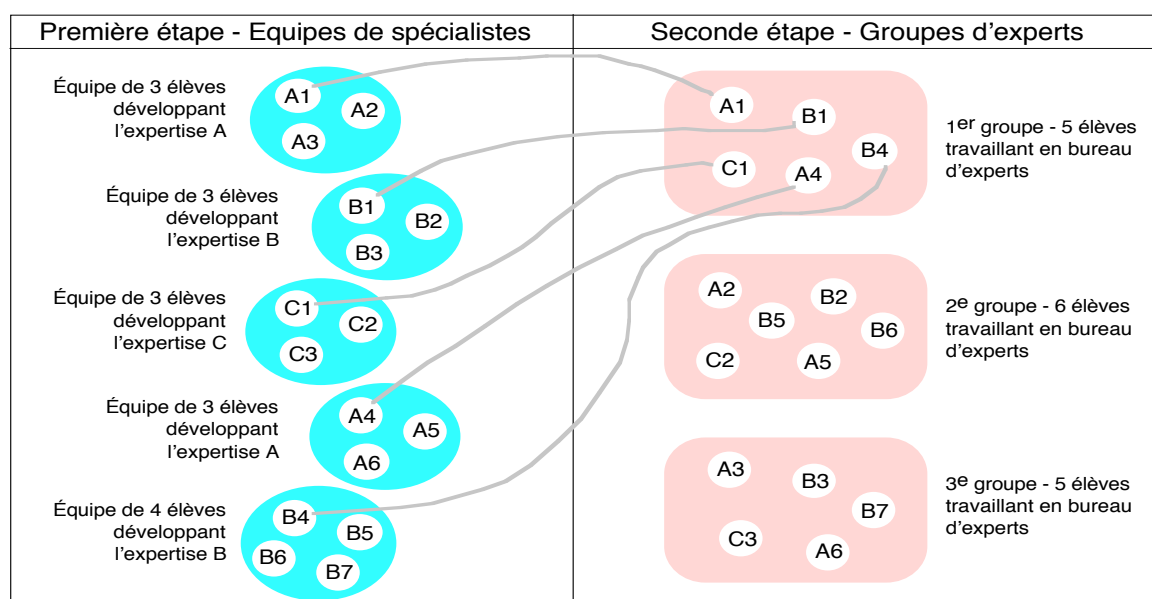
I Modalité jeu de rôles	
Nature	<p>Dans une configuration adaptée au contenu à enseigner, les élèves jouent des rôles qui représentent (illustrent, miment, modélisent) des interactions, des mécanismes, des phénomènes.</p> <p>On peut être dans une modalité <i>classe</i> qui implique tous les élèves de la classe dans laquelle les rôles sont répartis sur des individus ou des équipes (duos, trios ou groupes). Chacun alors participe au jeu de rôle. On peut être dans une modalité <i>demi-classe</i> qui partage la classe entre un groupe acteur et un groupe spectateur.</p> <p>Après le jeu de rôle proprement dit, il y a généralement une phase de travail basée sur l'évocation de ce qui a été vécu qui à son tour peut s'organiser selon diverses modalités.</p>
Indications	<p>Le jeu de rôle peut être utile à faire émerger des <i>conceptions</i>.</p> <p>Exemple</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les élèves sont invités à créer un mime montrant comment ils s'imaginent ce qui se passe dans un circuit électrique. <p>Le jeu de rôle peut être un élément important de la conceptualisation via une modélisation.</p> <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'enseignant donne un "germe de <i>modèle</i>" aux élèves (l'électricité est faite de grains électrique - certains d'entre vous seront ces grains et joueront à ce qui se passe dans le circuit dessiné au sol), L'enseignant demande aux élèves de développer ce <i>modèle</i> pour qu'il rende compte des divers phénomènes observables avec une pile et des lampes. • L'enseignant montre aux élèves comment on mime le phénomène de la réfraction puis ceux-ci réalisent le mime en le commentant. • L'enseignant fait vivre corporellement et gestuellement aux élèves une situation qui fait apparaître un lieu géométrique par exemple, les élèves vérifient qu'en tous les points d'un cercle (tracé dans la salle), on voit un segment sous le même angle (qui peut mesuré avec un instrument fabriqué par les élèves). <p>Contrairement à ce qu'on croit, les jeux de rôles ne s'adressent pas qu'à des enfants. Ils sont efficaces avec des adultes. Avec un public mal à l'aise (notamment des adolescents) on peut travailler au deuxième degré en faisant réagir les participants à des jeux de rôles effectués par d'autres et présentés au moyens de supports audiovisuels.</p>
Limites	<p>Le jeu de rôle ne doit pas mettre les élèves dans des situations qui les ridiculisent.</p> <p>Il se peut que l'enseignant doive s'impliquer pour que les élèves vainquent leur inhibition.</p> <p>Il convient d'amorcer le jeu de rôles avec des volontaires.</p>

II Modalité brainstorming (remue-méninges)	
Nature	La modalité <i>brainstorming</i> se pratique à l'intérieur d'une modalité <i>groupe</i> ou <i>demi-classe</i> ou <i>classe</i> . C'est un moment dans lequel chacun est invité à lancer des idées sous forme de mots ou de très brèves phrases sur une thématique donnée. Un "secrétaire" écrit tout ce qui est dit d'une manière qui est visible de tous (tableau noir, présentoir). Généralement, ce secrétaire n'organise pas les idées qu'il écrit. La structuration se fait dans un deuxième temps. L'intérêt du brainstorming est de faire jaillir beaucoup d'idées en peu de temps et de profiter d'un effet boule-de-neige (les idées exprimées par certains en font naître des nouvelles chez les autres participants).
Indications	<p>Cette modalité est utile pour démarrer une réflexion ou pour tirer profit de l'imagination des élèves.</p> <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un problème est posé à la classe et l'enseignant veut éviter que certains groupes où élèves ne puissent démarrer par manque d'idées. • Un groupe ou la classe doit préciser une des modalités d'un projet (par exemple le jour d'une manifestation, le lieu d'une sortie de classe, le titre d'une production, ...). • Face à une question, il s'agit de lancer des hypothèses aussi nombreuses que possibles.
Limites	Il arrive parfois que le démarrage du processus soit difficile par manque d'idées des participants ou par gêne. L'animateur du brainstorming doit accepter le silence des premiers instants (une minute semble long). Il peut éventuellement rappeler ce qu'il attend, donner à titre d'exemple des idées qui se rapportent à une autre thématique. Il peut demander à une personne dont il sait qu'elle est à l'aise de faire les premières propositions. Si l'animateur fait partie du groupe de réflexion, il peut lancer les premières idées. En principe l'enseignant, qu'il soit ou non l'animateur, ne donne des idées qu'en cas de nécessité absolue.

III Modalité puzzle	
Nature	<p>La modalité <i>puzzle</i> consiste à faire réaliser un projet par plusieurs groupes d'élèves. On est donc dans une modalité <i>duo</i>, <i>trio</i> ou <i>groupe</i> dans laquelle chaque équipe ne mène à bien qu'une partie des tâches requises pour le projet.</p> <p>Une particularité de la modalité <i>puzzle</i> est que la taille des équipes peut différer en fonction des tâches auxquelles elles s'attellent.</p> <p>À la manière des pièces d'un puzzle qui sont toutes nécessaires à la réalisation du tableau final, le travail de chaque équipe est indispensable à l'aboutissement du projet commun.</p> <p>Des séances de coordination (mode <i>classe</i>) sont nécessaires pour</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Coordonner la réalisation du projet et réorganiser les équipes si nécessaire, 2. Permettre aux élèves de rester solidaires du projet.
Indications	<p>Lorsqu'une classe prépare une production du type représentation théâtrale, musicale ou exposition, ...</p> <p>Lorsqu'une classe prépare un camp, des joutes sportives, une vente au marché, ...</p> <p>Lorsqu'une classe travaille sur un projet ancré dans une thématique large comme l'astronomie, le nombre pi, la santé, les dépendances, ...</p> <p>Lors d'une étude de cas en phase de conceptualisation</p> <p>En résumé, chaque fois qu'un projet collectif peut donner lieu à des démarches isolables qui puissent être attribuées à des petites équipes d'élèves.</p>
Limites	<p>Le projet doit être porté par la grande majorité des élèves de la classe et doit être réaliste, sans quoi la préparation risque de dégénérer en raison d'une démission des élèves.</p> <p>Une échéance doit être donnée aux élèves pour la finalisation du projet.</p> <p>L'enseignant doit veiller à ce que tous les élèves de la classe ne perdent pas de vue le projet commun. Il doit être convaincu de la pertinence de la démarche et être persuadé qu'il sera profitable à chaque individu ou à chaque équipe d'approfondir un aspect seulement d'un projet.</p>

IV Modalité bureau d'experts	
Nature	<p>La modalité <i>bureau d'experts</i> consiste à rendre experts les élèves, chacun sur une thématique, pour ensuite confier une tâche finale à des groupes réunissant des experts de plusieurs thématiques (bureaux d'experts). L'enseignant doit donc choisir une tâche qui fait appel à des expertises identifiables, à la portée des élèves, puis il doit concevoir des activités qui permettront l'appropriation de ces expertises par les élèves. Le travail des élèves se déroule selon un schéma en deux temps :</p> <ol style="list-style-type: none"> Des "équipes de spécialistes" développent chacune une expertise au moyen d'activités prévues à cet effet. Des nouveaux groupes (bureaux d'experts), constitués chacun d'au moins un expert provenant de chaque équipe de spécialistes précédentes s'attaquent alors à la tâche prédéterminée par l'enseignant.
Indications	<p>La modalité <i>bureau d'experts</i> convient aussi bien à une phase de conceptualisation qu'à une phase de réinvestissement.</p> <p>Elle permet de conduire une classe à résoudre des problèmes intéressants et complexes ou mener à bien des études de cas qui ne seraient pas à la portée de chaque élève devant s'y confronter individuellement ou au sein d'un groupe.</p> <p>L'acquisition d'une expertise dans le projet de la mettre en valeur plus tard est très stimulante pour les élèves à l'intérieur des équipes de spécialistes. Dans les groupes d'experts, les élèves sont très fortement poussés à échanger leurs expertises sachant que c'est comme cela qu'ils viendront à bout de la tâche finale.</p> <p>Exemple 1 (problème en mathématiques)</p> <p>Tâche finale: réaliser une "machine" à déterminer le nombre pi au moyen d'une caisse à fond plat et d'épingles (qui seront jetées au hasard sur un réseau de lignes parallèles, tracé au fond de la caisse).</p> <p>Expertise 1: des segments distribués au hasard peuvent être déplacés par translation sur une courbe proche d'un cercle.</p> <p>Expertise 2: on peut quantifier le nombre d'intersections d'un cercle avec un réseau de lignes parallèles</p> <p>Expertise 3: on peut approcher le nombre pi de manière plus ou moins précise par des fractions ordinaires.</p> <p>Exemple 2 (étude de cas en sciences - biologie humaine)</p> <p>Tâche finale: à propos d'un malade, dans des conditions données, préparer un sachet de perfusion et en régler le débit.</p> <p>Expertise 1: le métabolisme d'une personne requiert une certaine quantité d'eau et une certaine énergie quotidienne.</p> <p>Expertise 2: du point de vue énergétique, les besoins vitaux sont en dernière instance assurés par du glucose</p> <p>Expertise 3: maîtrise des notions de concentration, de débit, de pression, de circulation sanguine.</p>
Limites	<p>Il n'est pas facile de trouver la bonne tâche qui fasse appel à des expertises identifiables et à la portée des élèves !</p> <p>Il faut que toutes les équipes de spécialistes soient prêtes ensemble pour constituer les groupes d'experts.</p> <p>La répartition en équipes de spécialistes puis en groupes d'experts, peut ne pas être évidente !</p>

Ce schéma donne un exemple qui concerne 16 élèves. Chacun développe une expertise au sein d'une équipe de spécialistes. Il y a cinq équipes et trois expertises à développer. Ensuite, les élèves sont distribués en trois groupes (bureaux d'experts) pour une tâche finale nécessitant les trois expertises.



V Modalité échanges de savoir-faire		
Nature	Des élèves ayant une expertise reconnue dans la classe forment et certifient des camarades qui deviennent experts à leur tour (§6.1). Dans un premier temps, l'enseignant repère quelques élèves qu'il juge déjà experts chacun à propos d'un ou plusieurs objets de savoir-faire. Si nécessaire, l'enseignant prend à part quelques élèves et leur donne une formation ad hoc. Pour chaque objet de savoir-faire, ces élèves se voient attribuer un "brevet" (parfois appelé "brevet de compétence"). Les autres élèves s'adressent à eux pour recevoir une formation en vue d'acquérir la même expertise. Un élève qui s'estime prêt s'adresse à un élève déjà breveté pour passer une épreuve de certification. Cette dernière aboutit à l'obtention du brevet ou à la nécessité d'un complément de formation. On veille à ce que ce ne soit pas le même élève qui forme un camarade et qui lui attribue un brevet. De même, pour une formation complémentaire, un élève qui a eu un échec au brevet s'adressera, autant que possible, à un camarade breveté avec lequel il n'a pas encore travaillé. L'enseignant prépare le matériel nécessaire, les protocoles de formation et les protocoles de certification. L'affichage d'un tableau croisé portant les noms des élèves de la classe et les brevets attribués, permet à chacun de savoir où il en est et à qui il peut s'adresser. L'enseignant choisit les moments de travail particuliers. Ce peuvent être de moments "perdus", des fins de leçon, des périodes avec remplaçant, etc. Il n'est pas nécessaire que toute la classe soit impliquée en même temps.	
	Cette modalité concerne le savoir-faire c'est-à-dire des capacités requises dans l'exercice d'une <i>compétence</i> plus large. Le savoir-faire en question est d'un niveau relativement élevé. Exemples <ul style="list-style-type: none"> • Résoudre des équations de différents types • Déterminer un volume de liquide en choisissant l'instrument adéquat • Mesurer une longueur à l'aide d'un pied à coulisse ou d'un calibre à vis micrométrique • Déterminer des aires de feuilles de papier ou de carton à l'aide de balances • Utiliser un indicateur chimique pour quantifier une propriété • Monter et utiliser un pont de Wheatstone pour faire des mesures de résistances électriques • Prendre la pression sanguine d'un camarade • Examiner la vue d'un camarade (myopie, hypermétropie, ...) 	
Limites	Le plus difficile est l'amorce du processus. L'enseignant doit pouvoir attribuer un brevet à au moins deux élèves pour chaque objet de savoir-faire. Il doit aussi enseigner la manière d'attribuer un brevet. Dans certains cas, cela se fera en dehors des heures de classe. Après cela, le processus fonctionne tout seul si on laisse les élèves s'organiser. Il faut que les élèves n'oublient pas de faire figurer les brevets obtenus sur le tableau affiché dans la classe !	

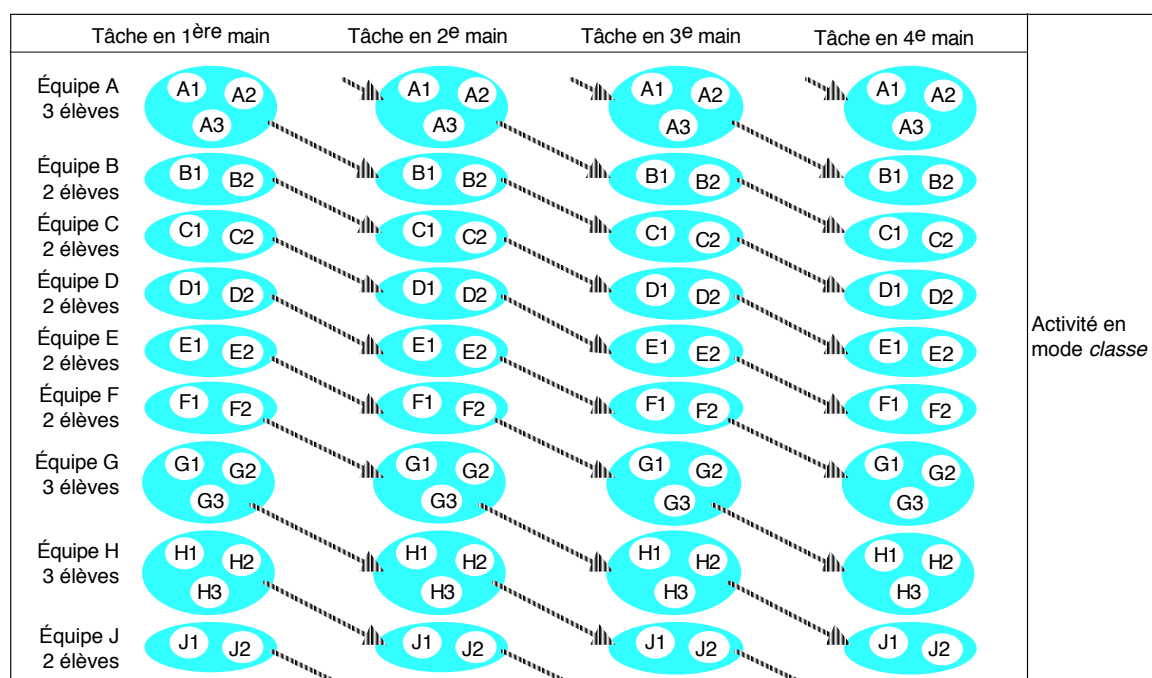
Exemple de tableau à remplir pour une classe de 26 élèves et 5 savoir-faire

Elève	Savoir-faire N° 1			Savoir-faire N° 2			Savoir-faire N° 3			Savoir-faire N° 4			Savoir-faire N° 5		
	Formation	Examen	Brevet	Formation	Examen	Brevet	Formation	Examen	Brevet	Formation	Examen	Brevet	Formation	Examen	Brevet
A															
B															
C															
Y															
Z															

Dans chaque case viennent figurer les dates des formations, examens et attributions des brevets ainsi que les noms de élèves qui ont assurés ces formations, examens et attributions de brevets.

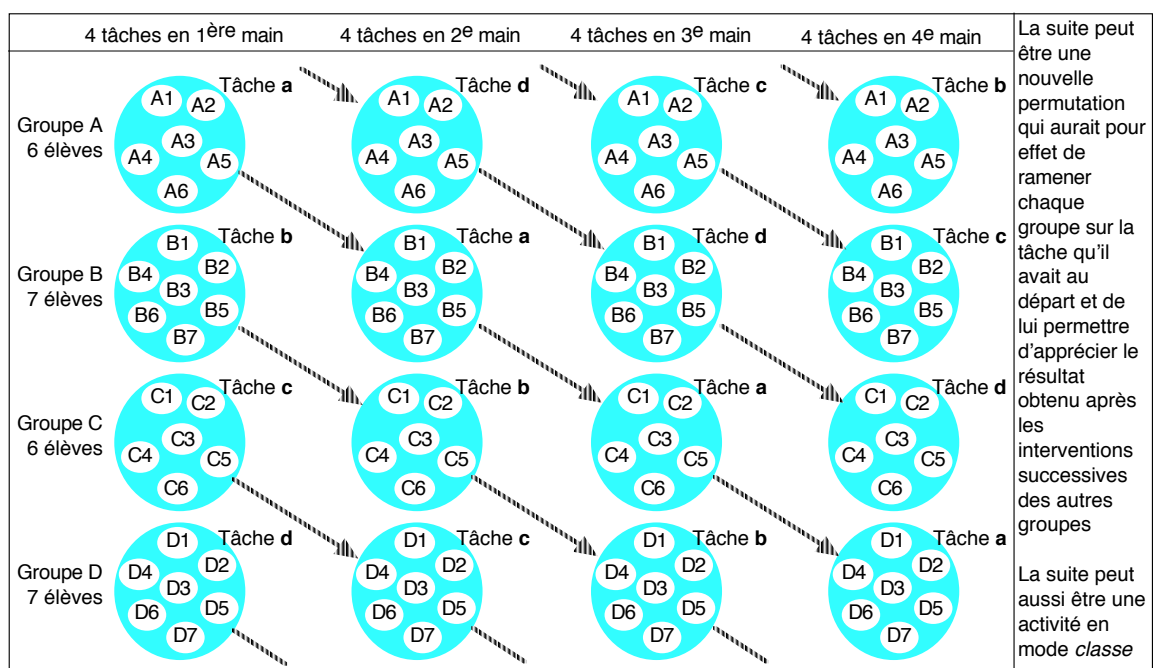
VI Modalité activité tournante sur une tâche unique	
Nature	<p>Il s'agit d'une activité construite sur un travail en modalité <i>solo</i> ou <i>duo</i>.</p> <p>Une tâche est abordée individuellement ou en duo par les élèves d'une classe ou d'un groupe puis poursuivie par un autre individu ou duo de la classe ou du groupe. Ainsi chaque individu ou duo travaille sur la tâche en première main puis en 2^e main. Cette circulation peut se poursuivre un certain nombre de fois et les élèves travailler sur la tâche en 3^e main, voire en 4^e main etc. Les permutations doivent être synchrones pour toute la classe ou le groupe.</p> <p>Quel que soit le nombre de permutations, si la tâche démarre avec n individus ou duos, elle produit n résultats.</p> <p>Généralement, un travail en modalité <i>groupe</i> ou <i>classe</i> (éventuellement <i>groupe</i> puis <i>classe</i>) à lieu à propos de ces n résultats (comparaison, évaluation, ...).</p> <p>Variante : on peut avoir des équipes de trois ou quatre élèves au lieu des individus ou des duos.</p>
Indications	<p>Cette modalité est utile pour</p> <ul style="list-style-type: none"> Élaborer des stratégies différentes à partir d'une même tâche Enrichir les procédures des élèves par celles de leurs camarades Réaliser des tâches qui se font par étapes Chercher des erreurs ou des lacunes dans des démarches de camarades. <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> Il s'agit de corriger des exercices: 1^{ère} main: faire l'exercice; 2^e main: corriger l'exercice fait en 1^{ère} main; 3^e main: vérifier la correction faite en 2^e main Un problème est posé à la classe et l'enseignant veut éviter que certains groupes où élèves soient bloqués par manque d'idées ; la tâche consiste à élaborer une stratégie de résolution Un travail à la chaîne est mis en place par l'enseignant pour faire des analyses biologiques ou chimiques systématiques au laboratoire Il s'agit de développer ou entraîner un savoir-faire qui se découpe en étapes comme résoudre des équations
Limites	<p>La permutation synchrone de la tâche en cours impose que les élèves acceptent de ne pas avoir terminé leur travail avant de le passer à l'individu ou au duo suivant.</p>

Exemple de fonctionnement de la modalité *activité tournante* avec 21 élèves répartis dans neuf équipes. La tâche est traitée quatre fois. À chaque fois, les élèves produisent un document à transmettre à l'équipe suivante. Les flèches indiquent le passage de ces documents d'une équipe à l'autre. À l'issue du travail réalisé en 4^e main, les productions finales sont discutées au sein de la classe.



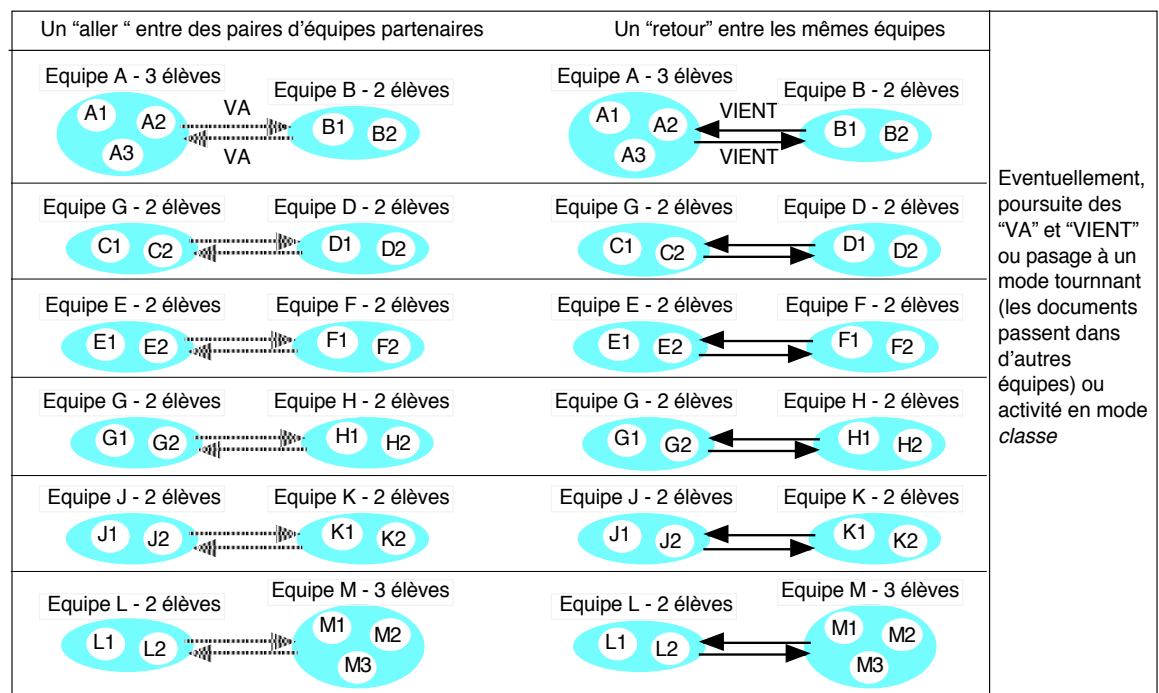
VII activité tournante sur plusieurs tâches	
Nature	<p>Il s'agit d'une modalité <i>classe</i> (ou <i>demi-classe</i>), construite sur un travail en modalité <i>groupe</i>.</p> <p>Pour n tâches différentes, on partage la classe en n groupes, chacun s'attachant à l'une des tâches. Après un certain temps de travail, on opère une permutation circulaire de chacune des tâches qui sont reprises par un 2^e groupe.</p> <p>On peut poursuivre ainsi ces permutations. Remarquons que pour n tâches conduites en parallèle, il faut n-1 permutations pour que chaque groupe ait l'occasion de travailler sur chacune. À la n^{ème} permutation, chacun retrouve la tâche sur laquelle il a commencé et peut apprécier le résultat obtenu. Un second tour, voir d'autres tours peuvent être lancés au sein de la classe.</p> <p>Les permutations doivent être synchrones pour toute la classe.</p> <p>Généralement, l'activité tournante se poursuit par un travail de groupe ou de classe (éventuellement de groupe puis de classe) à propos des n productions (synthèse, comparaison, évaluation, ...).</p> <p>Variante : au lieu de concerner la classe entière, l'activité peut se faire au sein de groupes fermés et tourner entre des duos ou des élèves isolés.</p>
	<p>Cette modalité est utile pour...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Travailler sur plusieurs thématiques en parallèle en associant tous les élèves à tous les thèmes • Enrichir les procédures des élèves par celles de leurs camarades • Réaliser des tâches qui se font par étapes • Chercher des erreurs ou des lacunes dans des démarches de camarades • Entraîner un savoir-faire avec des tâches portant sur les mêmes aptitudes <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'enseignant veut faire travailler la classe ou les groupes sur une étude de cas qui se divise en sous-tâches. Il s'agit de corriger des exercices, chaque tâche étant relative à un exercice (une permutation peut suffire) • Il s'agit de résoudre une énigme par des stratégies différentes et identifiées, chaque tâche étant relative à une stratégie
Limites	<p>La permutation synchrone de la tâche en cours impose que les élèves acceptent de ne pas avoir terminé leur travail avant de le passer à l'individu ou au duo suivant.</p>

Exemple de fonctionnement de la modalité *activité tournante sur plusieurs tâches* avec 26 élèves répartis dans quatre groupes. Chaque groupe travaille successivement sur les quatre tâches et produit un document à transmettre. Les flèches indiquent le passage de ces documents d'une équipe à l'autre.



VIII activité en va-et-vient (VA puis VIENT)	
Nature	<p>Il s'agit d'une variante des modalités d'<i>activités tournantes</i></p> <p>Une classe ou un groupe est partagé en individus, duos ou petites équipes que l'on appellera "auteurs". Ces auteurs travaillent un certain temps sur une tâche puis soumettent leur travail à d'autres individus, duos ou équipes, les "lecteurs" (VA). Les lecteurs prennent connaissance du travail des auteurs, le critiquent, le complètent, l'amendent ou le corrigent puis le renvoient aux auteurs (VIENT). Les auteurs, à leur tour, prennent connaissance du travail des lecteurs</p> <p>Le processus peut éventuellement continuer entre les mêmes partenaires</p> <p>Généralement, les deux partenaires travaillent simultanément comme auteurs (sur un même objet ou sur des objets différents), s'échangent leur travail puis jouent chacun le rôle de lecteurs réciproques</p> <p>Chaque couple de partenaires d'une classe ou d'un groupe fait les échanges à son rythme</p> <p>Un travail en mode <i>classe</i> ou en mode <i>groupe</i> peut suivre cette activité de va-et-vient</p>
Indications	<p>Cette modalité est utile pour</p> <ul style="list-style-type: none"> Enrichir les procédures des élèves par celles de leurs camarades Chercher des erreurs ou des lacunes dans des démarches de camarades Dynamiser une classe amorphe <p>Exemples</p> <ul style="list-style-type: none"> L'enseignant veut faire émerger des stratégies et souhaite qu'elles soit opposées deux à deux Pour corriger des exercices, l'enseignant organise un va-et-vient entre des individus, duos ou groupes (auteurs des exercices) et des individus, duos ou groupes (lecteurs des exercices)
Limites	<p>S'il y a plusieurs couples de partenaires, ce qui arrive quand ceux-ci sont des solos ou des duos, il peut être difficile à l'enseignant de conserver un contrôle de l'ensemble et de pouvoir dire où en sont les partenaires dans leurs échanges</p>

Exemple de fonctionnement de la modalité *activité en va-et-vient* avec 26 élèves répartis dans 12 équipes. Chaque équipe travaille sur une tâche en tant qu'"auteur". Elle produit un document à transmettre à son équipe partenaire. Deux documents sont donc échangés simultanément entre les équipes (VA). Les équipes partenaires travaillent alors en tant que "lecteur" et produisent un document qu'elles retournent aux auteurs (VIENT). Les flèches indiquent le passage de ces documents d'une équipe à l'autre. Chaque paire de partenaires travaille à son rythme ; dans la classe, les échanges n'ont pas lieu en même temps.



9.8 Quand les activités des élèves révèlent les intentions de l'enseignant

Les deux grilles proposées ici permettent, en observant ce qui se passe dans une classe, d'identifier les intentions de l'enseignant d'après les activités et comportements des élèves. Le statut de l'activité pratique est donné selon la catégorisation de Coquidé et Astolfi (§9.5), les interactions sociales selon la catégorisation donnée au §9.7

La première grille s'applique dans le cas d'une séquence qui se déroule selon le modèle des trois phases.

Grille d'observation dans le cas où le modèle des trois phases s'applique

	Projets des élèves	Activité pratique	Interactions sociales
Immersion	<p>Les élèves...</p> <ul style="list-style-type: none"> expriment des <i>conceptions</i> entraînent leurs savoir-faire se concentrent sur leurs perceptions (<i>vivre-sentir</i>) 	<p>« Expérimentation-action - familiarisation pratique »</p> <p>Les élèves “jouent” avec le matériel et les phénomènes qui se produisent. Ils écrivent ou dessinent ce qu'ils pensent. Ils ajustent leurs actions aux réponses de leur environnement.</p>	<p>Les élèves travaillent seuls (expression de <i>conceptions</i>) ou en duos, voire trios, pour s'entraider (dans un <i>rallye</i>).</p> <p>Il peut arriver que les élèves travaillent en mode jeu de rôles, brainstorming, activités tournantes ou en va-et-vient</p>
Conceptualisation	<p>Les élèves, sans qu'il y ait évaluation...</p> <ul style="list-style-type: none"> s'affrontent à un défi, une situation-problème, voire un problème ouvert réalisent une étude de cas résolvent une énigme préparent ou font une communication réalisent ou présentent un objet concret écoutent ou rédigent une synthèse d'institutionnalisation 	<p>« Expérimentation-objet - investigation empirique »</p> <p>Les élèves interagissent avec le matériel et les phénomènes qui se produisent. Ils font des hypothèses, tâtonnent, testent, argumentent, comparent.</p> <p>« Expérimentation-outil - élaboration théorique »</p> <p>Les élèves expérimentent dans une perspective de modélisation, assistent à une expérience de validation.</p>	<p>Les élèves travaillent, selon les cas, en mode demi-classe, classe, jeu de rôles, brainstorming, puzzle, bureau d'experts, échange de savoir-faire, activité tournante sur une tâche unique, activité tournante sur plusieurs tâches, activité en va-et-vient</p> <p>(Les modes solo ou duo sont rarement observables et seulement de manière passagère).</p>
Réinvestissement	<p>Les élèves s'entraînent, s'exercent, font du drill dans des situations choisies ou répondent à un mandat.</p> <p>Les élèves, dans le cadre d'une évaluation formative ou sommative...</p> <ul style="list-style-type: none"> s'affrontent à un problème, un défi s'affrontent à un problème ouvert réalisent une étude de cas résolvent une énigme font une communication présentent un objet concret, le font fonctionner ou instruisent à son fonctionnement 	<p>Cas exceptionnel : les élèves ne disposent que de quoi écrire et de sources de documentation.</p> <p>Cas habituel : les élèves disposent de documentation : ils sont mis en situation concrète avec du matériel, mais ils n'ont pas le droit de “jouer” avec le matériel et les phénomènes qui se produisent, ils ne peuvent pas tâtonner. Tout au plus ont-ils le droit de les “interroger”, de faire des mesures, de relever ce qui se passe.</p>	<p>Les élèves travaillent seuls (exercices de drill, test personnel de <i>compétence</i>) ou en duos ou en équipe lorsque des <i>compétences</i> de collaboration, coopération sont requises.</p> <p>Selon les cas, ils travaillent en mode demi-classe, classe, puzzle, bureau d'experts, activité tournante sur une tâche unique, activité tournante sur plusieurs tâches, activité en va-et-vient.</p>

Confusion : lorsqu'au même instant, dans un groupe d'élèves qui travaillent ensemble, on observe des activités et comportements qui appartiennent à des phases différentes, on peut penser que l'enseignant n'est pas au clair sur ses intentions ou qu'il ne contrôle pas suffisamment ce que font les élèves.

La seconde grille s'applique dans une séquence où l'enseignant est centré sur un projet pour lequel le modèle des trois phases est inopportun.

Grille d'observation dans le cas d'une séquence structurée selon un modèle autre que le modèle des trois phases

Projet	Projets des élèves	Activité pratique	Interactions sociales
Savoir -faire	Les élèves sont dans une situation qui vise des savoirs et savoir-faire (sans travail conceptuel). Ils apprennent à faire, ils forment leurs camarades à des savoir-faire. Ils certifient leurs camarades dans des savoir-faire.	« Expérimentation-action - familiarisation pratique » Les élèves "jouent" avec le matériel et les phénomènes qui se produisent. Ils ajustent leurs actions aux réponses de leur environnement. Ils s'entraînent à réussir systématiquement.	Les élèves travaillent selon une modalité structurée du type échange de savoir-faire , puzzle, bureau d'experts, activité tournante sur une tâche unique, sur plusieurs tâches ou en va-et-vient
Problème ouvert, étude de cas ou recherche	En s'affrontent à un <i>problème ouvert</i> , en étudiant un cas ou dans le cadre d'une recherche ou d'un projet de communication ou de réalisation, les élèves... <ul style="list-style-type: none"> discutent des hypothèses recherchent des informations. se remémorent des acquis et les mettent en action. présentent des résultats. confrontent des idées préparent ou réalisent une expérience préparent ou réalisent une communication. 	« Expérimentation-action - familiarisation pratique » Les élèves entrent dans le problème ou la recherche par l'acquisition de savoir-faire. Ils ajustent leurs actions aux réponses de leur environnement. Ils s'entraînent à réussir systématiquement. « Expérimentation-objet - investigation empirique » Les élèves interagissent avec le matériel et les phénomènes qui se produisent. Ils font des hypothèses, tâtonnent, testent, argumentent, comparent. « Expérimentation-outil - élaboration théorique » Les élèves font fonctionner ou testent un modèle.	Les élèves travaillent selon une modalité qui produit des interactions favorables à la réalisation du projet. C'est une modalité structurée pouvant être de type jeu de rôles, brainstorming, puzzle, bureau d'experts, échange de savoir-faire, activité tournante sur une tâche unique, activité tournante sur plusieurs tâches, activité en va-et-vient (ou autre). La modalité de base peut être de type groupe, demi-classe, ou classe.
Projet de réalisation ou de communication	Un projet de communication ou de réalisation peut être un projet de classe ou un projet d'établissement (un projet commun fédère certaines activités conduites par diverses classes ou groupes d'élève de l'établissement scolaire).	« Expérimentation-objet - investigation empirique » Les élèves interagissent avec le matériel et les phénomènes qui se produisent. Ils font des hypothèses, tâtonnent, testent, argumentent, comparent. « Expérimentation-outil - élaboration théorique » Les élèves font fonctionner un <i>modèle</i> .	Les élèves travaillent selon une modalité structurée, le plus souvent de type puzzle, bureau d'experts, activité tournante sur une tâche unique ou plusieurs tâches ou en va-et-vient. La modalité de base peut être de type groupe, demi-classe, ou classe.

Confusion : la confusion la plus fréquente est celle qui consiste à mettre des notes (évaluation sommative) dans un travail de recherche ou dans un projet de réalisation ou communication, et qui plus est, avec des critères mal connus des élèves.

Autre problème : les élèves ne sont pas au clair sur le projet (ce qui est attendu d'eux).

9.9 Des comptes-rendus – lesquels et pourquoi ?

Le dogme des comptes-rendus de travaux pratiques

Quand les “travaux pratiques” que l’on fait faire aux élèves relèvent d’une épistémologie de la (re)découverte par l’observation ou qu’on croit utile, pour les élèves, de “vérifier la théorie”, les comptes-rendus qu’on leur demande doivent faire état de ces “découvertes” ou de ces “vérifications”. Généralement les élèves ne sont pas dupes de ce qui n’est autre chose qu’une tricherie intellectuelle, mais ils se plient aux exigences de leur “métier d’élève”, le plus souvent pour être notés !

Avec cela, le “rapport” d’expérience ou de TP doit respecter une forme stricte, sensée garantir une communicabilité dont la nécessité est généralement fictive. Le plus souvent, seul l’enseignant lit ce rapport, non pas pour y apprendre quelque chose, mais pour juger de sa conformité au dogme et du “sérieux” du travail des élèves dont il est seul juge.

Pourtant, communiquer fait éminemment partie du travail scientifique et former à la communication est une dimension importante de l’enseignement.

Donner du sens aux comptes-rendus

Apprendre à écrire un compte-rendu nécessite que sa finalité soit clarifiée et réalisée dans un projet. Le compte-rendu doit réellement servir à quelque chose.

Tableau des finalités qui donnent une authenticité aux comptes-rendus.

Un élève, un groupe d’élèves, une classe rédige un texte ou un compte-rendu ...			
Pour soi Pour son propre “dossier”	Pour les autres (exceptionnellement pour l’enseignant) Afin de communiquer sa démarche, ses résultats		
Pourquoi ?	À qui ?	Pourquoi ?	Sur quel support ?
<ul style="list-style-type: none"> • Pour clarifier... formaliser... épuiser... reformuler... une démarche, un cheminement • Pour déceler des oublis, des erreurs, dans ce qu’on a fait et dont on rend compte, en étant précis, soigneux, en exploitant ses relevés d’expérience avec du recul • Pour pouvoir... <ul style="list-style-type: none"> - retrouver ce qu’on a fait, - s’en servir (par ex. pour préparer une évaluation), - l’évoquer pour mieux l’assimiler, - l’évoquer pour poursuivre une démarche 	<ul style="list-style-type: none"> • Aux personnes «intéressées» Par ex. : lors de portes ouvertes à l’école, soirée des parents... • Aux lecteurs d’un journal (école ou presse locale) • Aux élèves de l’établissement ou d’autres établissements (expositions, présentations) • À un expert externe • À des “internauts” 	<ul style="list-style-type: none"> • Pour donner à voir ce qu’on a fait • En réponse à un mandat qui nous a été confié • Pour obtenir une appréciation extérieure de son travail 	Tout média choisi en fonction du public cible : <ul style="list-style-type: none"> • Poster • Document audio ou audio-vidéo • Journal • Radio / TV • Site Internet • ...
	<ul style="list-style-type: none"> • À des élèves partenaires Par ex. dans des dynamiques de pédagogie coopérative au sein de la classe ou entre deux demi-classes ou au sein d’une classe (démarches de type classe = communauté scientifique) 	Pour que nos partenaires <ul style="list-style-type: none"> • apprennent • discutent ou corrigent ce qu’on a fait • puissent poursuivre notre démarche 	<ul style="list-style-type: none"> • Cahier de laboratoire • Poster • Document audio ou audio-vidéo • Site Internet • ...
	<ul style="list-style-type: none"> • À l’enseignant • Au jury d’évaluation d’un travail formatif ou certificatif 	<ul style="list-style-type: none"> • Pour faire reconnaître son travail, pour être évalué (selon des critères annoncés à l’avance) 	<ul style="list-style-type: none"> • Média et structure... <ul style="list-style-type: none"> - spécifié par l’enseignant - en fonction des critères d’évaluation

Quatrième partie :

Quelques suggestions issues d'expériences d'enseignement

10 La lumière et sa modélisation

10.1 De la soustraction à l'addition – un obstacle

Une foison de visions...

Si on entre la suite de mots « couleurs mélange soustractif additif », dans un moteur de recherche de l'Internet, on obtient de milliers de références... et beaucoup de manière de modéliser la lumière, les couleurs, les mélanges des couleurs, la perception visuelle, etc. On accède aussi à des visions historiques, artistiques et philosophiques des notions de lumière et de couleur. Il y a de quoi susciter, à l'école, des approches interdisciplinaires. La physiologie de l'œil, la nature physique de la lumière, l'histoire des connaissances et des croyances et bien sûr tout ce qui touche aux arts picturaux, à l'imprimerie et aux images formées et traitées par les médias actuels (images numérisées). Tout cela mérite d'être relié dans une vision large qui peut être proposée aux élèves.

Des intentions modestes

Les activités décrites dans les paragraphes qui suivent ont été conduites dans le projet de voir les élèves se servir d'un modèle pour représenter et prévoir ce qui se passe dans diverses situations impliquant des phénomènes de mélanges soustractifs et additifs de lumières colorées.

Idéalement, la compétence attendue aurait dû s'exprimer sous forme d'une performance à résoudre un problème, à construire ou dépanner une machine, à remplir un mandat de communication ou de recherche, ... Mais les expériences qui nourrissent les suggestions qui suivent avaient une vocation exploratoire (mémoire professionnelle d'une enseignante en formation) et ne comportaient pas d'exigences a priori de niveau d'apprentissage. Il s'agissait de tester des situations-problèmes et l'aptitude des élèves à développer et faire fonctionner un modèle pensé par l'enseignant.

Bases d'un modèle simplifié

Les théories sur la lumière et la perception par l'œil humain se compliquent très vite dès que l'on approfondit un peu le sujet. Cependant, on peut énoncer quelques principes de base à leur propos.

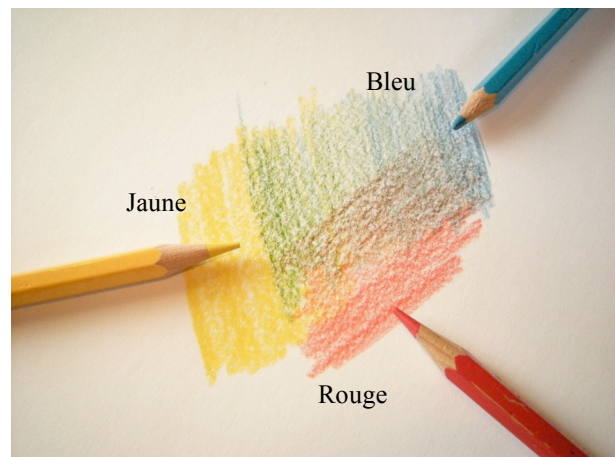
- Une source lumineuse ou l'état de surface d'un objet se caractérise par sa couleur. Cet aspect est défini par un spectre, c'est-à-dire une distribution en intensité des couleurs émises par la source ou renvoyées par la surface. Dans la conception ondulatoire de la lumière, chaque couleur est définie par une longueur d'onde. Il existe des spectres continus : dans une largeur de bande donnée, toutes les couleurs sont présentes. Il existe des spectres discontinus : seules, certaines couleurs (certaines longueurs d'ondes) sont présentes. Il existe des spectres continus à bandes d'absorption. Les lampes à incandescence ont un spectre continu, les lampes à gaz excité ont un spectre discontinu, les étoiles (le Soleil) ont des spectres continus avec des bandes d'absorption.
- L'œil humain est un organe qui contient des cellules sensibles à la lumière (il y en a deux sortes : des cônes et des bâtonnets). Ces cellules transmettent au cerveau des informations (influx nerveux) sur la nature de la lumière captée. Certaines de ces

cellules (les cônes) sont de trois types : les unes ont un maximum de sensibilité pour le bleu (B), les autres pour le vert (V) et les dernières pour le rouge (R). Le cerveau reconstruit les nuances colorées à partir des informations provenant des trois types de cônes. En particulier, le cerveau “voit” du jaune lorsque les cônes V et R sont excités avec des intensités ad hoc. Il voit du bleu ciel (cyan) avec B + V, il voit du rose (magenta) avec B + R.

- Cette “simplicité” de l’œil humain est exploitée dans les technologies de l’image. Il suffit de mélanger trois couleurs avec des intensités choisies pour obtenir les aspects colorés voulus. C’est pourquoi, tous les écrans lumineux sont formés de triplets de pixels bleus, verts et rouges.
- Un filtre coloré a la propriété de limiter la lumière qu’il laisse passer à certaines couleurs. En général, un filtre ne laisse passer que la lumière d’une couleur donnée dans une bande plus ou moins large de longueurs d’ondes. Les filtres “étroits” ne laissent passer de la lumière que dans une bande étroite de longueurs d’ondes. Les filtres “larges” ne font qu’atténuer plus ou moins les couleurs autres que la couleur nominale du filtre.
- En imprimerie ou dans les arts picturaux, les mélanges de couleurs sont de nature soustractive. Les substrats colorés agissent en partie comme des filtres. Les couleurs de bases doivent être lumineuses et “transparentes”. Ce sont souvent le cyan (C), le magenta (M) et le jaune (J) (système CMJ). En imprimerie, il faut par exemple du cyan et du magenta pour obtenir du bleu ou du magenta et du jaune pour obtenir du rouge.
- Dans les technologies d’affichage lumineux, les mélanges de couleurs sont au contraire de nature additive. Le bleu, le vert et le rouge sont les couleurs de base (système BVR). Mélanger deux couleurs conduit à produire une couleur en soi plus lumineuse puisque les énergies des rayonnements lumineux s’ajoutent. Il faut notamment mélanger le vert et le rouge pour obtenir une sensation de jaune. Et bien sûr, l’œil “voit” du blanc, là où un bon dosage de bleu, de vert et de rouge est réalisé.

L’expérience acquise des élèves

L’expérience des élèves remonte à leur petite enfance. Tous ont mélangé des couleurs de crayons, de gouache ou d’aquarelle. Tous savent que l’on peut obtenir du vert en mélangeant du bleu et du jaune, de l’orange en mélangeant du rouge et du jaune, du violet en mélangeant du bleu et du rouge. Le vécu des élèves se rapporte donc à des phénomènes de soustraction. Et ce vécu est très ancré en eux car une conceptualisation s’est opérée au travers d’investigations empiriques¹ liées à *des situations-problèmes* dans lesquelles ils se sont eux-mêmes placés. En effet, les enfants se posent des questions telles que « Comment obtenir cette couleur-ci ? », « Comment foncer ou éclaircir cette couleur-là ? », « Qu’est-ce que j’obtiendrai si je mélange ces deux couleurs ? ».

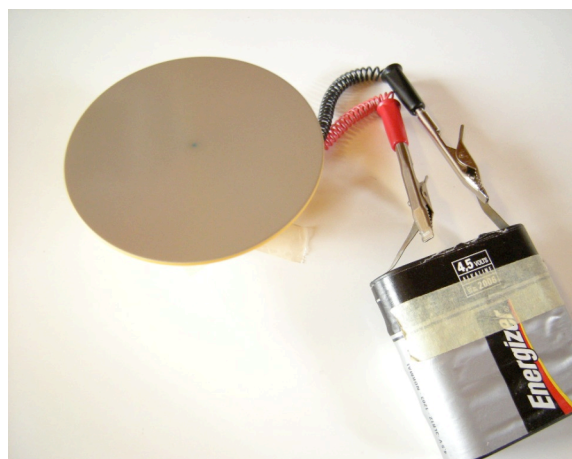


¹ Selon la terminologie introduite au §9.5

Plus rares ont été les occasions d'expériences d'addition des luminosités colorées (surfaces éclairées par des lampes colorées, pixels des écrans de TV ou d'ordinateurs). De plus, les expériences d'addition qui sont faciles à faire comportent une part de soustraction. Quand on fait tourner un disque comportant des plages colorées, on a bien un mélange additif, mais chaque couleur absorbe une partie du spectre si bien que le résultat est peu lumineux. Même en faisant le meilleur choix de couleurs, on n'obtient jamais du blanc mais au mieux une impression de gris.



Disque à l'arrêt



Le même disque tournant à grande vitesse

Dispositif que l'on trouve dans le commerce. Le disque est fixé sur un petit moteur électrique. Les couleurs sont très intenses donc absorbantes, si bien que l'intensité de la lumière renvoyée par l'ensemble du disque est relativement faible. Dire aux élèves que le mélange additif des couleurs donne du blanc pose ici un sérieux problème !

Ainsi, les expériences des élèves font que la *conception* soustractive des mélanges de couleurs s'érige en obstacle lorsqu'on veut conduire les élèves à conceptualiser la lumière comme un phénomène énergétique dans lequel les superpositions créent des effets très différents de la soustraction. Pour leur permettre d'affronter cet obstacle, on peut enrichir le vécu des élèves (*immersion*) et les placer dans des situations comportant une problématisation (conceptualisation).

10.2 Enrichir le vécu des élèves et problématiser

Le tableau donne des exemples de consignes, telles qu'on peut les adresser aux élèves pour les mettre en situation d'enrichir leur vécu ou de se confronter à un problème.

Le milieu didactique dans lequel est plongé l'élève, outre les attentes exprimées par l'enseignant, est fait d'un environnement matériel et phénoménologique se rapportant à la lumière et aux couleurs. Le tableau présente sept de ces environnements, mais on peut en imaginer beaucoup d'autres. De plus, la liste des suggestions d'activités d'élèves n'est de loin pas exhaustive.

Tableau de situations didactiques (voir les illustrations ci-après)

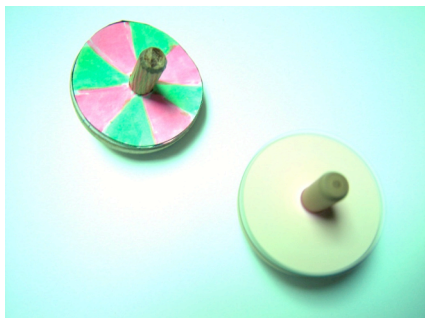
Environnement didactique	Exemples de consignes pour l'immersion	Exemples de consignes pour phase de conceptualisation
① Une toupie comporte des bandes colorées. Lorsqu'elle tourne, on voit une couleur uniforme.	Cette toupie est munie d'un disque qui comporte des bandes rouges et des bandes vertes. Fais-la tourner puis colorie un disque vierge de sorte qu'il ressemble le plus possible au disque de la toupie en train de tourner.	Cette toupie est munie d'un disque que tu peux colorer avec les crayons à disposition*. Tu dois le colorier de sorte que, lorsque la toupie tourne, il ressemble au disque uniformément colorié qui t'est donné. Ton problème est de choisir les bonnes couleurs et de les disposer de la bonne façon. Recommence avec les autres disques donnés. * Le choix de couleurs est limité.
② Lampes spots bleue, verte et rouge éclairant une surface blanche (dans une obscurité ambiante). L'intensité de chaque lampe est réglable pour la situation-problème.	Chaque lampe produit une tache lumineuse circulaire sur l'écran. On peut les allumer deux à deux ou toutes les trois. Dessine ce que tu vois dans tous les cas possibles.	Chaque lampe produit une tache lumineuse circulaire sur l'écran. On peut les allumer deux à deux ou toutes les trois et régler l'intensité lumineuse de chacune. Les boutons de réglage sont gradués de 0 à 5. On code ces réglages ainsi : B5-V3-R0 veut dire : luminosité de la lampe bleue réglée sur 5 (maximum), luminosité de la lampe verte réglée sur 3, luminosité de la lampe rouge réglée sur 0 (lampe éteinte). Entraîne-toi à deviner la formule de réglage selon l'aspect de l'écran. Quand tu penses être prêt, demande à ton camarade de te tester (il choisit une formule de réglage et tu dois la retrouver).
③ Trois paires de lunettes sont à disposition. Sur la première paire sont montés des filtres bleus, sur le deuxième, des filtres verts et sur la troisième, des filtres rouges. (Ce sont des bons filtres, relativement monochromatiques).	Regarde le même objet successivement avec les trois paires de lunettes. Indique ce qui t'étonne le plus !	Jeu des lunettes colorées. Ce jeu se joue à quatre. Trois personnes se munissent chacune d'une paire de lunettes à filtres colorés. La quatrième choisit un objet à l'insu des autres et le leur présente. Chacun des trois doit dire comment il le voit (couleur) puis une concertation doit permettre de deviner la couleur de cet objet. On recommence avec des objets de couleurs différentes autant de fois qu'il est nécessaire pour que l'équipe arrive à formuler des règles permettant de trouver à coup sûr la couleur inconnue.
④ Bandes de papier de couleurs vives : bleue, verte, rouge et jaune ; bande de papier noir ; bande de papier blanc. Sources lumineuses bleue, verte et rouge aussi monochromes que possible. La lampe rouge peut être une lampe à incandescence peinte en rouge, la lampe verte et la bleue ont avantage à être des lampes à fluorescence (de teinte froide) munie de filtres colorés. Certaines lampes DEL peuvent aussi convenir. Il faut encore une petite lampe de poche.	Jeu des bandes colorées. Ce jeu se joue à deux dans un local obscurci. L'un des deux choisit, sans l'indiquer à son camarade, une bande colorée ou la bande blanche ou la bande noire et la lui montre lorsqu'elle est éclairée au moyen d'une des lampes colorées. Ce dernier doit deviner la couleur de la bande. Dès qu'il a fait une proposition, la bande est éclairée au moyen de la lampe de poche pour vérification. On inverse les rôles et on recommence en changeant ou non de bande et de lampe colorée. Et ainsi de suite plusieurs fois.	Utiliser le <i>modèle</i> des grains colorés de lumière* pour prévoir comment on verra chacune des bandes colorées, la bande blanche et la bande noire lorsqu'on les éclairera avec la lampe rouge. Vérifier (dans un local obscurci) et proposer une explication pour les différences éventuelles. De la même manière, prévoir comment on verra chacune des bandes lorsqu'on les éclairera avec la lampe verte et expliquer les différences éventuelles. Idem avec la lampe bleue. * Le <i>modèle</i> des grains colorés de lumière est décrit au §10.3

(Suite du tableau)

Environnement didactique (Illustrations ci-après)	Exemples de consignes pour l'immersion	Exemples de consignes pour phase de conceptualisation
⑤ Lecteur de DVD, écran de TV et ballon de verre rempli d'eau (le ballon est utilisé comme une puissante loupe : quand on le tient à proximité de la surface d'un écran de TV, on peut distinguer les pixels colorés).	En utilisant un DVD et au moyen de la fonction "arrêt sur image" du lecteur, on peut sélectionner sur l'écran des plages de diverses couleurs. Quels pixels sont lumineux lorsque la couleur est jaune ? Quels pixels sont lumineux lorsque la couleur est bleu ciel ? Et lorsque la couleur est rose ? Comment obtient-on du blanc, du gris, du vert clair, du vert foncé, du brun ?	<i>(Voir proposition associée à l'environnement didactique N° ⑥)</i>
⑥ Ordinateur avec logiciel permettant d'obtenir des plages colorées sur l'écran, réfractomètre de poche.	<i>(Voir proposition associée à l'environnement didactique N° ⑤)</i>	Regarde l'écran de l'ordinateur avec le réfractomètre en utilisant le masque qui t'empêche de voir sur quelle zone de l'écran le réfractomètre pointe. Ton camarade affiche des plages colorées sur l'écran et t'aide à pointer le réfractomètre sur ces plages. Avec un peu d'entraînement, tu dois être capable de savoir sur quelle couleur pointe le réfractomètre d'après ce qu'il te donne à voir. Formule les règles que tu appliques pour déterminer la couleur affichée sur l'écran en fonction de ce que tu vois dans le réfractomètre.
⑦ Feuilles de couleurs transparentes rouge, bleue et verte. Set de palettes colorées à passer derrière les feuilles transparentes. Les feuilles sont assemblées de sorte que les palettes puissent être glissées dessous en passant d'une à l'autre sans qu'on les voie à la lumière. Remarque : Il faut des feuilles transparentes (en matière plastique) qui jouent le rôle de bons filtres. Si besoin, superposer plusieurs feuilles. On peut aussi utiliser des verres teintés (verre à vitrail).	Jeu des palettes colorées. Ce jeu se joue à deux. L'un des deux choisit, sans l'indiquer à son camarade, une palette colorée et la lui montre lorsqu'elle est placée sous une feuille transparente colorée. Ce dernier doit deviner la couleur de la palette. Dès qu'il a fait une proposition, la palette est déplacée sous la deuxième feuille transparente colorée. Une nouvelle proposition peut être faite puis la palette est déplacée sous la dernière feuille transparente. Après une ultime proposition de couleur de la palette, cette dernière est montrée au grand jour. On recommence avec d'autres palettes et on intervertit les rôles.	Défi des palettes colorées. Quand tu seras prêt, tu devras être capable de trouver la couleur de n'importe quelle palette après l'avoir vue successivement sous les trois feuilles transparentes colorées. Entraîne-toi avec les palettes à disposition ou des palettes que tu confectionnes toi-même au moyen de crayons de couleurs, formule une stratégie, puis, quand tu es prêt, demande à ton camarade ou à l'enseignant de te soumettre une palette pour tester ta performance.

Illustrations relatives aux environnements didactiques

Environnement didactique N° ①



Lorsqu'elle tourne, la toupie colorée de vert et de rouge apparaît uniformément gris-jaune si elle est bien éclairée en lumière naturelle

Environnement didactique N° ④



Une source lumineuse presque monochromatique est obtenue avec une lampe économique et un bon filtre.



Environnement didactique N° ⑥



Certains fournisseurs de matériel pédagogique proposent des spectromètres à réseau relativement peu coûteux.

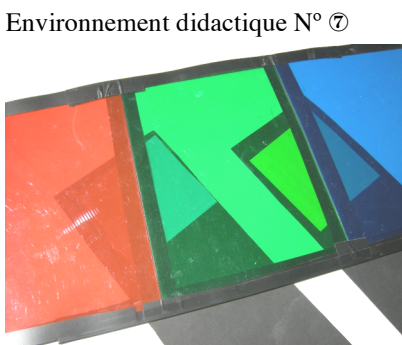
Environnement didactique N° ②



Trois lampes, munies d'une ampoule colorée et d'un tube en carton projettent des disques lumineux sur un écran.



Un variateur acheté dans le commerce courant, gradué de 0 à 5 au stylo-feutre, permet de chiffrer l'intensité lumineuse.



Une palette bleue apparaît quasiment comme si elle était noire lorsqu'elle est placée sous la feuille transparente rouge (à gauche), tandis qu'elle semble bleu-vert clair sous la feuille verte (au centre).

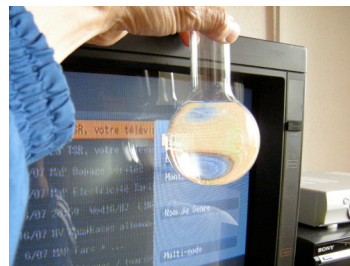
L'autre palette est jaune. Elle apparaît de couleur très claire sous le filtre vert et de couleur foncée sous le filtre bleu (à droite)

Environnement didactique N° ③

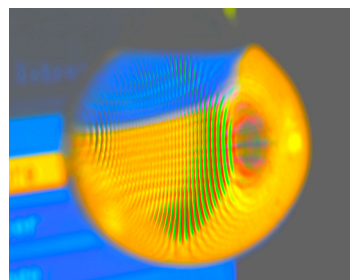


Le bandeau est là pour éviter que l'on voie l'objet coloré par-dessous les lunettes.

Environnement didactique N° ⑤



Le ballon d'eau, agissant comme une grosse loupe, permet de faire apparaître les pixels bleus, verts et rouges.



Le cyan s'obtient en excitant les pixels bleus et verts, le magenta, les pixels bleus et rouges, le jaune, les pixels verts et rouges. Avec le ballon, on voit que dès que la lumière provenant des pixels rouges se mélange à celle qui provient des pixels verts, l'œil perçoit du jaune.

10.3 Le *modèle* des grains colorés de lumière

Une tentative

Le *modèle* des grains colorés de lumière a été expérimenté dans quelques classes. Après une phase d'*immersion* destinée à familiariser les élèves avec des phénomènes de soustraction colorée et d'addition de lumière, un "germe" de *modèle* leur a été donné qu'ils devaient enrichir au travers de *situations-problèmes*.

Le germe de *modèle*

Sept règles de base

1. On imagine la lumière faite de grains dont la taille est telle qu'on puisse les dessiner comme des points ou des petits ronds.
2. Ces grains sont colorés. De la lumière rouge est faite de grains rouges par exemple.
3. Il n'y a pas de grains blancs pour la lumière blanche. La lumière blanche est faite d'un mélange de grains de couleurs.
4. Les objets éclairés ont la propriété de renvoyer ou d'absorber plus ou moins bien les grains de couleurs qu'ils reçoivent.
5. Pour un observateur, la couleur d'une lumière est celle des grains colorés qui atteignent son œil.
6. Un objet apparaît d'une couleur donnée à un observateur si des grains de cette couleur parviennent de cet objet à son œil.
7. Une surface blanche est une surface qui renvoie les grains de toutes les couleurs.

Complément possible du *modèle*

Règles pouvant être inférées par les élèves grâce à des *situations-problèmes*.

8. Une surface noire est une surface qui absorbe tous les grains de couleur reçus.
9. Les grains de lumière absorbés par une surface se transforment en chaleur. C'est pourquoi une surface noire fortement éclairée devient chaude tandis que ce n'est pas le cas d'une surface blanche.
10. Un filtre coloré "étroit" a la propriété de ne laisser passer que les grains de lumière d'une couleur donnée et d'absorber les autres.
11. Un filtre coloré "large" a la propriété de laisser passer les grains de lumière d'une couleur donnée mais aussi en partie les grains d'autres couleurs.
12. Les peintures et autres colorants se comportent comme des filtres larges. Lorsqu'on les mélange, la couleur résultante est celle que tous les composants du mélange laissent passer (effet de soustraction). Par exemple, le colorant bleu et le colorant jaune laissent chacun passer les grains verts. Le mélange apparaît de couleur verte.
13. Lorsque l'œil d'un observateur reçoit simultanément des grains de différentes couleurs, l'observateur perçoit une couleur résultante unique issue d'un mélange des lumières colorées. La couleur résultante est plus lumineuse que chacune des composantes (effet d'addition).
14. En mélangeant de la lumière bleue, de la lumière verte et de la lumière rouge avec des intensités lumineuses bien choisies, on peut donner à un observateur l'impression de voir n'importe quelle couleur (y compris une gamme de gris qui s'étend du noir au blanc). C'est sur ce principe que sont basés les écrans de TV et d'ordinateurs.

Obstacles rencontrés par des élèves de 11 à 13 ans...

Les expériences réalisées avec plusieurs groupes d'élèves permettent de mettre en évidence des difficultés conceptuelles. Voici quelques-unes des observations qui ont pu être faites.

Certains élèves pensent que pour qu'un objet apparaisse d'une couleur donnée. Il doit absorber cette couleur (pour qu'un papier apparaisse bleu, il doit avoir absorbé la couleur bleue d'un colorant). C'est une représentation substantialiste de la lumière qui prévaut et non pas une représentation énergétique incluant diffusion, réflexion et propagation. Si on le limite aux quatre premières règles ci-dessus, le *modèle* des grains de lumière s'accommode de la représentation substantialiste. Il faut lui ajouter des règles telles que :

- Pour que l'œil perçoive un objet de couleur x, il faut que des grains de cette couleur émanent de l'objet et atteignent l'œil. Ces grains ne peuvent donc pas avoir été absorbés.
- Par contre, les grains des autres couleurs qui ont atteint l'objet sont absorbés au sens où ils ne sont pas "diffusés" (règles 5 et 6).

Une difficulté conceptuelle tient dans le fait que cette absorption est une disparition qui viole la loi de conservation que les élèves appliquent spontanément aux "grains" de lumière que le *modèle* matérialise. Il manque aux élèves la vision énergétique par laquelle on peut comprendre l'absorption, non pas comme une disparition mais comme une transformation (règles 8 et 9).

Voici maintenant quelques *conceptions* observées chez des élèves dans la *situation-problème* associée à l'environnement didactique N° ④ du tableau ci-dessus. Les élèves doivent prévoir l'apparence des bandes colorées dans la lumière rouge au moyen d'un germe donné de *modèle* (les règles 1 à 4 du *modèle* des grains colorés de lumière ont été instituées).

Certains élèves imaginent que la bande bleue, par exemple, transforme les grains rouges de lumière en grains bleus, ou fabrique des grains bleus qu'elle ajoute aux grains rouges. La prévision qui en découle est qu'on verra la bande bleue de couleur violette car le mélange (soustractif) du rouge et du bleu donne du violet. L'obstacle est encore dans le fait que la couleur d'un objet est intrinsèque à l'objet. La bande bleue est objectivement bleue, même si on l'éclaire en rouge et, pour ces élèves, ce bleu ne peut pas disparaître. Il peut être affecté par la couleur de la lumière avec laquelle on l'éclaire, il peut en quelque sorte se mélanger à elle, mais il ne peut pas se comporter comme s'il était noir (ou gris foncé) ! À ce stade, le *modèle* n'est pas encore fonctionnel. Les élèves ont pourtant retenu le fait qu'une source de lumière rouge n'émet que des grains rouges de lumière.

L'expérience remet en cause la prévision : la bande bleue n'apparaît pas violette mais pratiquement noire. Les élèves ne parviennent pas à modifier seuls la *conception* qu'ils ont fait fonctionner et à affiner le *modèle*.

... et dépassement de ces obstacles

Un apport de l'enseignant (un cadeau) va permettre à ses élèves de relier ce qu'ils savent déjà à ce qu'ils observent par des règles à intégrer au *modèle* :

- Une surface de couleur x (identifiable en lumière blanche) a la propriété de renvoyer les grains de lumière de cette couleur x et d'absorber (en partie) ceux des autres couleurs.
- La couleur perçue par l'œil est celle des grains de lumière renvoyés par la surface en question.

Dans l'approche de l'addition des couleurs au moyen de toupies à deux couleurs de l'environnement didactique N° ①, les élèves constatent que du rouge et du vert, sur une toupie qui tourne, donne une couleur qui ne peut pas se représenter en mélangeant les couleurs des crayons rouge et vert. Pour rendre compte de ce qui est obtenu en faisant tourner la toupie, il faut **nécessairement** utiliser le crayon jaune. Surprise !

Pour le mélange bleu + rouge, les élèves peuvent se satisfaire d'un crayon violet clair. À défaut, ils peuvent se satisfaire d'un mélange peu appuyé de rouge et de bleu. Par contre, à la question « comment obtenir du rose en mélangeant des couleurs parmi le rouge, le bleu, le jaune, le vert, le violet et l'orange ? », les élèves sont encore une fois surpris. Ils constatant que la meilleure façon d'approcher la couleur rose est de placer, sur leurs toupies, du bleu et du rouge (le blanc n'est pas permis puisqu'il n'est pas une couleur au sens du modèle). Posée ainsi, la question est une vraie *situation-problème*. On peut aussi créer une *situation-problème* dans le cas du mélange bleu + vert : « comment obtenir du bleu clair en mélangeant des couleurs ? ». En raison de l'absorption de la lumière, les résultats ne sont pas forcément convaincants avec les toupies. Ils le sont plus en utilisant des lampes colorées (par exemples avec des lampes qui éclairent une surface translucide et qui sont cachées derrière cette surface ou avec le dispositif de la situation-problème associée à l'environnement didactique N° ②).

11 Quand mathématiques et sciences vont de pair

11.1 Vous avez dit « mathématiques » ?

Des points de vue...

Que n'ont pas dit et écrit les philosophes, les épistémologues et les mathématiciens eux-mêmes à propos de la nature des mathématiques ? Cela va de la croyance en une autonomie totale des mathématiques, monde de rigueur absolue, extérieur à l'homme, jusqu'à la conviction qu'elles ne sont qu'une construction de l'intelligence humaine. D'un côté, elles sont transcendantes à l'esprit humain qui les découvre, de l'autre, elles sont profondément enracinées dans la nature humaine, façonnées par les interactions qu'entretient l'homme avec le milieu qui lui donne vie et conscience. En somme, d'un côté les mathématiques sont dans la nature, de l'autre c'est la nature qui est dans les mathématiques.

Que n'ont pas dit et écrit les philosophes, les épistémologues, les mathématiciens, les politiciens, les sociologues, les pédagogues et les didacticiens sur l'enseignement des mathématiques ?

Deux questions fondamentales sont posées : pourquoi enseigner les mathématiques et que sont les mathématiques à enseigner ?

Supposons que l'on soit d'accord sur ce qui est attendu de l'enseignement des mathématiques ou plutôt sur la place de la discipline "mathématique" dans le cursus de formation du futur adulte. Pour simplifier, supposons que l'on attende de l'enseignement des mathématiques une formation de l'esprit scientifique et l'acquisition d'outils de traitement de l'information, et plus spécifiquement de l'information numérique ou susceptible de l'être. Supposons aussi que l'on adopte les thèses socioconstructivistes du développement de l'individu. Une ligne de conduite se dessine alors assez naturellement pour l'enseignement des mathématiques. L'ancrage de leur enseignement dans le réel (qui revient à considérer que les mathématiques font partie des sciences de la nature) peut se justifier philosophiquement, mais il se justifie aussi par la finalité sociale des mathématiques. Si l'on veut vraiment que la formation de l'esprit par les mathématiques ait lieu (rendre l'individu plus autonome, plus maître des situations qu'il rencontre), il faut qu'elles aient apporté des outils et contribué à la mise en place de certains comportements. Pour ne prendre qu'un exemple, établir un graphique et s'en servir pour comparer des valeurs mesurées à des valeurs calculées au moyen d'un *modèle* est une *compétence* de haut niveau qui ne peut pas se manifester simplement à partir de théories apprises que ce soit à propos des fonctions et leurs représentations graphiques ou sur le concept de *modèle*. Une telle *compétence* ne se développe chez un individu qu'à la condition d'avoir été ressentie comme une nécessité dans des situations d'apprentissage.

L'enseignement des mathématiques bien isolé

Tout observateur extérieur à l'école peut être frappé par le cloisonnement disciplinaire qui y règne à partir du degré secondaire. Très souvent, un enseignant d'une discipline ne sait pas exactement ce qu'apprennent ses élèves dans les autres branches. Alors que des synergies et des projets communs donneraient du sens à l'école (dimension sociale), donneraient du sens aux disciplines (dimension épistémologique) et favoriseraient les apprentissages (dimension pédagogique).

L'école elle-même est souvent coupée des réalités sociales dans lesquelles baignent les élèves. Cette coupure est probablement plus forte pour les mathématiques que pour les autres disciplines. En effet, dans l'enseignement de la langue courante, des langues étrangères, des disciplines artistiques, des sciences humaines ou des sciences naturelles, il est difficile de s'abstraire du contexte social. D'une certaine manière, pour ces disciplines, l'insertion sociale des contenus d'apprentissage s'impose d'elle-même. Tandis que les indéniables atouts des mathématiques comme discipline de formation de l'esprit ne s'expriment pas immédiatement. Qui plus est, les aptitudes à raisonner par hypothèses, à argumenter, à distinguer entre condition nécessaire et condition suffisante, à distinguer le "et" du "ou", etc., ne deviennent effectives que si elles sont sollicitées dans d'autres contextes que le contexte purement mathématique. Quant aux contenus techniques des mathématiques enseignées, aux outils de calcul et algorithmes, ils sont bien souvent décalés des pratiques sociales auxquelles les élèves participent. Ajouter entre elles des fractions, factoriser des polynômes, résoudre des équations ne sont pas des outils utilisés dans la vie courante. Autrement dit, pour les élèves, les mathématiques sont un monde étrange, une sorte d'espace virtuel. Certains s'y sentent à l'aise, d'autres n'y accèdent que péniblement... ou pas du tout.

Tentatives...

Ça et là, des expériences et des recherches pédagogiques sont conduites qui visent à rendre l'école plus performante du point de vue des apprentissages favorisant l'insertion sociale. Ces expériences sont conduites par quelques enseignants ou au niveau d'un collège ou d'un lycée, voir d'une région. Elles en appellent pratiquement toutes à des formes de décloisonnement. Décloisonnement à l'intérieur même des disciplines (en maths, décloisonnement entre numérique et géométrie, entre numérique et algébrique, entre plan et espace ; en sciences, décloisonnement entre physique, chimie et biologie). Décloisonnement des diverses disciplines, décloisonnement des classes d'un niveau donné, décloisonnement entre niveaux scolaires. Les mathématiques sont souvent impliquées dans ces expériences.

Certaines de ces tentatives sont encourageantes, mais des résistances apparaissent au moment d'une généralisation. D'autres sont jugées décevantes car les résultats obtenus sont évalués en termes de "savoir redire" ou de "savoir refaire" des élèves dans des situations artificielles alors que ces expériences visent des *compétences* en situation réelles. Cette question s'inscrit d'ailleurs dans une problématique plus générale puisque les différents corps sociaux n'ont pas tous les mêmes attentes de l'école.

Pour rappel, le chapitre 6 présente deux expériences d'approches interdisciplinaires qui impliquent l'enseignement des mathématiques. Le §6.1 relate une expérience de pédagogie coopérative visant l'acquisition de savoir-faire à propos de la détermination du volume d'objets courants, le §6.2 décrit une recherche qui mobilise des outils mathématiques et le §6.3 met en scène un enseignement interdisciplinaire en français, histoire, maths et sciences.

Les propositions qui suivent s'appuient sur des expériences vécues dont les ambitions sont demeurées modestes. Les expériences réalisées ne remettaient pas en cause le statut des mathématiques enseignées ni les plans d'études en vigueur. Mais la gageure, dans ces expériences, est d'avoir dépassé la question de savoir si on enseigne des mathématiques ou des sciences quand on s'occupe de modélisation ou quand on veut donner du sens à certains contenus mathématiques en les ancrant dans des situations tangibles, en les mettant en scène dans des milieux didactiques qui permettent aux élèves une démarche d'opérationnalisation du savoir.

11.2 Construire un “mobile de Calder” ou les aires pesantes avec des élèves de 12 à 14 ans

Intentions

En fin de parcours, à titre de bilan de *compétence*, les élèves doivent construire une sorte de mobile de Calder qui répond à un cahier des charges strict :

Cahier des charges :

Le mobile doit comporter deux fléaux auxquels sont suspendues des figures planes, découpées dans de la feuille cartonnée ou métallique décorative, qui peuvent être perforées d'autres figures et/ou assemblées à d'autres figures. Ces deux fléaux doivent être en équilibre pour eux-mêmes et suspendus par leur milieu à un troisième fléau. Le point d'attache de ce troisième fléau sera choisi, de manière à ce que le tout soit aussi en équilibre lorsqu'on le suspendra.

Les figures doivent comporter des disques, et des polygones simples (triangle, carré, losange, cerf-volant, parallélogramme, trapèze). Il doit apparaître au moins 4 sortes de polygones dont un trapèze. Une fois au moins, une figure (qui peut être un trou) doit être équilibrée par deux figures semblables de dimensions différentes.

Le dimensionnement des figures et des trous doit se faire par étape. À chaque étape, deux ou trois figures sont choisies pour un fléau de sorte que l'équilibre soit réalisé. Une étape peut aussi consister à ouvrir deux ou trois trous dans les figures déjà choisies. L'équilibre doit être maintenu.

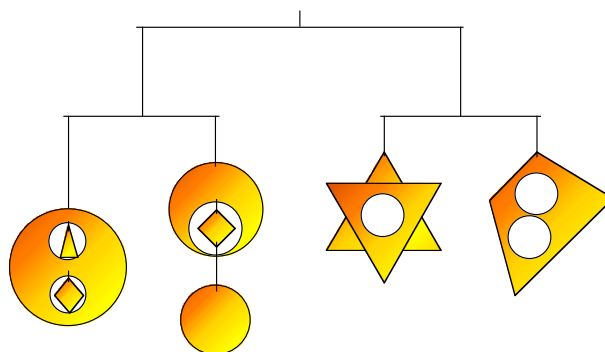
La plus grande dimension des figures est de 12 cm.

La réalisation se fera avec des matériaux homogènes faciles à découper et à assembler apportés de la maison ou fournis à l'école.

Savoirs, savoir-faire et savoir-être à mettre en œuvre

Liste telle qu'elle a été communiquée aux élèves (non exhaustive) :

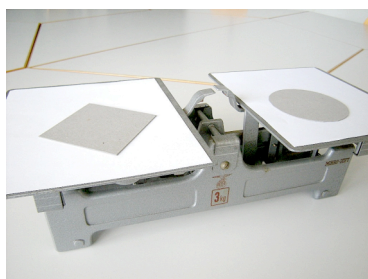
- Faire un croquis, mesurer, faire un dessin à l'échelle
- Concevoir et appliquer les formules permettant de calculer l'aire des polygones et du disque.
- Concevoir et appliquer le théorème de Pythagore.
- Exprimer des longueurs et des aires sous forme littérale (en formules).
- Calculer des longueurs et des aires avec l'aide de la machine à calculer (utilisation des touches $[x^2]$, $[\sqrt{x}]$, $[1/x]$, ...).
- Appliquer le principe d'équilibre d'une balance à fléaux inégaux avec des poids différents.
- Valoriser son imagination.
- Organiser efficacement sa démarche.
- Montrer de l'opiniâtreté.



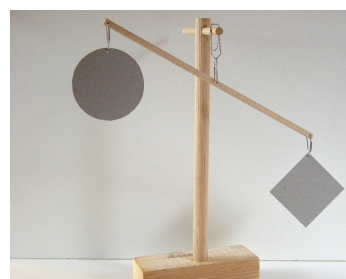
Représentation schématique d'une réalisation d'élève.

Immersion et conceptualisation

Au moyen d'une balance à plateaux d'épicier ou d'une simple balance à deux bras égaux, qui peut être confectionnée par les élèves, on peut créer des situations qui vont permettre de mettre en place des savoir-faire et de travailler à la construction de concepts.



Comparaison des poids (aires) d'un disque et d'un carré à l'aide d'une balance de Roberval à gauche et d'une balance artisanale à droite.

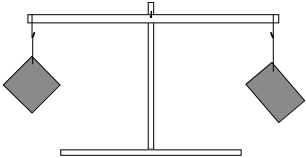
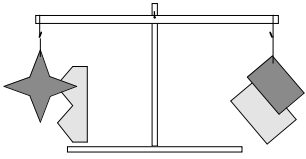


La balance artisanale est ici réalisée au moyen de baguettes de bois et d'agrafes trombones.

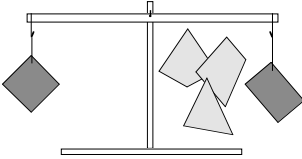
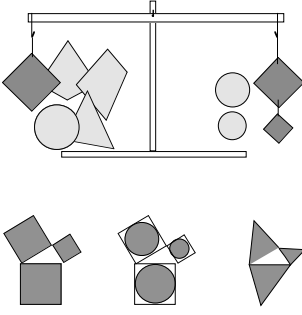
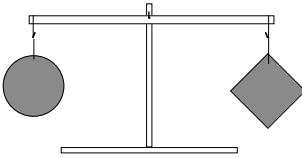


Le mieux est de percer les baguettes, mais on peut se contenter de leur faire des entailles. Une telle balance peut être très sensible (mieux que 50 milligrammes).

Tableau des situations d'immersion et de conceptualisation avec une balance

Objets et concepts	Exemples de consignes pour la phase d'immersion	Exemples de consignes pour la phase de conceptualisation
<p>Carré et rectangle</p> 	<p>Sur ta feuille de carton, dessine un carré que tu découpes et que tu suspends à une extrémité de la barre de ta balance.</p> <p>Découpe ensuite un rectangle (non carré) qui te permette d'obtenir l'équilibre de la balance.</p> <p>Fais-le d'abord trop grand puis modifie-le jusqu'à ce que tu obtiennes l'équilibre.</p>	<p>On te donne un carré en carton (par exemple de 5 cm par 5 cm).</p> <p>Tu dois trouver un moyen de découper un rectangle dont une dimension t'est donnée et qui pèse la même chose que le carré.</p> <p>Développe une stratégie en faisant des expériences.</p> <p>Une fois prêt, tu n'as plus le droit d'essayer pour voir. Tu dois calculer la seconde dimension du rectangle dont on te donne la première dimension et n'utiliser la balance que pour vérifier!</p> <p>Réfléchis ensuite à ces deux problèmes plus difficiles :</p> <p>1) On te donne les côtés du carré (par exemple 6 cm) et le périmètre du rectangle (par exemple 40 cm ou 26 cm).</p> <p>2) On te donne les côtés du carré (par exemple 5 cm) et on te demande de faire un rectangle qui soit deux fois plus long que large.</p>
<p>Polygone et rectangle</p> 	<p>Découpe un polygone ayant la forme que tu souhaites mais au moins 7 côtés et un angle rentrant.</p> <p>Découpe un rectangle (non carré) qui pèse la même chose que ton polygone.</p> <p>Fais-le d'abord trop grand puis modifie-le jusqu'à ce que tu obtiennes l'équilibre.</p>	<p>Découpe un polygone ayant la forme que tu souhaites mais au moins 7 côtés et un angle rentrant.</p> <p>Tu dois trouver un moyen de découper un rectangle (non carré) qui pèse la même chose que ton polygone.</p> <p>Développe une stratégie en faisant des essais. Vérifie ta stratégie avec d'autres polygones.</p> <p>Une fois prêt, tu n'as plus le droit d'essayer pour voir. Pour un polygone donné, tu dois fabriquer un rectangle et ne suspendre tes figures à la balance que pour vérifier.</p>

(Suite du tableau)

Objets et concepts	Exemples de consignes pour la phase d'immersion	Exemples de consignes pour la phase de conceptualisation
<p>Polygones</p> 	<p>Sur ta feuille de carton, dessine un carré que tu découpes et que tu suspends à une extrémité de la barre de ta balance.</p> <p>Découpe ensuite des polygones qui permettront chacun d'obtenir l'équilibre de la balance.</p> <p>Fais-les d'abord trop grands puis modifie-les jusqu'à ce que tu obtiennes l'équilibre.</p>	<p>On te donne un carré en carton.</p> <p>Tu dois trouver un moyen de découper un rectangle non carré, un triangle, un trapèze, un parallélogramme non rectangulaire qui pèsent la même chose que le carré.</p> <p>Développe une stratégie en faisant des essais. Vérifie ta stratégie avec d'autres carrés.</p> <p>Une fois prêt, tu n'as plus le droit d'essayer pour voir. Un carré t'étant donné, tu dois calculer les dimensions de tes figures et ne les suspendre à la balance que pour vérifier !</p>
<p>Théorème de Pythagore</p> 	<p>On suspend un carré découpé dans une feuille de carton au bout de la partie gauche de la barre.</p> <p>En faisant les essais nécessaires, entraîne-toi à obtenir l'équilibre en suspendant à l'autre extrémité de la barre deux carrés découpés dans la même feuille de carton.</p> <p>Recommence avec d'autres polygones puis avec des disques.</p>	<p>Trouve une méthode qui te permette de découper du premier coup deux carrés qui équilibrent la balance pour n'importe quel carré suspendu de l'autre côté de la balance.</p> <p>Développe une stratégie en faisant des essais. Vérifie ta stratégie avec divers carrés.</p> <p>Une fois prêt, tu n'as plus le droit d'essayer pour voir. Un carré t'étant donné, tu dois calculer les dimensions des deux autres carrés et ne les suspendre à la balance que pour vérifier !</p>
<p>Quadrature du cercle Nombre π</p> 	<p>Sur ta feuille de carton, dessine des disques de diverses tailles avec ton compas et découpe soigneusement ces disques.</p> <p>Découpe ensuite des carrés, un pour chaque disque de manière que chacun de ces carrés pèse la même chose que le disque correspondant.</p> <p>Fais ces carrés d'abord trop grands puis modifie-les jusqu'à ce que tu obtiennes l'équilibre.</p>	<p>On te donne un carré en carton.</p> <p>Tu dois trouver un moyen de découper un disque qui pèse la même chose que le carré.</p> <p>Développe une stratégie en faisant des essais. Vérifie ta stratégie avec divers carrés.</p> <p>Une fois prêt, tu n'as plus le droit d'essayer pour voir. Un carré t'étant donné, tu dois calculer la grandeur de ton disque et ne le suspendre à la balance que pour vérifier !</p>

L'enseignant s'appuie sur les interactions sociales pour conduire la classe dans l'élaboration des savoirs visés et aide les élèves à formaliser ces savoirs (institutionnalisation). Une phase de réinvestissement permet ensuite aux élèves de consolider leurs acquis.

La séquence d'enseignement se termine par un bilan individuel de *compétence* dans lequel chaque élève réalise un "mobile de Calder".

11.3 Algèbre et géométrie “à la loupe”

Intentions

En fin de parcours, à titre de bilan de *compétence*, les élèves doivent construire ce qui sera appelé un “télémètre à lentille”. C’est un instrument, confectionné avec deux tubes en carton télescopiques, une lentille de focale comprise entre 9 et 13 cm et du papier translucide (calque). La longueur de l’instrument est réglée de sorte qu’une image nette de ce qui est pointé par l’observateur qui s’en sert, se forme sur le calque. La *compétence* consiste à graduer l’instrument en distance de vision de manière non empirique en se servant d’un *modèle* algébrique ou géométrique.

En dehors de cette *compétence* attendue, une réflexion sur les diverses manières de modéliser le phénomène de projection d’une image par une lentille peut être demandée aux élèves.

Cahier des charges pour la confection du télémètre :

Tu vas utiliser cette espèce de lunette comme télémètre, c’est-à-dire comme un instrument qui te permet de mesurer la distance à laquelle se trouve un objet.

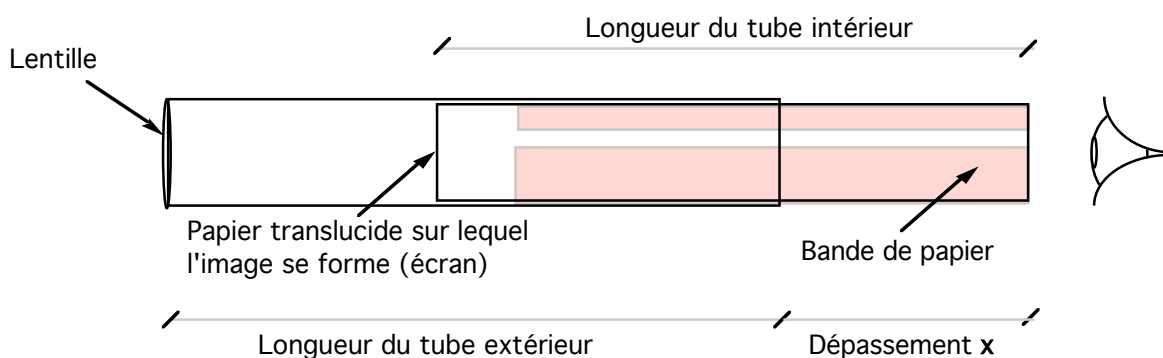
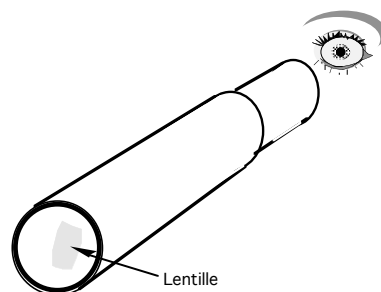
Lorsque tu pointes cette lunette contre l’objet, tu en vois une image qui se forme sur le papier translucide.

Pour que l’image soit nette, il faut que le tube intérieur soit enfoncé juste ce qu’il faut dans le tube extérieur.

Tu dois rendre ce télémètre facile à utiliser. Il faut que l’on puisse lire sur l’instrument, quand on regarde un objet, la distance à laquelle cet objet se trouve. Pour cela, tu vas préparer une bande de papier qui sera fixée sur le tube intérieur comme indiqué sur le croquis et tu feras figurer sur cette bande les indications que tu jugeras utiles.

Conditions de préparation

Tu reçois le tube extérieur en carton. Tu reçois aussi le tube intérieur muni du papier translucide. La lentille est provisoirement fixée au tube intérieur¹. Tu n’auras le droit de l’enlever et de la fixer au tube extérieur que lorsque tu auras terminé ton travail pour rendre ton télémètre opérationnel et pour vérifier s’il fonctionne bien.



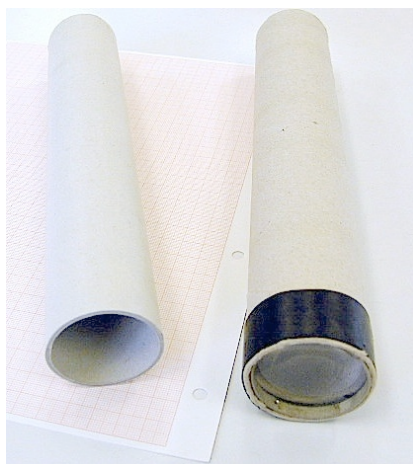
¹ Le premier travail de l’élève va être de déterminer la distance focale de la lentille en cherchant où placer un objet pour que son image nette se forme sur le papier translucide.

Le matériel à disposition

Le tube intérieur (à gauche) est muni d'une membrane translucide à l'une de ses extrémités. Son autre extrémité (visible ici) est ouverte.

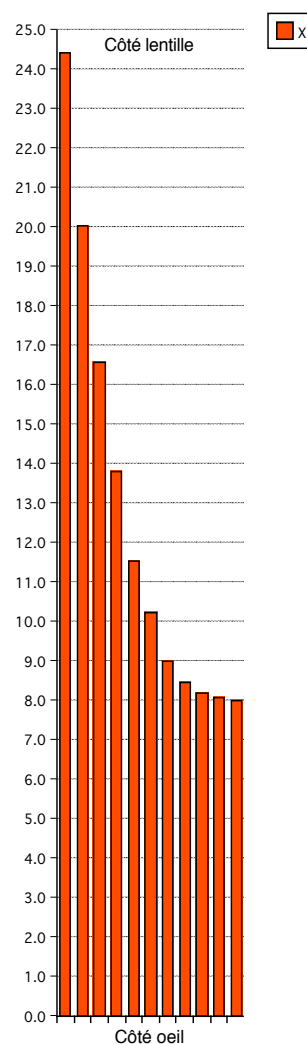
Le tube extérieur (à droite) est muni d'une lentille à l'une de ses extrémités.

L'élève reçoit les tubes avec la lentille fixée sur le tube intérieur.

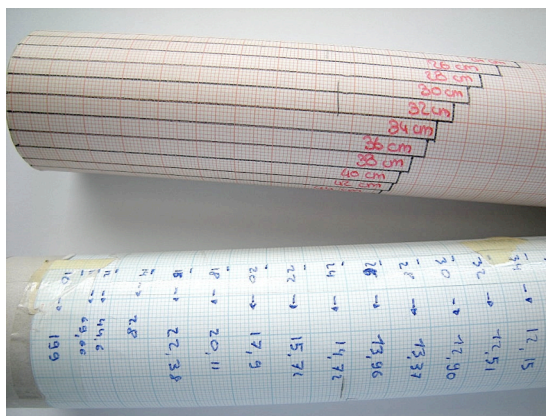
**Graduation des télémètres**

Ici, un élève a réalisé la graduation sur un ordinateur au moyen d'un tableur dans lequel il a introduit la loi des lentilles sous la forme d'une formule de calcul. Les distances sont en cm.

Focale en cm:	9.5	
Long. tube int.	25	Repère depuis
Long. tube ext.	26.5	l'extrémité du
		tube intérieur
Distance	Distance	Dépassement
Lentille-objet	Lentille-écran	x
15	25.9	24.4
17	21.5	20.0
20	18.1	16.6
25	15.3	13.8
35	13.0	11.5
50	11.7	10.2
100	10.5	9.0
200	10.0	8.5
500	9.7	8.2
1000	9.6	8.1
10000	9.5	8.0

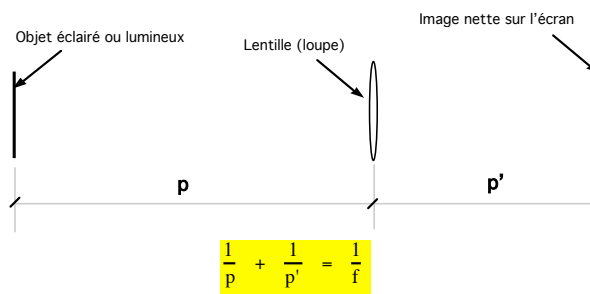


D'autres élèves ont fait les calculs avec des *modèles géométriques* et dessiné leur graduation à la main.



Modélisation du phénomène de projection d'une image par une lentille

Modèle algébrique : la "loi des inverses"

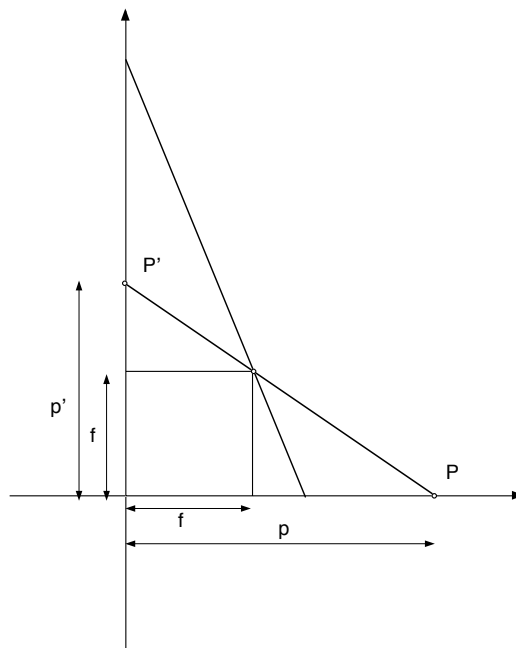


La grandeur f est appelée focale de la lentille.

Quand on regarde un objet placé extrêmement loin de la lentille ($p = \infty$), son image se forme à la distance f de la lentille ($p' = f$). C'est la plus petite distance lentille-écran qui permette d'avoir une image nette.

Quand on place un objet à la distance f de la lentille ($p = f$), son image est rejetée à l'infini ($p' = \infty$).

Modèle de Lissajous



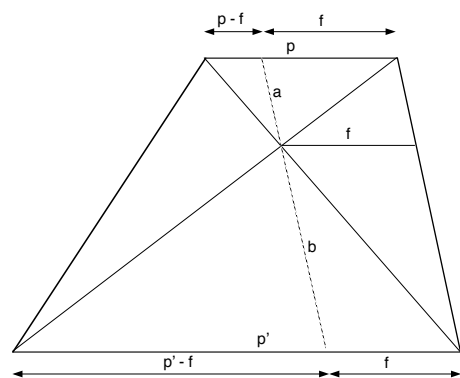
Remarques

On peut montrer l'équivalence formelle de ce modèle avec le modèle algébrique (loi des inverses).

Comme la loi des lentilles, ce modèle rend compte de ce qui se passe dans le cas de l'effet loupe (image virtuelle avec $p' < 0$).

Comme le modèle algébrique, ce modèle rend compte de ce qui se passe avec une lentille divergente ($f < 0$).

Modèle du trapèze



L'équivalence formelle de ce modèle avec la loi des lentilles peut s'expliquer ainsi :

En considérant deux paires de triangles semblables, on peut écrire :

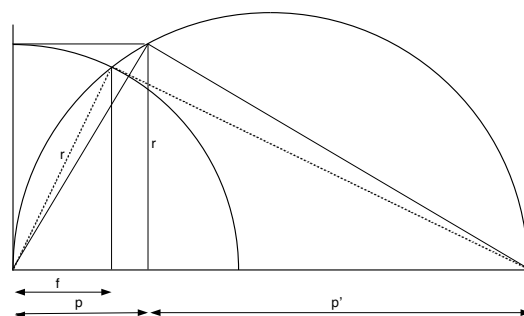
$$\frac{p-f}{f} = \frac{a}{b} = \frac{f}{p'-f}$$

Ce qui signifie que $(p-f)(p'-f) = f^2$

d'où $p p' - p f - p' f + f^2 = f^2 \Leftrightarrow p p' = p f + p' f$

et en divisant cette égalité par $f p p'$, on obtient : $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$

Modèle des deux triangles rectangles



L'équivalence formelle de ce modèle avec la loi des lentilles peut s'expliquer ainsi :

$p p' = r^2$ (Théorème de la hauteur)

$f(p + p') = r^2$ (Théorème d'Euclide)

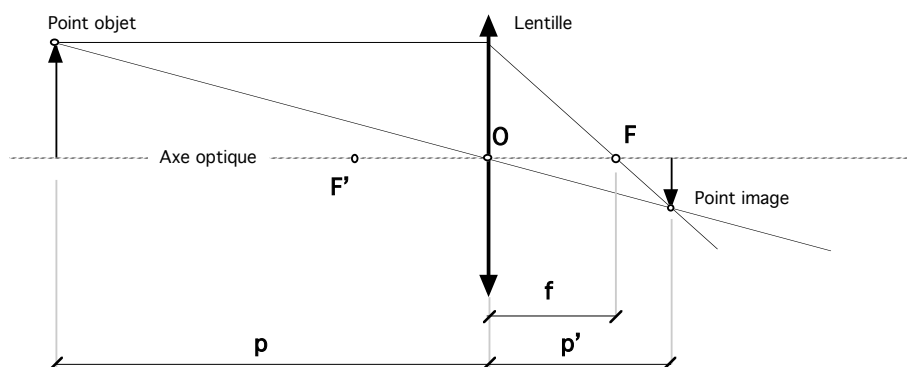
$p p' = f p + f p'$

et en divisant cette égalité par $f p p'$, on obtient : $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$

Le modèle “canonique”

C'est un *modèle* géométrique souvent présenté à l'école.

Le point image se détermine par l'intersection entre le “rayon lumineux” provenant du point objet, passant sans être dévié par le centre optique O, et le “rayon lumineux”



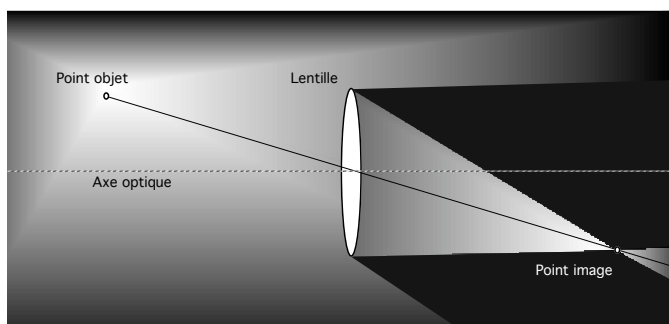
qui, après avoir été parallèle à l'axe optique, passe par l'un des foyers de la lentille.

L'inconvénient de ce *modèle*, aggravé par le fait que l'on parle de “rayon lumineux”, est sa ressemblance avec la réalité physique. À la question « que se passe-t-il si l'on masque la partie supérieure de la lentille ? », les élèves répondent, en se référant à ce schéma, que l'image ne se forme pas car un rayon nécessaire à la construire est interrompu !

Les autres *modèles* géométriques n'ont pas cet inconvénient puisque leur expression symbolique n'a plus de ressemblance avec la réalité.

D'autre part, il faut souligner l'importance d'une représentation du phénomène qui permette de répondre à des questions auxquelles les *modèles* dont il a été question jusqu'ici ne répondent pas et qui sont :

- Avec un objet lumineux ponctuel, que voit-on sur un écran qui, derrière la lentille, est placé plus près ou plus loin que le point image ?
- Que se passe-t-il si l'on masque une partie de la lentille ?
- Comment se représenter la formation de l'image d'un objet non ponctuel (un dessin ou une photographie par exemple) ?



Ce schéma participe d'une représentation phénoménologique. La lentille constitue un obstacle à la propagation de la lumière et crée (pour un point objet lumineux) un cône d'ombre (cône tronqué noir). À l'intérieur de ce cône d'ombre, un faisceau lumineux forme un cône de lumière dont le sommet constitue le point image. L'intensité lumineuse décroît à partir de la source (point objet) de même qu'elle décroît, dans le cône de lumière, à partir du point image.

Si on place une lampe ponctuelle et une lentille dans une cuve remplie de fumée, on peut observer quelque chose qui ressemble à ce schéma.

Immersion et problématisation

Une fois de plus, le travail de conceptualisation s'opère grâce à une bonne problématisation et se prépare dans une phase d'*immersion*. Cette dernière doit familiariser l'élève avec le phénomène et installer la représentation exprimée par le schéma ci-dessus. Les élèves doivent promener des écrans dans des cônes de lumière obtenus avec des lentilles.

Ils doivent déplacer les objets lumineux et l'écran, ils doivent multiplier le nombre d'objets lumineux, ils doivent travailler avec des dessins éclairés et projetés au moyen de lentilles. La loi de lentilles ou le *modèle* de Lissajous peuvent se “vivre” en approchant continûment d'une lentille une source ponctuelle ou un objet éclairé tout en déplaçant l'écran pour y maintenir une image nette. Cela imposera une gestuelle qui fera sentir que lorsque l'objet s'approche d'une limite particulière (un plan focal de la lentille), l'écran s'en éloigne à une vitesse croissante. Réciproquement, l'écran étant approché régulièrement de la lentille, l'objet lumineux doit en être éloigné à une vitesse toujours plus grande et finalement rejeté très loin lorsque l'écran s'approche de l'autre plan focal de la lentille. La loi des lentilles qui lie les grandeurs f , p et p' est ainsi abordée d'une manière kinesthésique qui fait *vivre-sentir* comment évoluent corrélativement les variables p et p' pour f fixé.

À propos...

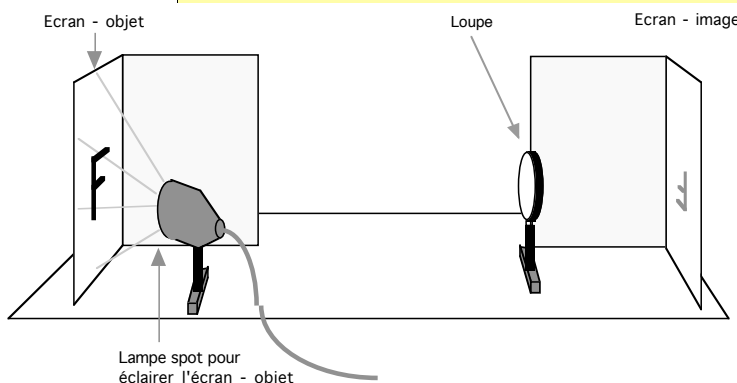
Il faut remarquer au passage que dans l'enseignement des mathématiques, de manière plus générale, une telle approche kinesthésique des fonctions s'avère profitable aux élèves.

Pour cette phase d'*immersion*, les consignes données aux élèves sont telles qu'elles les engagent à interagir avec le milieu (*expérientiation*) sans toutefois être des *situations-problèmes*. On peut imaginer des situations où il faut deviner puis dire ce qu'on voit, le reproduire plusieurs fois (savoir-faire), le dessiner. On peut imaginer des jeux à deux ou plusieurs, certains élèves devant reproduire ce que d'autres leur montrent, etc.

Quant à la problématisation qui va créer le besoin d'une loi (quelle que soit sa forme) elle revêt évidemment la forme d'un défi : celui d'être capable de disposer un objet lumineux, une lentille et un écran de sorte à obtenir à coup sûr (sans tâtonner) une image nette de l'objet sur l'écran. On peut imaginer diverses formulations qui ne s'excluent d'ailleurs pas les unes les autres, mais peuvent se compléter.

Un exemple de situation d'immersion et un exemple de situation de conceptualisation

Objets et concepts	Exemple de consignes pour la phase d' <i>immersion</i>	Exemple de consignes pour la phase de conceptualisation
Une lampe spot éclaire un dessin. Sous certaines conditions, une image de ce dessin, produite par une loupe, se forme sur un écran.	<p>Fais un dessin asymétrique que tu disposes sur un écran (l'écran-objet). Place une lampe spot de côté pour éclairer ton dessin. Installe la loupe sur un support et mets-là en face de ton dessin. De l'autre côté de la loupe, dispose un écran blanc (écran-image).</p> <p>Allume la lampe. Si tu places ton écran à la bonne distance de la loupe tu verras apparaître sur cet écran une image de ton dessin.</p> <p>Si cela ne marche pas, éloigne l'écran-objet de la loupe.</p>	<p>Fais un dessin de ton choix sur une feuille blanche que tu fixes sur le support (écran-objet).</p> <p>Trouve une stratégie qui te permette, lorsque tu auras placé la loupe devant ton dessin à une distance donnée, de savoir où placer l'écran pour obtenir une image nette de ton dessin.</p> <p>Quand tu es prêt...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Eteins la lampe spot et demande à ton camarade ou au professeur de placer l'écran-objet en un certain endroit. 2) Place l'écran-image à l'endroit qui te paraît bon. 3) Allume la lampe et contrôle si l'image est nette. <p>Vérifie ta stratégie dans des situations où la distance entre la loupe et le dessin est différente.</p>



Il est pratiquement impossible que les élèves trouvent la loi de lentilles par eux-mêmes à moins qu'on les incite à chercher de l'information hors de leur cadre expérimental.

Pédagogiquement parlant, il est bien sûr hors de question qu'ils "trouvent" cette loi par la grâce d'un effet Topaze². Comme cela a déjà été dit à propos d'autres objets d'apprentissage, il n'est nullement nécessaire que les élèves trouvent (ou croient trouver) par eux-mêmes ce qu'on veut les amener à concevoir.

Ce qui est nécessaire par contre est d'avoir créé un besoin précis auquel une réponse peut être apportée, d'une manière ou d'une autre, une réponse qui donne aux élèves un pouvoir nouveau.

À ses élèves qui étaient aux prises avec le défi de placer correctement un écran pour y recueillir une image nette d'une bougie, l'enseignant a suggéré d'établir une relation graphique en traçant des segments reliant un point P correspondant à la distance lentille-objet et un point P' correspondant à la distance lentille-image, placés sur deux axes orthogonaux (voir le *modèle* de Lissajous ci-dessus). Ce faisant, il a laissé ses élèves s'apercevoir que ces segments se croisent à peu près en un point (il y a des imprécisions expérimentales) et faire l'hypothèse qu'il doit en être systématiquement ainsi. Du coup, ce graphique est devenu pour eux un outil qui permet de prévoir des situations nouvelles avant de les réaliser. En quelque sorte, une amorce a été donnée aux élèves qui ont parachevé le *modèle* et qui ont ensuite cherché tout ce qu'il permet de dire sur le phénomène de projection de l'image, notamment ce que représentent les coordonnées du point d'intersection des segments... et tout ce qu'il ne permet pas de dire, comme ce qu'on voit sur l'écran quand il n'est pas au bon endroit.

Le problème des deux images – Une équation du 2^e degré

La projection d'une image par une lentille est une occasion, pour les élèves, de concrétiser les idées de solution d'une équation du 2^e degré, de discriminant et de cas limite. De telles occasions ne sont pas faciles à trouver, tout au moins si on veut pouvoir les réaliser avec du matériel simple. Ici, quelques lentilles (loupes de bureau de focales non identiques), une surface blanche (écran) et une source lumineuse suffisent. Si la source est une lampe (filament visible), on peut travailler en pleine lumière. Si on projette un dessin éclairé, il faut partiellement obscurcir la salle.

Il y a différentes façons de problématiser cette situation selon les intentions de l'enseignant et selon le niveau de connaissances des élèves. On peut bien sûr mettre ces derniers au défi de prévoir les positions d'une lentille donnée entre un objet lumineux et l'écran et leur donner des aides ciblées le moment venu. On peut aussi leur donner le graphique correspondant à un cas pratique et leur demander de l'adapter à d'autres cas puis de s'en servir comme *modèle* prédictif. On peut leur demander de traiter algébriquement la loi de lentilles et d'établir une équation de degré 2 en la validant par des expériences. Cette liste de suggestions n'est pas exhaustive. Le choix est opéré par l'enseignant en fonction de ses intentions.

² Voir §5.2 à propos de l'effet Topaze

De $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ et en posant $D = p + p'$,

on passe à $p^2 - Dp + Df = 0$ (ou à $p'^2 - Dp' + Df = 0$)

qui peut se traduire en $p \text{ (ou } p') = \frac{D}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4f}{D}} \right)$

ou sous forme “pratique” en $p^2 = Dp - Df$

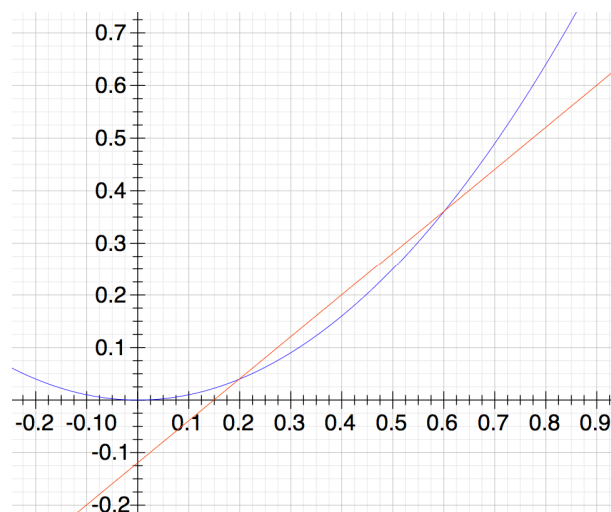
Analyse :

Lorsque $D = 4f$, on est dans le cas où l'équation admet une unique solution. La lentille doit être exactement au milieu, entre l'objet et l'écran.

Pour $D > 4f$, Il y a deux solutions (symétriques). Une image nette peut être obtenue pour deux positions de la lentille.

Pour $D < 4f$, Il n'y a pas de solution. Aucune image nette ne peut être obtenue.

La “forme pratique” de l'équation se prête bien à des résolutions graphiques puisque la parabole p^2 reste la même dans tous les cas et que la droite $Dp - Df$ (fonction de p) est facile à tracer.



Ce graphique visualise la solution de $p^2 = 0.80p - 0.15 \cdot 0.80$, c'est-à-dire les positions de la lentille de focale $f = 0.15$ m pour une distance $D = 0.80$ m séparant l'objet lumineux de l'écran.

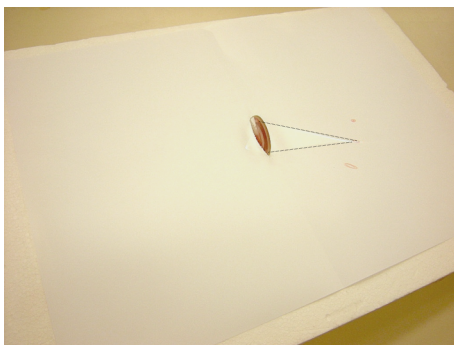
Ces solutions sont 0.20 m et 0.60 m

La “loi des lentilles” mise en défaut !

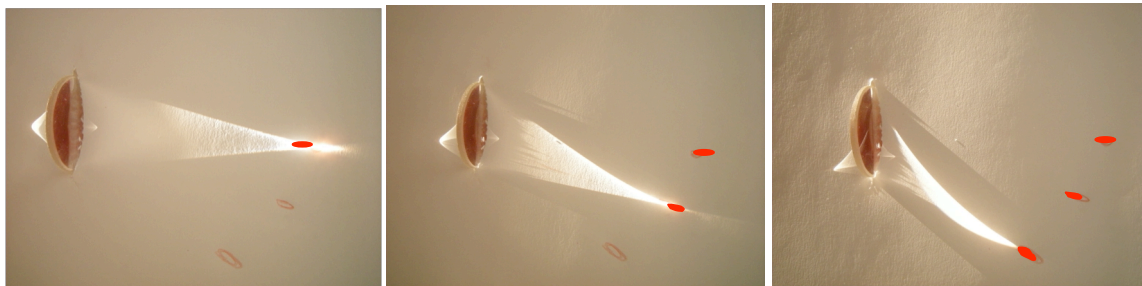
Les *modèles* dont il a été question jusqu'ici sont tous formellement équivalents. Ils correspondent à une “loi des lentilles MINCES”. À dessein, l'adjectif “mince” n'a jamais été énoncé. Pourtant les lentilles vraies, en particulier les loupes ou les lentilles de relativement courtes focales “font de la résistance au *modèle*”. Plus exactement, il est des phénomènes ou des comportements des lentilles qui ne se laissent pas décrire par ces *modèles* un peu trop simples. Il y a différentes sortes d'aberrations (sphéricité, chromaticité, coma,...). Il y a surtout le fait qu'à un “plan objet” ne correspond pas un “plan image”, mais une “surface image courbe”. Tant que les élèves travaillent dans des conditions qui minimisent ces effets, la nécessité de les prendre en compte ne se présente guère.

Mais on peut prendre la question par l'autre bout et se demander s'il n'y aurait pas là une opportunité pour faire réfléchir les élèves à l'idée de *modèle*. Surgit alors la question suivante : dans quelle situation pourrions nous “fourrer” nos élèves pour que leurs *modèles* de type “loi des inverses” (algébriques ou géométriques) deviennent insatisfaisants au point qu'un autre *modèle* soit le bienvenu.

Les *modèles* vus jusqu'ici induisent l'existence de plans focaux. Lorsqu'un ensemble de points lumineux se trouvent dans un même plan perpendiculaire à l'axe optique, les points images correspondants se trouvent également dans un même plan perpendiculaire à l'axe optique. Autre manière de dire les choses : une lentille fait converger des faisceaux de lumière provenant d'une source lointaine en des points qui se trouvent dans un plan focal de la lentille. Pour chaque direction d'incidence du faisceau lumineux sur la lentille, il y a un point dans ce plan. Or, dans la réalité, la surface sur laquelle se distribuent ces points a une forme courbe voisine d'une sphère (un cercle en projection dans le plan). Si les points lumineux courent dans un plan relativement proche de la lentille, cette surface se rapproche d'un ellipsoïde (une ellipse dans le plan).

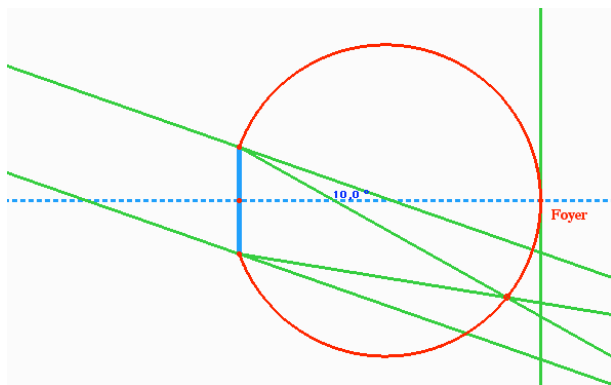


Dans une plaque en mousse plastique, on a fait un trou permettant d'y enfoncer une lentille jusqu'à mi-hauteur. Une feuille de papier, perforée pour la lentille, est posée sur la plaque. En l'éclairant avec une lampe assez éloignée ou le soleil, ce dispositif permet de visualiser le faisceau lumineux et de tracer le lieu des foyers pour un faisceau incident fait de "rayons" parallèles. Ce lieu est assez mal défini car les aberrations sont importantes dans une telle situation. On peut toutefois voir se confirmer qu'il s'agit d'une ligne courbe ayant l'axe optique de la lentille comme axe de symétrie.



Il faut remarquer que dans les appareils photo, ce problème, comme celui d'autres aberrations, est contourné grâce à la complexification de l'objectif et par le fait que les angles restent petits. Par contre, dans l'œil, qui se comporte comme une lentille quasi-sphérique, la surface de la rétine sur laquelle est captée l'image a une forme courbe qui épouse la surface de formation de l'image.

L'utilisation d'un *modèle* "loi des inverses" ou d'un équivalent géométrique est mise en défaut dans de telles situations de lentilles "épaisses" et d'angles relativement grands. Il est donc facile de confronter les élèves à ces situations et de leur faire sentir le besoin d'un nouveau *modèle*.



Mais quel nouveau *modèle* ? Une nouvelle approche géométrique nous propose quelque chose. Il s'agit du "*modèle de l'angle constant de déviation*". En effet, si l'on admet qu'un "rayon lumineux" passant par le bord de la lentille est dévié d'un angle qui ne dépend que de la focale et du diamètre de la lentille, on obtient des lieux de points image qui sont des cercles ou des ellipses assez proches de ce qui peut être observé empiriquement.

Cette figure a été obtenue avec un logiciel de géométrie³. L'angle constant de déviation par les bords de la lentille est de 10 degrés. Les "rayons lumineux" convergent en un point qui se déplace sur un cercle lorsque la direction des rayons incidents varie. Si la focale f est définie par la position du foyer principal (sur l'axe optique), l'angle de déviation est donné par $\tan^{-1}(r/f)$ où r est le rayon de la lentille.

Un tel *modèle*, comme le *modèle* "canonique", présente une ressemblance avec la réalité physique. D'autant qu'ici aussi on parle de "rayons lumineux". Mais l'avantage de ce *modèle* est qu'on peut directement le superposer à des observations.

3 En l'occurrence avec le logiciel Cabri® II Plus

11.4 Une balance pour les fractions

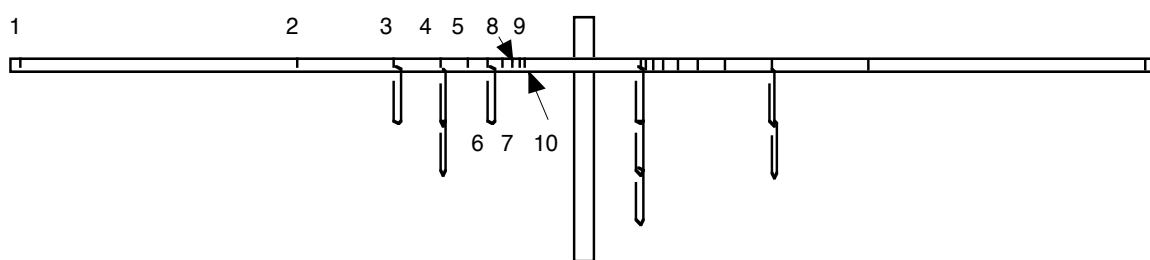
Au début de ce chapitre, il a été dit que les outils de calcul et algorithmes enseignés à l'école sont bien souvent décalés des pratiques sociales auxquelles les élèves participent. Le calcul avec des fractions a été mentionné comme exemple.

Puisqu'il est difficile de s'appuyer sur des situations de la vie de tous les jours pour justifier l'apprentissage de l'algorithme de l'addition des fractions ordinaires, peut-on au moins imaginer une situation dans laquelle cet algorithme s'avère être un bon outil ? Même artificielle, une telle situation doit permettre aux élèves d'interagir avec des objets.

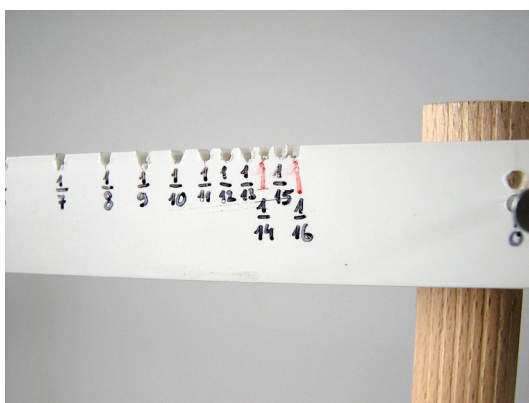
Voici une idée qui a été mise en pratique avec des élèves de 14 ans environs. Il s'agit d'une sorte de balance que l'on met en équilibre en suspendant à son fléau des petits objets ayant tous la même masse, des agrafes trombones en l'occurrence.

Une barre de fléau est taillée d'encoches. Les encoches des extrémités correspondent à l'unité (nombre 1). Il y a une encoche à mi-distance depuis l'axe qui représente le nombre $1/2$, puis au tiers de la distance pour le nombre $1/3$. De la même manière, il y a des entailles pour les nombres $1/4$, $1/5$, $1/6$, $1/7$, etc. Dans la pratique avec une règle d'environ un mètre de long, on arrive à faire une encoche jusqu'à $1/16$.

Ce dispositif permet une problématisation qui rend nécessaire l'algorithme de l'addition.



Cas d'équilibre traduisant l'égalité $1/3 + 2/4 + 1/6 = 3/9 + 2/3$. On peut aussi vérifier que cette somme est égale à 1 en remplaçant d'un côté ou de l'autre toutes les agrafes par une seule placée dans l'encoche de l'extrémité de la barre.



Ce détail montre qu'on a pu faire des encoches jusqu'à $1/16$. Au-delà, la largeur des entailles dépasse les distances qui les séparent.



Ici, les agrafes sont disposées pour représenter la somme $1/3 + 3/6 + 2/8$ qui excède de $1/12$ le nombre 1 obtenu à droite d'où le déséquilibre de la balance.

Problème de fractions.

Un gâteau est découpé en quatre parties égales. Un frère et une sœur partagent l'une de ces parties en trois et prennent chacun un de morceaux obtenus. Quelle part du gâteau reste-t-il à manger ?
Un tel problème se pose-t-il dans la vie quotidienne ?

11.5 Symétrie, vitre et miroir plan

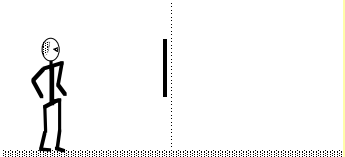
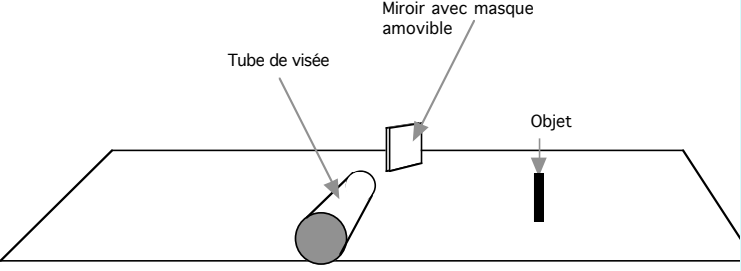
Un cadre pour les miroirs

D'un objet placé devant un miroir, celui-ci produit une image symétrique par rapport au plan du miroir (en trois dimensions). La projection du miroir, des objets et de leurs images sur un plan perpendiculaire au miroir fait apparaître une figure comportant une symétrie axiale, l'axe de symétrie étant la projection de la surface réfléchissante.

Certains enseignants sont réticents à l'idée de se servir d'un miroir pour traiter de la symétrie axiale. Ils jugent que la symétrie axiale est un concept mathématique qui n'a rien à voir avec le phénomène physique de production d'une image par un miroir. Mais si l'on considère que la symétrie axiale (dans un plan) peut constituer un *modèle* pour décrire et prévoir certaines situations observables avec un miroir, il se justifie de mathématiser le phénomène de réflexion ou de travailler la symétrie avec des miroirs. Ce qui est intéressant, c'est que l'on peut créer des situations permettant aux élèves de construire simultanément et réciproquement le concept de symétrie et celui de réflexion par un miroir.

Quelques situations d'*immersion* et de conceptualisation avec des miroirs

Tableau d'exemples construits sur la base de quatre environnements didactiques

Objets et concepts Environnement didactique	Exemples de consignes pour la phase d' <i>immersion</i>	Exemples de consignes pour la phase de conceptualisation
<p>① Miroir rectangulaire ou rond d'environ 50 cm de hauteur dans un plan vertical – Haut du miroir placé à la hauteur du cou.</p> 	<p>Place-toi à environ deux mètres du miroir. En restant bien droit, tu ne vois ni ta tête, ni tes pieds.</p> <p>Est-ce que ça s'arrange quand tu t'éloignes du miroir ou quand tu t'en approches <u>en restant bien droit</u> ?</p>	<p>Etude de cas</p> <p>Tu veux installer dans ta chambre un miroir dans lequel tu veux pouvoir te voir en entier lorsque tu es debout.</p> <p>Quel miroir que vas-tu acheter ?</p> <p>Comment l'installeras-tu ?</p> <p>À quelle distance de ton miroir te placeras-tu pour te voir en entier ?</p>
<p>② Sur une grande feuille de papier ou directement sur ta table est fixé un tube de carton. Tu disposes d'un petit miroir sur lequel il y a un masque en papier qui peut être facilement relevé. tu disposes encore d'un petit objet (par exemple un capuchon de stylo) que tu places sur la table.</p> 	<p>En choisissant bien l'endroit où tu poses le miroir et en orientant correctement ce dernier, tu peux faire que l'objet soit visible en regardant dans le tube en carton.</p> <p>Bien sûr, tu ne vois pas réellement l'objet à l'endroit où il se trouve. Tu vois ce qu'on appelle une image de l'objet.</p>	<p>Entraîne-toi à placer l'objet et le miroir de manière à ce que l'objet soit visible au travers du tube (son image, produite par le miroir, est visible).</p> <p>Cherche une stratégie qui te permette d'y arriver à coup sûr.</p> <p>Quand tu penses être prêt...</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Demande à ton camarade ou au professeur de placer l'objet à un endroit de son choix. 2) Place le miroir masqué à l'endroit voulu et dans la position voulue. 3) Enlève le masque du miroir et vérifie que tu vois bien une image de l'objet.

(Suite du tableau)**Environnement**

③ Sur une grande feuille de papier ou directement sur ta table est posée une vitre maintenue verticale par un support.

Deux objets identiques sont disposés l'un devant et l'autre derrière la vitre. On voit une image (reflet) de l'objet placé devant la vitre.

Immersion

Entraîne-toi à placer de part et d'autre de la vitre servant de miroir, sans faire aucune mesure, deux objets identiques de manière qu'un des objets coïncide avec l'image de l'autre.

Réalise des cas où la vitre n'est pas entre les deux objets.

Conceptualisation

Trace une ligne droite sur la feuille et dispose la vitre sur cette ligne.

Entraîne-toi à placer les deux objets identiques de sorte qu'un des objets coïncide avec l'image de l'autre.

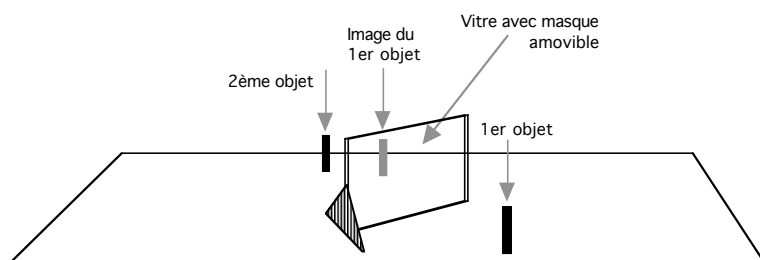
Cherche une stratégie qui te permette d'y arriver à coup sûr.

Quand tu penses être prêt, masque la vitre avec une feuille de papier et...

1) Demande à ton camarade ou au professeur de placer l'objet où il veut devant la ligne du miroir.

2) Place le second objet à l'endroit voulu et dans la position voulue.

3) Enlève le masque de la vitre et vérifie que le second objet coïncide bien avec l'image du premier.



④ Sur un carton mou, on dispose une feuille de papier sur laquelle on a tracé une ligne droite. Un miroir est fixé à un support de manière à ce qu'on puisse le placer sur le papier en position verticale.

Sur ce miroir, il y a un trait vertical*. Pour une position donnée du miroir le long de la ligne droite, ce trait permet de repérer un point de la ligne droite.

Les deux épingles seront plantées dans le carton devant la ligne.

*Le mieux est de graver le trait de repère dans la couche réfléchissante du miroir.

Place les deux épingles devant la ligne à des distances quelconques (mais sur la feuille de papier). Ensuite, pose le miroir le long de la ligne et déplace-le, le long de cette ligne, jusqu'à ce que tu puisses voir, **bien alignés**, la première épingle, le trait gravé sur le miroir et l'image de la seconde épingle.

Sans chercher de stratégie exacte, seulement à l'oeil, entraîne-toi à placer les deux épingles et le miroir de manière à obtenir le meilleur alignement possible.

Trace une ligne sur une feuille de papier et marque un point de repère sur cette ligne. Pose cette feuille sur le support mou et plante une épinge sur le repère.

Aligne soigneusement une épinge placée devant la ligne, l'épinge du trait de repère et une troisième épinge que tu places derrière la ligne.

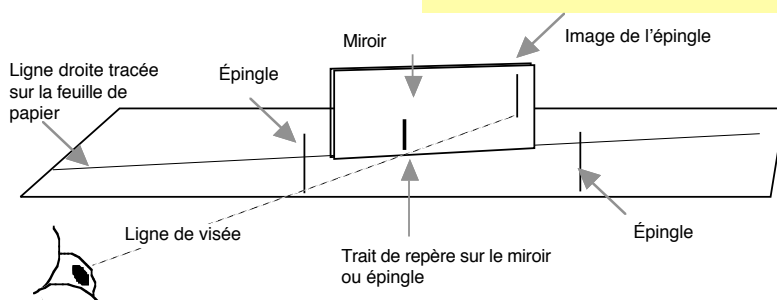
Ton problème est de réussir à placer une quatrième épinge devant la ligne à un endroit tel que lorsque tu poses le miroir sur la ligne, tu continues à voir trois épingles bien alignées (l'image de la quatrième épingle se substitue à la troisième).

Quand tu penses avoir trouvé une stratégie, prépare une feuille avec une ligne sur ton support mou et demande à ton camarade ou au professeur de placer une épinge de part et d'autre de la ligne. À toi maintenant de placer...

1) une épinge qui corresponde au repère sur la ligne,

2) une épinge devant la ligne.

Vérifie avec le miroir qu'il y a bien alignement.



L'environnement didactique N° ② induit la recherche d'une stratégie qui va s'appuyer sur la loi des angles égaux d'incidence et de réflexion.

Les problèmes posés dans les autres environnements didactiques conduisent à construire des images par symétrie axiale.

Demander aux élèves d'établir formellement l'équivalence de ces deux modèles peut être un projet de l'enseignant.

11.6 Une réflexion sur la réfraction

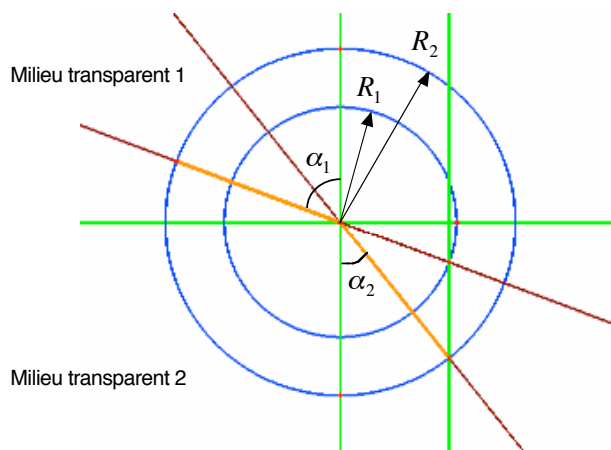
Quand rencontre-t-on des sinus et des cosinus dans la vie courante ? On en rencontre souvent sans qu'on le sache. Chaque fois pare exemple qu'on ait amené à distinguer la longueur d'un segment ou d'une trajectoire de sa projection sur un plan (l'ombre d'un piquet, la distance sur une carte, la dénivellation d'un tracé, l'empattement d'une échelle). Ou chaque fois qu'on observe la projection d'un mouvement circulaire (la valve sur une roue, le va-et-vient d'une bielle). De telles situations donnent à l'enseignant des occasions de mettre en place une problématisation. Il s'agit d'associer le concept de sinus ou de cosinus au concept de projection selon un angle ou il s'agit de co-construire ces concepts.

On sait que le phénomène de la réfraction se laisse modéliser par une loi qui relie les angles d'incidence et de réfraction d'un "rayon lumineux" qui traverse l'interface de deux milieux transparents.

C'est la loi de Descartes : $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$

où n_1 et n_2 sont des nombres qui caractérisent les pouvoirs réfringents des deux milieux, pouvoirs réfringents qui sont inversement proportionnels à la vitesse de propagation de la lumière dans ces milieux.

On peut réaliser une construction graphique conforme à cette loi qui constitue un *modèle* géométrique du phénomène de la réfraction.



Les longueurs des rayons des deux cercles concentriques sont dans le même rapport que les indices de réfraction : $R_1 / R_2 = n_1 / n_2$

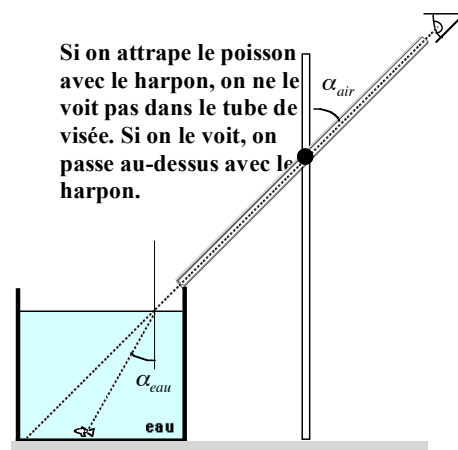
Cette construction est généralement désignée sous l'appellation de construction de Maxwell.

On peut réaliser cette construction au moyen d'un logiciel de géométrie et obtenir un effet de simulation qui permet de modifier continûment l'angle α_1 et de suivre la déviation obtenue. On peut aussi adapter les cercles aux indices de réfraction que l'on souhaite.

Immersion et problématisation

Au moyen d'une cuve d'eau et d'un tube de visée dans lequel on glisse une tige (harpon), les élèves peuvent "jouer" à atteindre un poisson (objet que l'on place au fond du bac). C'est un exemple d'activité qui s'inscrit dans la phase d'*immersion* à côté de nombreuses autres, réalisées avec des blocs de verre ou de matière plastique et des liquides.

La forme de problématisation la plus immédiate est naturellement le défi qui consiste à être capable de prévoir où placer le petit poisson pour une position donnée du tube de visée. Les élèves cherchent



Si on attrape le poisson avec le harpon, on ne le voit pas dans le tube de visée. Si on le voit, on passe au-dessus avec le harpon.

alors des stratégies. Ils s'intéressent souvent au rapprochement apparent, horizontal ou vertical, de l'objet observé et proposent des *modèles* plus ou moins satisfaisants.

S'ils ne le font pas spontanément, on peut leur demander de chercher une relation entre l'angle dans l'air et l'angle dans l'eau en leur montrant comment mesurer ces angles.

L'opportunité d'un *modèle* trop simple

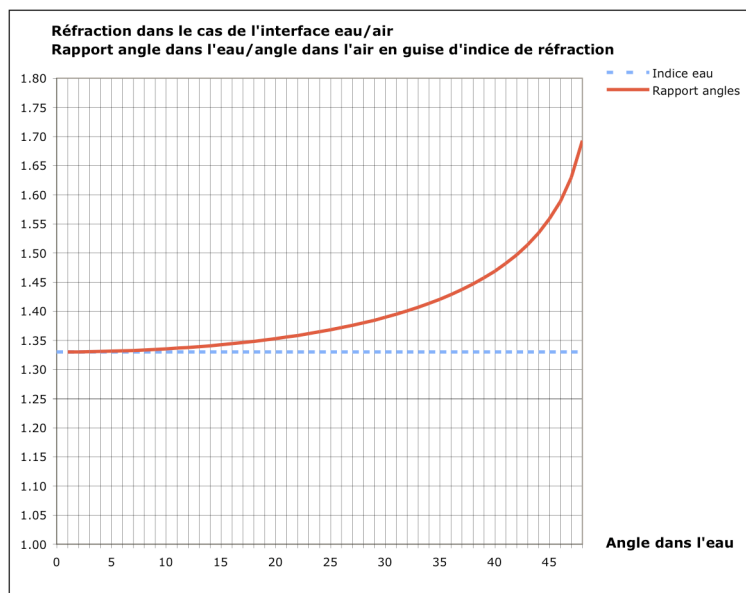
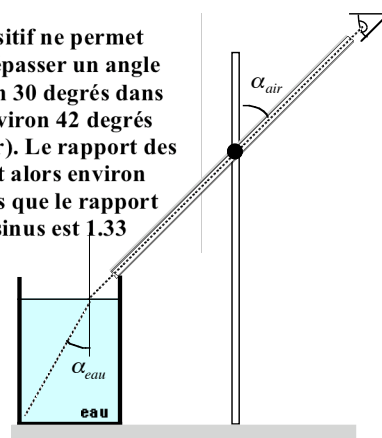
Comme pour la "loi des lentilles" il n'y a guère à espérer que les élèves découvrent la loi de Descartes par eux-mêmes à moins qu'on les incite à chercher de l'information hors de leur cadre expérimental. Par contre il arrive souvent qu'ils proposent une loi de proportionnalité entre les angles α_1 et α_2 . Quand il s'agit d'air et d'eau, les élèves proposent souvent un rapport de 3/2. Il arrive que certains, un peu chanceux, proposent 4/3, ce qui est à peu de chose près l'indice de réfraction de l'eau (celui de l'air étant 1). Quand il s'agit de verre ou de matière plastique, ils voient que le rapport est plus grand et proposent des valeurs comprises entre 1,5 et 2.

L'idée vient alors de commencer par placer les élèves dans des situations où ce *modèle* de la proportionnalité fonctionne de manière satisfaisante, c'est-à-dire des situations dans lesquelles les angles ne sont pas trop grands. On peut provisoirement institutionnaliser avec les élèves une loi du type $\alpha_1 / \alpha_2 = \text{constante}$, la constante caractérisant les milieux transparents. On peut parler ici du *modèle* de Kepler.

Ensuite, on place les élèves dans des situations qui vont faire apparaître des angles plus grands pour lesquels le *modèle* est mis en défaut. On crée ainsi un déséquilibre, un conflit qui conduit à mettre en doute le *modèle* institué. Toutes proportions gardées, on est dans une situation qui va obliger à un changement de paradigme et à instaurer un nouveau *modèle*. Celui-ci ne reniera pas complètement le premier, mais l'inclura comme cas particulier (cas des angles suffisamment petits pour que les incertitudes de mesures soient de même ordre ou plus grandes que l'erreur commise).

L'intérêt est de faire sentir aux élèves ce qui se passe et de se référer à l'histoire des sciences pour leur donner des exemples de changement de paradigme.

Ce dispositif ne permet pas de dépasser un angle d'environ 30 degrés dans l'eau (environ 42 degrés dans l'air). Le rapport des angles est alors environ 1.40 alors que le rapport de leurs sinus est 1.33



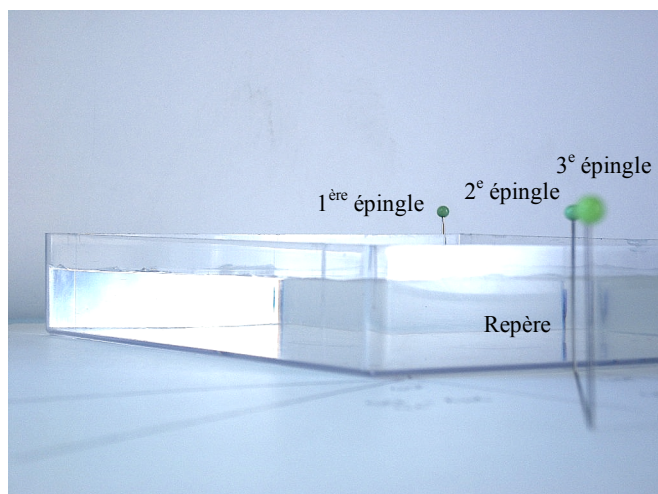
Ce graphique donne le rapport entre l'angle dans l'air et l'angle dans l'eau (angles mesurables conformes au modèle de Descartes). Il montre que le principe d'un rapport constant entre ces angles est mis en défaut. Toutefois, ce principe demeure une approximation soutenable pour des angles assez petits. L'écart est inférieur à 5% pour un angle dans l'eau plus petit que 30 degrés (angle dans l'air plus petit que 40 degrés). Il est inférieur à 2% pour un angle dans l'eau plus petit que 20 degrés (angle dans l'air plus petit que 28 degrés).

À l'aide d'une cuve d'eau ou d'un bloc en verre ou en plastique acrylique⁴

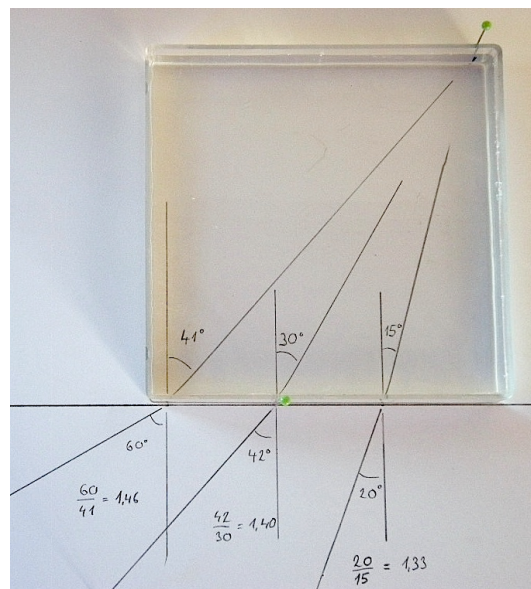
Un milieu didactique ne demandant que peu de matériel permet fort bien de problématiser le phénomène de réfraction. On utilise un bac d'eau rectangulaire (ou un bloc en verre ou en plastique), des feuilles de papier, des épingles et un support mou dans lequel on peut planter les épingles. Une règle, un crayon et un rapporteur d'angle complètent le tout.

En plaçant son œil au ras de la table, on peut aligner un trait vertical de repère tracé sur la face arrière de la cuve (dont l'emplacement est indiqué par une première épingle), une deuxième épingle piquée juste devant la cuve, et une troisième épingle piquée à environ 10 cm centimètres devant la cuve. Vues de dessus, ces épingles ne sont pas alignées, mais indiquent le trajet emprunté par la lumière provenant de la première épingle et atteignant l'œil. Ce trajet peut être tracé au crayon. Le phénomène de réfraction apparaît d'une manière qui peut être quantifiée par la mesure des angles.

Si la cuve est carrée, et compte tenu d'une certaine dispersion des mesures réalisées, le *modèle* de Kepler peut s'avérer satisfaisant. Il sera remis en question en prenant une cuve plus large que profonde, permettant des situations dans lesquelles l'angle dans l'eau s'approche de l'angle limite de 48.8 degrés au-delà duquel il y a réflexion totale. Le rapport entre les angles croît alors de manière marquée.

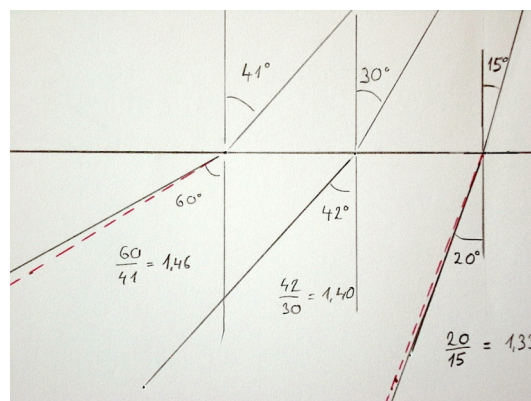


À l'œil, les deux épingles placées devant la cuve d'eau sont alignées avec le repère tracé sur le fond de la cuve. Ci-contre, trois lignes de visée ont été tracées, la cuve enlevée et les angles mesurés. Le rapport entre les angles dans l'air et les angles dans l'eau est compris entre 1.33 et 1.46



Une façon simple de problématiser la situation est de mettre les élèves au défi de prévoir où placer la troisième épingle si on pique les deux premières épingles n'importe où, l'une sur la face avant et l'autre sur la face arrière de la cuve.

Ici, les traitillés indiquent ce qui serait observé si les angles étaient dans le rapport constant de 1.40 Les écarts d'angles seraient de 1 à 2 degrés.



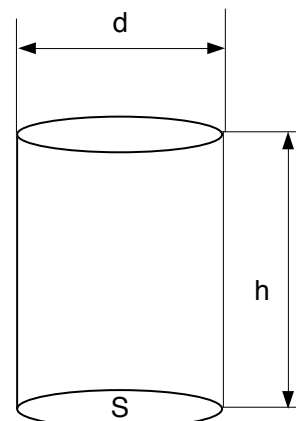
⁴ Connu sous le nom commercial de Plexiglas

11.7 Des modèles dans un gobelet

Un problème à boire

À ses élèves qui connaissent la formule du volume d'un parallélépipède rectangle et la formule du volume d'un cylindre, un enseignant montre un gobelet et leur demande : « pouvez-vous me calculer la quantité d'eau que je puis y mettre si je le remplis à ras ? ».

Ses élèves non seulement connaissent la formule du volume du parallélépipède rectangle et celle du volume du cylindre, mais ils savent très bien s'en servir. Ils calculent correctement les volumes des aquariums, des salles de classe et autres espaces de cette forme. Ils calculent très bien aussi le volume d'un fil électrique, d'une tige d'acier, d'un crayon rond. Ils savent aussi calculer le contenu d'un cylindre de laboratoire, d'une seringue, d'un tuyau, etc.



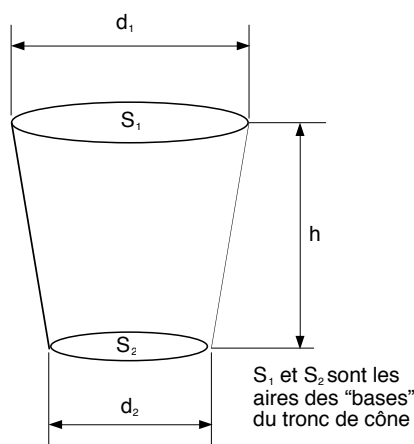
Volume du cylindre:

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

$$V = S h$$

Des élèves qui ont soif

Assez confiants dans leurs moyens, ces élèves ne se laissent pas désarçonner par le problème nouveau qui leur est donné ici.



Et bien évidemment, ils relient ce problème à leurs connaissances. C'est ainsi que l'idée de se servir de la formule du cylindre leur vient rapidement. Le gobelet, somme toute, ressemble passablement à un cylindre. Un cylindre un peu spécial puisque ses deux bases ne sont pas de même grandeur.

Notre enseignant met en place un travail de groupes de quatre élèves "modalité groupe" (§9.7). Il donne un gobelet en plastique à chaque groupe et met aussi à leur disposition des récipients d'eau et des cylindres gradués. « Allez-y, essayez et proposez quelque chose dont on puisse discuter tous ensemble ! ».

Les élèves travaillent assidûment et, après de grandes discussions et des essais, deux manières de calculer le volume du gobelet s'imposent dans la classe. La formule du volume du cylindre est reprise et adaptée. Dans un cas, les élèves font une moyenne des diamètres de chaque base du tronc de cône, dans l'autre cas, ils prennent la moyenne des aires des bases du tronc de cône.

$$V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 h$$

$$V = \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) h$$

Deux formules pour le volume du gobelet, chacune assimilées à un modèle

Un secret bien gardé

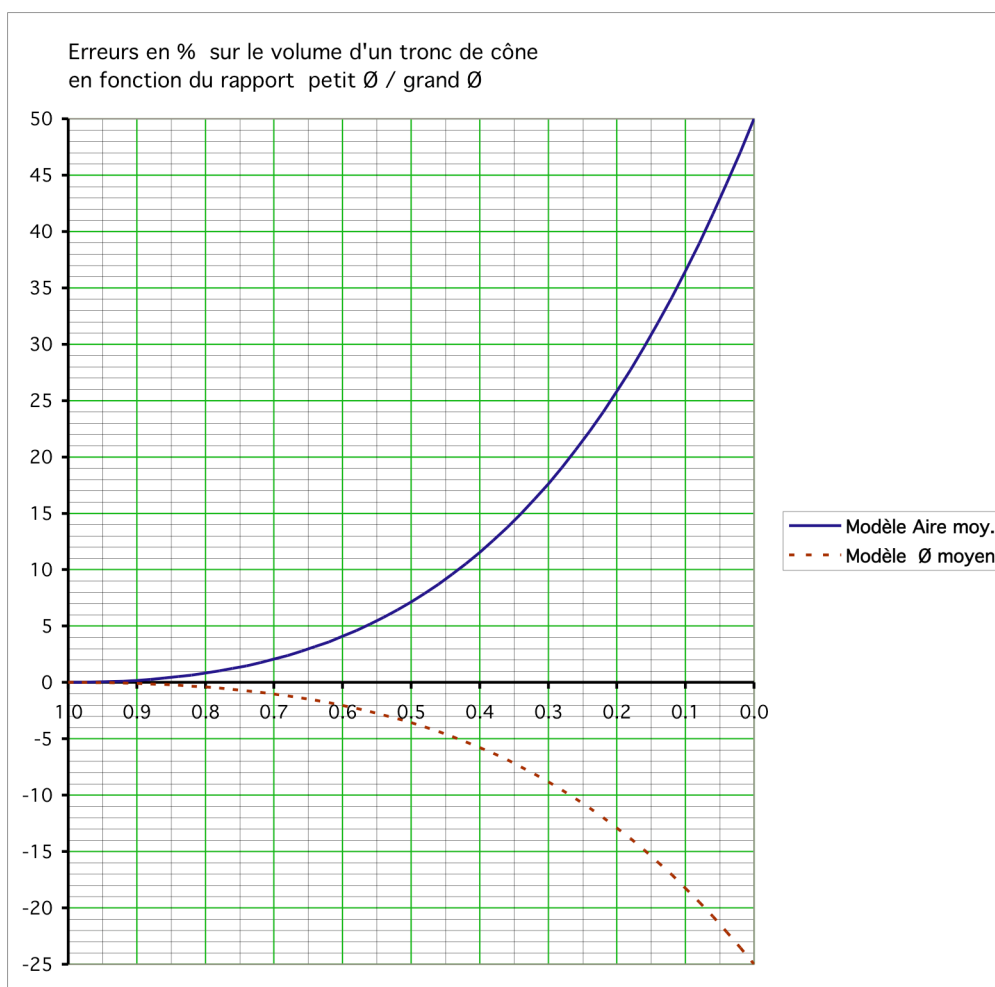
Mises à l'épreuve au moyen du gobelet proposé, ces formules donnent satisfaction toutes les deux. Les élèves calculent le volume de leur gobelet et comparent le résultat obtenu au volume d'eau contenu dans ce gobelet, mesuré à l'aide du cylindre gradué.

L'enseignant se garde bien dire que ni l'une ni l'autre n'est correcte. Il dit aux élèves : « on va considérer ces formules comme des *modèles* mathématiques permettant de calculer le volume d'un gobelet » Il lance alors la question : « ces *modèles* sont-ils équivalents – donnent-ils toujours le même résultat ? »

Mise à l'épreuve des *modèles* par la rigueur formelle et par l'expérience

L'intérêt de cette situation est qu'on peut travailler tant sur le plan algébrique que sur le plan phénoménologique.

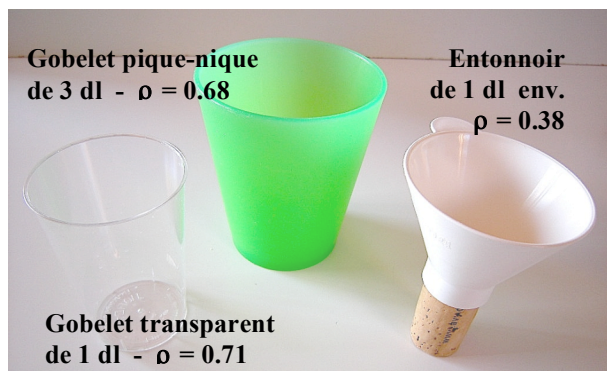
Sur le plan algébrique, quand les élèves remplacent S_1 par $\pi d_1^2 / 4$ et S_2 par $\pi d_2^2 / 4$, ils constatent que ces deux *modèles* ne sont pas équivalents. Une analyse plus fine montre qu'ils donnent pourtant le même résultat si les deux diamètres sont égaux (on est dans le cas du cylindre). Si l'un des diamètres est nul (cas du cône), le *modèle* de la base moyenne donne un volume deux fois plus grand que le *modèle* du diamètre moyen.



Les élèves mettent les *modèles* à l'épreuve de la réalité en faisant des mesures avec divers gobelets. S'ils prennent des gobelets à boire courants, en plastique transparent, le rapport petit diamètre sur grand diamètre est de l'ordre de 0.7. L'erreur sur le volume est alors de l'ordre de 2% avec le *modèle* de l'aire moyenne et de 1% avec le *modèle* du diamètre

moyen. Or même avec des mesures très soignées, il est très difficile de descendre au-dessous de 2% d'incertitude sur le volume déterminé à l'aide d'un cylindre gradué ou d'une balance de ménage au gramme. Il y a des incertitudes dans les mesures des diamètres et de la hauteur des gobelets de même que dans l'estimation de remplissage des gobelets (tension superficielle).

Les bons récipients



Il n'est pas facile de trouver des récipients en forme de tronc de cône dont le rapport $\rho = \text{petit diamètre} / \text{grand diamètre}$ soit tel que, manifestement, les *modèles* donnent des résultats différents des mesures. Une solution consiste à prendre des entonnoirs dont on ferme l'ouverture de sortie par un bouchon.

Un modèle gagnant

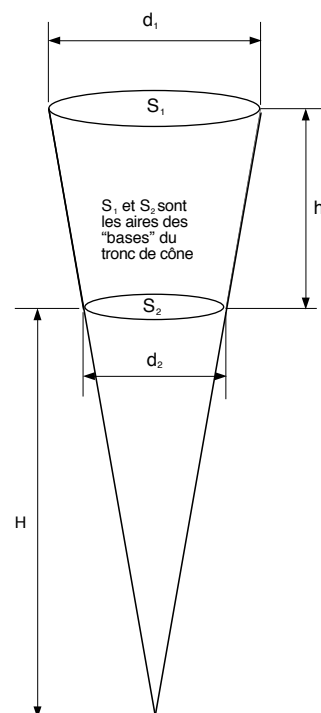
Après une recherche conduite par les élèves, le *modèle* du diamètre moyen est donné "vainqueur" bien qu'insatisfaisant dès que les récipients ont une base trop petite par rapport à leur ouverture.

Le besoin, toujours le besoin...

Outre la réflexion sur les *modèles*, outre un travail de nature algébrique, la situation dans laquelle les élèves ont été placés a créé un besoin : « peut-on calculer le volume d'un gobelet avec une meilleure certitude et, dans la foulée, peut-on calculer le volume d'un cône ? » Voilà un joli sujet de recherche qui pourra occuper les élèves pour la suite !

On voit ici l'avantage d'une progression des apprentissages dont la logique n'est pas celle du contenu (il eut fallu s'intéresser au cône avant de s'intéresser au tronc de cône), mais celle que l'enseignant a adoptée en vue de faire passer ses élèves par une expérimentation raccrochée à des objets du quotidien.

La logique suivie est celle qui veut que le sens appelle les constructions conceptuelles par opposition à une logique selon laquelle les constructions conceptuelles peuvent s'opérer d'abord pour prendre sens ensuite.



Volume du tronc de cône
$$V = \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2) h$$

11.8 Petits pois – Un problème ouvert pour une boîte fermée

Problématisation - Quelques variantes parmi d'autres

L'idée générale est d'exploiter la stimulation produite par un défi pour faire entrer les élèves dans une démarche de recherche. Il n'est pas dit que les élèves aient à conceptualiser quelque chose de nouveau ici, mais ils doivent à coup sûr mobiliser des connaissances en mathématiques et en technologie. En plaçant les élèves en petites équipes, on entraîne le travail collaboratif et on suscite des débats qui naissent de la comparaison des approches. Le groupe classe devient une communauté de chercheurs.

La variante la plus ouverte

Une boîte de petits pois est donnée aux élèves **sans** son étiquette. Problème : cette boîte contient des petits pois - combien en trouverez-vous lorsque vous ouvrirez la boîte et les compterez un à un ?

Dans une telle variante, les élèves n'accèdent qu'au poids total de la boîte et à son volume. Ils se confrontent à un grand nombre de questions telles que :

- Quelle quantité d'air contient la boîte ?
- Quelle part occupe le liquide dans lequel baignent les petits pois - Les petits pois sont-ils serrés les uns contre les autres ?
- Que pèse le contenu et que pèse le récipient ?
- En quoi la boîte est-elle faite ?
- Quelle est l'épaisseur de la tôle ?
- Quelle est la densité du liquide contenant les petits pois ?
- Quelle est la densité des petits pois ?
- Quelle est la taille moyenne d'un petit pois – sont-ils sphériques ?

Ces questions, dont la liste n'est pas exhaustive, vont susciter des hypothèses qui permettront aux élèves de proposer une réponse mais qui ne pourront être vérifiées qu'en ouvrant la boîte.

La variante "boîte vide"

C'est exactement le même problème que dans la première variante, mais les élèves disposent d'une boîte vide en plus de la boîte pleine (on peut aussi imaginer une autre variante dans laquelle les élèves ne disposent que de la boîte vide).

Une variante plus réaliste

La boîte de petits pois est donnée aux élèves telle qu'on la trouve au magasin, **avec** son étiquette. Bien que la question posée aux élèves soit la même, le problème est moins ouvert que dans les premières variantes. Les élèves accèdent à des informations qui permettent de répondre à certaines des questions ci-dessus. Ils trouvent en particulier des indications de poids net et de poids égoutté (une question se pose sur ce que cela signifie).



Petits pois 215 g net Poids égoutté : 125 g

La variante “énigme”

C’est une variante semi-ouverte :

Des petits pois... sans poids

En refaisant la peinture du garde-manger, le peintre a éclaboussé des vivres. Aujourd’hui, tu veux préparer une recette de cuisine qui utilise des petits pois. Tu sais que tu as besoin d’au moins 100 g de petits pois égouttés. Tu trouves une boîte de conserve qui pourrait convenir mais les indications de poids figurant sur l’étiquette ne sont plus lisibles. Comment savoir si la boîte contient suffisamment de petits pois... et quel est le nombre de ces petits pois ?



Remarque : outre l’étiquette maculée, les élèves disposent d’une boîte de petits pois.

À titre d’exemple, voici quelques hypothèses retenues par un groupe d’élève :

- Le poids net est le poids du contenu de la boîte (sans le poids de la boîte).
- Le poids égoutté est le poids des petits pois sortis du liquide dans lequel ils baignent.
- Les petits pois sont sphériques
- Il n’y a pratiquement pas d’air dans la boîte.
- La densité du liquide contenant les petits pois est pratiquement égale à celle de l’eau.
- La densité des petits pois est également la même que celle de l’eau.
- La tôle dont est faite la boîte a une épaisseur de 0,2 mm. Elle est en fer.
- On prend en considération trois cas : le diamètre des petits pois s’obtient en multipliant par 1.4 ou 1.2 ou 1.0 le diamètre de petits pois représentés sur l’étiquette.

Une autre approche possible (plus interdisciplinaire)

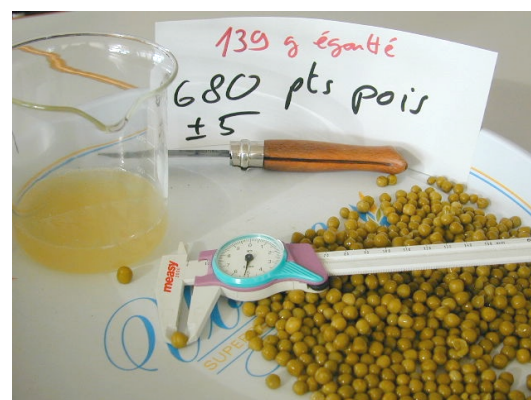
Dans les variantes qui privent les élèves de l’accès à l’étiquette de la boîte de conserve (ou à une partie des informations qu’elle recèle), on peut aussi laisser les élèves chercher ces informations en dehors de la classe (se procurer une boîte de conserve, chercher dans une publicité, sur Internet, auprès d’un cuisinier, etc.)

Vérification

C’est un moment très fort que celui où les élèves ouvrent leur boîte, comptent les petits pois, les pèsent et les mesurent pour vérifier leurs hypothèses et leur conclusion.

Pourquoi une variante plutôt qu’une autre ?

Les démarches, les savoirs, savoir-faire et savoir-être à mobiliser ne sont pas les mêmes dans ces diverses variantes. C’est en fonction de ses intentions que l’enseignant se détermine. Il est d’ailleurs possible que des groupes d’élèves d’une classe (ou plusieurs classes) soient confrontés en parallèle à des variantes différentes.



11.9 Maths ou sciences ? – Pour conclure ce chapitre

D’abord cette question : dans ce chapitre, est-ce la problématique des objets de savoir qui est au service du développement de *compétences* mathématiques ou les mathématiques ne sont-elles qu’un langage et des outils ? Est-ce qu’on se sert de “la science” pour faire des maths ou est-ce qu’on se sert des maths pour faire des sciences ?

Cela apparaît assez clairement, les intentions pédagogiques d’un enseignant de mathématiques peuvent rejoindre celles du professeur de sciences au point qu’on ne peut plus les distinguer.

C’est que les véritables objets d’apprentissage transcendent les disciplines.

À qui appartient le concept de fraction ou celui d’équation, le concept d’image symétrique ou celui de densité sinon à tous ceux qui en ont besoin pour connaître et agir ?

Ainsi, se demander si les savoirs envisagés appartiennent aux mathématiques ou aux sciences n’a tout simplement pas de sens !

Et ce qui vient d’être dit pour les mathématiques et les sciences peut vraisemblablement s’étendre à d’autres disciplines scolaires. Le bien fondé des approches interdisciplinaires, une fois de plus, apparaît comme une évidence.

12 Du corps humain

12.1 Qu'attendre de l'étude du corps humain ?

Des intentions généreuses – Trop ?

Dans les plans d'études des cursus de biologie, on trouve le plus souvent des objectifs de nature sociale et des objectifs de nature épistémologique. L'élève doit développer les attitudes et les connaissances qui lui permettront, face aux exigences de la société actuelle et future, d'exercer une pensée comparative et globale, de prendre des décisions personnelles, politiques, économiques ou éthiques.

L'élève doit aussi apprendre à connaître son corps pour mieux orienter ses choix de vie qui auront des conséquences sur sa santé.

Par ailleurs, l'élève doit s'initier à la démarche scientifique pour en comprendre les tenants et aboutissants. Parfois, il est précisé que c'est en pratiquant la "vraie recherche" qu'on atteint ce dernier objectif.

Souvent les auteurs des plans d'études livrent leur vision de la démarche scientifique en énumérant les comportements et les savoir-faire qu'elle requiert. Ces énoncés parlent du sens de l'observation, de la faculté de formuler des hypothèses, d'élaborer un protocole expérimental, de réaliser une expérience, etc. On y cite aussi des aptitudes à travailler en équipe, à synthétiser des résultats et à communiquer.

Il est plus rare que soit mentionnée l'aptitude à poser un problème et les suggestions méthodologiques ne sont pratiquement jamais inspirées d'une épistémologie de type DiPH-TeRIC (Introduction, §5, « La science dont il est question – Brièvement »).

Il y a aussi de longues listes de contenus... qui désespèrent les enseignants que l'on entend dire « on n'aura jamais le temps de tout traiter ! ». Et de fait, ceux-ci négligent bien souvent l'initiation à la démarche scientifique « qui prend un temps fou » pour pouvoir au moins « faire une partie raisonnable du "programme" ».

De la logique des contenus...

Souvent, les documents officiels qui décrivent la manière d'étudier le corps humain proposent des cursus qui vont du spécifique au global. Il est des manuels qui présentent des descriptions d'organes avant de parler du système auquel ces organes appartiennent. On y décrit par exemple la bouche, l'œsophage, l'estomac, les différentes parties de l'intestin jusqu'à l'anus, puis on y présente les fonctions du système digestif. Plus loin, ce sera le système excréteur, puis le système circulatoire, puis le système respiratoire, puis le système locomoteur, puis le système reproducteur, puis les organes des sens, puis le système nerveux... Mais il ne sera que très peu, voire pas du tout question des interdépendances entre ces systèmes. Cela va parfois plus loin. Il est des plans d'études qui proposent un enchaînement "logique" avec l'étude de la cellule puis des tissus puis des organes puis des systèmes et enfin des interdépendances des systèmes. Cette façon de présenter le corps humain correspond à une reconstruction cohérente d'un savoir qui ne s'est pas élaboré de la sorte historiquement.

Pour nuancer ce constat, il faut préciser que des boucles d'apprentissage sont généralement prévues et que cet enchaînement “logique” est repris à des niveaux progressivement plus profonds (en général des cycles annuels). Mais demeure la question de savoir si cette logique du contenu est pertinente pour les apprentissages.

... à une logique d'apprentissage

Les mécanismes par lesquels un apprenant construit des concepts et élabore des *compétences* nouvelles sont complexes et assez personnels. Ce qui est sûr, c'est que les vraies questions, celles que l'apprenant se pose avec acuité, les défis qu'on lui lance ou qu'il se lance à lui-même, les déséquilibres dans lesquels il se voit placé, sont autant de moteurs qui le poussent dans sa quête d'une compréhension du milieu avec lequel il interagit directement ou par expérience de pensée. Or cette compréhension passe par des constructions mentales, des représentations et des schèmes opératoires. Dans tout cela, la logique du contenu n'est qu'une logique parmi d'autres. Elle satisfait un esprit qui veut restructurer sa connaissance des choses, mais elle n'aide pas un apprenant, car elle est loin du cheminement personnel apparemment erratique où le conduisent précisément questions, défis et déséquilibres.

Si les approches globales et systémiques des contenus s'avèrent plus pertinentes que les approches spécifiques, s'il est mieux de s'intéresser en premier lieu aux relations qu'entretiennent entre eux des objets plutôt qu'à la structure interne de ces objets qui détermine ces relations, c'est peut-être en bonne partie, parce que c'est à ce niveau que se posent les premières questions, que c'est à ce niveau que des premiers défis peuvent être lancés et des déséquilibres produits.

Concrètement, il est difficile d'accrocher les élèves avec des questions qui portent sur la cellule ou un tissu, sa structure et ses fonctions alors que manque le contexte qui leur donne sens. Il est évidemment plus facile d'accrocher les élèves avec des questions qui portent sur la santé, les déséquilibres, les besoins vitaux, etc. Et il est relativement facile de faire naître de telles questions à partir d'approches globales et systémiques, en s'intéressant d'abord au corps humain dans son fonctionnement d'ensemble et dans ses relations à son milieu environnant.

La motivation pour l'étude plus spécifique des systèmes, puis des organes, puis des tissus, puis des cellules, puis des organites cellulaires, vient ensuite à mesure que des questions surgissent qui nécessitent de mettre en relation les comportements et les structures internes.

Du métabolisme en général à une vision systémique du corps humain

Le chapitre 1 se rapporte à une séquence d'enseignement relative au métabolisme des humains et plus généralement des mammifères. Cette séquence est un bon exemple d'approche globale et systémique du corps humain. Ce dernier est d'abord envisagé au travers des échanges qu'il opère avec son milieu et des principes de conservation. Une telle séquence peut se suffire à elle-même. Elle a son sens propre, elle aboutit à une *compétence* nouvelle des élèves impliquant des concepts, savoir-faire et savoir-être. Mais la vocation d'une telle séquence est aussi de préparer le terrain à l'étude du système digestif, du système excréteur, du système circulatoire et du système respiratoire qui à leur tour, seront étudiés du général au particulier.

Le paragraphe qui suit décrit quelques éléments d'une séquence d'enseignement qui comportait une approche systémique. Une telle séquence a été réalisée avec de nombreux groupes d'élèves âgés de 14 à 16 ans.

12.2 Modèles systémiques du corps humain

Trois exemples de schémas systémiques

Schéma N° 1

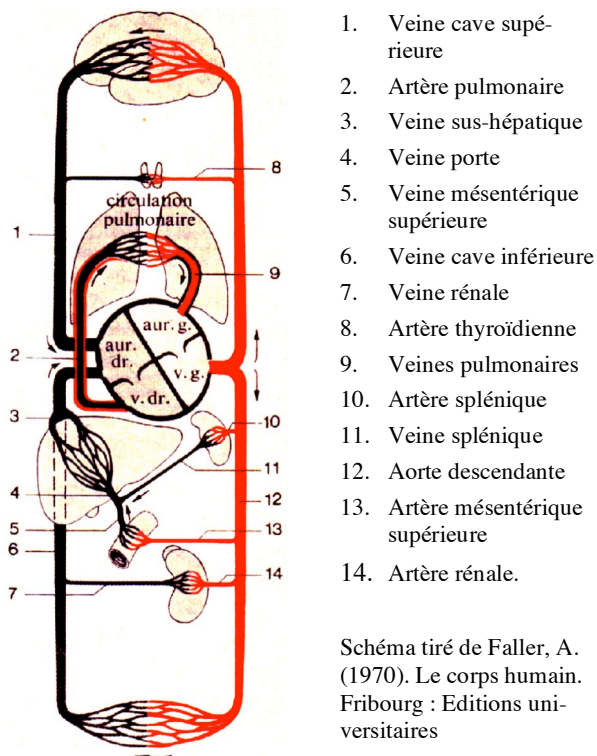


Schéma N° 2

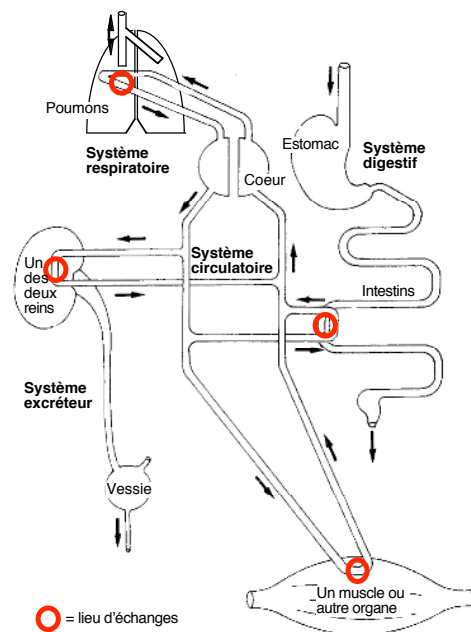
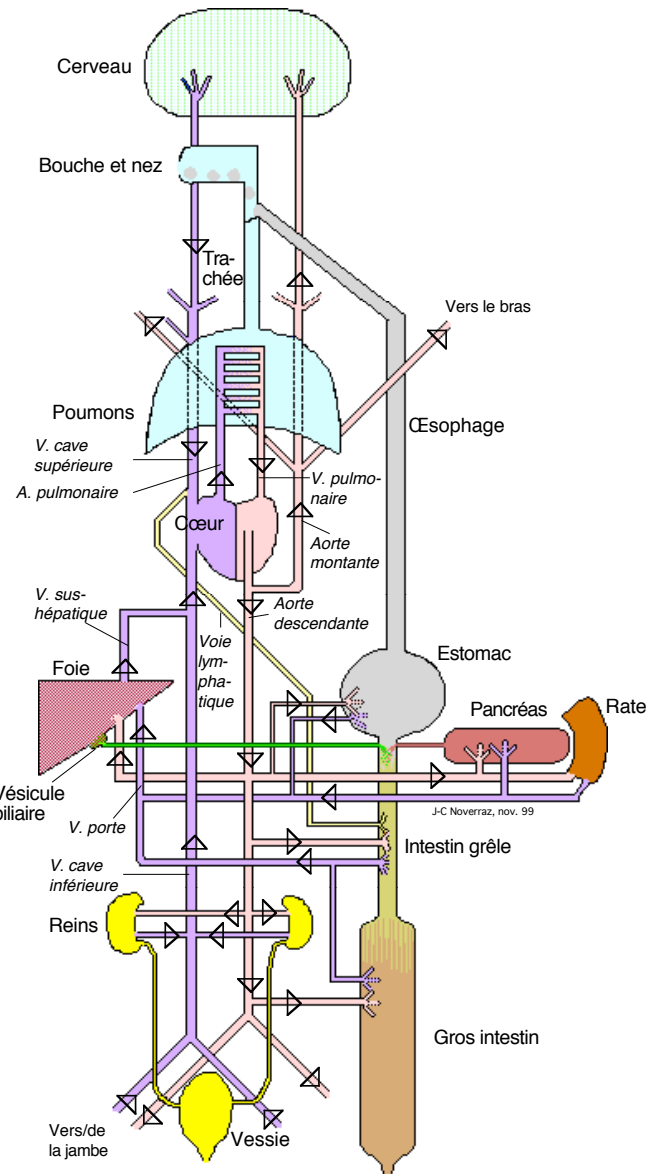


Schéma N° 3



La vocation du schéma N° 1 est de décrire la circulation sanguine. Le schéma N° 2 fait apparaître quatre systèmes en interrelations. À remarquer que le foie en est absent. Le schéma N° 3 va plus loin dans l'intention de modéliser le fonctionnement systémique du corps humain.

C'est une variante muette du schéma N° 3 qui est utilisée par les élèves dans les études de cas décrites ci-après.

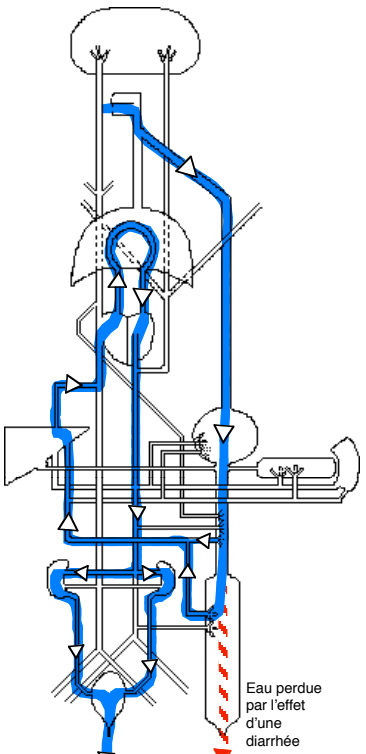
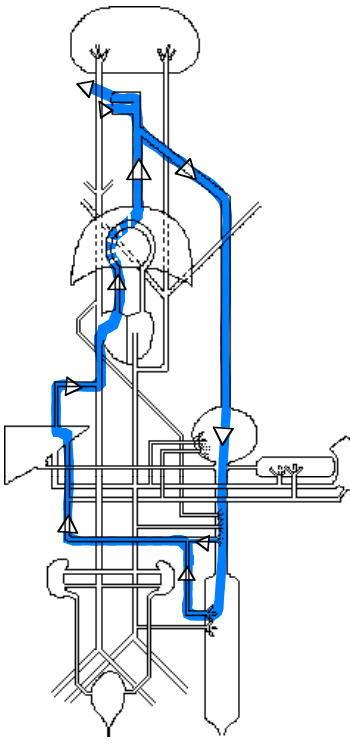
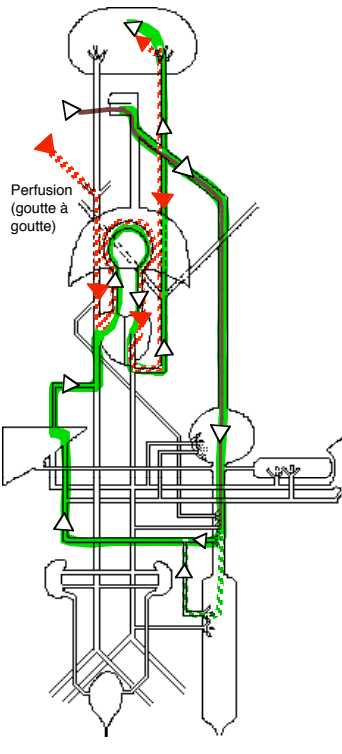
Une multitude de propositions

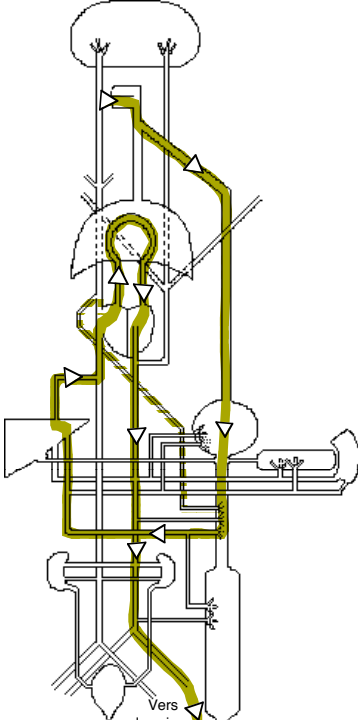
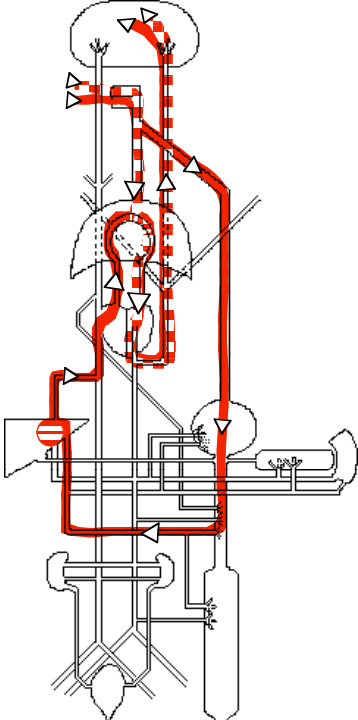
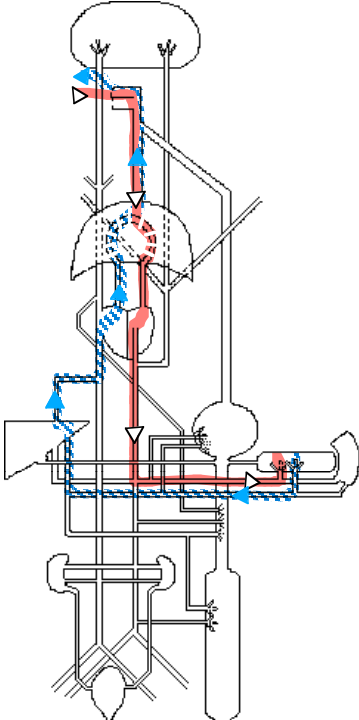
Dans l'expérience pédagogique qui nous occupe, le choix a été de faire travailler les élèves avec plusieurs schémas systémiques différents trouvés dans des ouvrages de référence ou conçus par des enseignants.

La compétence visée

Après environ une vingtaine d'heures de cours, les élèves doivent conduire deux études de cas portant sur un problème de santé. La première est à visée formative, la seconde donne lieu à une évaluation sommative. Les comptes-rendus de ces études de cas doivent s'appuyer sur un schéma systémique. Ce schéma représente sommairement les systèmes circulatoire, respiratoire, digestif et excréteur du corps humain. Il ne respecte pas les proportions de taille des organes et ne donne qu'une idée approximative de leurs emplacements respectifs, mais il respecte la topologie des connexions des organes.

Les exemples du tableau montrent comment les élèves se servent du schéma systémique, dans leurs études de cas, pour décrire des cheminements de substances qui entrent ou sont produites dans le corps jusqu'à leur élimination ou transformation.

<p>1) Ce schéma a été produit par des élèves qui étudiaient le cas d'une personne qui se déshydrate. Il explique le cheminement de l'eau qui entre par la bouche et sort par la voie urinaire ainsi que le cheminement lié à une diarrhée.</p>  <p>Eau perdue par l'effet d'une diarrhée</p>	<p>2) Ce schéma illustre le compte-rendu d'une étude de cas à propos de la déshydratation d'un sportif lors d'un effort prolongé. Une quantité notable de l'eau ingérée est perdue par la voie respiratoire.</p> <p>Ce même schéma a été utilisé par des élèves pour montrer comment de l'alcool ingéré peut être exhalé.</p> 	<p>3) L'étude de cas portait ici sur un malade sous perfusion. Le schéma montre que l'apport de glucose par voie intraveineuse (les pointillés) court-circuite le cheminement d'un glucide qui entre par la bouche, se transforme en glucose (changement de couleur) et chemine jusqu'au cerveau.</p>  <p>Perfusion (goutte à goutte)</p>
---	--	--

<p>4) Dans une étude de cas sur l'obésité, les élèves expliquent par ce schéma qu'un ceps gras qui va être stocké dans la cuisse, transite nécessairement par le cœur et les poumons.</p> 	<p>5) Ici, les élèves expliquent qu'une substance toxique inhalée (cheminement en pointillé) atteint le cerveau beaucoup plus vite que la même substance ingérée (trait continu) et, surtout, sans passer par les barrières intestinale et hépatique.</p> 	<p>6) Dans ce dernier exemple, les élèves qui étudiaient le rôle du pancréas, décrivent la manière dont celui-ci "respire". Ils ont tracé le cheminement de l'oxygène consommé et du dioxyde de carbone produit par cet organe.</p> 
--	---	--

Exemple d'une étude de cas

Chacune des études de cas dont il est question ci-dessus fait l'objet d'un document qui précise la tâche demandée aux élèves.

Ce document comporte une mise en situation, des demandes et des indications quant aux ressources disponibles.

Voici le contenu du document se rapportant à l'étude de cas de l'exemple N° 3 du tableau précédent.

Le malade sous perfusion - Un cas à prendre au sérieux !

Une personne souffrant d'une grave gastro-entérite est hospitalisée car elle montre des signes de déshydratation. Lors de son arrivée à l'hôpital, elle est placée sous perfusion avec une solution de glucose.

À son entrée à l'hôpital, cette personne pèse 60 kg.

Elle reçoit la quantité d'eau journalière qu'une personne adulte doit normalement ingérer. Son métabolisme basal est de 6'500 kJ par jour. Le glucose qu'elle reçoit couvre le quart de ce besoin énergétique.

On demande :

préparer un sachet de 1 litre de solution de glucose pour perfusion à la concentration voulue, le suspendre à une potence et régler son débit.

À l'aide d'un schéma systémique du corps humain, préparer une explication qui pourra être donnée au patient pour comparer une alimentation normale à une alimentation par perfusion (considérer l'apport du glucose au cerveau).

Représenter graphiquement l'évolution vraisemblable du poids du malade à partir du 1er jour à l'hôpital – Commenter ce graphique

Pour répondre à ces questions, on dispose de :

- documentation ad hoc
- sachet vide de perfusion et potence
- eau
- glucose en poudre
- récipients gradués
- balance
- chronomètre

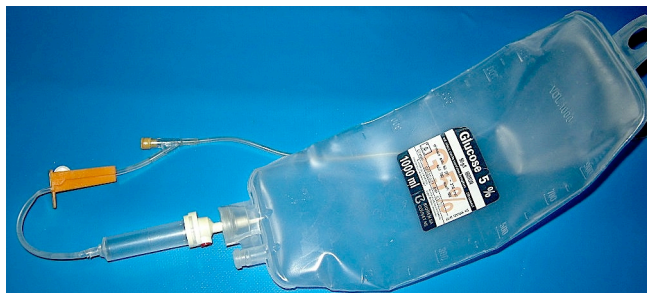
Remarque:

En réalité, les sachets de perfusion ne sont pas préparés par du personnel hospitalier mais en laboratoire. Les concentrations des substances qu'ils contiennent sont standardisées.

Une telle étude de cas est en général confiée à des élèves qui travaillent en duos ou en groupes (§9.7). Exceptionnellement, pour une évaluation, elle peut être donnée à faire individuellement.

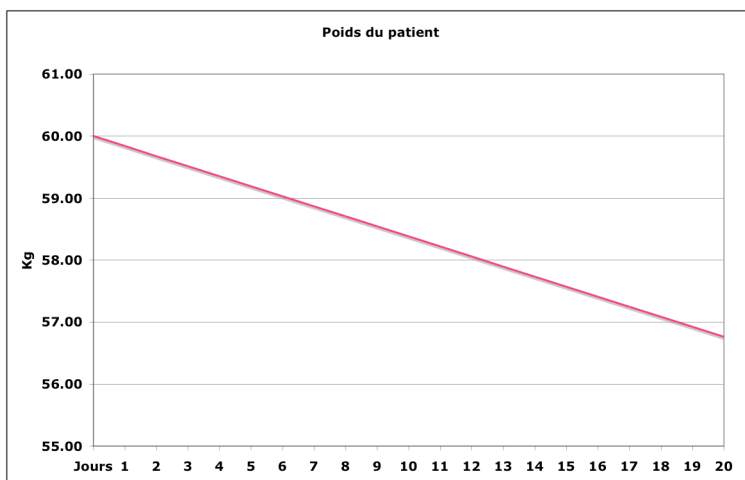
Il faut souligner le caractère intégratif de la *compétence* nécessaire à mener à bien cette étude de cas. La question N° 1 nécessite qu'une recherche soit faite quant à la quantité de liquide à perfuser en 24 heures (quelle quantité le malade boit-il quotidiennement ?). Puis la quantité de glucose à mettre en solution doit être calculée à partir

de son pouvoir énergétique. Les élèves doivent encore se servir des concepts de concentration et de débit et régler l'écoulement de la poche de perfusion (savoir-faire instrumental). La question N° 2 fait appel à des connaissances physiologiques et à la maîtrise d'une schématisation (*modèle*) du corps humain. La question N° 3 nécessite de calculer la perte de poids liée à une sous-alimentation. L'hypothèse que font souvent les élèves est que les réserves graisseuses compensent le déficit énergétique. Ils traduisent donc ce déficit en masse graisseuse puis en perte journalière de poids. Enfin, ils établissent le graphique demandé. En réalité, les choses sont plus compliquées puisque la sous-alimentation provoque des pertes autres que graisseuses.

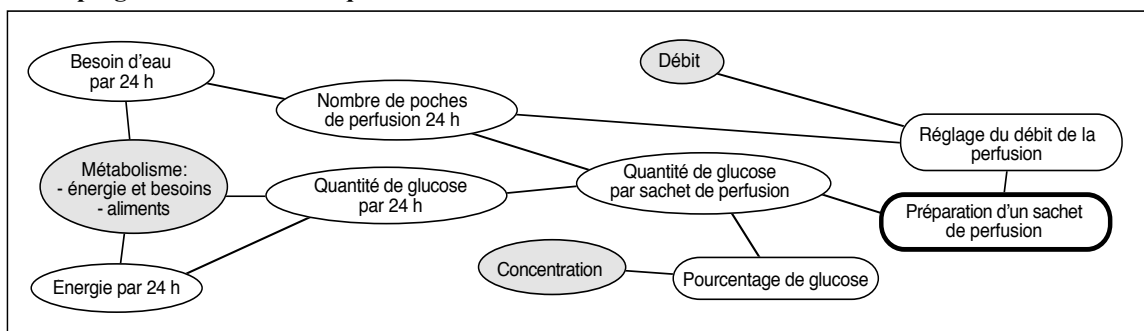
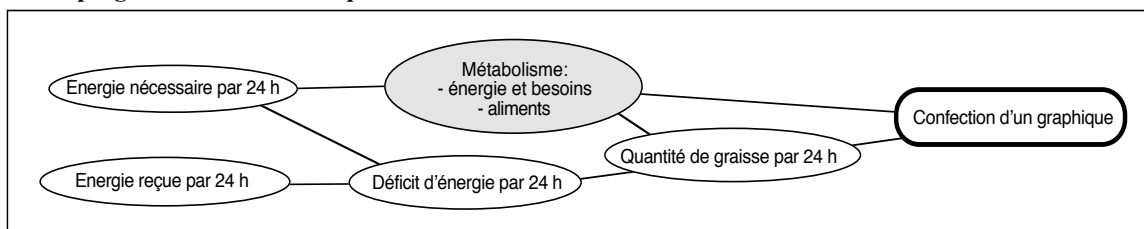


Un sachet de perfusion vide (on s'en procure dans les centres de soins) est mis à disposition des élèves avec son dispositif de comptage des gouttes, le tuyau et la pince de réglage.

Sur l'étiquette figure la mention "Glucose 5%". On peut décider de laisser visible ou de masquer cette étiquette jusqu'à l'aboutissement de l'étude de cas.



Des élèves ont trouvé sur un site Internet qu'un déficit de 30'000 kJ engendre une perte de poids de 1 kg (graisse, protéines, glucides et eau). Ils en déduisent qu'avec un déficit de 4'875 kJ par jour, la perte quotidienne de poids est de 162 g. D'où ce graphique.

Conceptogramme relatif à la question N° 1**Conceptogramme relatif à la question N° 3****Immersion - Conceptualisation – Réinvestissement**Ce qui a précédé

La séquence qui conduit les élèves à la *compétence* décrite vient généralement à la suite d'une première séquence d'approche globale du métabolisme humain, semblable à celle qui est décrite dans le chapitre 1. À l'issue de cette première séquence, les élèves connaissent dans les grandes lignes les besoins nutritionnels du corps et savent calculer un régime alimentaire. La nouvelle séquence s'articule sur les trois phases habituelles : *immersion*, conceptualisation et réinvestissement. La phase de conceptualisation s'attache à trois champs de connaissance :

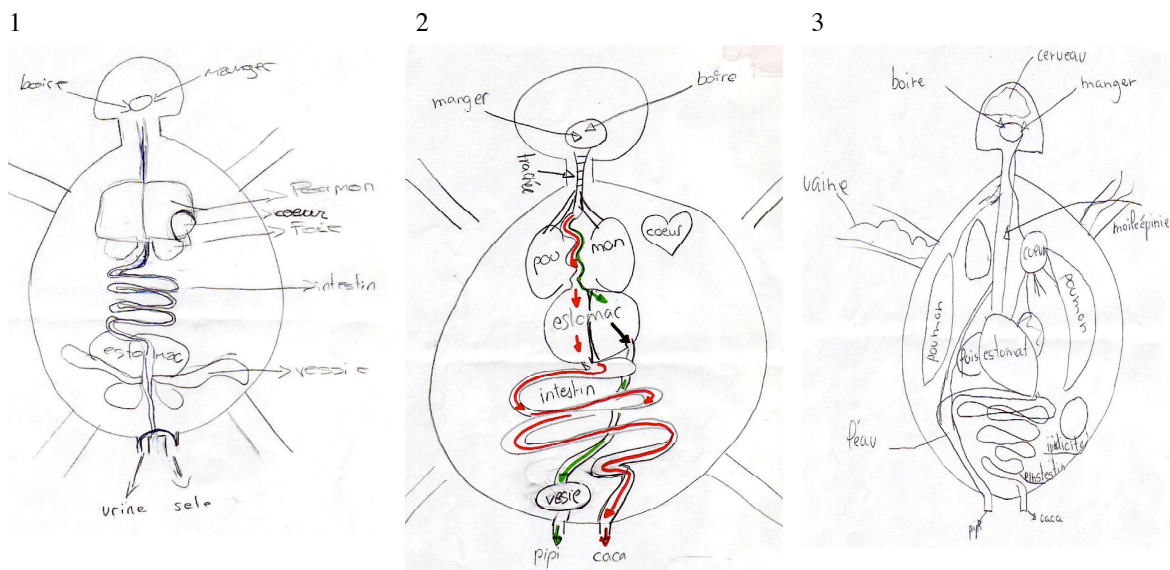
1. Le système excréteur et le système digestif
2. Le système circulatoire et le système respiratoire
3. Débit et concentration

La phase d'immersion

Cette phase instaure plusieurs savoir-faire relatifs à la notion de concentration et de débit. Dans un *rallye*, les élèves passent par des postes où ils doivent faire des dilutions et les reconnaître au goût, ils doivent mesurer et régler des débits. Ils doivent commenter des graphiques comportant des courbes de poids et identifier à qui correspond telle courbe (un enfant en croissance, une femme avant et après accouchement, un homme qui fait des tentatives de cure d'amaigrissement, ...). Dans un des postes, les élèves doivent dessiner, dans une silhouette humaine, le trajet des aliments ingurgités sous forme solide et liquide (il en a été question au §3.5). Ces dessins ne sont discutés que plus tard dans la phase de conceptualisation.

La phase de conceptualisation

Cette phase met les élèves aux prises avec leurs *conceptions* relatives au transit alimentaire et à l'élimination de liquide par la voie urinaire. Les dessins réalisés dans la phase d'*immersion* sont comparés et discutés. Il en ressort généralement que tous les élèves sont d'accord sur une représentation qui comporte une séparation du tube digestif en une voie qui conduit les excréments à la sortie anale et une voie qui conduit les liquides à la sortie urinaire, mais avec des désaccords sur l'endroit de la séparation, sur les organes concernés et sur la disposition de ces organes.



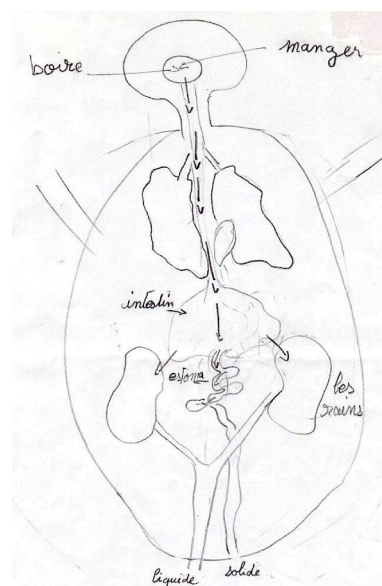
Les dessins des élèves se distinguent par l'emplacement de la séparation entre liquides et solides.

La question « qui a raison ? » pousse les élèves à entreprendre des recherches.

L'enseignant lance alors le défi aux élèves de tirer au clair la question du lieu de la séparation liquides/solides (bien sûr en se gardant bien de préciser qu'il en est autrement en réalité). Les élèves disposent de quelques manuels de biologie et d'un écorché dont ils peuvent démonter les organes. La technique de recherche consiste à remonter depuis l'orifice urinaire pour « voir d'où ça vient ». Les choses se passent bien d'abord avec la succession urètre, vessie, uretères, reins. Et ici, la grande surprise est de ne pas voir les reins raccordés au tube digestif mais « seulement aux veines et artères ». Pour clarifier ce point, les élèves se documentent sur les reins dont ils commencent à percevoir le rôle. « Mais alors, le liquide ingéré par la bouche et qui ne sort pas avec les excréments, par où passe-t-il ? ». La question devient inévitable et fonctionne à nouveau comme un défi. « Pourtant si je bois beaucoup et rapidement, je dois très vite aller uriner. Est-ce que vraiment tout ce liquide doit passer dans mon sang ? ». On voit ici un exemple de plus qui montre la force d'une problématisation réussie pour conduire les élèves à construire des concepts. On voit aussi comment une approche globale crée des besoins de savoirs plus spécifiques. Les élèves sont maintenant aux prises avec le système circulatoire. « Par où peut bien passer l'eau qui transite de l'intestin dans la voie sanguine, pour être ensuite captée par les reins ? ».

Le besoin d'une schématisation se fait sentir et prépare le terrain à un apport structurant de la part de l'enseignant sous la forme d'un schéma systémique.

Mais avant cela, des questions accrochent l'intérêt des élèves : « Et l'eau exhalée, par où passe-t-elle ? » - « Comment se fait-il que l'on puisse détecter de l'alcool dans le sang d'une personne en la faisant souffler dans un ballon ? » - « Par où passe l'oxygène dont un muscle a besoin ? » - « d'où vient le CO_2 que l'on rejette ? ». Au gré des nécessités didactiques (adaptation aux réactions des élèves), ces questions sont traduites, en *situations-problèmes*, en études de cas, en projet de communication ou de réalisation.



Un dessin que l'on obtient rarement. L'élève ne savait pas comment le liquide passe de l'intestin dans les reins.

L'enseignant veille à ce que les élèves rencontrent plusieurs types de schémas systémiques au cours de ce travail.

La phase de réinvestissement

Les élèves, en groupes, font des exercices techniques (calculs, lecture de schémas, circulations dans des schémas systémiques) puis ils réalisent une étude de cas, analysent leurs difficultés et échangent leurs idées. Cette phase se termine par une dernière étude de cas réalisée individuellement ou en duo, qui donne lieu à l'évaluation sommative.

Limite de la modélisation et des études de cas – *Transposition didactique*

Une fois de plus, la *transposition didactique* qui a opéré pour modéliser certains aspects du corps humain induit des *conceptions* qui, dans certaines circonstances, seront des obstacles. D'abord, dans les exemples donnés ci-dessus, les élèves tracent les cheminements les plus courts possibles. Par exemple, l'eau ingérée est éliminée par les reins après son premier circuit par le foie, le cœur droit, les poumons et le cœur gauche. En réalité, cette eau ne va pas aller directement dans les reins mais se répartir dans toute la circulation, se joindre à l'eau produite par le métabolisme et être progressivement éliminée. Des remarques de même nature peuvent être faites à propos des cheminements des autres substances qui circulent dans le corps.

On peut voir d'autres objections à une telle modélisation et en particulier le fait qu'elle donne une vision quelque peu mécaniste du fonctionnement du corps humain. De plus, les *modèles* dont la graphie rappelle le plus la forme des organes et leurs positions relatives, induisent une vision anatomique déformée. À ce propos, l'enseignant insiste auprès de élèves sur le fait que les schémas systémiques sont des *modèles* et rappelle ce qui caractérise un *modèle*. Quoi qu'il en soit, comme dans le cas des *transpositions didactiques* rencontrées dans les chapitres 1 et 2 (§1.3 et §2.3), l'enseignant accepte d'induire des choses "fausses" ou potentiellement problématiques pour assurer certains progrès conceptuels (paradoxe pédagogique). Et dans les expériences dont il est question dans ce chapitre, les progrès conceptuels des élèves sont bien réels et se mesurent au travers de leur *compétence* à réaliser des études de cas.

Suites possibles

Après la séquence d'enseignement sur le fonctionnement systémique du corps humain, il y a de nombreuses manières de poursuivre l'étude de la physiologie humaine :

- Étudier la digestion sous les angles de la chimie et de la physique
- Étudier le rôle du foie
- Approfondir le rôle des reins et aborder la question de l'équilibre hydrique
- S'intéresser à la circulation sanguine, au cœur, à la nature du sang
- S'intéresser au système respiratoire.

Ce travail d'approfondissement doit à son tour partir d'un enrichissement et d'un partage du vécu des élèves puis de situations qui interpellent, de cas problématiques. Des phases d'*immersion* doivent donner aux élèves des occasions de se pencher sur ce qui se passe en eux (mesures des fréquences et de pressions cardiaques ou de rythme respiratoire notamment). Selon le projet de l'enseignant, ces approfondissements peuvent aller jusqu'au niveau cellulaire. Les élèves pourront être très surpris de constater que l'on retrouve dans chaque cellule d'un organe les fonctions que cet organe remplit dans l'organisme.

12.3 L'œil et la vision - Un *modèle* pour l'œil

De la fonction à la structure interne - Expériences

Peut-on aborder l'étude de l'œil en allant du général au particulier, du global au spécifique ? Oui, il faut voir l'œil dans ses fonctions avant de le voir dans son anatomie. Ou plus exactement, c'est ce que l'œil permet à l'être humain qui va susciter de la curiosité pour son fonctionnement et son anatomie.

Ce paragraphe donne quelques pistes de manière un peu synthétique. Les expériences qui alimentent ces pistes ont été réalisées avec des élèves de 13 à 15 ans, parfois sans que le phénomène de projection par une lentille ait été préalablement étudié, parfois avant et parfois après une séquence sur les lentilles, comme celle qui est décrite au §11.3

Un *modèle* physique permettant des simulations

Le *modèle* présenté ici a tantôt été construit par des élèves qui répondaient à une demande de réalisation (phase de conceptualisation), tantôt été l'enjeu d'un bilan de *compétence* (phase de recontextualisation).

Un ballon de verre rempli d'eau joue le rôle d'une lentille de courte focale. Il permet de projeter des images à une distance de quelques centimètres derrière la sphère. Si on augmente sa convergence avec une lentille additionnelle, on peut pratiquement ramener l'image sur sa surface. Cette image est tout à fait visible sur une feuille translucide collée à même le verre ou sur le verre lui-même si on le dépolit avec de la toile d'émeri. Le ballon d'eau ressemble ainsi à un œil qui ne demande qu'à être perfectionné. La lentille additionnelle peut être placée à l'extérieur comme si l'on corrigeait la vue d'un œil très hypermétrope ou très presbyte. Mais elle peut être placée dans l'eau et devenir un "cristallin". Si on opacifie la surface du ballon en laissant une ouverture à l'avant en guise de pupille, le ballon ressemble encore plus à un œil. Il ne reste plus qu'à rendre interchangeable la lentille pour simuler l'accommodation.



Le ballon est à col large, ce qui permet d'y introduire des lentilles attachées à des fils de fer ou des fils électriques. Ici le ballon n'est pas encore rempli d'eau. Les élèves ont collé à sa surface du papier translucide qui joue le rôle de rétine. Avec du papier noir, ils ont obscurci la partie avant de l'œil en ménageant un trou qui sert de pupille. En arrière, un panneau reçoit des dessins ou des textes.



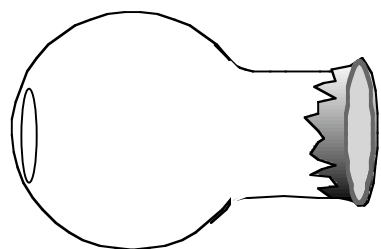
Sans lentille, le ballon d'eau se comporte comme un œil hypermétrope (et presbyte). Sur sa "rétine", on distingue vaguement un paysage lointain. Ici, une lentille de 5 cm de focale placée dans l'eau, tel un cristallin, permet à l'œil de voir à quelques dizaines de cm. Pour lui permettre de voir plus près, on peut placer une lentille plus forte dans l'eau ou placer une lentille devant la pupille (lunettes pour presbytes).

Mais il faut le préciser : dans les expériences évoquées, ce n'est pas l'enseignant qui a réalisé cet œil comme objet de démonstration. Certains élèves l'ont construit en cherchant à expliquer les fonctionnalités de l'œil (conceptualisation). À d'autres occasions les élèves l'ont conçu lors d'un bilan de *compétence*. Ils répondaient à des consignes de nature différentes, les premiers n'ayant vécu qu'une phase d'*immersion*, les seconds ayant suivi le cursus d'une séquence d'enseignement.

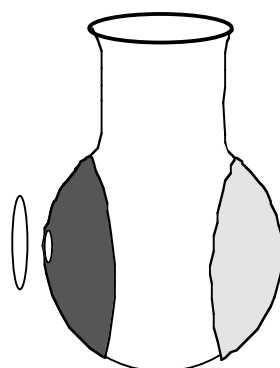
Situations didactiques suscitant la réalisation d'un *modèle physique de l'œil*

Environnement didactique	Une consigne pour la conceptualisation	Une consigne de réinvestissement à titre de bilan de <i>compétence</i>
<p><u>Matériel à disposition</u></p> <p>Ballons de verre, lentilles, papier translucide, feuilles opaques, bande adhésive, fil de fer, divers matériel de laboratoire et statifs, lampes, écrans, outils et eau à disposition</p>	<p>À partir de ce qui a été établi après le <i>rallye</i> d'immersion, avec les documents et le matériel à disposition, construis un objet qui ressemble à un œil, à la fois dans son anatomie et dans son fonctionnement.</p> <p>Le but est d'obtenir différentes propositions de groupes de travail que l'on puisse comparer et discuter (c'est un peu à qui fera l'œil le plus convaincant).</p>	<p>Avec le matériel à disposition, construis une maquette d'œil qui puisse ensuite te servir pour expliquer à tes camarades de la classe X*, ce que sont l'accommodation et les trois dysfonctionnements courants de l'œil. Avec cette maquette, tu devras également corriger ces dysfonctionnements.</p> <p>* Classe du degré inférieur</p>

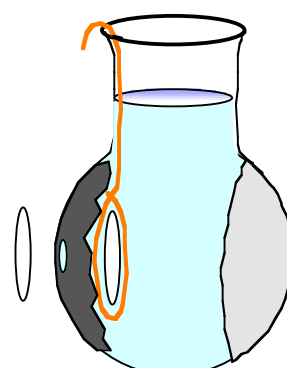
Productions d'élèves en phase de conceptualisation



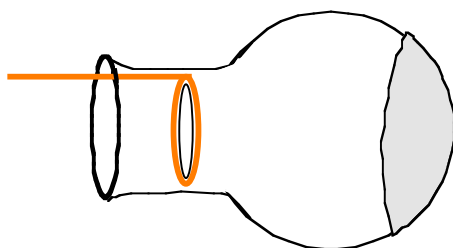
La lentille est collée au fond du ballon. Une feuille translucide, qui tient lieu de rétine, est tendue sur l'ouverture. On peut adjoindre une lentille additionnelle extérieure pour faire accommoder l'œil et lui faire voir des objets plus proches.



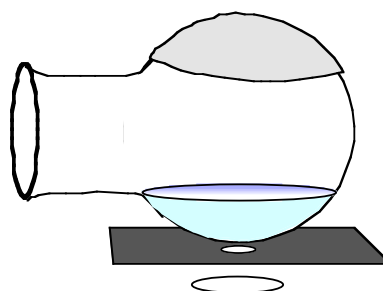
La focale de la lentille est à peu près égale au diamètre du ballon (vision nette d'objets lointains). On peut éloigner la lentille pour voir plus près. On peut aussi la remplacer par des lentilles de focale plus courte.



Le ballon est rempli d'eau. La lentille immergée doit être de très courte focale (verre dans l'eau). Pour voir un objet proche, la lentille doit être encore plus bombée, ou une lentille ajoutée à l'extérieur (œil presbyte).



La lentille est sur un support permettant d'ajuster la distance lentille – rétine à la distance à laquelle l'œil regarde.




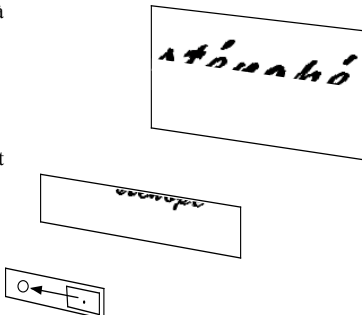
Ici, l'œil regarde contre en bas. L'eau sert de lentille (cornée ou cristallin), mais la vergence n'est pas suffisante. Une lentille additionnelle est requise.

Ces dessins reproduisent quelques réalisations d'élèves en phase de conceptualisation. Des lentilles étant mises à disposition, tous les élèves en utilisent, de même qu'ils associent tous le ballon à un globe oculaire. Par contre, seule une partie des élèves a l'idée de mettre de l'eau dans le ballon. La comparaison des "performances" de ces "yeux" et de leur parenté avec un œil conduit les élèves à des recherches documentaires puis à des améliorations du *modèle*.

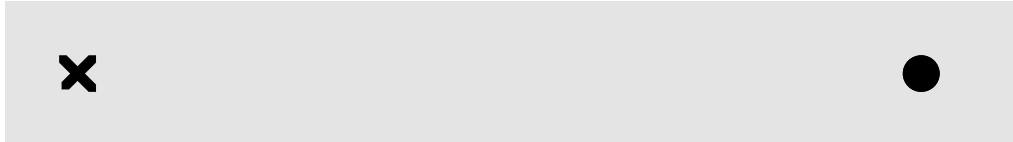

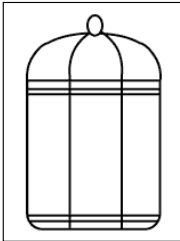

L'immersion – Un rallye sur l'œil et la vue

Dans les séquences d'enseignement réalisées sur l'œil, la phase d'*immersion* sert avant tout à mettre en évidence un certain nombre de phénomènes. Elle est réalisée sous la forme d'un *rallye*. Chaque poste comprend une consigne et du matériel.

Consignes des postes du rallye en regard de phénomènes mis en évidence

Phénomènes et concepts	Consignes
1. Effet lentille d'une sphère	<p>Certains récipients, s'ils sont pleins d'eau ont un effet de lentille et permettent de projeter une image du filament de l'ampoule sur l'écran blanc.</p> <p>Essaye de voir cette image sur l'écran en déplaçant ces récipients ou la lampe.</p> <p>Avec quel récipient obtiens-tu la meilleure image ?</p> 
2. Faculté d'adaptation à la lumière (diamètre de la pupille)	<p>Demande à ton camarade de regarder une feuille de papier noir et observe sa pupille puis demande-lui de regarder quelque chose de très lumineux (la fenêtre ou une lampe). Observe encore sa pupille.</p> <p>Tu dois remarquer que la pupille de ton camarade devient plus petite. Mais au fait, à quoi sert ce mécanisme d'après toi ?</p>
3. Faculté d'accommodation + Effet de la luminosité sur la profondeur de champ (si la pupille s'ouvre, la profondeur de champ diminue)	<p>Les distances à l'œil des deux panneaux et les tailles des deux moitiés du mot "Sténopé" sont choisies de sorte qu'elles puissent coïncider quand on les regarde depuis l'œilleton.</p>  <p>Éclaire maintenant fortement les deux panneaux et recommence l'expérience. Ce devrait être plus facile de lire le mot caché.</p> <p>Le mot caché !</p> <p>Un mot a été écrit en deux parties, l'une sur le panneau avant et l'autre sur le panneau du fond.</p> <p>Dans un faible éclairage, pour essayer de lire ce mot, colle ton œil au gros trou (œilleton). Place ensuite le carton avec le petit trou au centre du gros trou et essaye à nouveau de lire.</p> <p>Vois-tu une différence? Arrives-tu à lire le mot?</p>

<p>4. Faculté d'accommodation existence d'un punctum proximum et d'un punctum remotum</p>	<p>Ferme l'oeil gauche et fixe avec le droit un crayon que tu tiens devant toi.</p> <p>Approche le crayon le plus possible de ton oeil en gardant son image nette. Que ressens-tu ? Arrives-tu à voir le crayon nettement lorsqu'il est contre ton oeil ?</p> <p>Vois-tu aussi loin que tu le veux ou dois-tu porter des lunettes pour voir loin. Si c'est le cas jusqu'à quelle distance vois-tu net ?</p> <hr/> <p>La lentille permet de projeter sur l'écran une image du dessin si tu éclaires ce dernier.</p> <p>Cherche où placer la lentille et l'écran pour obtenir une image la plus nette possible. Ensuite change de lentille pour une plus bombée et déplace l'écran pour avoir à nouveau une image nette. Dois-tu éloigner ou rapprocher l'écran de la lentille ?</p>
<p>5. Effet stéréoscopique – appréciation des distances</p>	<p>Ton camarade, placé en face de toi, tient un bouchon du stylo dans la main. Ferme un oeil et enfle le bouchon sur le stylo.</p> <p>Demande à ton camarade de changer la position du stylo et répète l'expérience.</p> <p>À ton avis, pourquoi avons-nous deux yeux ?</p> <hr/> <p>Ces images sont un peu bizarres, faites de rose et de bleu.</p> <p>Mais si tu les regardes à travers des lunettes munies d'un filtre bleu pour un oeil et d'un filtre rouge pour l'autre, ces images t'apparaîtront en relief.</p> <p>Que se passe-t-il si tu tournes les lunettes à l'envers de manière à inverser les couleurs des filtres pour tes yeux ?</p> <div data-bbox="1134 714 1442 943" data-label="Image"> </div>
<p>6. Saturation (éblouissement et coloration inversée)</p>	<p>Fixe du regard le rond blanc sur fond noir pendant 20 secondes. Ensuite, regarde la croix sur l'écran. Tu devrais continuer à voir un rond. Mais comment est ce rond maintenant ?</p> <hr/> <p>Fixe du regard le rond rouge sur fond noir pendant 20 secondes. Ensuite, regarde la croix sur l'écran. Tu devrais continuer à voir un rond coloré. Mais de quelle couleur maintenant ?</p> <hr/> <p>Fais de même avec le rond bleu puis avec le rond vert.</p> <p>Qu'est-ce que le phénomène d'éblouissement d'après-toi ?</p>
<p>7. Myopie, hypermétropie, presbytie</p>	<p>Cette paire de lunettes est destinée à un myope (- à un hypermétrope - à un presbyte).</p> <p>Porte-les quelques secondes. Vois-tu ce qui est éloigné ?</p> <p>Approche cette fiche très près des lunettes. Parviens-tu à la lire ? D'après toi, comment un myope voit-il sans ses lunettes ?</p>
<p>8. Acuité (résolution)</p>	<p>Le dessin du petit cadre, fait de taches qui semblent informes, est une petite partie, très agrandie, de la gravure.</p> <div data-bbox="520 1610 855 1731" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="863 1464 1442 1890" data-label="Image"> </div> <p>De quelle partie s'agit-il ?</p> <p>N'hésite pas à prendre du recul, beaucoup de recul !</p> <hr/> <p>Ce carré est fait de lignes noires distantes de 0,5 mm. De loin, tu vois un carré gris. Ferme un oeil et approche-toi lentement jusqu'à ce que tu puisses voir distinctement les traits séparés.</p> <div data-bbox="1362 1944 1442 2024" data-label="Image"> </div> <p>Mesure la distance entre ton oeil et le carré. Que vaut cette distance ?</p>

9. Limitation de la zone de haute résolution	<p>Regarde une page de texte d'un livre (sans dessin) . Fixe du regard un mot qui se trouve vers le milieu de la page.</p> <p>Sans arrêter de fixer ce mot, essaye de lire les mots voisins puis toujours plus éloignés.</p> <p>Cela devient difficile n'est-ce pas ?</p> <p>T'étais-tu déjà rendu compte du fait que ton champ de vision nette est limité ?</p>
10. Tache aveugle	<p>Sur ce carton sont dessinés un disque noir et une croix. Ferme l'oeil gauche et tiens le carton à distance, la croix devant ton oeil droit.</p> <p>Fixe la croix du regard tout en pensant au rond noir que tu vois sans le fixer.</p> <p>Rapproche lentement le carton. Tu devrais trouver une position du carton dans laquelle le rond noir devient invisible.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>
11. Persistance rétinienne	<p>Sur une face de la palette, il y a une cage et sur l'autre face, un oiseau.</p> <p>Que fais-tu pour avoir l'impression de voir l'oiseau à l'intérieur de la cage ?</p> <p>Tu tournes rapidement la palette, bien sûr !</p> <p>Mais à propos, pourquoi est-ce que ça marche et connais-tu d'autres applications de ce phénomène ?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Recto</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Verso</p> </div> </div>
12. Interprétations du cerveau (illusions d'optique)	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Dans ce dessin, on peut voir à choix un visage de vieille femme ou un visage de jeune fille !</p> <p>Y parviens-tu ?</p> <p>Ne réponds pas à la question suivante si tu ne vois que l'un des deux visages : qu'est-ce qui constitue la bouche de la vieille femme dans le dessin de la jeune femme ?</p> </div> </div>
13. Vision colorée	<p>Sur l'écran de l'ordinateur, au moyen d'un logiciel de dessin, on a fait apparaître de fines lignes de couleurs sur un fond noir. On ne les distingue que si l'on se place assez près de l'écran.</p> <p>Quelle couleur voit-on de loin si les lignes sont rouges et vertes, si elles sont bleues et rouges, si elle sont vertes et bleues ?</p>
14. Daltonisme	<p>Fais le test de daltonisme qui t'est proposé sur ce document !</p> <p>(On trouve de tels documents sur Internet)</p> <p>Ta vision est-elle deutéranope, trichromate ou protanope ?</p> <p>Comment expliques-tu qu'une personne puisse ne pas voir la même chose que toi en faisant ce test ?</p>

Les phénomènes abordés en *immersion* ne donnent pas nécessairement lieu à un travail de conceptualisation. L'enseignant opère des choix.

La conceptualisation – Défi, réalisation, communication, validation d'hypothèses

Le défi qui consiste à fabriquer une maquette d'œil qui puisse servir à expliquer aux camarades d'une autre classe ce que sont l'accommodation et les dysfonctionnements de l'œil est à la fois un projet de réalisation et un projet de communication. De plus, il implique une forme de modélisation. Les phénomènes et concepts mis en jeu dans cette problématisation sont ceux qui sont énoncés sous les N^{os} 1, 3, 4, 7 et dans une moindre mesure le N^o 9, du tableau ci-dessus.

Relativement à ces phénomènes et concepts, on peut imaginer d'autres formes de problématisation. Par exemple le projet de préparer un dépliant explicatif des défauts de la vue, destiné aux clients d'une boutique d'opticien (l'idéal étant de travailler avec l'opticien de la place). Un autre projet est celui de préparer puis de tenir un stand d'examens de la vue, stand qui fonctionnera, à côté d'autres, par exemple lors d'une "journée santé" organisée à l'école ou dans une foire. Ces examens concernent la myopie et l'hypermétropie, mais les aspects plus physiologiques de la vue peuvent donner lieu à des tests et des expériences que les animateurs du stand connaissent pour les avoir abordés dans la phase d'*immersion* : travail de la pupille, vision stéréoscopique, détermination de l'acuité visuelle, mise en évidence de la tache aveugle, test de daltonisme.

Pour un travail conceptuel, il est relativement difficile de créer des *situations-problèmes* sur ces phénomènes. On peut cependant, à partir de constats partagés, demander aux élèves de proposer des hypothèses explicatives, débattre de ces hypothèses et tenter de les valider en recourant à de la recherche documentaire. Des organisations de la classe en équipes selon des modalités présentées au §9.7 peuvent être indiquées pour stimuler les apprentissages.

Dissection de l'œil

C'est souvent une tradition : l'étude de l'œil passe par la dissection d'un œil de porc ou de bœuf. En phase d'*immersion*, elle ne peut avoir de sens que conduite de manière directive pour développer un savoir-faire. Faire disséquer l'œil pour faire découvrir « comment c'est fait dedans » est voué à l'échec. S'ils ne le cherchent pas, les élèves ne voient souvent même pas le cristallin. Dans une perspective de construction du savoir, la dissection peut s'avérer utile. Elle permet de vérifier des hypothèses sur la structure de l'œil. Mais il y a une difficulté technique avec des yeux qui ont été surgelés car ils se liquéfient au dégel.

12.4 Système locomoteur

Une étude de cas

Le document reproduit dans l'encadré a été utilisé avec des élèves de 15 ans, tantôt en phase de conceptualisation, tantôt en phase de réinvestissement.

Comme dans les exemples précédents, c'est une approche globale et systémique qui est privilégiée. Il n'est pas question de faire réciter les noms des os ou des muscles humains. Il est question de développer la *compétence* à l'analyse d'une situation. Les savoirs (entre autres, noms des os et des muscles) et les savoir-faire nécessaires s'élaborent au cours de l'étude par la nécessité qu'éprouvent les élèves de nommer les objets introduits dans les situations didactiques.

La double fracture – un cas sérieux	
Situation	Victime d'un accident de sport, un patient entre à l'hôpital. Le médecin des urgences demande une radiographie de la partie lésée (document 1). Cette radiographie révèle une double fracture. Il s'agit dans cette première étape d'établir un diagnostic et de prévoir le traitement à entreprendre.
Ce qui est demandé	<ol style="list-style-type: none"> 1 Qu'est-ce qui permet d'identifier les deux os sur le document 1 ? 2 Préciser les emplacements exacts des fractures en utilisant le matériel à disposition 3 Comment faire pour que les deux os ne puissent absolument plus bouger durant le temps de cicatrisation (formation du cal) ? 4 Quels sont les muscles qui ne pourront plus travailler durant cette période et qui auront tendance à s'atrophier ? 5 Quels gestes le physiothérapeute devra-t-il proposer, une fois les os ressoudés, pour développer les muscles atrophiés ? 6 Sachant que durant la première semaine de physiothérapie, le patient n'a le droit de lever qu'un poids maximum de 3 kg (avec l'avant-bras en position horizontale), quelle traction exerce alors le muscle qui travaille pour maintenir ce poids et quel est ce muscle ? 7 Décrire, pour chacune de ces radiographies (documents 2 et 3), la méthode utilisée pour immobiliser les os. 8 Expliquer sur un modèle à quoi sert le "clou" fiché en travers des os (document 2).
Matériel à disposition :	<ul style="list-style-type: none"> - Une caisse avec les éléments d'un squelette humain et des modèles d'articulations - Un squelette de démonstration - Livres d'anatomie et biologie humaine

Lorsque cette étude de cas intervient en phase de conceptualisation, les élèves disposent en outre de matériel pour fabriquer des leviers, des *modèles* d'articulations ainsi que pour confectionner un bras ou une jambe simplifiée (bois, charnières, vis,...) et les outils nécessaires. Ils ont aussi des dynamomètres (mesure de forces), des cordelettes et élastiques et des jeux de radiographies de diverses parties du squelette humain.

Documents accompagnant la donnée de l'étude de cas.

Document N° 1



Document N° 2



Document N° 3



Document N°1 : radiographie d'une double fracture.



Document N°2 : radiographies montrant un premier procédé de réduction d'une double fracture.

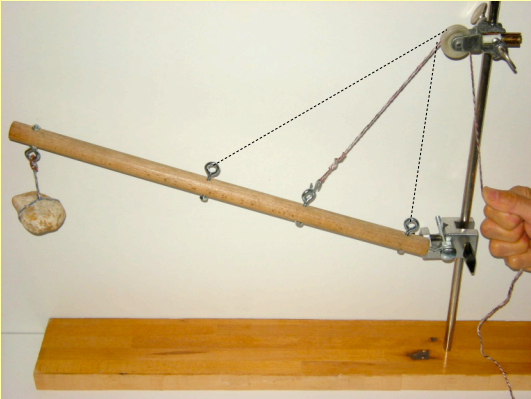
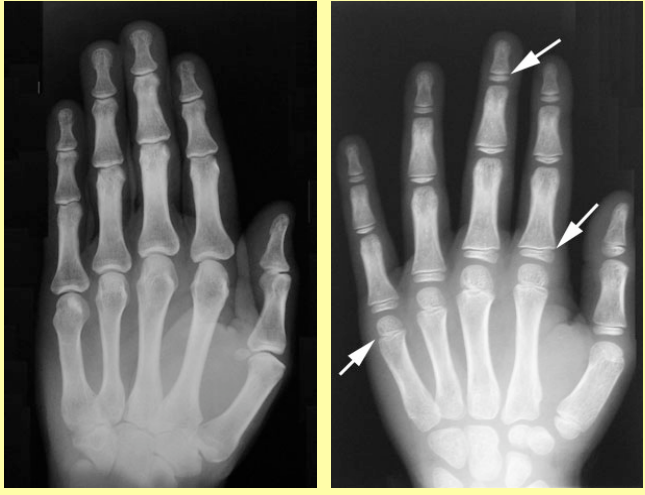

Document N°3 : radiographies montrant un second procédé de réduction d'une double fracture.

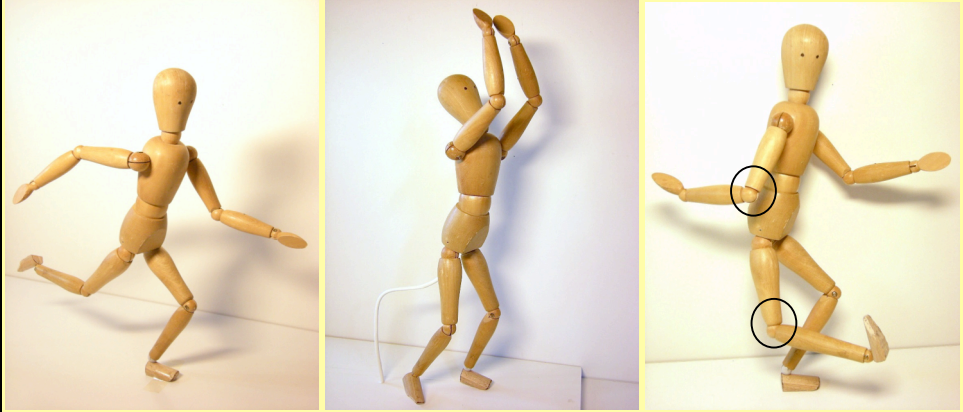

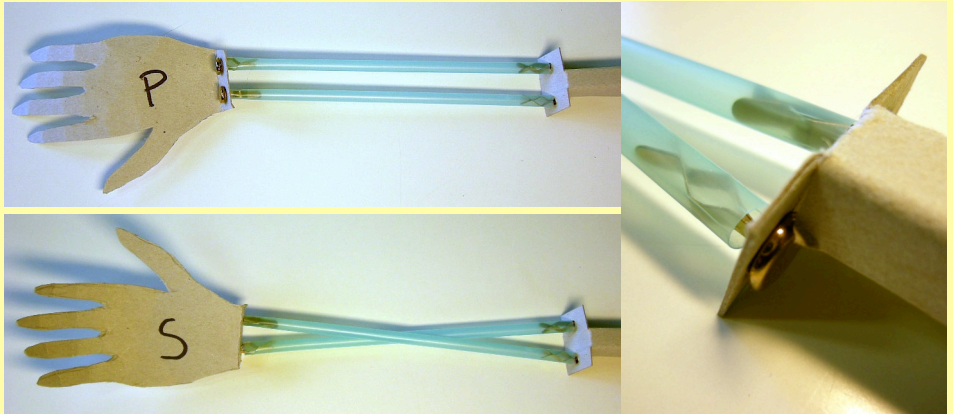
Quelle *immersion* à propos du système locomoteur ?

L'*immersion* vise à faire prendre conscience du rôle général du squelette et de ses particularités qui permettent la mobilité du corps, de *vivre-sentir* la différence entre force et moment de force. Plus spécialement, les élèves se familiarisent avec les divers types d'articulation. Le rôle des ligaments, des cartilages, des tendons et des muscles et la manière dont ces derniers meuvent le squelette fait aussi partie d'un savoir empirique qui se précise dans la phase d'*immersion*. Au passage, certaines *conceptions* des élèves sont mises à jour et certains savoir-faire développés.

Consignes des postes du rallye en regard de phénomènes mis en évidence

Matériel à disposition	Consignes			
1. - Cordelette solidement amarrée par une extrémité - Dynamomètres 10 N et 100 N	Entraîne-toi à tirer horizontalement sur la corde avec une force d'intensité donnée à l'avance. Demande à ton camarade de te tester en t'indiquant des forces à exercer. Remplis le tableau. Recommence en tirant verticalement.			
	Force horizontale indiquée en newtons	Force horizontale mesurée en newtons	Force verticale indiquée en newtons	Force verticale mesurée en newtons
2. - Barre à crochets - Objet à suspendre de 500 g environ - Foulard pour bander les yeux	Tiens la tige horizontalement par sa poignée et suspends le caillou à l'un ou l'autre des crochets. Entraîne-toi à pouvoir dire, les yeux bandés, à quel crochet ton camarade a suspendu le caillou.			
				
3. - Dictionnaire épais ou livres	Joue au bras de fer avec ton camarade en respectant ces règles:			
	1) l'un des deux protagonistes fait reposer son coude sur un dictionnaire ou des livres dont l'épaisseur représente 8 à 12 cm, 2) l'autre partenaire pose son coude directement sur la table, 3) avant le départ du jeu, les deux avant-bras sont bien verticaux l'un contre l'autre. Ensuite, échange ton rôle avec ton camarade.			
4. - Fil métallique - Divers outils pour couper le fil	Tu disposes de différentes pinces permettant de couper un fil de fer.			
	Sans essayer, classe-les dans l'ordre allant de celui qui te permettra de couper ton fil avec le plus de facilité à celui qui t'obligera au plus grand effort. Vérifie ton classement en coupant le fil de fer avec chacune des pinces.			
				

<p>5.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Feuille de papier sur laquelle on met le pied, collée au sol au bas d'un mur - Règle métrique 	<p>Colle un pied contre le mur et essaye de rester debout en soulevant ton autre pied !</p> <p>Essaye d'avoir la distance minimum qui te permette de rester en équilibre.</p> <p>Mesure cette distance minimum (entre le mur et le bord de la chaussure le plus éloigné du mur)</p>
<p>6.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montage avec une barre articulée munie de trois crochets, une charge suspendue et une ficelle de traction passant sur une poulie. - Foulard pour bander les yeux 	<p>Tu dois pouvoir dire, les yeux bandés, si l'attache de la ficelle est faite au premier, au deuxième ou au troisième crochet. Entraîne-toi puis fais-toi tester par ton camarade !</p> <p>Ensuite, va regarder le bras d'Hector, le squelette d'enseignement. L'avant-bras est fait de deux os : le radius et le cubitus. Près de l'articulation du coude, sur le radius, il y a une sorte de bosse. C'est là que le biceps est accroché. Si la barre du montage joue le rôle du radius, à quel crochet correspond l'attache du biceps ?</p> 
<p>7.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deux radiographies de la main 	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>Tiré d'un journal :</p> <p><i>Enquête après un vol : Deux des trois accusés disaient avoir moins de 18 ans. Des radiographies de la main ont tiré les choses au clair.</i></p> <p>Ci-contre, la radiographie de la main d'un enfant et celle d'un adulte.</p> <p>Dans une des radiographies, des flèches indiquent des cartilages qui n'apparaissent pas dans l'autre radiographie.</p> </div> </div> <p>Selon toi, pourquoi y a-t-il ces cartilages ?</p>
<p>8.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radiographie de la hanche avec une prothèse 	<p>Il s'agit d'une radiographie montrant une prothèse de la hanche.</p> <p>Suite à une fracture du col du fémur, le chirurgien a remplacé la tête de fémur par une tête artificielle montée sur une tige insérée dans le fémur.</p> <p>À quoi voit-on qu'il s'agit d'une prothèse ?</p> <p>Connais-tu quelqu'un qui s'est cassé le col du fémur ou qui souffrait d'arthrose de la hanche et qui a été opéré pour cela ?</p> <p>Quelle opération était-ce ?</p> 

<p>9.</p> <p>- Maquette articulée du corps humain</p>	<p>Jeux à faire à deux.</p> <p><u>Premier jeu</u> L'un des deux joueurs met les membres de la maquette dans une position qui correspond à un geste que l'on trouve dans un sport. L'autre joueur doit deviner de quel geste sportif il s'agit.</p> <p><u>Second jeu</u> L'un des deux joueurs met les membres de la maquette dans une position qu'il choisit librement. L'autre joueur essaie de prendre la même position avec ses membres, mais certaines positions, permises avec la maquette, sont impossibles dans la réalité !</p> <div data-bbox="475 544 1442 954">  </div>
<p>10.</p> <p>- Planchette</p> <p>- Grands mouchoirs ou foulards</p>	<p>Jeu à faire à deux.</p> <p>Au moyen du matériel à disposition, tu dois réussir à empêcher la rotation de la main de ton camarade.</p> <p>Il ne doit plus pouvoir passer de la position paume vers le haut (supination) à la position paume vers le bas (pronation).</p> <div data-bbox="1212 976 1442 1182">  </div>
<p>11.</p> <p>- Sac à main contenant une charge de 2 kg environ</p>	<p>Tiens le sac à main à bout de bras pendant une minute. Maintiens bien ton avant-bras horizontalement.</p> <p>Répète l'opération en maintenant ton avant-bras incliné à 45 degrés.</p> <p>Répète encore l'opération en accrochant cette fois le sac au milieu de ton avant-bras.</p>
<p>12.</p> <p>- Chalumeaux (pailles à boire)</p> <p>- Attaches parisiennes</p> <p>- Feuille de carton</p> <p>- Paire de ciseaux</p>	<p>Ce petit bricolage fait avec deux pailles à boire, des attaches parisiennes, un morceau de carton plié pour que sa section fasse un U, une main de carton, est un modèle de l'avant bras.</p> <p>Recopie ce modèle avec le matériel qui t'est donné !</p> <div data-bbox="485 1514 1442 1926">  </div>

Conceptualisation – Trois problèmes

Les problèmes présentés ici peuvent être proposés comme tels à des groupes d'élèves ou en tant que suggestion de travail dans le cadre d'une étude de cas (et en particulier de l'étude de cas de la double fracture décrite ci-dessus).

Un tas d'os à organiser

Le concept visé est celui d'organisation des os dans une structure appelée squelette.

Le problème tel qu'il est donné aux élèves :

Voici une caisse qui contient en vrac une partie des os d'un squelette. Vous devez disposer ces os sur le sol de manière à reconstituer le squelette d'un homme couché. Comme il manque des os, il y aura quelques trous que vous complèterez par des dessins sur des feuilles de papier. Quand vous aurez terminé, vous comparerez votre arrangement à Hector, le squelette qui demeurera sous sa bâche jusque-là.

Concevoir / modéliser quelques articulations

Le concept visé est celui d'articulation en général et d'articulation propre au squelette.

Consigne de réalisation :

En observant sur votre corps les mouvements qui sont possibles, imaginez comment sont faites les articulations du genou, de la hanche, de l'épaule, du bras, du pouce (avec le reste de la main) et réalisez des modèles de ces articulations au moyen du matériel mis à disposition.

Cherchez ensuite ces articulations chez Hector, le squelette, et comparez-les aux modèles.

Matériel :

Éléments de construction d'articulations, squelette d'enseignement (Hector)



Quelques articulations montées



Charnière



Plane



Selle



Sphérique

Les pièces de bois peuvent provenir d'un jeu de construction ou se trouver en quincaillerie. Les pièces de l'articulation en selle ont ici été confectionnées à l'aide d'une scie et d'une râpe à bois.

Une *situation-problème* sur les moments de forces en œuvre dans le bras Histoire vécue par un enseignant stagiaire

Projet de l'enseignant :

- Conduire ses élèves dans une approche intégrée de l'étude du système moteur de l'avant-bras humain et de la notion de moment de force, les placer dans une situation qui les incite à modéliser l'avant-bras par un montage mécanique sur lequel on puisse faire des mesures de forces et de distances.
- Faire travailler les élèves sur la conceptualisation du moment de force. Plus précisément et plus modestement, obtenir d'eux qu'ils opèrent avec le concept qui se résume dans la loi suivante :

$$\text{Force motrice} \times \text{Bras de levier moteur} = \text{Force résistante} \times \text{Bras de levier résistant.}$$

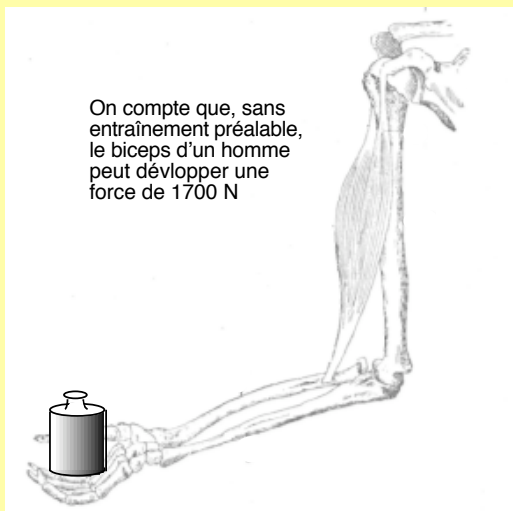
Deux concepts apparaissent ici : celui de moment de force et celui d'équilibre des moments de forces (cas simple des forces parallèles).

- Développer l'aptitude à travailler en groupes (groupes de trois)

La *situation-problème*

Consigne :

Quel groupe (de trois élèves) parviendra à déterminer la charge qu'un homme (standard) parvient à porter à bout de bras en maintenant la bras vertical le long du corps et l'avant-bras horizontal ?



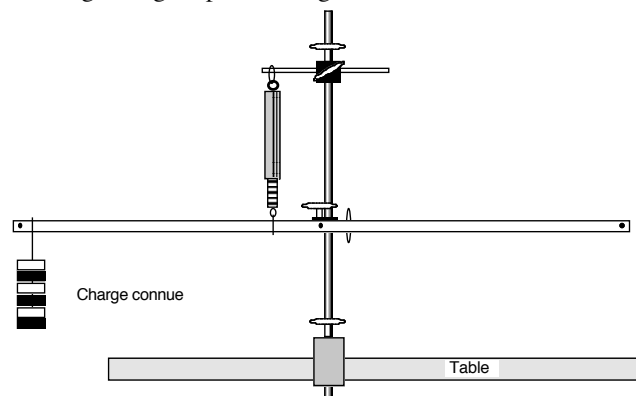
Pour cela vous disposez du matériel suivant :

Barre perforée, statifs, noix de fixation, tiges, dynamomètre, masses sur une nacelle.

Documentation sur laquelle on trouve la force exercée par le biceps de l'homme (standard).

En plus, Hector, le squelette humain sur son support, s'attend à ce que vous veniez lui poser des questions.

Montage imaginé par l'enseignant :



Les élèves auraient dû travailler à l'échelle $\frac{1}{2}$ et le poids propre de la règle n'aurait pas joué de rôle

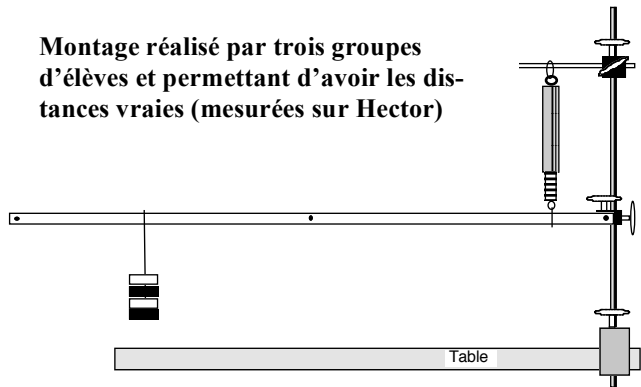
Ce qui s'est passé

Après un certain temps et quelques reformulations de la demande de l'enseignant, la plupart des élèves ont décidé de faire une transposition avec les vraies distances (celles qu'ils mesuraient sur Hector), de mesurer la force (dynamomètre) pour une charge donnée et de répondre à la question en amplifiant la charge suspendue par un facteur

d'échelle. Ce facteur d'échelle est le rapport entre la force de 1700 N indiquée dans le document et la force mesurée au moyen du dynamomètre.

Ce faisant, les élèves ont échappé à la *situation-problème* puisqu'ils n'ont pas été obligés de construire la loi attendue :

Montage réalisé par trois groupes d'élèves et permettant d'avoir les distances vraies (mesurées sur Hector)



Force motrice \times Bras de levier moteur = Force résistante \times Bras de levier résistant.

L'enseignant a été quelque peu surpris par ce qui s'est passé. Il avait imaginé que les élèves feraient une série de mesures à partir desquelles ils induiraient la loi attendue et qu'ils appliqueraient ensuite cette loi au cas du bras humain. Il s'agit là d'une projection de la conception de l'enseignant à propos de la démarche scientifique.

Ce qui aurait pu fonctionner – Situation-problème améliorée

Pour que la *situation-problème* fonctionne, il eut suffi de sortir du cas particulier en disant aux élèves :

Chaque groupe doit pouvoir m'indiquer la charge qu'un homme ou qu'un enfant parvient à porter à bout de bras en maintenant la bras vertical le long du corps et l'avant-bras horizontal.

Il faut pouvoir répondre pour toute force exercée par le biceps, pour toute longueur d'avant-bras et pour des points d'attache du biceps sur le radius pouvant être à différentes distances de l'articulation avec l'humérus (longueurs et distances plus petites chez les enfants que chez les adultes).

Quand un groupe est prêt, il s'annonce. Je lui indique alors le cas d'un enfant ou d'un adulte au moyen d'un dessin à l'échelle mentionnant la force exercée par le biceps. Le groupe calcule alors la charge soulevée à bout de bras.

Une réponse étant trouvée, elle est vérifiée au moyen du dispositif expérimental.

Un bilan tout de même positif

Malgré le fait que les élèves aient échappé à la *situation-problème*, la séance de travail a été profitable. L'enseignant a eu la bonne idée de noter au tableau noir les prévisions des élèves. Cela a aidé à la dévolution du problème et cela a contribué à ce que les élèves restent motivés durant plus d'une heure. La transposition de la "réalité" observée sur Hector au *modèle* construit n'a pas été évidente. Pourtant tous les élèves ont compris en quoi ils modélisaient et en quoi le *modèle* était utile.

À la fin, les élèves ont été un peu décontenancés par le fait que les réponses trouvées étaient très dispersées. Le résultat est bien sûr très sensible aux petites différences de longueurs et à la bonne lecture des dynamomètres.

Par ailleurs, la manière de calculer des élèves correspond à une modélisation assez grossière de l'avant-bras puisque, dans leur montage, le poids propre de la barre est impliqué d'une manière dont ils n'ont pas pris conscience (dans leur méthode, ce poids propre est amplifié par le facteur d'échelle ce qui conduit à sous-estimer la charge que la main peut soutenir).

Conclusion

**Entre espoirs et vœux :
donner du sens !**

1. Espoirs

Y a-t-il un mot de la fin ? Comment conclure un ouvrage dont la vocation est d'ouvrir des portes ?

Peut-être est-il bon de rappeler les intentions exprimées dans l'introduction :

Apporter un témoignage, faire part d'expériences vécues, donner des idées, faire envie, encourager à oser. Promouvoir un enseignement qui se nourrit de la recherche en pédagogie et en didactique. Voilà le projet.

Ayant lu le livre, vu les films et s'en étant peut-être servi, le lecteur peut juger si ces intentions sont vaines ou folles, ou au contraire peu ou prou réalistes.

Derrières ces intentions se cachent quelques espoirs d'une amélioration de l'enseignement des sciences et plus généralement d'une évolution l'école. Car comment peut-on croire que le modèle auquel se réfère l'école encore aujourd'hui est adapté à la société actuelle, à notre monde multiculturel, aux nouveaux modes de vie et de communication, à ce qu'est devenue la famille, aux problèmes d'exclusion et de violence, etc ?

Des voix s'élèvent pour demander que l'école devienne un véritable milieu de vie, pour qu'elle offre aux enfants et adolescents l'occasion de se réaliser pleinement dans les divers aspects de leur personnalité. Ces voix insistent sur la nécessité d'encadrer les jeunes au-delà des cinq heures hebdomadaires de maths, quatre heures de français, deux heures d'histoires, etc., de s'occuper d'activités aujourd'hui considérées comme "extrascolaires" : activités sportives, musicales, théâtrales, de jardinage, de cuisine, groupes scientifiques, de philosophie, de civisme.... Il s'agit de constater que le sentiment d'appartenance sociale ne se réalise plus au sein de l'école traditionnelle, si ce n'est dans les préaux, souvent au travers d'exclusion de l'autre, de « loi du plus fort », de rejet des institutions. L'appartenance à une société qui fonctionne sur des valeurs de partage culturel, de respect des institutions et des personnes, d'équité, de recherche du progrès social, doit se forger autour de centres d'intérêts partagés et encouragés par l'école.

Que de temps perdu durant les années d'école à apprendre les disciplines scolaires alors qu'en quelques mois, on peut parler une langue étrangère, comprendre tout le programme de mathématiques du secondaire, devenir performant en orthographe, connaître des pays étrangers avec force détails géographiques, économiques, politiques ou historiques...

En quelques mois ? Oui, quand une nécessité est là, quand un espoir professionnel existe, quand une aspiration doit se réaliser. C'est bien de projets, de projets à leur hauteur, mais de vrais projets dont ont besoin les jeunes pour mettre en valeur la formidable capacité d'apprendre qui est la leur.

Dans cette perspective, la contribution que peut apporter cet ouvrage est bien modeste. Il a été dit dans l'introduction que les expériences d'enseignement présentées, le plus souvent confinées à une classe et à un enseignant, ne préfigurent pas l'enseignement de demain, mais que les concepts et les outils mis en œuvre dans ces expériences peuvent entrer dans les pratiques de cette école de demain.

2. Quelques propositions

Il est peut-être bon de rappeler ici les propositions qui ont été abordées dans les chapitres de cet ouvrage et qui peuvent être mises en œuvre sans délai par les enseignants dans le cadre de leurs prérogatives, à l'intérieur des structures existantes :

Décloisonner l'école de la société

- Travailler au profit de groupes qui n'appartiennent pas à la classe (autres classes, parents, publics divers, mandants)
- Travailler en partenariat avec des musées, des centres culturels, des laboratoires pour jeunes, participer à des concours, à des débats publics, etc.
- Solliciter des experts de différents horizons : politique, économique, scientifique, industriel, artisanal, ...
- Travailler sur des mandats donnés par des instances extérieures à l'école

Décloisonner les disciplines

- Constituer des équipes pédagogiques
- Travailler à des projets interdisciplinaires
- Intégrer les thématiques à l'intérieur de chaque discipline

Créer des enjeux, problématiser

- Lancer des défis, provoquer, mais aussi donner confiance
- Faire communiquer (comptes-rendus écrits/oraux, articles de journaux, Internet, ...)
- Faire réaliser des objets, des appareils, des expositions, ...
- Mettre en contact avec des ressources nombreuses (livres, revues, articles, émissions radio ou TV, Internet)

Faire jouer les interactions sociales

- Faire travailler les élèves en duo, en groupes, en équipes
- Prendre des dispositions qui rendent les groupes responsables et autonomes
- Tirer profit de la richesse des idées et des productions en organisant des interactions entre les groupes, les équipes, les classes
- Créer des situations de partenariat ou de concurrence entre des classes ou entre deux demi-classes

Pratiquer des activités de métacognition

- Donner aux élèves des occasions de réfléchir à leurs démarches
- Analyser et comparer des démarches différentes
- Assimiler la classe à une communauté scientifique
- Donner aux élèves des occasions de conduire des recherches authentiques, se référer notamment au modèle DiPHTeRIC de Jean-Yves Cariou¹

Structurer l'enseignement

- Se fixer des buts, définir les compétences attendues des élèves
- Distinguer les phases d'une séquence d'enseignement, clarifier avec les élèves ce qui est attendu d'eux dans chaque phase

¹ Voir dans l'introduction "5. La science dont il est question".

- Donner de la place à la familiarisation des élèves avec les thèmes traités (phase d'immersion)
- Donner aux élèves des occasions de faire des bilans de compétences formatifs avant d'évaluer formellement leurs niveaux d'apprentissage

3. Projet, motivation et sens, moteurs des apprentissages

Il y a un dénominateur commun à toutes ces propositions, on y revient, c'est l'idée de projet qui s'associe à l'idée de motivation. Projet de l'enseignant, certes, mais aussi et surtout projet de l'élève !

L'expérience montre que des élèves préadolescents ou adolescents sont capables d'une réelle autonomie de travail et d'une grande efficacité s'ils ont un projet en tête.

Pour terminer, un vœu...

Que **jamais plus** un enseignant déclare, en s'adressant à ses élèves : « Vous me dites que ce que je vous enseigne ne sert à rien avant même de l'avoir appris – Apprenez d'abord, ensuite vous pourrez discuter de la pertinence de ce savoir ! »

Toutes les expériences qui alimentent cet ouvrage ont été conduites en partant de l'exigence inverse :

Que les élèves trouvent un sens immédiat aux activités d'apprentissage qu'on leur propose ! Le credo étant que l'acte d'apprendre est lui-même une quête de sens.

Ainsi, dire aux élèves « apprenez, vous comprendrez plus tard » est un paralogisme. C'est, sans s'en rendre compte, renvoyer les élèves à leur capacité à trouver par eux-mêmes un sens à ce qu'on leur fait faire... ou renoncer à ce qu'ils apprennent.

Il n'est pas dit que, dans les expériences évoquées dans l'ouvrage qui se conclut ici, cette exigence de sens ait été toujours pleinement satisfaite pour tous les élèves, mais les enseignants qui ont conduit ces expériences n'ont jamais eu à répondre à la question : « Mais M'sieur (ou M'dame), à quoi ça sert ce qu'on fait ? »



Table des matières

<i>Introduction – Pourquoi, pour qui, comment ?</i>	3
1 Pourquoi ce livre et ces films ?	4
Montrer des “possibles”, c’est une première raison d’être de ce livre.	
Donner envie ! Si ce livre pouvait y contribuer...	
Aider à préparer et à conduire une séquence d’enseignement.	
2 Pour qui ?	5
3 Une didactique pragmatique dans un contexte appelé à évoluer	6
4 Comment se servir de ce livre et des films ?	7
Première partie – Deux histoires vécues	
Deuxième partie - Concevoir la séquence d’enseignement	
Troisième partie – Des considérations épistémologiques aux outils pratiques	
Quatrième partie – Quelques suggestions issues d’expériences d’enseignement	
5 La science dont il est question – brièvement	9
<i>Première partie - Deux histoires vécues</i>	12
Deux séquences d’enseignement, deux films, deux chapitres	
Des cadres d’enseignement un peu différents	
Un vécu à voir à des niveaux différents	
1 Approche du métabolisme et modélisation à 14 ans	13
1.1 Structure de la séquence d’enseignement	13
1.2 Déroulement de la séquence – Le vécu des élèves	15
Séance 1	15
Rallye énergie	
Séance 2	17
Réflexions à propos d’un documentaire sur le régime Atkins	
Séance 3	19
Rallye énergie (2e demi-classe)	
Séance 4	19
Retour sur le rallye	
Devoir pour chaque élève (à faire pour le vendredi de la semaine 3)	
Séance 5	20
Premier temps : six questions à traiter (20 min de travail – scène 5)	
Deuxième temps : discussion des hypothèses (25 min de travail – scène 6)	
Troisième temps : vérification des hypothèses (35 min de travail – scène 7)	
Séance 6	21

	Synthèse des positionnements - apports de l'enseignant (15 min de travail – scène 9)	
	Séance 7	23
	Détermination des besoins énergétiques journaliers, un défi (10 min de travail – scène 10)	
	Des idées pour relever le défi (20 min de travail – scène 11)	
	Recherches empiriques (55 min de travail – scène 12)	
	Séance 8	24
	Travail interactif entre les deux demi-classes à propos de la recherche concernant l'énergie nécessaire en 24 heures	
	Séance 9	25
	Examen critique des résultats obtenus jusqu'ici (20 min de travail – scène 14)	
	Nouvelles recherches (60 min de travail – scène 15)	
	Séance 10	26
	Aboutissement de la recherche sur le métabolisme (15 min de travail – scène 16)	
	Exercices de réinvestissement (30 min de travail – scène 17)	
	Séance 11	27
	Mise en projet des élèves : modélisation d'un cochon d'Inde (10 min de travail – scène 18)	
	Élèves en action (75 min de travail – scène 19)	
	Séance 12	28
	Bilan de compétence : modélisation d'un petit mammifère	
	Séance 13	28
	Séance bilan et échanges	
1.3	Modèle comparatif du corps humain et du véhicule à moteur thermique	29
	Schématisation	
	Transposition didactique	
1.4	Modèle physique du récipient d'eau tiède pour le corps humain ou d'autres mammifères	29
	Conditions	
	Cas du corps humain	
	Le modèle des animaux de tailles diverses	
2	Premiers pas en électricité à 11 ans	33
2.1	Structure de la séquence d'enseignement	33
2.2	Déroulement de la séquence – Le vécu des élèves	
	Séance 1	35
	<i>Conceptions</i> premières des élèves (35 minutes de travail - scène 2)	
	Rallye électricité (45 min. de travail)	
	Séance 2	39
	Fin du rallye (30 min de travail – début de la scène 4)	
	Situation-problème (30 min de travail – suite de la scène 4)	
	Jeu de rôles – Etape 1 de la modélisation (25 min de travail – scène 5)	
	Séance 3	40
	Du jeu de rôles au modèle – quand la circulation devient nécessaire (60 minutes de travail - scène 6)	
	Du jeu de rôles au modèle – les cartes ou billets d'énergie (25 minutes de travail - scène 7)	
	Séance 4	43
	Les "secrets" des piles et des ampoules Jeu électrique des questions et réponses	

	Jeu électrique des questions et réponses	
	Séance 5	44
	Un rallye pour aller plus loin (85 minutes de travail)	
	Séance 6	47
	Mise en scène des phénomènes se passant dans un circuit comportant deux lampes en série (85 minutes de travail)	
	Séance 7	48
	Mise en scène des phénomènes se passant dans un circuit comportant deux lampes en parallèle (45 minutes de travail – scène 18)	
	Introduction d'un modèle symbolique - Etape 2 de la modélisation (40 minutes de travail – scène 19)	
	Séance 8	50
	Mise en rapport du modèle des grisés et du modèle mimé des grains d'électricité – perfectionnement du modèle des grisés (20 minutes de travail - scène 20)	
	Réinvestissement en situation concrète nouvelle et en équipes d'élèves - Etape 3 de la modélisation (65 minutes de travail - scène 21)	
	Séance 9	52
	Test de compétences passé individuellement par tous les élèves de la classe	
2.3	Modèle des “grains d'électricité”	53
	Des jeux de rôles au modèle	
	Transposition didactique	
2.4	Modèle symbolique des grisés	54
	Du concret vers l'abstrait	
	Perspectives	
	Trois exemples d'extension du modèle des grisés avec des élèves de 15 ans	
	1) Résoudre un problème en se servant des grisés.	
	2) Représenter la valeur des résistances.	
	3) Associer les grisés et le codage des résistances.	
3	Regard sur ces histoires vécues	57
3.1	Des histoires uniques	57
3.2	L'élève « au centre »	57
3.3	Les rôles de l'enseignant	58
3.4	Contrat pédagogique, contrat didactique	60
3.5	L'évolution des conceptions des élèves	62
	Une définition de la conception	
	Constance et pertinence des conceptions	
	“Prégnance” des conceptions	
	Prétests et post-tests	
	Traces durables de certaines activités	
	Le vocabulaire	
3.6	Des approches systémiques	66
3.7	L'aptitude des élèves à travailler au moyen d'analogies et d'abstractions	66

Deuxième partie - Concevoir la séquence d'enseignement **67**

4	La construction d'une séquence d'enseignement - Modèle des trois phases	68
4.1	Séquence d'enseignement – Un thème, un groupe d'élèves	68
4.2	Approche par les compétences attendues des élèves	68
	L'idée de compétence	
4.3	Trois phases : Immersion, conceptualisation, réinvestissement	71
4.4	Phase d'immersion contextuelle et de familiarisation	73
4.5	Phase de conceptualisation	75
4.6	Phase de réinvestissement	78
5	Pertinence et limites du modèle	81
5.1	Limites de l'approche par compétences	81
5.2	Des contrats pédagogiques clairs	82
5.3	Des phases intermédiaires ou de transition	82
5.4	Temps didactique long et temps didactique court	83
5.5	Des hypothèses pas toujours vérifiées	83
6	Trois autres histoires vécues	85
	Des Projets pédagogiques	
6.1	Une expérience de pédagogie coopérative visant l'acquisition de savoir-faire à propos de la détermination du volume d'objets courants	85
	De la géométrie et des sciences, une heureuse intégration	
	Entrons dans la classe...	
	Remarque sur la conduite de cet enseignement mutuel	
6.2	Des élèves âgés de 14 à 15 ans confrontés à l'idée de science	87
	Dans le cadre d'une recherche	
	Ce que la classe a appris	
	Ce que chacun a appris	
6.3	Un projet interdisciplinaire en français, histoire, maths et sciences	90
	En préambule : deux conceptions de l'interdisciplinarité	
	Un peu de sel à l'école – Histoire vécue d'une matinée d'interdisciplinarité	
	Les enseignants n'ont pas fini...	
	Retour sur investissement	

<i>Troisième partie - Des considérations épistémologiques aux outils pratiques</i>	95
7 Épistémologie, modélisation, pratiques expérimentales	96
7.1 Qu'est-ce que la science ?	96
Le tournant du 20 ^e siècle	
Gaston Bachelard (1884-1964)	
Karl Popper (1902-1994)	
Thomas Samuel Kuhn (1922-1996)	
Paul Feyerabend (1924-1994)	
Imre Lakatos (1922-1974)	
Alan Francis Chalmers (1936)	
En résumé...	
7.2 De l'épistémologie aux indications pédagogiques	100
L'idée d'obstacle	
Expérimenter pour réfuter	
L'idée de communauté scientifique	
Entre charlatanisme et scientisme	
7.3 Modéliser pour apprendre	103
Au travers d'exemples...	
Fondement épistémologique de la modélisation	
Modéliser...	
7.4 Essai de catégorisation des modèles et exemples	105
Représentation schématique de la modélisation	
Trois niveaux d'implication de la modélisation	
1. Le modèle en tant que forme de transposition didactique	
2. Le modèle participant de la conceptualisation	
3. Le modèle dans sa dimension épistémologique de construction du savoir	
En résumé, pourquoi modéliser, pourquoi faire modéliser par les élèves ?	
7.5 Modes didactiques des pratiques expérimentales	107
8 La problématisation, un levier didactique essentiel	111
8.1 Les fondements de la situation-problème et du problème ouvert	111
8.2 La situation-problème	112
8.3 Le problème ouvert	113
8.4 Autres formes de problématisation	114
Le projet de communication	
Exemples tirés des séquences d'enseignement des chapitres 1, 2 et 6.	
Le projet de réalisation	
L'énigme	
Exemples tirés des séquences d'enseignement des chapitres 1, 2 et 6.	
L'étude de cas	
Quant à sa nature, une étude de cas...	
Quant aux démarches qu'elle suscite de la part de l'apprenant, une étude de cas...	

	Quant au savoir-être qu'elle contribue à développer, une étude de cas...	
	Quant au résultat qu'on en attend, une étude de cas...	
8.5	Au lieu des situations-problèmes	117
	Des "vraies" situations-problèmes pas faciles à trouver !	
	Exemples relatifs aux concepts d'effet Joule et de germination	
9	Aides à la construction de séquences	119
9.1	Planifier l'année scolaire	119
9.2	Structurer une séquence selon le modèle des trois phases	120
	L'esprit de ces trois phases est-il respecté ?	
	Plan de préparation et de conduite d'une séquence	
9.3	Quitter le "naturel" pour le socioconstructivisme	123
	Indicateurs du type d'enseignement	
	Quant au projet de l'enseignant...	
	Quant aux projets et procédures des élèves...	
	Quant à la conceptualisation et à l'épistémologie	
	Prendre en compte les conceptions des élèves	
	Bannir les travaux pratiques "prêts à l'emploi" (TP directifs)	
	Autonomie et socioconstructivisme	
	Préambule	
	Caractéristiques d'une approche s'appuyant sur l'autonomie des élèves	
	Caractéristiques d'une approche socioconstructiviste – Métaphore de la caisse à outils	
	Socioconstructivisme et directivité ne s'opposent nullement	
9.4	Problématiser	130
	Problèmes et situations – Tableau synoptique	
	Règles pratiques pour formuler le texte d'une situation-problème	
	Les questionnaires et les questionnaires à choix multiples (QCM)	
	Structure d'un QCM	
	Avantages et inconvénients du QCM	
	Avantages et inconvénients du QCM	
	Quelques caractéristiques possibles des QCM	
	Quelques règles pour préparer un QCM	
	Construction des affirmations proposées comme réponses	
	Exemple de taxonomie des niveaux de compétences pouvant intervenir pour choisir les réponses d'un QCM	
9.5	Faire expérimenter	134
	Quelles pratiques expérimentales ?	
	Indicateurs des modes didactiques de l'expérimentation	
9.6	Obstacles et concepts	136
	Une catégorisation qui aide à voir clair	
	Exemples d'obstacles conceptuels	
	La "formulite", une maladie répandue, spécialement dans l'enseignement de la physique	
9.7	S'appuyer sur les interactions sociales	141
	Des expériences convaincantes...	
	Des raisons profondes...	

	Descriptif des six modalités d'interactions de base	
	Descriptif des huit modalités d'interactions structurées	
9.8	Quand les activités des élèves révèlent les intentions de l'enseignant	152
	Grille d'observation (dans le cas où le modèle des trois phases s'applique)	
	Grille d'observation (séquence structurée selon un modèle autre que le modèle des trois phases)	
9.9	Des comptes-rendus – lesquels et pourquoi ?	154
	Le dogme des comptes-rendus de travaux pratiques	
	Donner du sens aux comptes-rendus	

Quatrième partie : - Quelques suggestions issues d'expériences d'enseignement **155**

10	La lumière et sa modélisation	156
10.1	De la soustraction à l'addition – un obstacle	156
	Une foison de visions...	
	Des intentions modestes	
	Base d'un modèle simplifié	
	L'expérience acquise des élèves	
10.2	Enrichir le vécu des élèves et problématiser	158
10.3	Le modèle des grains colorés de lumière	162
	Une tentative	
	Le germe de modèle	
	Complément possible du modèle	
	Obstacles rencontrés par des élèves de 11 à 13 ans...	
	... et dépassement de ces obstacles	
11	Quand mathématiques et sciences vont de pair	165
11.1	Vous avez dit : « mathématiques » ?	165
	Des points de vue...	
	L'enseignement des mathématiques bien isolé	
	Tentatives	
11.2	Construire un “mobile de Calder” – Les aires pesantes avec des élèves de 12 à 14 ans	167
	Intentions	
	Savoirs, savoir-faire et savoir-être à mettre en œuvre	
	Immersion et conceptualisation	
11.3	Algèbre et géométrie “à la loupe”	170
	Intentions	
	Modèles algébriques et géométriques pour la projection d'une image par une lentille	
	Le modèle “canonique”	
	Immersion et problématisation	
	Le problème des deux images – Une équation du 2e degré	
	La “loi des lentilles” mise en défaut !	
11.4	Une balance pour les fractions	178

11.5	Symétrie, vitre et miroir plan	179
	Un cadre pour les miroirs	
	Quelques situations d’immersion et de conceptualisation avec des miroirs	
11.6	Une réflexion sur la réfraction	181
	Immersion et problématisation	
	L’opportunité d’un modèle trop simple	
	À l’aide d’une cuve d’eau ou d’un bloc en verre ou en verre acrylique	
11.7	Des modèles dans un gobelet	184
	Un problème à boire	
	Des élèves qui ont soif	
	Un secret bien gardé	
	Mise à l’épreuve des modèles par la rigueur formelle et par l’expérience	
	Un modèle gagnant	
	Le besoin, toujours le besoin	
11.8	Petits pois - Un problème ouvert pour une boîte fermée	187
	Problématisation – Quelques variantes parmi d’autres	
	La variante la plus ouverte	
	La variante “boîte vide”	
	Une variante plus réaliste	
	La variante “énigme”	
	Une autre approche possible (plus interdisciplinaire)	
	Vérification	
	Pourquoi une variante plutôt qu’une autre ?	
11.9	Maths ou sciences ? – Pour conclure ce chapitre	198
12	Du corps humain	191
12.1	Qu’attendre de l’étude du corps humain ?	191
	Des intentions généreuses – Trop ?	
	De la logique des contenus...	
	... à une logique d’apprentissage	
	Du métabolisme en général à une vision systémique du corps humain	
12.2	Modèles systémiques du corps humain	193
	Une multitude de propositions	
	La compétence visée	
	Exemple d’une étude de cas	
	Immersion - Conceptualisation – Réinvestissement	
	Ce qui a précédé	
	La phase d’immersion	
	La phase de conceptualisation	
	La phase de réinvestissement	
	Limite de la modélisation et des études de cas – Transposition didactique	
	Suites possibles	
12.3	L’œil et la vision – Un modèle pour l’œil	200
	De la fonction à la structure interne - Expériences	

	Un modèle physique permettant des simulations	
	Productions d'élèves en phase de conceptualisation	
	L'immersion – Un rallye sur l'œil et la vue	
	La conceptualisation – Défi, réalisation, communication, validation d'hypothèses	
	Dissection de l'œil	
12.4	Le système locomoteur	206
	Une étude de cas	
	Quelle immersion à propos du système locomoteur ?	
	Conceptualisation – Trois problèmes	
	Un tas d'os à organiser	
	Concevoir / modéliser quelques articulations	
	Une situation-problème sur les moments de forces en œuvre dans le bras – Histoire vécue par un enseignant stagiaire	
	Projet de l'enseignant :	
	Ce qui s'est passé	
	Ce qui aurait pu fonctionner – Situation-problème améliorée	
	Un bilan tout de même positif	
	<i>Conclusion - Entre espoirs et vœux : donner du sens !</i>	215
1	Espoirs	216
2	Quelques propositions	217
	Décloisonner l'école et la société	
	Décloisonner les disciplines	
	Créer des enjeux, problématiser	
	Faire jouer les interactions sociales	
	Pratiquer des activités de métacognition	
	Structurer l'enseignement	
3	Projet, motivation et sens, moteurs des apprentissages	218
	Pour terminer, un vœu...	

Structure de l'ouvrage

Le livre est divisé en 4 parties et en 12 chapitres numérotés (rang 1 des titres)

Chaque chapitre est divisé en paragraphes (§) numérotés (rang 2 des titres)

Un certain nombre de paragraphes sont divisés en sections non numérotées, mais hiérarchisées (rang 3 des titres)

Les films sont divisés en sections appelées “scènes”. Sur les appareils de lecture des DVD c’est souvent le terme “chapitre” qui est usité pour désigner les scènes adressables au moyen de la télécommande (lecteurs de salon) ou du logiciel de lecture (ordinateurs).

Règles typographiques appliquées dans cet ouvrage

- Un bandeau orange sur la gauche de certains textes, signale que ces textes se rapportent à des situations vécues par des élèves, situations qui sont décrites par ailleurs dans l’ouvrage.
- Les guillemets français « ... » encadrent des citations
Les guillemets anglais “...” encadrent des termes ou expressions employés dans un sens particulier ou que l’on veut souligner ou qui dénomment un document.
- Sont écrits en italique des termes ou expressions spécifiques qui sont définis dans le livre ou qui prennent du sens au travers de leurs emplois dans cet ouvrage.

Ces mots sont les suivants :

compétence

compétence associée

conception (en italique seulement quand il s’agit de conceptions d’élèves)

conception-obstacle

expérienciation

immersion

modèle

modèle allostérique

préconception

problème ouvert

rallye

réfèrent empirique


référentiel de compétence

situation-problème

transposition didactique

vivre-sentir


Annexes

Vas-y ! 


Nom:

Mets le compteur des kcal à zéro et pédale jusqu'à ce que tu aies dépensé 8 kcal c'est à dire l'énergie contenue dans 1/2 morceau de sucre.

Combien de temps as-tu mis ?

 Réponds ci-dessous !


Pour dépenser l'énergie d'un demi-morceau de sucre, j'ai pédalé durant...

Vas-y ! 

Nom:


Trie les aliments en deux catégories:
1) ceux qui, d'après toi, peuvent donner de l'énergie quand on les digère,
2) ceux qui n'en donnent pas.

Mets les noms des aliments dans le tableau!

 Dans les bonnes colonnes !

Contient de l'énergie


Ne contient pas d'énergie


Vas-y ! 

Nom:

Chronomètre le temps que la bougie continue à brûler à partir du moment où tu la recouvres avec le bocal en verre.
Remplis le récipient d'air expiré et chronomètre à nouveau le temps que la bougie reste allumée.
Pour remplir le récipient d'air expiré, tu disposes d'un sachet en plastique

Indique ce qui se passe...


 ...ci-dessous :

Vas-y ! 

Nom:

Ce tonneau a été rempli de 60 litres d'eau tiède.
Sur l'écriteau, on a écrit une heure et une température. C'était la température de l'eau à l'heure indiquée.
Depuis, l'eau s'est refroidie.
Remue l'eau avec la pagaie, indique ci-dessous l'heure et la température de l'eau au moment où tu passes dans ce poste (thermomètre No 1). Indique aussi la température de l'air (thermomètre No 2).

D'après toi, vers quelle heure l'eau sera-t-elle à la même température que l'air de la salle ?

 Réponds ci-dessous!

Heure du relevé :

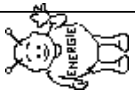
Température de l'eau : °C

Température de l'air : °C

D'après moi, l'eau sera à la température de l'air vers

5

Vas-y !



Dépense une énergie égale à celle qui est contenue dans 1/2 morceau de sucre en montant des escaliers.

Tu peux choisir de te charger ou non du sac à dos.

Regarde sur le graphique le nombre de marches que tu dois monter.

Ne traîne pas en route et... reviens!

As-tu pris le sac?
Combien de marches as-tu gravi?
Combien pesais-tu avec le sac?

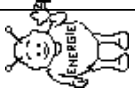


Dis-moi tout !

Souligne: je suis monté en portant le sac / Je n'ai pas pris le sac

J'ai gravi marches d'escalier et je pesais , avec le sac, kg

Vas-y !



Un des récipients est nu, l'autre est habillé.
Dans ces deux récipients on a mis de l'eau chaude. La température et l'heure de remplissage sont écrites sur le carton.

Regarde l'heure, relève la température du récipient nu, relève celle du récipient "habillé".

Indique l'heure et les températures! Quelles seront les températures dans plusieurs jours!



Réponds ci-dessous!

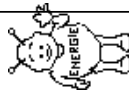
Heure exacte de la mesure:

Température récipient nu: °C Température récipient habillé: °C

Je prévois que, dans plusieurs jours, la température du récipient nu sera tombée à ... °C.
et que la température du récipient habillé sera tombée à ... °C.
J'explique mes prévisions comme suit:

6

Vas-y !



Ici, on a trois thermomètres.

Le premier est simplement posé sur la table, le deuxième est dans une manche d'anorak, le troisième est à l'intérieur d'une fourrure d'animal.

Note ci-dessous ce qu'indique le premier thermomètre. Devine ce qu'indiquent les deux autres et note-le également

Attention:
On ne sortira les thermomètres que lorsque tous tes camarades auront passé par ce poste!



Dis-moi ce que tu penses ci-dessous !

Température	Thermomètre sur la table °C	Thermomètre dans le vêtement °C	Thermomètre dans la fourrure °C

Vas-y !



Découpe et mange successivement
1,5 g de chocolat,
3,5 g de pain
20 g de carotte
Ces trois quantités contiennent chacune la même énergie que 2 g de sucre (1/2 morceau)!

Quand tu manges du chocolat, que manges-tu surtout?



Souligne !

Les deux composants qui sont en plus grande quantité dans le chocolat sont... le sucre, le cacao, le lait séché, le beurre de cacao, les arômes, les vitamines, les sels minéraux.

Vas-y !

Nom:

Ces deux récipients ont été remplis, il y a quelques heures, avec de l'eau qui avait la même température.

Relève la température actuelle de l'eau dans les deux récipients!

Note l'heure à laquelle tu relèves ces températures.

Dis-moi ce que tu penses ci-dessous !

A ton avis, quelle est la température de l'air ambiant et pourquoi l'eau est-elle plus froide dans un des deux récipients?

Récipient no	1	2
Température	°C	°C

Complète:

A mon avis, la température de l'air est de °C

A mon avis, l'eau est plus froide dans un récipient car...

Heure du relevé:

Vas-y !

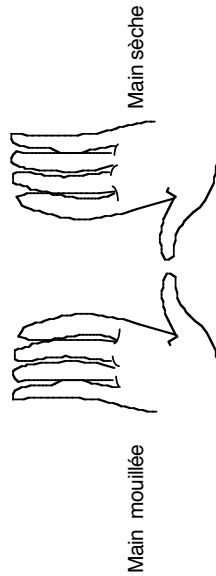
Nom:

Mouille l'une de tes mains en la trempant dans l'eau.

Place ta main sèche et ta main mouillée côte à côte dans le courant d'air du sèche-cheveux.

Exprime ce que tu ressens en complétant le dessin... Explique ce que tu ressens en quelques mots.

... à ta manière...



Vas-y !

Nom:

Le saindoux est de la graisse de porc. Cette graisse est la même que celle que tu stockes dans ton corps comme réserve d'énergie.

Allume la lampe, pose-la sur la balance, regarde l'heure à ta montre et l'affichage de la balance. Il se trouve que cette lampe fournit justement à peu près l'énergie dont ton corps a besoin pour maintenir sa température.

1) Combien de grammes de saindoux brûlent en 2 minutes ?

2) Comment doit-on faire pour maigrir?

Note tes réponses ci-dessous:

1) La lampe à saindoux consomme g de saindoux en 2 minutes

3) Pour maigrir (perdre de la graisse), il faut ...

01 Régime exceptionnel

Daniel Monnat présente le régime Atkins comme une exception parmi les régimes amaigrissants. "Ce régime dit que l'on peut perdre du poids tout en consommant toutes les calories que l'on désire".

02 Deux questions

Sur un fond d'images de technologie avancée (qui n'a rien à voir avec le sujet), le régime Atkins est à nouveau présenté comme extraordinaire. La suite est introduite: "Grâce à des expériences étonnantes, nous allons tenter de répondre à ces deux questions". Le régime Atkins - est-il efficace - est-il dangereux ?

03 Brian satisfait

Brian Clivaz témoigne: "ça fait 25 ans que j'essaye de maigrir, j'ai essayé pratiquement tous les régimes existants". Brian va "engloutir" son repas préféré sans se soucier du nombre de calories qu'il avale. Les images suggèrent un repas gargantuesque !

Mais Brian suit le régime Atkins. On est dans un monde où l'on peut manger toutes les graisses que l'on veut. "En éliminant les hydrates de carbone de son alimentation, Brian a déjà réussi à perdre plus de 30 kilos".

Brian fait constater qu'il a perdu environ 25 cm de tour de taille !

04 Impossible et dangereux ! (1ère loi de la thermodynamique)

"La nouvelle révolution diététique du Dr. Atkins a fait sensation". Le livre du Dr Atkins est présenté, "plus de 17 millions de personnes ont été captivées par ce livre de régime qui est l'un des plus vendus de l'histoire"

"Le régime Atkins contredit tout simplement l'une des lois fondamentales de l'Univers" (la conservation de l'énergie), "la première loi de la thermodynamique". Une démonstration spectaculaire; un gâteau plongé dans l'oxygène brûle violemment. Toute cette énergie est libérée dans l'organisme. On prétend que le Dr. Atkins dit que si on supprime les hydrates de carbone, on peut absorber toutes les calories que l'on veut.

De plus le régime Atkins, selon certains peut entraîner la mort.

Critique: "le régime Atkins n'est pas issu d'une recherche scientifique",

"La communauté scientifique relègue le Dr. Atkins et son régime aux oubliettes - L'histoire pourrait s'arrêter là !"

05 Régime efficace !

Alors que l'obésité prend de l'ampleur, les adeptes du régime Atkins perdent du poids. "Une nouvelle génération de médecins se penche sur ce mystérieux régime". "Les docteurs Foster et Westmann décident de confronter le Dr. Atkins à la science". Ils sont présentés sur des images de halle de sport et de stade. On y voit le Dr Westmann à l'entraînement.

Groupe de 120 personnes. 60 suivent un régime pauvre en calorie strict, les 60 autres suivent le régime Atkins et peuvent manger à volonté. Après six mois, le résultat surprenant est là: le régime Atkins s'est révélé efficace ! Ils ont maigri deux fois plus que ceux qui ont suivi le régime hypocalorique. Conclusion: "il semble donc que l'on puisse maigrir sans se soucier des calories"

06 Le cholestérol ?

Le Dr. Gary Foster se lance dans une étude sensée prouver que le régime Atkins fait augmenter le taux de cholestérol. Conclusion: le régime Atkins a un effet bénéfique sur le taux de cholestérol. "pour une raison étrange, il semble que le régime Atkins soit bon pour la santé". "La science doit faire un mea-culpa humiliant".

“Mais en dépit de ce triomphe apparent, le Dr Atkins doit encore surmonter un obstacle de taille avant que sa méthode ne soit acceptée. Le régime Atkins est toujours une hérésie du point de vue scientifique”. Le Dr Atkins doit expliquer ce que deviennent les calories excédentaires.

Celui-ci affirme que la transformation des aliments en énergie dépend de la catégorie des aliments. Les glucides se transforment facilement tandis que les protéides et les glucides demandent de l'énergie pour être assimilés !!! Le commentaire suggère que de l'énergie est perdue sous forme de chaleur. Le Dr Atkins propose la cétose comme mécanisme amaigrissant, un état physiologique qui fait que le corps élimine ses graisses. Cet état fait que le corps élimine des corps cétoniques par l'haleine et dans les urines. on voit Brian mesurer son taux de corps cétoniques dans son urine. Il constate qu'il y en a des traces (bas d'une échelle) et conclut: “je suis en phase de cétose”.

“Les corps cétoniques sont en fait des calories non utilisées qui disparaissent dans les toilettes”. Deux explications plausibles pour expliquer l'effet du régime Atkins (métabolisme dissipateur et cétose). “Les calories sont déviées de leur trajectoire et servent au métabolisme des lipides et des protéines, la cote de popularité du régime grimpe”. Le livre du Dr Atkins est plus vendu que Hary Potter. “Le ventes de viande explosent, celles du pain chutent”.

08 Ni cétose, ni pertes !

“Le Dr Atkins paraît vengé mais il va de nouveau être mis sur la sellette. la médecine s'est ravisée, une série de nouvelles études donne des résultats préoccupants”. On parle de problèmes possibles pour les reins, cancer du sein, danger pour l'ossature. On parle de risques à long terme (les études citées ne sont pas décrites). “nous voulions savoir si la manière Nous nous sommes lancés dans une étude scientifique, nous voulions savoir si les théories avancées par le Dr Atkins pour expliquer la manière dont les calories sont éliminées dans son régime correspondent à la réalité ou, au contraire, si c'est une pure fiction”. “L'étude a été menée pour nous par l'université du Kansas” L'étude se fait par le prof. Joseph Donnelly. Elle porte sur une comparaison entre deux volontaires, frères jumeaux. Elle dure un jour et une nuit (!) après deux semaine de régimes pauvre en graisse pour l'un et Atkins pour l'autre. Sont contrôlées les pertes d'énergie (chaleur) et corps cétoniques. Résultat: seulement 22 calories de perte supplémentaires avec le régime Atkins. Pas significatif ! Conclusion: “il semble donc que la théorie du Dr Atkins selon laquelle l'organisme élimine des calories grâce à ce régime soit erronée”. Et pas plus de corps cétoniques perdus avec le régime Atkins ! “Là encore la théorie du Dr Atkins se révèle erronée, ce qui n'a guère surpris Joseph Donnelly”. “Les résultats sont tels que ceux que nous avions escomptés: il n'y a aucune différence entre les deux régimes”.

09 4 régimes efficaces

“Le mystère qui est au cœur du débat sur le régime Atkins reste entier”. “La plus importante étude sur les habitudes alimentaires jamais menée en Grande Bretagne va amener un début de réponse”.

Quatre régimes bien connus sont mis sur la sellette: trois régimes hypolipidiques et hypocaloriques classiques et le régime Atkins. les participants, volontaires, au nombre de 240, notent strictement tout ce qu'ils mangent. Les quatre régimes on donné des résultats analogues en ce qui concerne la perte du poids. On peut comprendre pourquoi les régimes hypo. conduisent à des pertes de poids. Mais pourquoi aussi le régime Atkins ?

10 L'appétit diminué

Un phénomène étrange apparaît: les notes indiquent que même les patients suivant le régime Atkins consomment moins de calories. “Alors que ses partisans clament partout que ce régime permet de consommer autant de calories qu'on le désire, il ressort de cette expérience ce fait stupéfiant: avec le régime Atkins, on mange moins que la normale”. “Avec le régime Atkins, on mange moins que la normale. Pour les scientifiques, cette découverte pose une toute autre énigme: pourquoi dont ses personnes qui ont le droit de manger autant qu'elles le désirent, décident-elles de se restreindre ?” Une hypothèse: le régime Atkins diminue l'appétit.

La Dr Susan Jebb donne des explications. Commentaire: “l'appétit est désormais au cœur de la recherche moderne en matière d'obésité”. “Autrement dit, les scientifiques estiment que si nous sommes trop gros, c'est parce que notre appétit nous pousse à trop manger et la science cherche les moyens de nous couper l'appétit”

“Ce qui est étrange, c'est que le régime Atkins pourrait précisément avoir un tel effet”.

11 Brian a moins faim

On revient à l'histoire de Brian qui pesait 145 kilos il y a 10 mois et qui en pèse maintenant plus que 107.

“Le Dr Atkins a remarqué que les patients qui suivent son régime semblent à nouveau maîtriser leur appétit, autrement dit, ils se sentent rassasiés, ce que Brian confirme incontestablement”. Brian confirme qu'il a nettement moins faim depuis qu'il suit ce régime.

“Et c'est peut-être là que réside le secret du régime Atkins: il agit sur l'appétit. Mais comment ce régime vient-il à bout de la faim ?”

“Le Dr Atkins explique que c'est la suppression des hydrates de carbone qui provoque cet effet mais jusqu'ici, les preuves susceptibles d'étayer cette thèse ne se sont pas révélées concluantes. La vérité est peut-être ailleurs...”

“Le régime Atkins est connu pour les graisses que l’on y consomme. Le Dr Atkins prétend qu’avec son régime, on peut en consommer à volonté. Serait-il possible que les graisses coupent l’appétit ? Pour le savoir, Susan Jebb et son équipe décident de tenter une expérience”.

L’expérience consiste à comparer les comportements de deux groupes de personnes, l’un mangeant des plats enrichis en matière grasses et l’autre des plats pauvres en lipides. Les volontaires ne savent pas dans quel groupe ils se trouvent. Les images montrent deux groupes de deux hommes jeunes qui mangent à une même petite table. “Au bout de 486 repas, les résultats dégagés sont clairs et nets: les graisses ont exactement l’effet inverse. Les sujets qui ont mangés les plats riches en matière grasse ont eu besoin de plus de calories pour satisfaire leur appétit. En fait, ils ont mangé plus que la normale !”

La Dr explique que les graisses ne provoquent pas la satiété.

Commentaire: “Ainsi les graisses ne sont pas la clé de la réussite du régime Atkins. Le mystère ne fait qu’augmenter”.

13 Les protéines ?

Il doit y avoir une autre raison pour laquelle régime Atkins incite les gens à manger moins. La réponse a peut-être été trouvée au Danemark.

Le Prof. Arne Astrup a lancé une étude portant sur 60 volontaires séparés en deux groupes. “L’un des groupes doit s’approvisionner en produits à haute teneur en hydrates de carbone. L’autre doit rechercher des aliments riches en protéines, imitant en cela les adeptes du régime Atkins mais en renonçant toutefois aux matières grasses”.

Un groupe mange beaucoup de crustacé, de viande maigre, de poisson, de volaille, de produits laitiers. L’autre groupe doit manger beaucoup de pain, de pâtes, de riz, de fruits et de légumes.

“L’étude a été menée pendant une année et les résultats obtenus ont été spectaculaires: l’un des groupes a enregistré des pertes de poids bien plus importantes que l’autre. La différence est de l’ordre de 4 à 5 kilos de plus. En y regardant de plus près, on peut voir lequel des deux groupes a battu l’autre: c’est le groupe qui a suivi un régime riche en protéines.

“Le mystère de l’efficacité du régime Atkins a peut être enfin été percé”.

les causes envisagées jusqu’ici de l’efficacité du régime Atkins sont passées en revue. On termine par cette conclusion:

“L’efficacité du régime est probablement due à une toute autre cause. Les protéines provoquent une sensation de satiété. En augmentant la teneur en protéines du régime alimentaire, on agit sur l’appétit et de ce fait on ingère quantités inférieures à celles que l’on consommerait dans des conditions normales. Si cette hypothèse se vérifie, la science aura fait un grand pas en avant !”

14 Prudence scientifique

On retrouve le Dr Westman, la Dr Jebb qui parle d’une découverte importante même si on ne comprend pas bien ce qui se passe.

On revient au personnage Atkins qui meure à New-York quelques jours après une mauvaise chute en avril 2003.

“Au moment de son décès, on commençait tout juste à découvrir en quoi pouvait résider l’efficacité du régime. Mais le Dr Atkins n’aurait peut-être jamais découvert dans quelle mesure les protéines agissent sur l’appétit. Néanmoins, même s’il est désormais évident que le régime peut aider à perdre du poids, on ne connaît pas encore ses effets exacts sur la santé”.

On voit le Dr Paul Robinson déconseiller de suivre le régime Atkins tant que des études plus poussées n’auront pas été faites. Il parle des “inquiétudes physiologiques qu’il peut avoir à propos de ce régime. La Dresse Jebb rappelle que l’on ne connaît pas les effets à long terme d’un régime riche en protéines et faible en hydrates de carbone.

“Il faudra attendre des années avant que la science ne découvre toutes les conséquences du régime Atkins sur l’organisme humain. Pour le meilleur comme pour le pire”.

15 Mise en garde

En clôture, Daniel Monnat surenchérit: “donc attention, c’est vrai que le régime Atkins fait perdre du poids, mais à quel prix ? Quelles sont les conséquences à long terme d’une alimentation qui met l’accent principalement sur les protéines ? Personne ne peut répondre aujourd’hui à cette question donc réfléchissez bien avant de vous engager dans cette voie”.

1 Énergie - pédaler sur un vélo ergomètre

Ce qu'on appelle "effort physique" est une activité qui nécessite de l'énergie. On dit que l'on consomme ou dépense de l'énergie. Cette énergie consommée n'est pas fabriquée par notre corps. Elle est tirée d'une réserve qui est stockée en nous et qui devra être reconstituée. Sur le vélo, tout le monde ne met pas le même temps pour dépenser la même énergie. Ceux qui sont les plus rapides sont ceux qui développent plus de puissance !

2 Énergie - combustion dans l'air expiré

Dans le corps humain, la production d'énergie nécessite la consommation d'oxygène et la production de gaz carbonique. L'air expiré contient donc moins d'oxygène que l'air ambiant (il en contient encore, ce qui permet de secourir quelqu'un par la pratique du bouche à bouche ou du bouche à nez). De même, pour qu'une bougie brûle, il lui faut de l'oxygène. On constate donc qu'une bougie brûle moins longtemps lorsqu'elle est enfermée dans de l'air expiré que lorsqu'elle est enfermée dans un même volume d'air ambiant.

3 Énergie - aliments (nutriments)

Souvent l'énergie se cache dans la matière, stockée sous forme chimique. Cette matière est appelée ALIMENT ÉNERGÉTIQUE si de l'énergie peut en être retirée par le corps humain. L'huile et les corps gras sont très énergétiques. Ensuite viennent le sucre et d'autres aliments. L'eau (même gazéifiée), les vitamines et les sels minéraux sont très importants pour la santé mais n'apportent absolument pas d'énergie !

4 Énergie - perte thermique - modèle du tonneau

Un corps chaud donne son énergie aux corps plus froids qui l'entourent (à l'air en particulier). Il se refroidit ! L'échange d'énergie cesse quand tous les corps en présence atteignent la même température. On dit qu'il y a équilibre thermique. Dans le cas d'un récipient d'eau placé dans l'air, l'équilibre est atteint d'autant plus lentement que la quantité d'eau est grande. Pour un tonneau de 60 litres initialement à 40°C dans de l'air à 20°C, il faut pratiquement une journée. Le refroidissement est de l'ordre de 0,6°C le premier quart d'heure. Au bout de 6 heures, ce refroidissement n'est plus que de 0,3°C.

5 Énergie - monter des escaliers

On dépense de l'énergie quand on monte des escaliers. On en dépense d'autant plus qu'on est plus lourd ! Pour porter un objet en montant on a besoin de plus d'énergie que pour le porter en se déplaçant à plat.

6 Énergie - température d'équilibre

Contrairement à ce que beaucoup pensent, les habits "chauds" ne procurent strictement aucune chaleur. Ils nous protègent du froid en évitant que notre corps perde de la chaleur. Ils sont intéressants en tant qu'isolants c'est à dire comme barrière au passage de l'énergie.

7 Énergie - perte thermique - récipients isolé et non isolé

Un corps chaud donne son énergie aux corps plus froids qui l'entourent (à l'air en particulier). En perdant de l'énergie, le corps chaud se refroidit, les corps froids se réchauffent ! L'échange d'énergie cesse quand tous les corps en présence atteignent la même température. On dit qu'il y a équilibre thermique. Dans le cas de deux récipients remplis avec de l'eau chaude, celui qui est emballé dans un vêtement se refroidit plus lentement que l'autre mais sa température atteindra également celle de l'air au bout de quelques heures.

8

Énergie - pouvoir énergétique - carotte, pain, chocolat

La concentration en énergie diffère d'un aliment à l'autre. Certains aliments sont très énergétiques, d'autres le sont beaucoup moins... Le chocolat est plus énergétique que le pain; le pain est plus énergétique que la carotte. Il faut savoir que 1,5 g de chocolat, 3,5 g de pain et 20 g de carotte contiennent la même énergie que 2 g de sucre !

Le chocolat contient surtout du sucre et de la graisse (beurre de cacao). Le cacao, qui donne la couleur et l'arôme, n'est qu'en petite quantité. De même le lait (quand il y en a).

9

Énergie - refroidissement d'un récipient par vaporisation

L'évaporation de l'eau prend de l'énergie.

Les récipients poreux en peau (outre) ou en terre cuite (cruches) permettent de conserver de l'eau à une température plus basse que la température ambiante car l'évaporation de l'eau à leur surface prend de l'énergie à l'eau qu'ils contiennent.

De même le corps humain se refroidit grâce à l'évaporation de l'eau transpirée.

10

Énergie - vitesse de combustion - masse brûlée de saindoux

Pour maintenir sa température à environ 37 °C, le corps humain a en permanence besoin d'une énergie comparable à celle que consomme une ampoule de 100 watts. Cette énergie est prise dans le sucre qui est stocké dans le foie ainsi que dans la graisse qui est stockée en divers endroits du corps. Pour maigrir, il faut consommer ses graisses, c'est à dire bouger, se dépenser, faire du sport et ne pas manger plus pour autant !

11

Énergie - refroidissement de la main par vaporisation

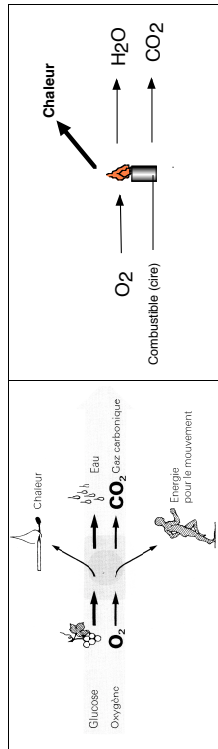
La transpiration est un moyen de perdre de l'énergie pour se refroidir.

La peau, même sèche, élimine sans cesse de l'eau. Cette eau s'évapore en prenant de l'énergie à l'air et à la peau elle-même, ce qui provoque un refroidissement. Lorsque l'eau ne s'évapore plus au fur et à mesure qu'elle sort, on a la peau mouillée de transpiration.

QUESTIONS ET REPONSES AU SUJET DU MOTEUR DE VOITURE ET DU CORPS HUMAIN

1. L'huile, on peut la brûler. A ton avis donne-t-elle la même énergie quand on la mange ?

En réalité, une combustion lente un peu particulière que l'on appelle une oxydation a lieu dans nos cellules. Si on brûle à l'air de l'huile comestible ou du sucre, par exemple, on en retire la même énergie que le corps humain. Par contre, certains aliments contiennent de la cellulose (fibre des fruits et légumes par ex.) ou des corps gras inassimilables (des cires naturelles ou ajoutées par ex.). Ces aliments produisent alors plus d'énergie si on les brûle que si on les ingère.
2. À ton avis, que se passe-t-il avec l'air expiré pour que la bougie dans le bécier brûle moins longtemps ?



Une oxydation comme une combustion nécessite de l'oxygène (O_2) et produit du gaz carbonique (CO_2) et de l'eau (H_2O). Dans un espace clos, l'oxygène consommé est peu à peu remplacé par le gaz carbonique et par la vapeur d'eau. Par manque d'oxygène, la bougie s'éteint. De même, un homme (ou un animal) va s'étouffer s'il est enfermé dans une enceinte close.

3. À ton avis, penses-tu que les excréments contiennent encore de l'énergie utilisable par le corps humain ?

Les déchets solides qui sortent du corps peuvent être comparés aux particules de suie et aux NO_x (oxydes d'azote). Quand on est en bonne santé, ces déchets ne contiennent plus d'énergie utilisable par le corps. L'énergie contenue dans la cellulose ou certaines graisses non assimilables n'est pas déclarée sur les emballages ou dans les tables de diététique. On peut donc considérer que toute l'énergie déclarée entre dans le corps.
4. Une voiture possède un réservoir dans lequel on trouve de l'essence ou du diesel. À quoi peut-on comparer ce réservoir chez l'homme ? fais une proposition !
Même question pour le jerrican que l'on emporte dans le coffre de la voiture.




























On peut comparer le réservoir de la voiture à la réserve d'énergie du dernier repas chez l'homme. On peut faire correspondre le jerrican rempli d'essence au stock de graisse du corps humain dans lequel on puise des réserves d'énergie en cas de besoin.

5. À ton avis, à quoi servent le ventilateur et le radiateur d'une voiture. Y a-t-il un équivalent chez l'homme ?

Dans le cas du moteur de voiture, les deux tiers environ de l'énergie entrée sous forme chimique dans le carburant ressortent sous forme thermique. C'est dire que seulement le tiers de l'énergie sert à faire avancer la voiture. Ce rendement est impossible à dépasser en vertu d'une loi fondamentale de la physique (le deuxième principe de la thermodynamique). L'énergie thermique, inutile (sauf pour chauffer la voiture), doit donc être évacuée. Le radiateur et le ventilateur permettent d'en dissiper la plus grande partie. Une autre partie de cette chaleur s'en va dans les gaz d'échappement et sous forme de rayonnement infrarouge.
Chez l'homme, l'énergie est aussi évacuée en majorité sous forme thermique (à plus de 95% en moyenne sur 24 heures). Cette évacuation se fait par l'évaporation de l'eau dans les poumons et sur la peau. Elle se fait aussi plus directement au contact de l'air ambiant que l'on réchauffe ainsi que par rayonnement infrarouge.
6. L'hiver, on voit un nuage blanc sortir du pot d'échappement des voitures. Comment l'expliques-tu ? Y a-t-il un équivalent chez l'homme ?

La combustion du carburant produit du gaz carbonique et de l'eau (+ quelques autres gaz). En général, l'eau n'est pas visible car elle s'échappe sous forme de vapeur. Mais quand la vapeur entre en contact avec de l'air froid, il y a condensation de l'eau et apparition d'un brouillard visible. Dans le corps humain, l'oxydation fait de même. La quantité d'eau que l'on perd dans l'urine, la transpiration et la respiration est plus importante que celle que l'on ingère dans les aliments et les boissons !

Tableau dans lequel les groupes d'élèves peuvent consigner l'état de leur compréhension des réponses aux six questions sur le métabolisme humain

	Question 1 L'huile, on peut la brûler. A ton avis donne-t-elle la même énergie quand on la mange ?	Question 2 A ton avis, que se passe-t-il avec l'air expiré pour que la bougie dans le bécier brûle moins longtemps	Question 3 A ton avis, penses-tu que les excréments contiennent encore de l'énergie utilisable par le corps humain ?	Question 4 Une voiture possède un réservoir dans lequel on trouve de l'essence ou du diesel. A quoi peut-on comparer ce réservoir chez l'homme ? fais une proposition !	Question 5 Même question pour le jerrican que l'on emporte dans le coffre de la voiture. A ton avis, à quoi servent le ventilateur et le radiateur d'une voiture. Y a-t-il un équivalent chez l'homme ?	Question 6 L'hiver, on voit un nuage blanc sortir du pot d'échappement des voitures. Comment l'expliques-tu ? Y a-t-il un équivalent chez l'homme ?
Groupe 1						
Groupe 2						
Groupe 3						
Groupe 4						
Groupe 5						
Groupe 6						

Question à traiter en premier

Question à traiter ensuite, au moins

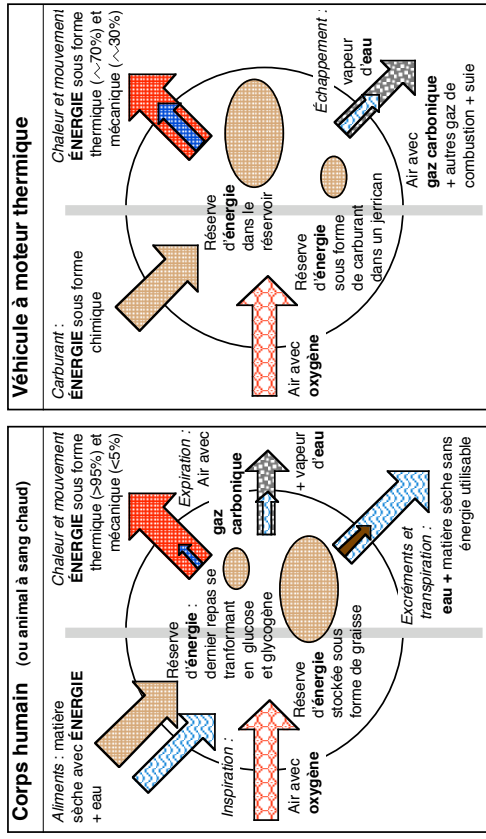
Pastille verte : pas de problème, réponse de l'enseignant acceptée et comprise

Pastille bleue : réponse de l'enseignant acceptée mais question(s) à poser pour bien comprendre

Pastille rouge : désaccord ou incompréhension.



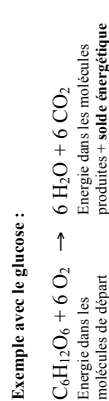
Métabolisme et moteur - Ce qui entre et ce qui sort : bilans comparatifs (page 1)



- Les aliments sont transformés en
- **glucose** (énergie directement disponible),
 - **glycogène** (énergie stockée dans le foie et les muscles et utilisable dans les minutes qui suivent),
 - **graisse** (énergie utilisables dans les heures ou les jours qui suivent en se transformant en glucose et eau),
 - **protéines** (constitution des tissus et énergie utilisable en dernier recours).

Réaction d'oxydation

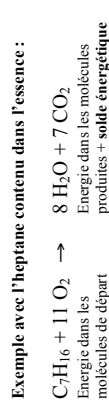
Les molécules assimilables de nourriture contiennent toujours du carbone et de l'hydrogène (on parle d'hydrocarbonés). L'oxydation est une transformation chimique qui nécessite de l'oxygène extérieur. L'oxygène se combine avec le carbone de l'hydrocarboné et produit du gaz carbonique. L'oxygène se combine avec l'hydrogène de l'hydrocarboné en produisant de l'eau. Il sort du corps plus d'eau qu'il en entre ! De l'énergie se dégage de cette oxydation.



Le carburant brûle en produisant de l'énergie, du gaz carbonique et de l'eau. Il ressort de l'eau du moteur par le tuyau d'échappement ! L'eau que l'on met dans le radiateur (pour le refroidissement) ne participe pas au mécanisme de transformation de l'énergie. Elle n'entre pas dans le moteur. De même l'huile, indispensable au bon fonctionnement du moteur, ne participe pas aux transformations énergétiques (sauf dans le cas de l'huile ajoutée à l'essence).

Réaction de combustion

Les molécules de carburant contiennent toujours du carbone et de l'hydrogène (on parle d'hydrocarbonés). La combustion est une transformation chimique qui nécessite de l'oxygène extérieur. L'oxygène se combine avec le carbone de l'hydrocarboné et produit du gaz carbonique. L'oxygène se combine avec l'hydrogène de l'hydrocarboné en produisant de l'eau. De l'énergie se dégage de cette combustion.



Métabolisme et moteur - Ce qui entre et ce qui sort : bilans comparatifs (page 2)

Corps humain (ou animal à sang chaud)	Véhicule à moteur thermique
<p>Bilan lorsqu'il y a équilibre</p> <p>Toute l'énergie qui entre dans le corps ou dans le moteur en ressort intégralement (premier principe de la thermodynamique). Seules les formes d'énergie peuvent changer. Le poids de la matière qui ressort (gaz compris) est égal au poids de la matière qui entre (loi de conservation de la matière).</p>	
<p>Lorsque le corps humain est en bonne santé, il ne reste plus d'énergie utilisable dans les excréments (selles et urine). Pourtant les selles contiennent encore de la cellulose et certains corps gras inassimilables par l'homme, mais énergétiques (on peut les brûler hors du corps). Ces énergies non utilisables ne sont pas déclarées dans les compositions des aliments destinés à la consommation (emballages, livres et tables diététiques).</p>	<p>Lorsque le moteur est bien réglé, il n'y a plus d'énergie utilisable dans les gaz d'échappement. Toute l'énergie contenue dans le carburant (annoncée dans des déclarations de qualité ou dans des tables officielles) est transformée en chaleur et en mouvement.</p>
<p>Déséquilibres</p> <p>Lorsque le corps perd du poids ou en gagne, c'est qu'il y a déséquilibre entre les entrées et les sorties. De la graisse stockée, voire de la masse musculaire sont consommées ou produites. Il peut arriver que les selles ou l'urine contiennent des matières assimilables (donc de l'énergie) soit pour cause de <u>maladie</u> soit par l'effet de <u>médicaments</u>.</p>	
<p>Rendement mécanique</p> <p>Pour le corps humain, on peut considérer comme négligeable l'énergie qui sort sous forme mécanique durant une journée. Le rendement peut atteindre 25% pendant un moment d'effort physique, mais il est le plus souvent bien inférieur à 5% sur 24 heures.</p>	
<p>Les deux principes de la thermodynamique</p> <p>Ils sont considérés comme fondamentaux et immuables par la communauté scientifique :</p> <p><u>Premier principe :</u> l'énergie se conserve (tout en pouvant changer de forme)</p> <p><u>Deuxième principe :</u> lors de tout changement de forme, une partie au moins de l'énergie se dégrade en chaleur (absolument inévitable)</p>	
<p>Mécanismes de dissipation de l'énergie thermique</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Transfert de chaleur de la peau à l'air 2. Vaporisation de l'eau dans les poumons et par la transpiration 3. Rayonnement infrarouge 	

Projet 8VSB-JMP - Travail de la demi-classe B du vendredi 15 sept. 2005

Problème : déterminer l'énergie quotidienne dont a besoin un jeune adulte

Projet de communication

Chaque groupe devra préparer un poster rendant compte d'une méthode permettant de répondre à la question. Ce poster sera présenté demain vendredi aux élèves de la demi-classe A.
À l'issue de la leçon, trois élèves seront désignés à cet effet.

Hypothèses pour la recherche

Ces hypothèses sont valables pour une personne en bonne santé, absorbant journallement la nourriture dont elle a besoin sans excès ni carence (du point de vue énergétique) et ne fournissant pas un gros effort physique :

1. Le corps humain tire environ le 90% de l'énergie des aliments ingérés et en rejette 10% mais les énergies déclarées sur les emballages et dans les tabelles de diététique ne sont que les énergies utilisables par le corps. On peut donc dire que toute l'énergie déclarée dans ces tabelles ou sur les emballages est transformée (utilisée, produite) dans le corps.
2. Toute l'énergie entrant dans le corps en 24 heures en ressort en 24 heures.
L'énergie ressort pour l'essentiel sous forme de chaleur (moins d 5% sous forme mécanique en 24 heures).
Idée de modèle : on peut considérer que TOUTE l'énergie ressort du corps humain sous forme de chaleur.
3. Les pertes thermiques sont dues au fait que le corps est à 36 degrés dans de l'air plus froid. Elles sont aussi dues à l'évaporation par la peau et par les poumons (vapeur d'eau dans l'air).
4. L'énergie perdue en 24 heures est égale à l'énergie nécessaire à maintenir le corps à 36 degrés durant ces 24 heures.
Idée de modèle : l'énergie perdue par refroidissement est pratiquement la même pour un tonneau en plastique contenant x litres d'eau que pour un corps humain pesant x kilogrammes. Pour cela, le tonneau doit rester ouvert et il faut remuer l'eau de temps en temps
5. Comme l'oxygène qui entre dans le corps sert à oxyder les aliments pour produire de l'énergie (et du gaz carbonique et de l'eau), la quantité d'oxygène qui entre dans le corps humain est proportionnelle à l'énergie produite par le corps. C'est dire que si on connaît la quantité d'oxygène consommée, on peut connaître l'énergie tirée les aliments.

Problème : déterminer l'énergie quotidienne dont a besoin un jeune adulte**Informations complémentaires :**

1. On admet les règles suivantes (document à disposition) :
 - 1 g de lipide + 1.9 g d'oxygène -----> eau + gaz carbonique + 38 kJ
 - 1 g de glucide + 0.85 g d'oxygène -----> eau + gaz carbonique + 17 kJ
 - 1 g de protide + 0.85 g d'oxygène -----> eau + gaz carbonique + 17 kJ

2. Règle générale (approximative mais suffisante) valable aussi bien pour les lipides que pour les glucides et les protides :
 - Hydrocarboné + 1 litre oxygène -----> eau + gaz carbonique + 20 kJ

3. L'air inspiré contient environ 21% d'oxygène ce qui représente 0.30 g d'oxygène par litre d'air.
 L'air expiré contient environ 17% d'oxygène ce qui représente 0.24 g d'oxygène par litre d'air.

4. Chauffer un litre d'eau de un degré demande une énergie de 4,18 kJ
 Lorsque un litre d'eau se refroidit de un degré, il cède une énergie de 4,18 kJ aux corps qu'il réchauffe.

5. Rappel :

1 (k)cal = 4.2 (k)J	Wh = 3.6 kJ
1 (k)J = 0.24 (k)cal	1 kJ = 0.27 Wh

QUESTIONS ET REMARQUES DES ELEVES CONCERNANT LE DOCUMENT « CE QUI ENTRE ET CE QUI SORT : BILAN COMPARATIF »

Questions rédigées par les élèves pour vendredi dans le cadre du travail sur le métabolisme humain

PRENOM	QUESTIONS	REMARQUES
Elève A	Qu'est-ce que le rayonnement infrarouge ? Sous quelle forme l'énergie se trouve-t-elle dans notre corps ?	
Elève B	Pourquoi y a-t-il plus d'eau qui sort que d'eau qui entre [dans le corps humain] ? Pourquoi y a-t-il de l'énergie dans les excréments lorsque l'on est malade ?	
Elève C	Qu'est-ce qu'un hydrocarboné ? Comment sait-on que le rendement peut atteindre 25% pendant un effort physique ?	
Elève D	D'où viennent les protéines ?	Je ne savais pas qu'il y avait de l'eau dans les poumons
Elève E	Qu'est-ce que la thermodynamique ?	Explication de la loi de la conservation de la matière
Elève F	Comment est-ce possible qu'il y ait plus d'eau qui sorte que d'eau qui entre dans notre corps ? Est-ce que les humains sont capables de "sortir l'énergie des excréments" ?	
Elève G	Les réactions d'oxydation sont-elles le CO ₂ et l'eau que l'on rejette par la bouche ?	Si c'est le cas, cela voudrait dire que si l'on ne mange ni ne boit (pendant très longtemps), on ne rejette pas d'eau et pas de CO ₂ !
Elève H		Je m'étonne que le corps humain fasse sortir aussi beaucoup d'eau ! Je m'étonne que la graisse se transforme en eau et pas en excrément !

Elève I	Est-il possible de récupérer l'énergie dans les " déchets solides " humains et par un humain ? Qu'est-ce que le nuage blanc sortant du pot d'échappement d'une voiture ?	
Elève J	Qu'est-ce qu'une molécule ? Pourquoi y a-t-il plus d'eau qui sort que d'eau qui entre [dans le corps humain] ?	
Elève K	Qu'est-ce que la thermodynamique ?	
Elève L	S'il y a plus d'eau qui sort que d'eau qui entre, d'où vient cette eau supplémentaire ? Les sucres lents [est-ce que] c'est le glucose, le glycogène, la graisse, les protéines ?	
Pascal M	Qu'est-ce que le rayonnement infrarouge ? Est-ce que le corps humain produit de l'eau ?	
Elève N.	Qu'est-ce que le solde énergétique ? Qu'est-ce que les selles ?	
Elève O	Qu'est-ce que le glucose ?	Je n'ai pas bien compris les 2 schémas [concernant la combustion et l'oxydation]
Elève P	Comment est-ce possible qu'il y ait plus d'eau qui sort que d'eau qui entre dans notre corps ? Pourquoi les molécules de carburant contiennent du carbone et de l'hydrogène ?	
Elève Q	Que se passe-t-il [du point de vue de l'énergie, des aliments, de la digestion] lorsque le corps humain n'est pas en bonne santé ?	En quelque sorte, c'est la même chose pour le corps humain que pour le moteur d'une voiture
Elève R	Comment fonctionne le moteur d'une voiture ?	

Question posée : **déterminer l'énergie dont un adolescent a besoin en 24 heures**

Résumé des 3 manières de répondre à la question, proposées par les élèves du groupe B (jeudi), et travaillées en classe entière le vendredi.

Romain, Alexia, Julien et Kathia	Théo, Hélène, Maxime et Sandra	Robert, Alexandra, Bryan, Arnaud
Détermination de l'énergie entrant sous forme d'aliments Méthode : quelques élèves ont noté tous les aliments et boissons consommés sur une journée (en devoir). Puis, en consultant des tablettes de diététique, ils ont relevé la valeur énergétique de chacun des aliments et boissons consommés. Ils ont ensuite fait le total des valeurs énergétiques de tous les aliments consommés en 24 heures. Calculs : Cf. feuilles récapitulatives de menus de chaque élève indiquant la quantité de kJ consommés en 24 heures. Valeurs obtenues : Alexia : 8045 kJ Kathia : 8735 kJ Julien : 4180 kJ	Détermination de l'énergie par la mesure de la quantité d'oxygène consommé Méthode : les élèves ont mesuré le temps qu'ils mettaient pour remplir un sachet en plastique placé à l'intérieur d'une bouteille PET de 1,5 l en expirant normalement (sans effort). Puis ils ont calculé la quantité d'air que cela représentait sur 24 heures. Dans les informations à disposition, on trouve que l'air inspiré contient 21% d'oxygène et que l'air expiré en contient encore 17%. Il en résulte que notre organisme n'utilise que le 4% de l'oxygène que nous inspirons (ce sont des valeurs moyennes). D'autre part, on trouve aussi l'information suivante: un litre d'oxygène réalise une oxydation des nutriments produisant une énergie de 20 kJ. Un autre méthode a consisté à chronométrer le temps nécessaire à remplir un sachet en plastique et à estimer ensuite le volume du sachet en le remplissant d'eau. Mais le sachet s'est déchiré ! Un deuxième essai, en vidant l'eau du sachet avec un récipient d'un litre a permis d'estimer le volume à 14 litres mais cela s'est arrêté là. Calculs : Temps mis pour remplir la bouteille : 30 sec. Quantité d'air ventilé en 24 heures : $1,5 \text{ l} \times 2 \times 60 \times 24 = 4320 \text{ l}$ Quantité d'oxygène consommé : $4320 \times 4/100 = 172,8 \text{ l}$ Energie produite : $20 \times 172,8 = \mathbf{3456 \text{ kJ}}$	Détermination de l'énergie cédée à l'environnement sous forme de chaleur Méthode : un tonneau contenant 60 l d'eau a été préparé par le maître avant le début du cours. A 7h35, la température de l'eau s'élevait à 40,2 °C. Après 40 minutes, le thermomètre indiquait 38,8°C et après 55 minutes, la température relevée était de 38,4°C. Autrement dit, après 55 minutes, la température de l'eau du tonneau avait baissé de $40,2^\circ\text{C} - 38,4^\circ\text{C} = 1,8^\circ\text{C}$. Cette baisse de température est due au fait que l'eau du tonneau a cédé de la chaleur à l'air environnant qui est à une température inférieure. Pour compenser cette perte de chaleur, les élèves ont proposé de réchauffer l'eau avec 2 thermoplongeurs afin de ramener l'eau à la température de départ. Au bout de 1/2 heure, l'énergie apportée par les 2 thermoplongeurs avait réchauffé les 60l d'eau de 1°C et les 2 compteurs totalisaient une consommation de 110 Wh. Calculs : Si on avait chauffé l'eau de 2 degrés, cela aurait nécessité 220 Wh et cela aurait duré une heure. En 24 heures cela aurait fait $220 \times 24 = 5280 \text{ Wh}$, ce qui est égal à $5280 \times 3,6 = \mathbf{19008 \text{ kJ}}$

Problèmes concernant l'eau qui se refroidit ou se réchauffe

Un tonneau contient 60 litres d'eau.

À 9h45, la température de l'eau est de 39.5 °C

À 10h00, la température de l'eau est de 38.9 °C

À 11h00, la température de l'eau est de 36.9 °C

À 11h15, la température de l'eau est de 36.5 °C

On demande :

1. Quelle énergie l'eau a-t-elle perdu entre 9h45 et 10h00 ?
2. Qu'est devenue cette énergie, où a-t-elle passé ?
3. Quelle énergie l'eau a-t-elle perdu entre 11h00 et 11h15 ?
4. Quelle énergie faudrait-il apporter à l'eau à 11h15 pour que sa température remonte à 36.9 °C ?
5. Quelle énergie faudrait-il apporter à l'eau en 24 heures si on recommençait le processus tous les quarts d'heures (faire passer l'eau de 36.5 °C à 36.9 °C) ?

Réponses

1. 151 kJ
2. L'énergie est restée sous forme de chaleur mais elle a passé dans l'air environnant (et les murs de la pièce). L'air et les murs se sont réchauffés.
3. 101 kJ
4. 101 kJ
5. 9696 kJ

On place un thermoplongeur dans pot contenant 2 litres d'eau à 20°C.

On branche le thermoplongeur sur un compteur d'énergie et on le débranche au moment où le compteur indique que le thermoplongeur a consommé 50 Wh.

À quelle température se trouve l'eau après l'opération ?

Réponse

Environ 41 °C.

Problèmes concernant l'énergie des aliments

Sur une boîte de nourriture pour chat, on peut lire les informations suivantes :

Composition
82 % d'eau
8.5 % de protéines
4.5 % de matière grasse
5 % de matières inertes diverses

Un chat adulte a besoin d'une portion journalière de 100 grammes par kilo de poids

Problème

- 1) Sachant que chaque gramme de protéines apporte au chat une énergie de 17 kJ et que chaque gramme de graisse lui apporte une énergie de 38 kJ, quel est, selon les indications données sur la boîte, le besoin énergétique quotidien d'un chat pesant trois kilos ?
- 2) Pourquoi la composition ne mentionne-t-elle pas de glucides ?

Réponses :

- 1) 946 kJ
- 2) La nourriture pour chat est préparée à l'aide de viande et les viandes ne contiennent pas de glucides. Les chats sont des carnivores, leur système digestif n'est en principe pas fait pour assimiler des glucides même s'il peuvent en manger.

Problèmes concernant la consommation d'oxygène et l'énergie

Une souris mange quotidiennement des aliments lui apportant une énergie de 50 kJ.

1. De combien d'oxygène a-t-elle besoin chaque jour ?
2. En admettant que l'air qu'elle expire contient 18.5 % d'oxygène, combien de litres d'air doit-elle respirer en 24 heures ?
3. Que se passerait-il si on faisait vivre cette souris en altitude ?

Réponses

0. 2.5 litres
1. 100 litres
2. Il est vraisemblable qu'un climat plus rigoureux augmenterait les besoins énergétiques de la souris. Le manque d'oxygène dû à l'altitude devrait être compensé par un rythme respiratoire plus soutenu (fréquence et volume)

Quand une bougie brûle, elle consomme de l'oxygène.

Un gramme de bougie a besoin d'environ deux litres d'oxygène pour se consumer.

On enferme une bougie dans un récipient contenant un litre d'air

1. Quelle masse de bougie pourra brûler jusqu'à ce que tout l'oxygène présent dans l'air soit consommé ?
2. Pourquoi arrive-t-il que de la buée se forme sur la paroi du récipient ?

Réponse

1. Environ 0,1 gramme de bougie
2. La combustion de la cire est une combinaison entre le carbone qu'elle contient et l'oxygène de l'air. Ces molécules se combinent en molécules d'H₂O, de l'eau qui est invisible car sous forme gazeuse (vapeur) mais qui devient visible quand cette vapeur se condense au contact d'une surface froide. Cette condensation se traduit en effet par un dépôt de microgouttes d'eau sur la paroi du récipient.

Projet 8VSB-JMP - Travail de la demi-classe B

Etude de cas : discuter de la pertinence d'un modèle rudimentaire du métabolisme d'un cochon d'Inde

Donnée

Martin, un garçon de 10 ans, entretient un cochon d'Inde qui lui sert d'animal de compagnie. Par habitude, il sait que tous les mois, il doit acheter un paquet de 2.4 kg de foin pour le nourrir. Chaque jour, Martin donne une ration de foin, un morceau de légume et un morceau de fruit à son animal. Hier, par exemple, le cochon d'Inde a reçu, en plus de sa ration journalière de foin, un quartier de pomme (50 g) et un morceau de concombre (20 g). Cela est assez représentatif de ce que mange chaque jour un cochon d'Inde pesant, comme celui de Martin, 750 g, et restant dans sa cage à une température ambiante de 20 degrés.

Tu t'intéresses au cochon d'Inde de Martin et tu voudrais le modéliser de manière rudimentaire. L'idée est de trouver un récipient, rempli d'eau, qui ait la même masse que l'animal et qui demande la même énergie que lui pour maintenir sa température à 38 degrés.

Question No 1

Le problème est de bien choisir le récipient et de voir s'il faut l'emballer pour l'isoler ou si ce n'est pas nécessaire. D'autre part, on peut se demander ce que ça change d'avoir un récipient ouvert ou fermé.

On décide de faire une recherche empirique, c'est-à-dire de faire des essais avec divers récipients, isolés ou non, ouvert ou non, et de voir lequel constitue le meilleur modèle.

Pour gagner en efficacité, la classe se partage le travail et chaque groupe commence en testant un récipient différent. Les résultats sont publiés et les groupes qui en ont le temps contrôlent les résultats d'un autre groupe ou améliore son modèle.

Question No 2

Martin a observé son cochon d'Inde et a remarqué qu'il respire vite : environ 100 inspirations et expirations par minute. Il a essayé de déterminer quel volume d'air il prend à chaque respiration et a estimé ce volume à 5 cm³. Son estimation est-elle plausible ou s'est-il trompé grossièrement ?

Compétence visée :
Discuter de la pertinence d'un modèle rudimentaire du métabolisme d'un mammifère.



Questions préalables

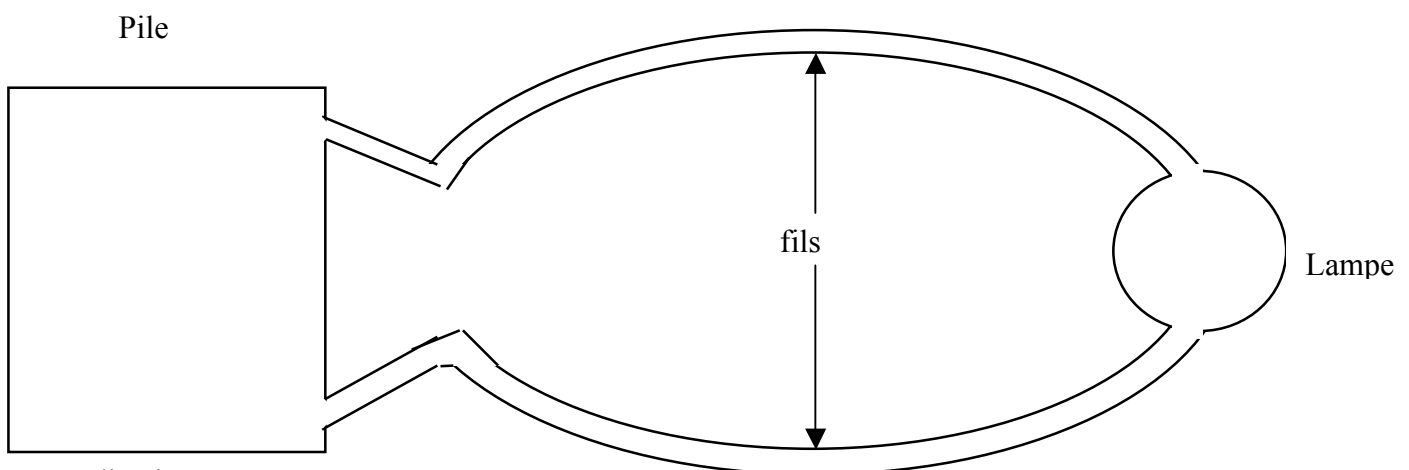
~Question n°1 ~

Comment fais-tu pour allumer une lampe avec une pile ronde.

Fais un dessin.

~Question n°2 ~

Le dessin ci-dessous représente le montage qui est à disposition avec une pile, des fils et une lampe. Que penses-tu qu'il se passe dans les fils, dans la pile et dans la lampe quand cette dernière éclaire ? Ajoute ce que tu imagines au dessin ci-dessous.



Explications :

Rallye pour une première immersion

~POSTE 1~

Au moyen du matériel dont tu disposes, sépare les échantillons en deux tas :

D'un côté les échantillons de matière conductrice et de l'autre les échantillons de matière isolante.

Attention : certains échantillons à classer dans les matières conductrices peuvent être recouvertes d'une matière isolante!

Bons conducteurs	Mauvais conducteurs ou douteux	Isolants (Non-conducteurs)

~POSTE 2~

Entraîne-toi à dire dans quel sens ton camarade tourne la manivelle de la génératrice d'après les dégagements de bulles gazeuses qui se produisent dans le bac.

Qu'est-ce qui te permet de dire dans quel sens ton camarade tourne la manivelle ?

Complète la phrase ci-dessous....

Je peux dire dans quel sens mon camarade tourne la manivelle pour la raison suivante....

~POSTE 3 ~

Dans ce tube passent plusieurs fils électriques.

Certains de ces fils sont cassés à l'intérieur du tube et le courant ne peut plus les traverser.

Sers-toi de la lampe et de la pile pour tirer
cela au clair.
Dessine les fils avec leurs couleurs et indique
les fils cassés avec une petite croix...

Tube contenant les fils électriques



~POSTE 4~

Réalise les montages suivants et entraîne-toi à sentir la différence entre 1,5 V, 3 V, et 4,5 V au moyen de la bouche.

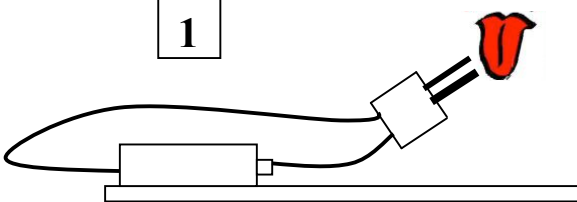
Quand tu t'es exercé, bande-toi les yeux, demande à ton camarade de choisir des tensions et devine ces tensions.

Quand tu as fini, garde les électrodes que tu as utilisées et passe au poste suivant.

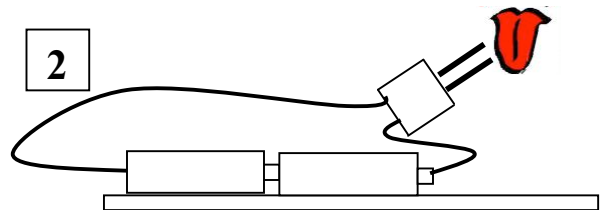
Ton camarade doit compléter le tableau suivant.

Montages :

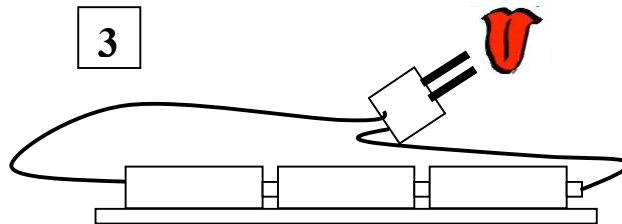
1



2



3



Nombre d'essais au total :	
Nombre d'essais réussis :	

~POSTE 5 ~

Lorsqu'une pile est usagée, elle a moins de volts que le nombre de volts indiqué sur la pile. C'est comme ça qu'on peut savoir si une pile est encore "bonne" ou non.

Vérifie ces 5 piles avec le testeur de piles quand c'est possible et avec le voltmètre de professionnel dans tous les cas!

Dans le tableau ci-dessous, indique quelles piles sont encore "bonnes" et quelles piles sont à envoyer au recyclage et réponds à la question

Numéro	1	2	3	4	5
Nombre de volts indiqués sur la pile	.....V	.....V	.....V	.....V	.....V
Nombre de volts au voltmètre	.....V	.....V	.....V	.....V	.....V
Indication donnée par le testeur	Replace Low Good	Replace Low Good	Replace Low Good	Replace Low Good	Replace Low Good
Décision	Garder Recycler	Garder Recycler	Garder Recycler	Garder Recycler	Garder Recycler

Pourquoi ne peut-on pas utiliser le testeur dans pour certaines piles ?

Réponse :

~POSTE 6 ~

Utilise le circuit suivant.

Comment peux-tu savoir dans quel sens est branchée la pile en regardant la boussole ?

C'est facile, n'est-ce pas ?
Mais comment fais-tu ?

Je peux dire dans quel sens est branchée la pile.....

~POSTE 7 ~

Mets de l'eau propre dans la cuve à électrolyse et branche les fils. Ça fait un circuit avec la pile et la lampe mais cette dernière ne s'allume pas.

Ajoute du sel à l'eau en remuant. Tu devrais voir la lampe s'allumer. Avant de quitter ce poste, vide l'eau salée et rince la cuve.

Est-ce que ça a marché ? Réponds et invente une question à propos de ce qui se passe là.

Entourer ce qui convient:

Oui, j'ai vu la lampe s'allumer / Non, ça n'a pas marché

Voici ma question:

~POSTE 8~

On dit que le circuit est fermé lorsque l'ampoule s'allume.
On dit aussi que le circuit est ouvert lorsqu'elle ne s'allume pas.
A quoi vois-tu dans l'interrupteur que l'ampoule s'allume ?

Regarde bien !
Puis complète les phrase suivantes

Pour que l'ampoule s'allume, l'interrupteur doit.....

Entoure la bonne réponse :

Si l'interrupteur est **ouvert/fermé** le circuit est ouvert.

Si l'interrupteur est **ouvert/fermé** le circuit est ouvert.

Feuille du jeu « électro »**Question 1 :****Réponse a :****Question 2 :****Réponse b :****Question 3 :****Réponse c :****Question 4 :****Réponse d :****Question 5 :****Réponse c :****Question 6 :****Réponse d :**

Rallye pour aller plus loin

~POSTE A~

Branche la dynamo sur les lampes montées en parallèle. Tourne la manivelle de la dynamo. Dévisse une ou deux ou les trois ampoules et fais chaque fois tourner la manivelle de la dynamo. Entraîne-toi à sentir la différence.

Bande-toi les yeux et demande à ton camarade de visser tantôt une, tantôt deux, tantôt trois ampoules sans que tu le saches.

Essaye de dire en tournant la manivelle combien ton camarade a vissé d'ampoules.

Y parviens-tu ?
Explique comment tu sais combien
de lampes brillent...

Voici comment je sais combien de lampes brillent quand elles sont montées en parallèle :

~POSTE B~

Branche la dynamo sur le montage de façon à allumer une lampe, tourne la manivelle pour que la lampe éclaire normalement.

En branchant la dynamo sur deux lampes en série, comment dois-tu faire pour que les deux lampes éclairent normalement (comme avant) ?

Même question pour trois lampes en série.

Attention :
Ne fait pas griller les ampoules.

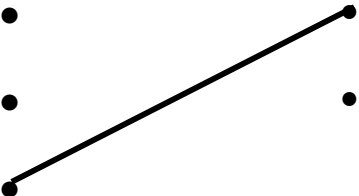
Voici ce que je dois faire pour que les ampoules brillent normalement :

~POSTE C~

Sur la table se trouvent deux circuits :
Un circuit à eau et un circuit électrique.
Peux-tu effectuer des regroupements
entre les différents éléments de ces deux
circuits ?

Relie les éléments équivalant
ensemble et complète la case vide

Génératrice	•	•	tuyau
Lampe	•	•	Hélice
Boussole	•	•	Eau
Fil	•	•	Pompe à manivelle
	•		



~POSTE D~

Quand la pompe du circuit à eau est enclenchée, l'eau circule dans le tuyau.
Touche le tuyau. L'eau circule-t-elle dans le sens A ou B ?
Les yeux bandés pose la main au milieu du tuyau et dis si ton camarade
écrase le tuyau avant ou après ta main.

Attention, n'écrase pas le tuyau
sinon tu ne sentiras rien

Réponses :

L'eau circule dans le sens :.....

Entoure la bonne réponse :

Mon camarade écrase le tuyau **avant/après** ma main.

~POSTE E~

Pour mesurer la pression dans un circuit électrique, on utilise un voltmètre.

Dans le circuit suivant, mesure la pression aux bornes des différents éléments et remplis le tableau.

Attention, tu dois brancher le voltmètre en parallèle si tu veux obtenir la bonne mesure

	Interrupteur ouvert	Interrupteur fermé
Lampe 1	.....V	.....V
Lampe 2	.....V	.....V
Lampe 1+2	.....V	.....V
Interrupteur	.....V	.....V
Pile	.....V	.....V

~POSTE F~

Branche la génératrice à main sur le voltmètre et tourne la manivelle. Entraîne-toi à faire 1 V puis 2 V puis 3 V et 5 V.

Quand tu es prêt, annonce la pression que tu comptes faire, ne regarde plus le voltmètre et demande à ton camarade de vérifier la valeur.

Ton camarade a le droit de t'aider à améliorer ton travail.
Il doit remplir le tableau suivant

Nombre d'essais au total :	
Nombre d'essais réussis :	

~POSTE G ~

Pour représenter ce montage, les électriciens utilisent un de ces dessins qu'ils appellent « schéma ».

Lequel de ces schémas correspond au montage ?

Schéma A

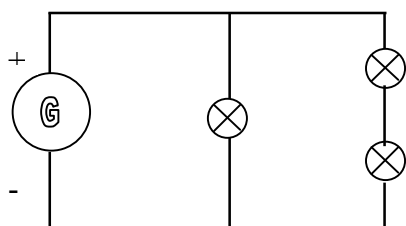


Schéma B

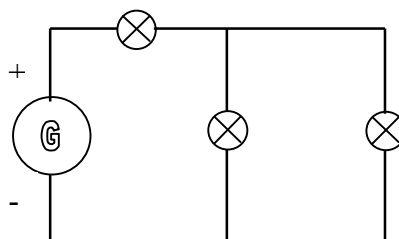
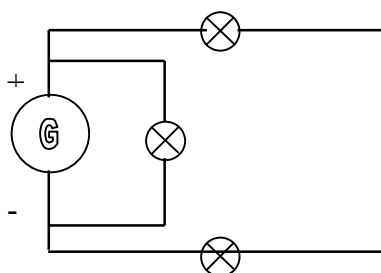


Schéma C



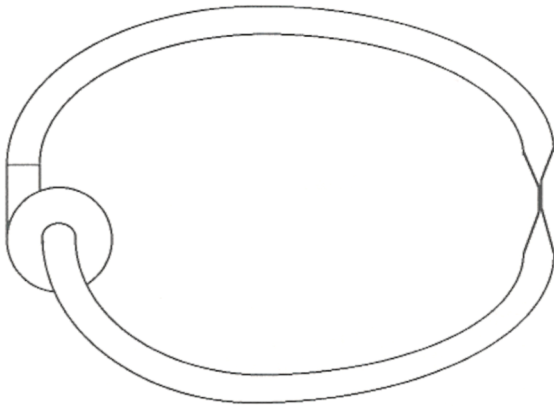
Le schéma correspondant au montage est le schéma.....

~POSTE H ~

Après être passé au poste D, complète les dessins de manière à faire comprendre ce qui se passe avec la pression dans le tuyau.

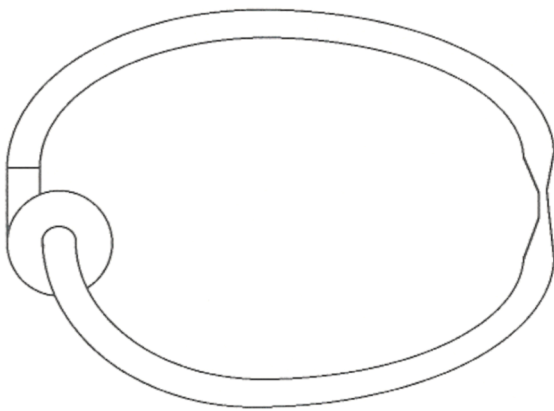
Tourne la page.....

Le circuit hydraulique

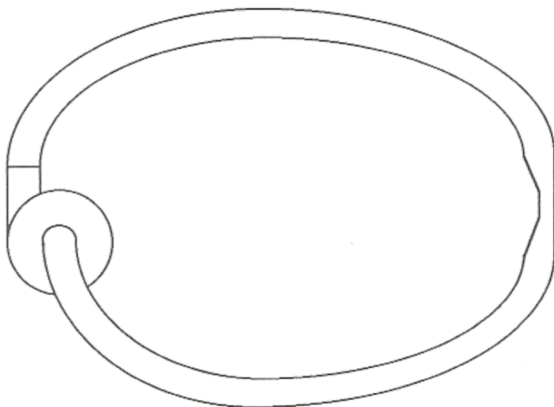


Compléter les dessins par des grisés qui expriment la pression dans le circuit hydraulique.

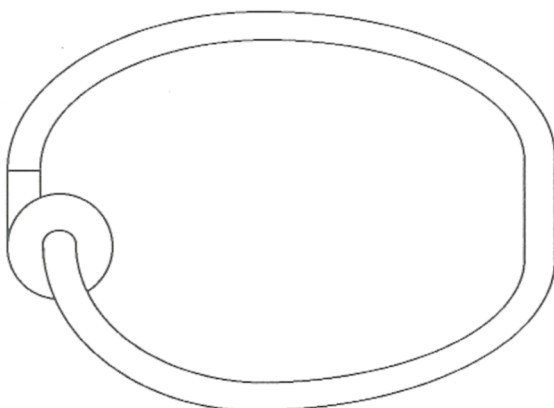
Le circuit est totalement écrasé.
L'eau ne passe plus.



Le circuit est fortement écrasé.
L'eau passe, mais difficilement.



Le circuit est légèrement écrasé.
L'eau passe presque normalement.

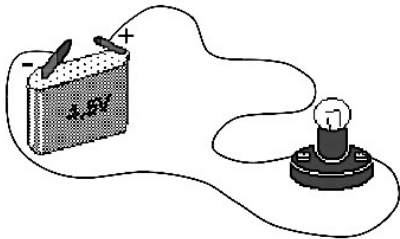
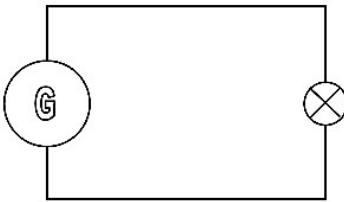
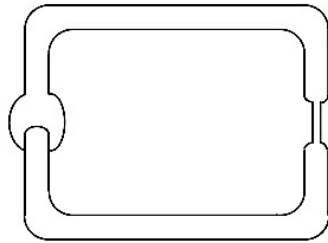
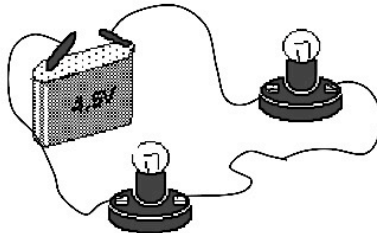
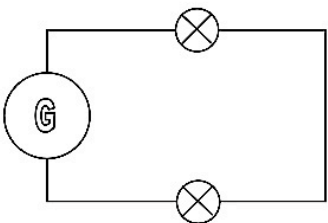
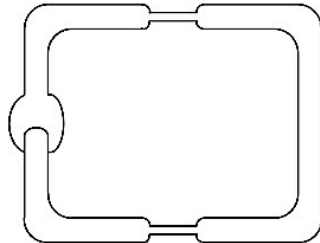
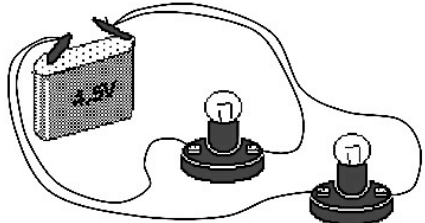
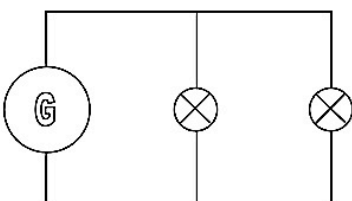
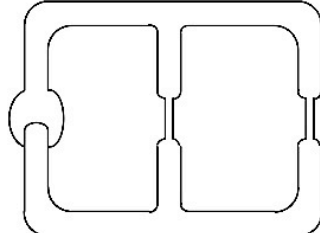
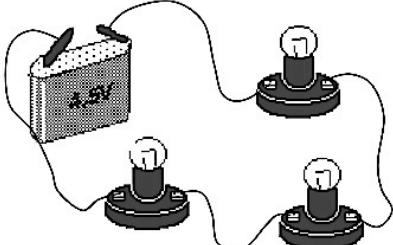
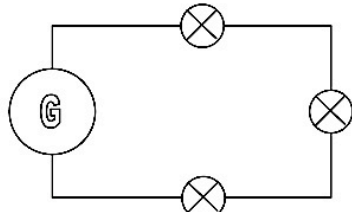
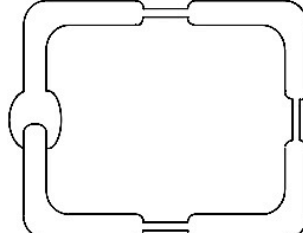


Le circuit n'est pas écrasé.
L'eau passe sans aucune résistance.






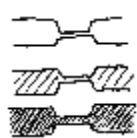
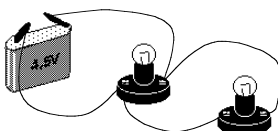
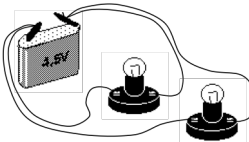
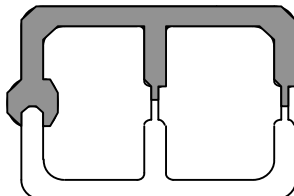
Modélisation des circuits électriques

Consignes :

Complète les modèles de circuits à eau en grisant plus ou moins les tuyaux en fonction du nombre de volts (pression) disponibles. Plus il y a de volts et plus le gris est foncé. Quand il n'y a plus de volts le tuyau reste blanc.

Dessin	Schéma	Modélisation/ Circuit à eau
		
		
		
		

Règles du modèle

Symboles pour les objets	Code	Règles du modèle
<div><div>Conducteur = “tuyau”</div><div> Portion de tuyau sous pression (tension) élevée</div><div> Portion de tuyau sous pression (tension) moyenne</div><div> Portion de tuyau sous pression (tension) nulle</div></div>	Base B	B1 <div>Un circuit électrique se représente au moyen des symboles et conventions ci-contre.</div>
		B2 <div>La pression (la tension) dans un tuyau conducteur se représente par un grisé d’autant plus foncé que la pression est grande (pression = grisé). On laisse blanc un tuyau qui est à la pression zéro !</div>
<div><div><div>+</div></div><div>Générateur (peut être une pile, une dynamo ou un transformateur)</div><div>-</div></div>		B3 <div>Un générateur en état de marche entretient une différence de pression entre sa borne d’entrée et sa borne de sortie. Par convention, la borne – est la borne d’entrée, elle est à la pression zéro. La borne + est la borne de sortie, elle est à la pression haute (celle que l’on peut mesurer avec un voltmètre entre les deux bornes).</div>
<div><div></div><div>Lampe (avec différence de pression donc éclairante)</div></div>		B4 <div>Lorsqu’on parcourt un circuit fermé, la pression (le grisé) ne varie jamais le long d’un tuyau tant qu’il n’y a pas d’étranglement. Dans un circuit ouvert, le seul endroit où une différence de pression est possible est aux bornes de l’interrupteur.</div>
		B5 <div>Une lampe brille d’autant plus fortement que la différence de pression à ses bornes est grande. Elle brille normalement si cette DDP est celle pour laquelle elle est conçue. Une DDP nulle implique une lampe éteinte.</div>
Voir les exercices	Série	S <div>Des lampes identiques, placées sur la même branche de circuit, ont la même DDP entre leurs bornes. Elles éclairent avec la même intensité.</div>
Voir les exercices	Courant C	C1 <div>Le courant se partage entre les embranchements et se conserve.</div>
<div><div></div><div>Trois lampes sans différence de pression donc éteintes et non parcourues par un courant</div></div>		C2 <div>Pour des lampes identiques, celle qui a la plus forte DDP est celle qui est parcourue par le plus grand courant.</div>
<div>Remarque sur la topologie des circuits</div> <div><div></div><div></div><div></div><div>Ces deux manières de monter le circuit reviennent au même pour le fonctionnement des lampes. La modélisation est la même pour les deux.</div></div>		

Nom :

Prénom :

Test de compétence

- Dessine, à côté du dessin du schéma électrique, le modèle de circuit à eau qui correspond au montage électrique.
- Complète le modèle en indiquant les pressions en grisés
- Note à côté de chaque ampoule sa brillance selon le code :
brillance normale = **N**, faible = **F**, Très faible = **TF**

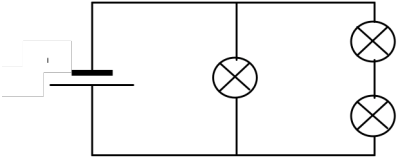
Schéma du circuit No 1	Modèle circuit à eau avec pressions
	

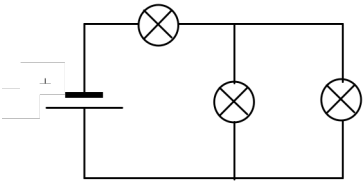
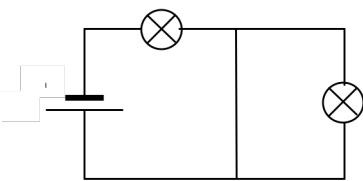
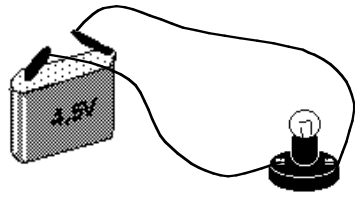
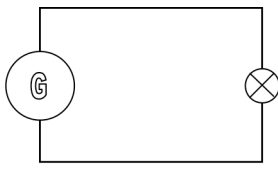
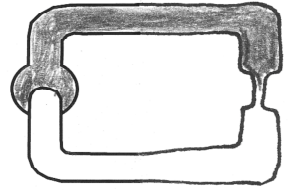
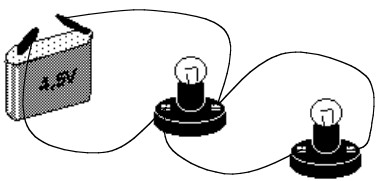
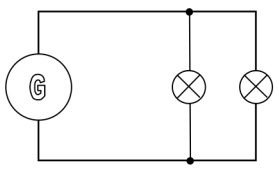
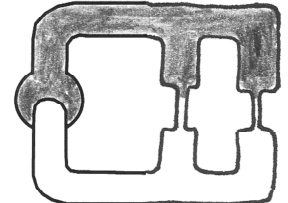
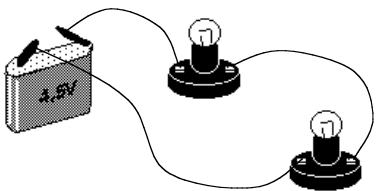
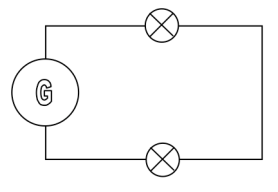
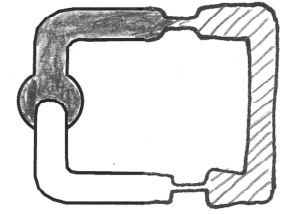
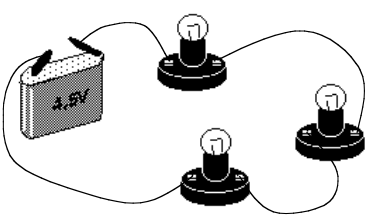
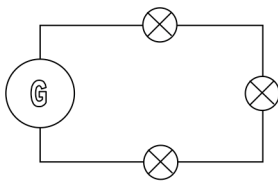
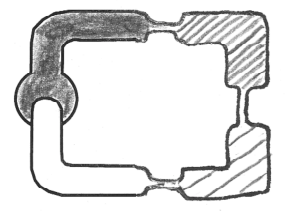
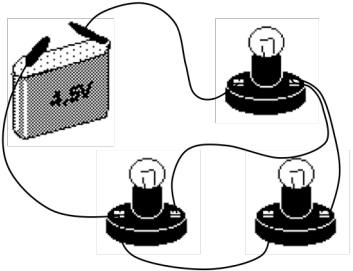
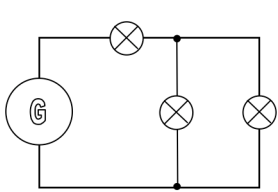
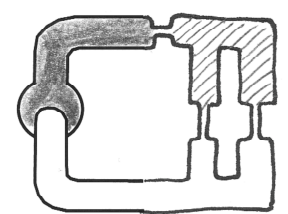
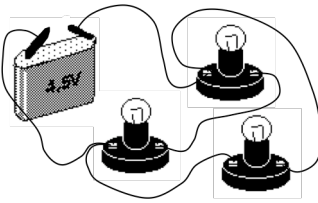
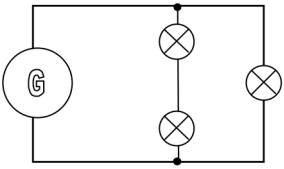
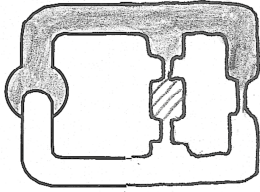
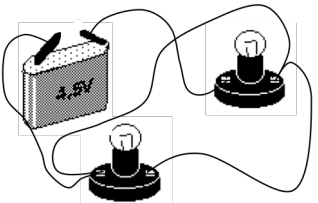
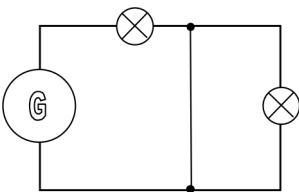
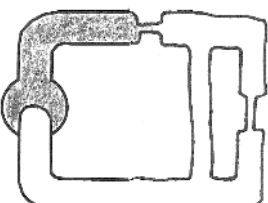
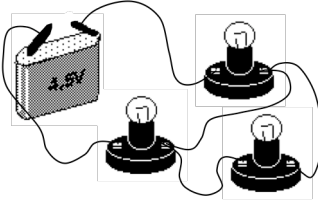
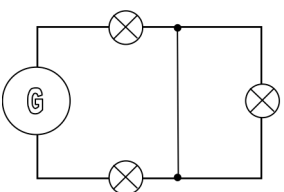
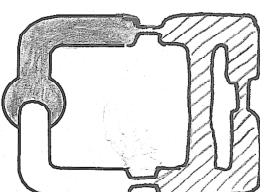
Schéma du circuit No 2	Modèle circuit à eau avec pressions
	

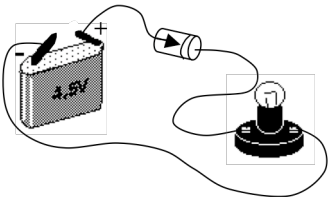
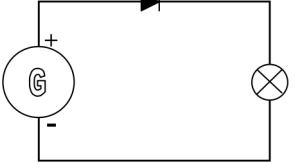
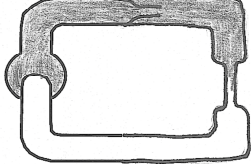
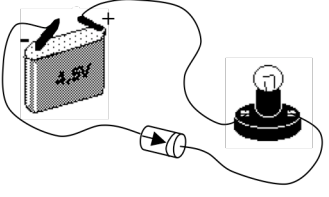
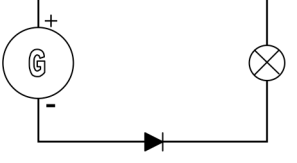
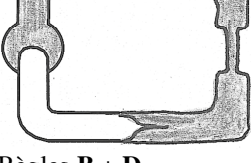
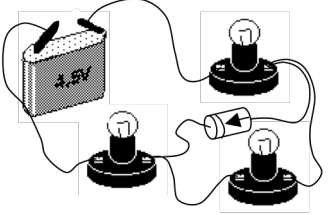
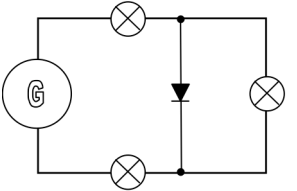
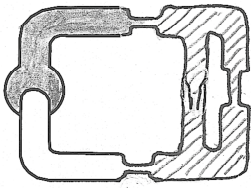
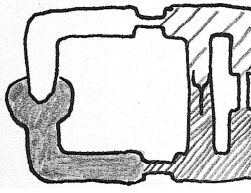
Schéma du circuit No 3	Modèle circuit à eau avec pressions
	

Un modèle possible pour les circuits électriques

Le modèle des pressions - Règles et exemples

Dessin du circuit	Schéma	Modélisation	Empirisme / Syntaxe
<p>1 Montage simple</p> 		 <p>Règles B</p>	<p>La lampe éclaire normalement.</p> <p>Entre l'entrée et la sortie de la lampe, il y a la même DDP qu'entre l'entrée et la sortie de la pile (la même différence de grisés).</p>
<p>2 Montage en parallèle</p> 		 <p>Règles B</p>	<p>Les deux lampes éclairent normalement.</p> <p>Entre l'entrée et la sortie de chacune des deux lampes, il y a la même DDP qu'entre l'entrée et la sortie de la pile (la même différence de grisés).</p>
<p>3 Montage en série</p> 		 <p>Règles B + S</p>	<p>Les deux lampes identiques éclairent faiblement et avec la même luminosité.</p> <p>Entre l'entrée et la sortie de chaque lampe, il y a une DDP qui vaut la moitié de la DDP entretenue par le générateur.</p>
<p>4 Montage en série</p> 		 <p>Règles B + S</p>	<p>Les trois lampes identiques éclairent encore plus faiblement que ci-dessus (2) mais les trois avec la même intensité.</p> <p>Entre l'entrée et la sortie de chaque lampe, il y a une DDP qui vaut le tiers de la DDP entretenue par le générateur. Ici 1.5 volts.</p>
<p>5 Montage mixte</p> 		 <p>Règles B + C</p>	<p>La lampe en série éclaire plus faiblement que normalement. Les deux lampes identiques qui sont en parallèle éclairent encore plus faiblement mais avec la même intensité toutes les deux.</p> <p>Le courant qui traverse la lampe en série est plus grand que le courant qui traverse chacune des lampes en parallèle. La DDP aux bornes de cette lampe est plus grande que la DDP existant aux bornes des deux autres.</p>

Dessin du circuit	Schéma	Modélisation	Empirisme / Syntaxe
<p>6 Montage mixte</p> 		 <p>Règles B + S</p>	<p>Deux lampes sont branchées en série sur le générateur. Elles éclairent faiblement.</p> <p><i>Il y a une DDP de 2.25 V entre l'entrée et la sortie de chacune.</i></p> <p>La troisième lampe est placée en parallèle sur les deux autres. Elle éclaire normalement.</p> <p><i>Il y a une DDP de 4.5 V entre l'entrée et la sortie de cette lampe.</i></p>
<p>7 Montage 2 lampes et court-circuit</p> 		 <p>Règles B</p>	<p>Deux lampes sont branchées en série sur le générateur. L'une d'elles est court-circuitée.</p> <p><i>Il y a une DDP de 4.5 V entre l'entrée et la sortie de la première lampe et de 0 V entre l'entrée et la sortie de la seconde.</i></p> <p>La première lampe éclaire normalement, la seconde est éteinte.</p>
<p>8 Montage 3 lampes et court-circuit</p> 		 <p>Règles B</p>	<p>Deux lampes sont branchées en série sur le générateur. Elles éclairent faiblement.</p> <p><i>Il y a une DDP de 2.25 V entre l'entrée et la sortie de chacune.</i></p> <p>La troisième lampe est court-circuitée par le fil qui relie les deux premières lampes. Elle demeure éteinte.</p> <p><i>Toute la portion de circuit comprise entre les deux lampes est à la même pression de 2.25 V.</i></p>






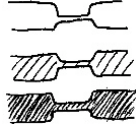


Circuits avec diodes			
Dessin du circuit	Schéma	Modélisation	Empirisme / Syntaxe
9 Montage avec diode 		 Règles B + D	<p>On a placé une diode en série dans le circuit. La lampe s'allume normalement. Le courant ne peut passer que dans un seul sens.</p> <p><i>La diode n'a aucun effet sur le courant. Il n'y a pas de DDP entre son entrée et sa sortie.</i></p>
10 Montage avec diode 		 Règles B + D	<p>Ici, la diode est placée de manière à interdire le passage du courant (circuit ouvert). La lampe est éteinte.</p> <p><i>La pression est de 4.5 volts jusqu'à la diode puis 0 volts entre la diode et la borne - du générateur. Il n'y a pas de DDP aux bornes de la lampe donc pas d'éclairement.</i></p>
11 Même circuit que le No 8 mais avec une diode entre deux lampes. 		 Règles B + D  Règles B + S + D	<p>Selon la manière dont on branche le générateur (borne + et borne -), on a :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un circuit avec deux lampes en série. Le courant passe dans la diode et ne passe pas dans la troisième lampe qui reste éteinte. On est dans la même situation que ci-dessus (9) : Toute la portion de circuit comprise entre les deux lampes est à la même pression de 2.25 V. • Un circuit avec trois lampes en série éclairant très faiblement. Le courant ne passe pas dans la diode, mais un courant identique passe dans les trois lampes. Il y a une DDP de 1.5 V entre l'entrée et la sortie de chacune.

Description du modèle

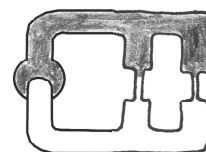
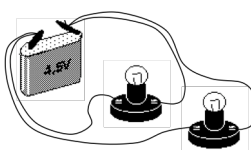
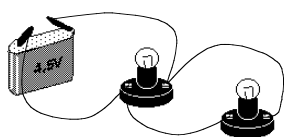
Préalable

Les élèves possèdent un “réfèrent empirique” important. Les notions de circuit ouvert ou fermé (et l’objet interrupteur) sont connus. Un modèle « animiste » du courant électrique (personnages ou grains électriques circulant dans les circuits électriques) a permis d’installer une représentation du courant électrique et de sa conservation.

Les « grains électriques » ont été institués comme les transporteurs de l’énergie mais ne sont pas en eux-mêmes l’énergie. Ces grains sont caractérisés par un potentiel (exprimé en volts) et ont la propriété de transporter une énergie proportionnelle à ce potentiel. Le modèle présenté ici peut être ancré dans des expériences sensibles réalisées avec des circuits constitués de chambres à air de vélo remplies d’eau et de pompes d’aquarium.

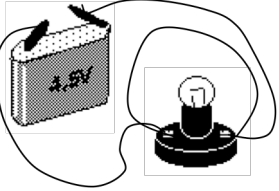
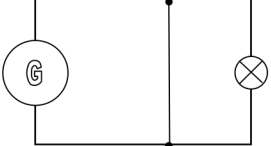
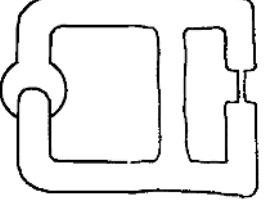
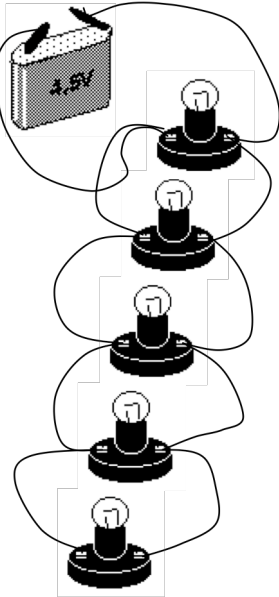
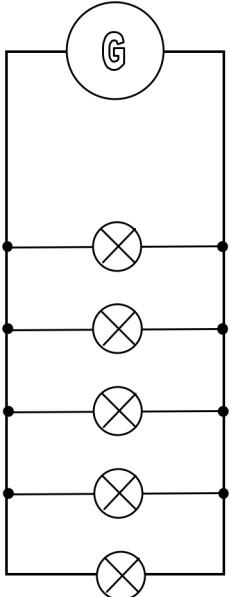
Symboles pour les objets	Code	Règles du modèle
Conducteur = “tuyau”		
 Portion de tuyau sous pression (tension) élevée	B1	Un circuit électrique se représente au moyen des symboles et conventions ci-contre.
 Portion de tuyau sous pression (tension) moyenne	B2	La pression (la tension) dans un tuyau conducteur se représente par un grisé d’autant plus foncé que la pression est grande (pression = grisé). On laisse blanc un tuyau qui est à la pression zéro !
 Portion de tuyau sous pression (tension) nulle	B3	Un générateur en état de marche entretient une différence de pression (DDP) entre sa borne d’entrée et sa borne de sortie. Par convention, la borne – est la borne la borne d’entrée, elle est à la pression zéro. La borne + est la borne de sortie, elle est à la pression haute (celle que l’on peut mesurer avec un voltmètre entre les deux bornes).
 Générateur (peut être une pile, une dynamo ou un transformateur)	B4	Lorsqu’on parcourt un circuit fermé, la pression (le grisé) ne varie jamais le long d’un tuyau tant qu’il n’y a pas d’étranglement. Dans un circuit ouvert, le seul endroit où une DDP est possible est aux bornes de l’interrupteur ou de la diode.
 Lampe (avec différence de pression donc éclairante)	B5	Une lampe brille d’autant plus fortement que la DDP à ses bornes est grande. Elle brille normalement si cette DDP est celle pour laquelle elle est conçue. Une DDP nulle implique une lampe éteinte.
 Trois lampes sans différence de pression donc éteintes et non parcourues par un courant	Série	S Des lampes identiques, placées en série sur la même branche de circuit, ont la même DDP entre leurs bornes. Elles éclairent avec la même intensité.
 Diode (valve) laissant passer le courant	Courant C	C1 Le courant se partage entre les embranchements et se conserve.
	C2	Pour des lampes identiques, celle qui a la plus forte DDP est celle qui est parcourue par le plus grand courant.
 Diode (valve) bloquant le passage du courant	Diode	D Tournée dans un sens, la diode laisse passer un courant qui va du pôle + du générateur au pôle - ; elle ne produit alors pas de chute de pression ; il n’y a pas de DDP entre ses bornes. Si elle est branchée dans l’autre sens, elle se comporte comme un interrupteur ouvert.

Remarque sur la topologie des circuits



Ces deux manières de monter le circuit reviennent au même pour le fonctionnement des lampes. La modélisation est la même pour les deux.

Des situations observables qui échappent au modèle

<p>Montage avec court-circuit</p> 		 <p>La règle B4 nous dit que l'ensemble du circuit doit être à la même pression.</p> <p>On en déduit que la lampe est éteinte, ce qui se vérifie.</p> <p>Mais la règle B3 nous renvoie à une contradiction. Quelle couleur choisir ? Tout blanc ou tout foncé ?</p> <p>Un modèle plus élaboré pourrait nous sortir de l'impasse. Ce modèle devrait introduire une résistance interne du générateur. On pourrait alors faire dire à ce modèle qu'un courant de court-circuit s'établit et que l'énergie se dissipe à l'intérieur du générateur. Ce qu'on vérifie empiriquement puisque la pile chauffe !</p>
<p>Montage avec un grand nombre de lampes en parallèle</p> 		<p>Ici, en appliquant les règles du modèle, on conclut que toutes les lampes éclairent normalement (comme si chacune était seule).</p> <p>Empiriquement, on constate que plus il y a de lampes, plus leur éclat diminue. En fait, la tension aux bornes de la pile décroît au fur et à mesure qu'augmente le courant débité. Il y a risque pour les élèves de confondre ce fait avec ce qui se passe dans le cas des lampes en série. Pourtant, la diminution d'éclat des lampes est ici nettement moindre.</p> <p>Là encore, un modèle incluant la résistance interne du générateur permettrait de rendre compte de ce qui s'observe. On pourrait alors faire dire à ce modèle qu'une chute de pression dans la résistance interne fait qu'aux bornes du générateur, la DDP diminue au fur et à mesure que l'on augmente le nombre de lampes. De fait, en continuant à brancher toujours plus d'ampoules en parallèle, on se rapproche d'une situation de court-circuit du générateur.</p>

1 Pied à coulisse

- IM 1
- 1) Parvenir à utiliser correctement un pied à coulisse
 - 2) Connaître la terminologie se rapportant à un pied à coulisse

Matériel

- pied à coulisse
- document "pied à coulisse"
- document "vernier"
- objets divers pour mesures de diamètres, longueurs, écartements, profondeurs

2 calibre à vis micrométrique

- IM 2
- 1) Parvenir à utiliser correctement un calibre à vis micrométrique
 - 2) Connaître la terminologie se rapportant à un calibre

Matériel

- calibre à vis micrométrique
- document "calibre à vis micrométrique"
- document "vernier"
- objets divers pour mesures d'épaisseurs et de diamètres

3 Utilisation de récipients gradués en volumes

- IM 3
- 1) Parvenir à utiliser correctement divers récipients gradués
 - 2) Choisir le récipient gradué le mieux adapté à la demande
- Préparation: faire les mesures nécessaires et compléter la fiche "Utilisation de récipients gradués en volumes - Feuille de préparation "

Matériel

- récipients gradués divers
- récipients non gradués
- pot d'eau
- document "Utilisation de récipients gradués en volumes - Feuille de préparation"
- serviette pour sécher

4 Longueur d'une torche de fil sans dérouler le fil

- LO 1
- 1) Parvenir à déterminer la longueur d'une torche de fil circulaire avec la meilleure précision possible sans dérouler la torche.
 - 2) Mesurer la longueur d'une torche de fil déroulée avec la meilleure précision possible et en choisissant l'instrument de mesure adéquat.

Matériel

- torches de fils
- divers instruments de mesure
- fiche "Longueur d'une torche"

5 Volume d'un objet de forme parallélépipédique

- VO 1
- 1) Parvenir à déterminer le volume d'un objet de forme parallélépipédique.
 - 2) Contrôler ce volume en immergeant l'objet dans l'eau contenue dans un récipient gradué adéquat.

Matériel

- objets de forme parallélépipédique
- pied à coulisse et règle métrique
- récipients gradués
- pot d'eau
- fiche "Volume d'un objet de forme parallélépipédique"
- serviette pour sécher le matériel

6 Volume d'un objet de forme cylindrique

- VO 2
- 1) Parvenir à déterminer le volume d'un objet de forme cylindrique.
 - 2) Contrôler ce volume en immergeant l'objet dans l'eau contenue dans un récipient gradué adéquat.
-

Matériel

- objets de forme cylindrique
 - pied à coulisse et règle métrique
 - récipients gradués
 - pot d'eau
 - fiche "Volume d'un objet de forme cylindrique"
 - serviette pour sécher le matériel
-

7 Volume d'un objet de forme sphérique

- VO 3
- 1) Parvenir à déterminer le volume d'un objet de forme sphérique.
 - 2) Contrôler ce volume en immergeant l'objet dans l'eau contenue dans un récipient gradué adéquat.
-

Matériel

- objets de forme sphérique
 - micromètre, pied à coulisse, toise et règle métrique
 - récipients gradués
 - pot d'eau
 - fiche "Volume d'un objet de forme sphérique"
 - serviette pour sécher le matériel
-

Apporter des témoignages, donner des idées, faire envie, encourager à oser, voilà le projet !

Les nombreuses expériences retracées dans ce livre et dans les films qui l'accompagnent permettent de rencontrer des enseignants qui tentent de conduire leurs classes avec ces deux exigences : que les élèves trouvent un sens immédiat aux activités d'apprentissage et qu'ils acquièrent de réelles compétences. Ces enseignants gèrent tant bien que mal les paradoxes inhérents à un métier parfois qualifié d'impossible. Ils prennent des risques, ils expérimentent. Leurs cheminements sont personnels, souvent improvisés et adaptés aux réactions de leurs élèves et aux contraintes institutionnelles. Ils ne pourront donc jamais être reproduits à l'identique. C'est l'état d'esprit dans lequel ces enseignants travaillent qui importe... et que cet ouvrage devrait permettre de capter.

Pour aider le lecteur à endosser cet état d'esprit et à enseigner de manière plus efficace et plus heureuse, des aides et des outils lui sont proposés. Des textes accompagnés de diagrammes, tableaux et schémas le renseignent quant à la manière de structurer une séquence d'enseignement, de créer des enjeux pour les élèves, de problématiser le savoir à construire, de s'appuyer sur la modélisation ou encore de tirer profit des interactions sociales. Un chapitre aborde les fondements épistémologiques de l'enseignement scientifique. Tous ces apports, d'une part, s'appuient sur les travaux de didacticiens et d'épistémologues reconnus et, d'autre part, renvoient aux exemples vécus présentés dans le livre et dans les films.

Ainsi cet ouvrage articule "théorie" et "pratique", cette fameuse articulation, tant recherchée dans les cursus de formations des enseignants.



Jean-Claude Noverraz a enseigné les disciplines scientifiques dans de nombreux cycles d'orientation, collèges et lycées. Il a été formateur d'enseignants, à Lausanne, au Séminaire pédagogique de l'enseignement secondaire puis à la Haute école pédagogique du canton de Vaud. Comme formateur, il a développé des outils d'aide à la conception, à la conduite et à l'analyse de séquence d'enseignement en faisant explicitement référence à des modèles théoriques. Il a mené ou supervisé de nombreuses expériences pédagogiques en s'inspirant des travaux de nombreux chercheurs.

Il a conduit une recherche à propos des conceptions épistémologiques des élèves en lien avec l'enseignement qui leur est prodigué. Il a œuvré en faveur d'un enseignement moins cloisonné et plus ouvert sur les pratiques sociales. Il est membre du Réseau d'Épistémologie et de Didactique des Sciences (REDS), dirigé par le professeur André Giordan (Université de Genève).