

Sciences à l'école, Côté jardin

le guide pratique de l'enseignant



Estelle Blanquet

Préface d'Yves Quéré

Éditions du Somnium

Quel meilleur moyen de prendre goût à la science que de s'en faire une fête ?

Quel meilleur moyen de prendre confiance en soi que de faire partager le plaisir de la découverte ?

40 séquences complètes pour autant d'activités scientifiques, de la maternelle au cycle 3, et des conseils pour l'organisation d'un Jardin des sciences dans chaque école.



Lancez-vous !



ESTELLE BLANQUET est professeur agrégée de physique (chimie), docteur en physique et en sciences de l'éducation. Maître de conférences en sciences de l'éducation à l'Université de Bordeaux, elle est responsable du master MEEF 1^{er} degré à l'ESPE d'Aquitaine. Ses recherches en didactique des sciences au Laboratoire Cultures-Éducation-Sociétés (LACES) portent sur les critères de scientificité adaptés à la science scolaire et sur l'initiation anticipée des tout-petits à la méthode scientifique, dès l'école maternelle. Elle a créé les Jardins des sciences de Nevers (2004) et de Nice (2008).

Physicien et membre de l'Académie des sciences, **YVES QUÉRÉ** est l'un des initiateurs de La Main à la Pâte.

30 €



ISBN :
978-2-918696-18-6

somniumeditions@free.fr
<http://somniumeditions.free.fr>

Sommaire

Se mettre à aimer la science , par Yves QUÉRÉ	11
Le plaisir et la curiosité , par Philippe JOURDAN	13
Désir d'apprendre , par Mohammed NAJMI & Gilbert CASTELLI	15
Avant-propos : Quand les enfants enseignent les sciences à d'autres enfants...	17
I - L'organisation pratique d'un jardin des sciences	21
1. De quoi s'agit-il ?	23
2. Comment ça marche ?	25
3. Un jardin des sciences, quatre points de vue	27
4. Quel investissement ?	29
5. Mettre en place un agenda	31
6. Organiser les rotations	33
7. Choisir les activités	37
8. Impliquer les élèves	38
9. Concevoir les animations	39
10. Préparer les élèves à animer	41
11. Préparer les parents à accompagner	45
12. Conseils pratiques	47
13. Des sciences à la kermesse !	49
• Quelques Jardins réussis...	53
II – Physique, chimie, technologie : tous les sujets sont bons	61
• Quarante séquences pour soixante animations	63
A/ 24 Ateliers pour l'école élémentaire	71
E-01 Comment faire varier la taille d'une ombre ?	75
E-02 Sur les traces d'Ératosthène	83

Sommaire

E-03	Ombres colorées	89
E-04	Solide, liquide : deux états d'une même matière ?	95
	<i>Liquide, gaz : une même substance ?</i>	
E-05	– L'évaporation	103
E-06	– L'ébullition	111
E-07	L'air, ce n'est pas rien !	119
E-08	Des voitures à air comprimé	127
E-09	Se dissoudre ou pas ?	135
E-10	Comment rendre l'eau claire ?	147
E-11	Chimie des couleurs	155
E-12	Densité et saturation : des morceaux de sucre sans dessus dessous	167
E-13	Équilibres et déséquilibres	173
E-14	Les balances	183
E-15	Découvrons la densité	191
E-16	Électricité : comment allumer le nez de l'ours ?	199
E-17	Engrenages	207
E-18	Sabliers	215
E-19	Sable et solides en grains	223
E-20	S'orienter à la boussole	237
E-21	Chauffer au Soleil	243
E-22	L'écrase-biscotte	253
E-23	Recyclage : comment fabriquer du papier ?	259
E-24	La petite bête qui monte, qui monte	265
B/ 16	Ateliers pour l'école maternelle	271
•	Faire des sciences avec les tout-petits ?	275
	<i>Les cinq sens :</i>	
M-01	– À la découverte des odeurs	279
M-02	– À la découverte du goût	281
M-03	– À la découverte des sons	285

Sommaire

M-04 – À la découverte du toucher	293
M-05 – À la découverte de la vue	301
M-06 Sabliers	309
M-07 <i>Bascule</i> , ou l'équilibre horizontal	315
M-08 Comment modifier mon ombre ?	319
M-09 Miroirs	327
M-10 Transvasements	331
M-11 <i>Plouf !</i> ou la poulie	341
M-12 Flotte/coule ?	347
M-13 La glace et l'eau, une même matière ?	353
M-14 Se dissoudre ou pas ?	357
M-15 L'écrase-biscotte	363
M-16 Engrenages	369
III - Mener une démarche d'investigation	377
1. Quelques règles simples	379
2. Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?	383
3. Réorganiser la classe pour une démarche d'investigation	389
4. Organisation des écrits	395
5. Définir et limiter le champ d'une investigation	401
En guise de conclusion...	407
Annexes	409
1. Matériel utilisé	4. Tableaux d'organisation des rotations
2. Que disent les programmes ?	5. Bibliographie
3. Planification pluriannuelle des activités	6. Contacts utiles
Crédits et remerciements	446

*J'avoue être né avec l'esprit ainsi
fait que j'ai toujours mis le plus
grand plaisir des études, non
point à écouter les raisons des
autres, mais à les trouver par
mon industrie propre, et cela
seul m'ayant attiré à l'étude des
sciences quand j'étais jeune.*

René DESCARTES,
Règles pour la direction de l'esprit
(1628)

Avant-Propos

Quand les enfants enseignent les sciences à d'autres enfants...

On ne le dira jamais assez : spontanément, les enfants adorent la science.

Comment en convaincre leurs futurs professeurs ? L'IUFM de Nice a choisi de placer ses enseignants stagiaires en position d'animateurs d'un « Jardin des sciences » festif qui, en trois années d'existence, a déjà accueilli près de six mille élèves accompagnés par plus de deux cent cinquante enseignants.

Séquence en poche, les PE se lancent et reviennent heureux : « Ça marche ! ». Même les plus « littéraires » d'entre eux sont surpris de leur propre facilité à susciter l'enthousiasme des enfants pour les sciences et du plaisir qu'ils ont partagé avec eux.

Pourquoi un guide pratique ?

Initialement conçu pour aider ces jeunes enseignants à reproduire plus tard des séquences similaires dans leurs classes, cet ouvrage a vu son ambition s'élargir sous l'amicale pression de collègues sollicitant l'accompagnement de l'IUFM pour organiser leur propre manifestation dans un nombre croissant d'écoles et de circonscriptions. Ce sont alors les enfants eux-mêmes qui se font animateurs et font partager leurs découvertes à leurs camarades d'autres classes, ou d'autres écoles.

Un Jardin des sciences dans chaque école, à quoi bon ?

La préparation de ces manifestations festives donne du souffle à l'enseignement des sciences. Il est toujours plus motivant de travailler ensemble ; les enseignants moins familiers des sciences sont rassurés d'être impliqués avec les collègues dans un projet collectif. L'aventure dynamise aussi les élèves, partenaires à part entière du projet. Quelle joie et quelle fierté d'être les animateurs d'un jour et de partager leurs découvertes avec leurs camarades !

Un pari ambitieux

À la surprise de beaucoup de directeurs, il apparaît relativement facile d'organiser une manifestation d'envergure dans son école. Pour l'enseignant en charge du projet, du lancement à la réalisation, il faut compter une dizaine d'heures de travail hors temps de classe (voire moins si le matériel est déjà disponible).

Les activités menées en classe répondent naturellement aux impératifs du programme.

Il s'agit d'abord de faire vivre aux élèves une démarche d'investigation, méthode préconisée pour l'enseignement des sciences. Dans un second temps, il faut préparer les élèves à tenir un atelier. Ils y parviennent en général en deux à quatre heures et ce temps, loin d'être perdu, développe des compétences langagières précieuses.

Nous espérons que ce guide pratique, appuyé sur l'expérience niçoise, permettra à l'organisateur principal d'anticiper de nombreux détails concrets et l'accompagnera pas à pas dans son élaboration, aussi bien pratique que pédagogique et scientifique de la journée festive.

Pour qui ?

Le guide s'adresse tout autant à l'enseignant expérimenté qu'au néophyte, à celui de formation littéraire qu'au plus scientifique, au collectif travaillant à un projet d'école qu'au professeur isolé. Les enseignants qui débutent dans l'enseignement des sciences y trouveront en outre des recettes et des outils concrets pour se lancer, les plus chevronnés des idées pour aller plus loin.

Que vais-je trouver dans cet ouvrage ?

Il ne se substitue ni aux manuels de sciences, ni aux ouvrages de didactique. Notre Guide pratique est structuré en trois grandes parties :

- La première, *Organiser un jardin des sciences*, est consacrée aux aspects concrets d'un tel projet. Quand commencer ? Combien d'animations prévoir ? De quelle durée ? Quelle rotation des groupes d'élèves ? Quelle organisation matérielle, quels outils construire avec les élèves en amont ? Comment faciliter la mise en œuvre d'une animation en démarche d'investigation par les élèves ?
- La deuxième partie, *Physique, chimie, technologie : tous les sujets sont bons*¹, détaille quarante séquences pédagogiques, de la maternelle au cycle 3, rodées et choisies pour leur facilité d'adaptation en animation par les élèves. Elles sont présentées sous forme de fiches standardisées, dont la première page précise les conditions d'emploi (objectifs d'apprentissage, niveau de classe, durée prévue, liste de matériel, temps de préparation, niveau de difficulté pour l'enseignant et les élèves, etc.).
- Il nous semble utile de proposer quelques conseils pratiques sur la façon de mener une démarche d'investigation. La troisième partie s'adresse avant tout aux enseignants qui débutent dans la démarche ou à ceux qui ne s'estimeraient pas en mesure d'enseigner les sciences.² Comment éviter les pièges « classiques » ? Comment questionner les élèves, mettre en place le cahier d'expérience, organiser la classe pour faciliter la démarche d'investigation, identifier des paramètres ?

1. Le Jardin des sciences de l'IUFM de Nice inclut bien sûr des ateliers consacrés à la biologie et aux mathématiques, et même à l'éducation sportive et musicale. Pour cette partie plus didactique du Guide, l'auteur a toutefois choisi de s'en tenir aux exemples d'ateliers qu'elle a personnellement testés dans les classes.

2. C'est malheureusement le cas de près d'un enseignant sur deux au cycle 3 (estimation de J. Salençon, de l'Académie des sciences, lors du colloque « Cultiver la science. La formation continue des professeurs enseignant les sciences », Paris, avril 2010). L'expérience montre toutefois que la participation à un projet de type Jardin des sciences développe la confiance des enseignants pour la mise en œuvre de démarches d'investigation dans leur classe.

On trouvera enfin en annexe une liste des fournisseurs et les prix approximatifs des différents matériels nécessaires à la mise en œuvre des progressions pédagogiques ainsi qu'une bibliographie commentée.

Et si j'ai d'autres idées ?

Ce Guide pratique n'est qu'un tremplin : n'hésitez pas à vous approprier son contenu, à l'adapter à votre classe, à intégrer d'autres ateliers à votre manifestation, à le baptiser autrement (des "cours" et des "marchés" des sciences fleurissent déjà dans l'académie de Nice)... et surtout :

Lancez-vous !



**II -
Physique, chimie,
technologie :
tous les sujets
sont bons**

Quarante séquences pour soixante animations...

Après les détails pratiques de l'organisation d'un Jardin des sciences dans la section précédente, nous abordons maintenant ses aspects pédagogiques.

Le préalable pour pouvoir monter les animations et organiser un jardin des sciences est la mise en œuvre en classe des démarches d'investigation correspondantes : les élèves doivent avoir eux-mêmes fait et compris avant de pouvoir animer ; le maître avoir conduit une démarche à son terme avant de l'adapter.

Cette section propose quarante séquences thématiques donnant tous les éléments nécessaires à l'élaboration d'autant de démarches d'investigation, en classe d'abord, puis dans le cadre d'un Jardin des sciences. Vingt-quatre sont destinées aux élèves de l'école élémentaire (E-01 – E-24), seize aux petits de maternelle (M-01 – M-16).

Souvent abordés par le biais d'objets techniques simples ou d'observations domestiques, les sujets traités relèvent essentiellement de la physique et de la chimie. Ils couvrent l'ensemble du programme de l'école élémentaire à l'exception de l'astronomie et des sujets « citoyens » non accessibles aux élèves en démarche expérimentale. Certaines approches sont classiques, d'autres sont beaucoup plus inattendues. Deux critères ont guidé leur choix : la facilité de leur transposition en ateliers animés par les élèves et la possibilité d'un traitement à la fois rigoureux et ludique.

Un exemple de planification pluriannuelle des activités est fourni en annexe pour les enseignants désireux d'organiser une progression des contenus proposés sur les deux cycles de l'élémentaire.

Des séquences dans les classes

Si se lancer avec les élèves n'est pas sorcier, le choix des questionnements s'avère en revanche assez technique. Selon la belle métaphore de Lynn Rankin, la démarche d'investigation est « *une activité soigneusement chorégraphiée* ». Il ne suffit pas de se lancer tête baissée dans la recherche de réponse à des questionnements d'élèves pour arriver à bon port. La physique et la chimie sont des domaines complexes et il est facile de se trouver embringué dans une recherche impossible à mener avec les moyens de la classe. L'échappatoire est alors de fournir des réponses toutes faites ou tirées des livres : on échoue sur l'essentiel. On visait la construction des savoirs par une démarche scientifique et on se retrouve réduit à des arguments d'autorité : quelle ironie !

L'ambition de ce Guide est de fournir les moyens d'éviter ces déboires et les recherches non adaptées. Les questionnements proposés ont été soigneusement conçus pour remplir avec vos élèves des objectifs fixés en avance et conformes aux programmes. Dès le début, vous savez où vous allez arriver. Seul le chemin que prendront les élèves pour y parvenir est incertain.

Incertain ? Pas tant que cela. Le questionnement maintient la recherche dans les limites exploitables avec eux. Par ailleurs, si on ne peut savoir comment chaque individu va réagir, il est souvent possible d'anticiper les réactions de la classe. La conception des déroulements en tient compte :

Quarante séquences pour soixante animations...




lors de votre mise en œuvre, il émergera souvent de la réflexion collective des élèves des solutions assez semblables à celles indiquées. Bien sûr, il est toujours possible qu'un élève propose une approche inattendue ; dans ce cas, « Essayons ! » reste toujours la meilleure réponse. Les recherches conduisent parfois à des résultats contre-intuitifs, mais ne présentent de piège ni pour l'enseignant ni pour les élèves.

Pour l'enseignant qui débute, nous avons aussi veillé à donner des pistes de formulations de réponses telles qu'elles peuvent être construites avec les élèves et à proposer systématiquement les questions à poser pour les guider dans la recherche. Les descriptifs indiqués en sont rallongés d'autant. Le débutant pourra les suivre pas à pas et prendre progressivement de l'assurance tandis que l'expert les survolera en ne s'arrêtant que sur les points délicats à mener. La dernière partie de l'ouvrage fournit par ailleurs tout un panel d'outils et de conseils pour se lancer dans de bonnes conditions.






Mode d'emploi des séquences

La présentation de chaque séquence répond à une structure constante. La première page regroupe les informations essentielles et se prolonge si nécessaire par un descriptif des dispositifs utilisés et de leur préparation. Vous trouvez ensuite un déroulement succinct sous forme de tableau. Il précise les différentes étapes, leurs objectifs spécifiques et les modalités de travail dans la classe. Suit enfin un descriptif détaillé qui rentre dans le détail du déroulement.

1/ Une première page pour se faire une idée

- OBJECTIF GÉNÉRAL : pour savoir ce que les élèves vont découvrir.
-  • MATÉRIEL : pour rassembler le matériel et ne pas être pris au dépourvu.
-  • BUDGET : donne une idée approximative du coût de la séquence. Une grande partie du matériel peut s'emprunter ou être récupéré ; nous en indiquons le prix pour un achat neuf, en annexe. Les produits alimentaires sont rarement consommés et sont donc réutilisables ; les parents peuvent être sollicités et en donnent volontiers (nous donnons toutefois une tranche de prix pour le coût de ces produits). Par ailleurs, le même matériel se retrouve dans plusieurs séquences : les coûts ne s'ajoutent donc pas.
-  • PRÉPARATION : pour évaluer le temps de préparation nécessaire avant de se lancer et pour fabriquer les dispositifs nécessaires au déroulement.
- CONDITIONS SPÉCIFIQUES : on a parfois besoin de soleil ou d'obscurité, etc.
- DIFFICULTÉS TRAVAILLÉES : pour ne pas être surpris et se préparer à des actions ciblées.

Quarante séquences pour soixante animations...

- LIEN AVEC LE PROGRAMME : précise la thématique travaillée telle qu'elle est proposée dans les programmes.
-  • LES CYCLES VISÉS : certains sujets sont réservés au cycle 3.
-  • LE PLAISIR RESENTI PAR LES ÉLÈVES AU COURS DE LA SÉQUENCE : pour se faire plaisir et faire plaisir.
-  • LA DURÉE GLOBALE DE LA SÉQUENCE.
-  • LE NIVEAU DE DIFFICULTÉ POUR L'ENSEIGNANT : parce qu'il vaut mieux débiter par des choses simples pour prendre de l'assurance (une étoile : très facile ; trois étoiles : moins facile).
-  • LES AUTRES SÉQUENCES EN LIEN : certaines séquences supposent aussi des prérequis (fournis dans d'autres séquences indiquées en lien), une démarche d'investigation succédant à une autre.

2/ Un déroulement succinct

Alors que la durée globale du déroulement est précisée en première page, nous avons fait le choix de ne pas le découper en « séances » mais en « étapes ». Certaines prennent quelques minutes, d'autres plusieurs heures. Bien plus que le temps passé sur chacune d'elle, c'est leur succession qui rythme la démarche d'investigation. Peu importe que vous choisissiez de les franchir sur quelques après-midi ou de les répartir sur plusieurs blocs de 45 min, du moment que la cohérence d'ensemble est respectée.

Sont indiqués le cas échéant les *questionnements* à réserver aux plus grands. On ne peut demander la même chose à un CP et à un CM2 ; la structure des déroulements est toutefois très proche, ce sont les traces écrites qui différeront le plus. Nous détaillons la version « haute », la plus complète, dont il est presque toujours possible de réduire l'ambition pour les plus jeunes, à l'appréciation du maître (étapes facultatives, écrits individuels remplacés par des moments de discussion collective, etc.).

À chaque étape correspondent des *objectifs* plus spécifiques : ne sont précisés que ceux travaillés en sciences (en terme de contenu ou de démarche). Il va de soi que l'ensemble des compétences liées à la démarche d'investigation sont systématiquement travaillées.

Les compétences liées à la maîtrise de la langue française et des principaux éléments de mathématiques, les compétences sociales, la capacité à être autonome et à prendre des initiatives sont évoquées en annexe A-2.

Enfin, pour chaque étape, nous conseillons une *organisation* possible de la classe : travail collectif (débat, échanges entre élèves, présentation et confrontation d'affiches), en petits groupes (recherche expérimentale, rédaction d'affiches et formulation de réponse) ou individuel (premières idées sur la question, propositions de dispositif lors de la recherche...).

Quarante séquences pour soixante animations...

3/ Un descriptif détaillé

Il fournit les informations permettant la mise en œuvre concrète avec les élèves. Les questions à poser, les réponses possibles des élèves, des façons de s'en saisir pour lancer une recherche, les difficultés que vont rencontrer les élèves pendant celle-ci, le guidage possible par l'enseignant, les points délicats à traiter, les écueils à éviter... ce descriptif vous accompagne pas à pas dans la démarche d'investigation, jusqu'au moment où vous arrivez avec vos élèves à une formulation de réponse satisfaisante (et à de nouveaux questionnements !).

Il décrit donc chaque étape, en signale les enjeux et difficultés.



Le point d'exclamation alerte sur des difficultés souvent rencontrées dans l'organisation tant pratique que pédagogique. Ils sont là pour sécuriser la mise en œuvre.



Ce logo apporte des compléments pour faciliter la mise en œuvre dans la classe et l'adaptation à un public plus jeune ou en difficulté.



Les noisettes parsemant les marges proposent des compléments d'information ou proposent des questionnements supplémentaires des élèves.

CE DESCRIPTIF EST INDICATIF. L'articulation entre les différentes modalités de mise en œuvre (travail individuel, en groupe, à l'écrit, à l'oral) est à adapter suivant le niveau des élèves. Il est ainsi possible d'alléger une séquence en supprimant certains passages à l'écrit (nous indiquons les moments où ils sont cruciaux). L'enseignant peut aussi choisir de ne mener qu'une partie des déroulements mis à disposition. Comme ils incluent plusieurs démarches d'investigation successives, plutôt que de rebondir d'un questionnement à l'autre, on peut choisir d'arrêter les recherches. Elles pourront être prolongées à un autre moment dans la scolarité des élèves.

- LES LIENS VERS D'AUTRES DOCUMENTS : renvoient à des ouvrages dont la lecture est conseillée ou des documents annexes disponibles sur la Toile.

Des animations dans le Jardin des sciences

Il est assez facile d'extraire de ces séquences la substance d'animations de type "Jardin des sciences". La principale difficulté est d'évaluer *a priori* leur durée, en tenant compte des caractéristiques des animateurs, des visiteurs et de la durée des créneaux (20 min environ), mais les répétitions en classe en donnent une première indication, souvent par excès.

Les animateurs sont jeunes, peu expérimentés, souvent très dynamiques et envahissants. Quand ils font vivre une démarche d'investigation à leurs camarades, ils ont souvent tendance à ne leur pas laisser suffisamment de temps pour chercher. Les animations sont donc menées tambour battant : cela réduit considérablement le temps de mise en œuvre par rapport au temps mis en classe. S'ajoute à cela qu'un petit groupe d'élèves facilite les interactions et limite les temps morts et que les exigences sur les traces écrites sont moindres qu'en classe.

Il faut aussi tenir compte de la diversité des visiteurs : si, sur une animation, un CM2 est d'une façon générale plus rapide qu'un CP, tous s'avèrent bien plus vifs qu'en classe. Pour gérer l'hétéro-

Quarante séquences pour soixante animations...

généité du public, on peut exiger des plus grands des traces écrites plus touffues ou nombreuses que pour les petits et proposer un questionnement plus riche.

Globalement, tout concourt à réduire le temps nécessaire pour mener une démarche d'investigation. Les animateurs peuvent régler en une dizaine de minutes ce qui prend une heure (voire plus) en classe entière. Les élèves visiteurs n'entrent pas autant dans le détail et les animateurs guident plus que nécessaire, mais cela reste des démarches d'investigation.

Certaines séquences simplifiées peuvent donc être proposées intégralement ou presque sur une animation. Le plus souvent, c'est le début d'une séquence qui sera utilisé : il suffit alors de reprendre le questionnement des premières étapes. Rien n'empêche toutefois de construire une animation personnalisée en se focalisant sur une question qui a particulièrement intéressé la classe. Entre les deux, on peut s'appuyer sur la première étape pour sauter directement à une autre étape plus lointaine de la même séquence. Des exemples d'animations sont proposés en élémentaire à la fin de chaque séquence.

La situation est encore plus simple en ce qui concerne les maternelles : les séquences proposées sont directement transposables. Il est ainsi possible de construire une multitude d'animations courtes autour des cinq sens et de dériver jusqu'à quatre animations distinctes des autres séquences.

Quarante séquences pour soixante animations...

Quelques pistes pour choisir une thématique

1/ En élémentaire

L'environnement de l'école, sa taille, le matériel disponible au sein des classes, le budget alloué par les municipalités sont autant d'éléments qui déterminent le choix d'une thématique par un enseignant.

La grande diversité des séquences (24 au total) devrait permettre à chaque enseignant de trouver chaussure à son pied. Voici quelques critères pour choisir les séquences adaptées à votre situation :

Mise en œuvre très facile (enseignant débutant dans la démarche)	E- 01, 04, 08, 09, 10, 13, 14, 16
Moins facile, animation des ateliers par des élèves de C3 conseillée	E- 02, 03, 05, 11, 15, 19, 20, 21
Séquences adaptées à la réalisation de 3 animations différentes	E- 01, 07, 12, 13, 14, 16, 17
Séquences sans investissement en matériel	E- 01, 02, 05, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 22, 23, 24
Prises électriques souhaitables	E- (03), 06, (09), (10), (12)
Temps ensoleillé	E- (01), 02, 21
Obscurité	E- 01, 03
Thermomètres à prévoir	E- 04, 06, 21
Chauffage nécessaire (présence d'un adulte)	E- 06, (09), (10), (12), (21)
Matériel de récupération à prévoir (petits pots, carton, tiges en bambou, bouteilles plastiques, boîtes...)	E- 08, 09, 11, 13, 14, 18, 21, 22, 23, 24
Construction d'un objet technologique	E- 08, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24
Séquences utilisables dans une perspective "développement durable"	E- 09, 10, 11, 21, 22, 23
Séquences où la chimie est à l'honneur	E- 09, 10, 11

Les () indiquent les séquences pour lesquelles il est possible de se passer des conditions spécifiées.

2/ En maternelle

Les enfants changent vite en maternelle et la maturité des élèves n'est pas toujours en relation directe avec leur âge. L'hétérogénéité des classes est souvent grande, parfois recherchée : il nous a semblé illusoire de fixer le niveau adapté aux séquences en maternelle. Aucune séquence n'est déconseillée aux plus petits : il y a toujours quelque chose à prendre, ne serait-ce que le simple fait d'avoir manipulé et le souvenir d'avoir "mis les mains dedans". Il n'en demeure pas moins que

Quarante séquences pour soixante animations...

certaines séquences semblent mieux adaptées aux grandes sections : ils pourront aller plus loin dans les raisonnements et profiteront à plein des séquences proposées.

Séquences conseillées aux élèves plus matures	M- 06, 07, 11, 14, 16
Séquences réalisables sans investissement en matériel	M- 01, 02, 04, 07, 08, 10, 12, 13, 14, 15
Temps ensoleillé	M- 05, 08, 09
Obscurité	M- 08
Matériel de récupération à prévoir (petits pots, carton, tiges en bambou, bouteilles plastiques, boîtes...)	Toujours !
Construction d'un objet technologique	M- 06, 14, 15, 16

24 Ateliers pour l'école élémentaire

A

E-01	Comment faire varier la taille d'une ombre ?	75
E-02	Sur les traces d'Ératosthène	83
E-03	Ombres colorées	89
E-04	Solide, liquide : deux états d'une même matière ?	95
E-05	<i>Liquide, gaz : une même substance ?</i> L'évaporation	103
E-06	<i>Liquide, gaz : une même substance ?</i> L'ébullition	111
E-07	L'air, ce n'est pas rien !	119
E-08	Des voitures à air comprimé	127
E-09	Se dissoudre ou pas ?	135
E-10	Comment rendre l'eau claire ?	147
E-11	Chimie des couleurs	155
E-12	Densité et saturation : des morceaux de sucre sans dessus dessous	167
E-13	Équilibres et déséquilibres	173
E-14	Les balances	183
E-15	Découvrons la densité	191
E-16	Électricité : comment allumer le nez de l'ours ?	199
E-17	Engrenages	207
E-18	Sabliers	215
E-19	Sable et solides en grains	223
E-20	S'orienter à la boussole	237
E-21	Chauffer au Soleil	243
E-22	L'écrase-biscotte	253
E-23	Recyclage : comment fabriquer du papier ?	259
E-24	La petite bête qui monte, qui monte	265

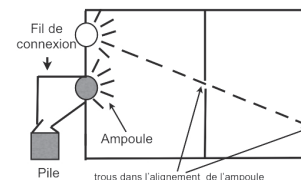
Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01


Objectif général :

Approfondir la compréhension de l'ombre.

Une ombre est associée à une *source*, dont un *obstacle* empêche la lumière de parvenir dans une zone située du côté opposé à la source. Pour faire varier la taille de l'ombre avec une source de lumière non parallèle, on peut déplacer soit l'écran, soit la source, soit l'obstacle, en gardant les deux autres éléments constants. Un autre moyen est de changer la direction sous laquelle le faisceau lumineux éclaire l'obstacle.



Matériel

 *Par groupe* : 1 lampe torche puissante ; 1 obstacle opaque (bâtonnet de colle par exemple) ; 1 écran (carton épais et papier blanc) ; 1 baguette en bois rigide de 40 cm de long (ou 2 pics à brochette mis bout à bout) ; 1 boîte à chaussures, 1 ampoule, 1 douille, 1 pile 4,5V, du fil métallique ou du papier d'aluminium pour assurer les contacts.

(voir le schéma de la boîte à droite, vue de dessus et sans couvercle)

Par élève : 1 règle ; feutres et crayons de couleurs.

Pour l'enseignant : ruban adhésif ou TMPatafix.

Éventuellement, projecteur de diapositives.

Budget

 Lampes-torches : 6 € l'unité (ou prêt des parents).

Préparation : 35 minutes

 *Réalisation d'écrans* : Feuille blanche A4 collée sur un carton épais maintenu vertical (de la pâte à modeler peut servir de socle) – cf. p. E-03.

Montage des boîtes : Percer un trou du diamètre de la douille (typ. Ø 8 mm) sur une petite face et y insérer l'ampoule. Percer trois trous d'observation (Ø 5 mm environ) sur la face opposée. À l'intérieur de la boîte, monter un "mur" de carton percé d'un trou supplémentaire, dans l'alignement de l'ampoule et de l'un des trois trous d'observation (s'en assurer à l'aide de la baguette). L'intérieur doit être uniformément sombre (papier TMCanson noir ou peinture).

Conditions spécifiques

Temps ensoleillé pour le lancement du travail ; salle de classe obscure (*a minima*, rideaux baissés).

Lien avec le programme :
ombres et lumières



Cycles 2 & 3



4 heures environ



Séquence E-02

Sur les traces d'Ératosthène

Séquence E-03

Ombres colorées

Séquence M-08

Comment modifier
mon ombre ?

Difficultés travaillées :

Associer une ombre à une source de lumière ; pour les plus grands, utiliser le modèle des rayons lumineux et tracer les rayons-limite (passant par l'extrémité de l'objet considéré) qui déterminent la taille de l'ombre.

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
« Dessine-toi, toi et ton ombre au soleil »	Observer les caractéristiques d'une ombre	<i>Travail en groupe, aller-retour entre observations et dessins, bilan collectif</i>
Comment la lumière se déplace-t-elle ?	Représenter la lumière à l'aide de rayons lumineux rectilignes	<i>Travail en groupe puis confrontation des affiches et formulation collective de la réponse</i>
En utilisant la notion de rayon, comment expliquer la taille de l'ombre d'un bâtonnet de colle sur la table avec une lampe de poche ?	Associer ombre et source de lumière ; utiliser les rayons lumineux pour interpréter la taille de l'ombre	<i>idem</i>
Que se passe-t-il lorsque je place un obstacle entre la source et l'écran ?	Utiliser les représentations en perspective, vues de dessus et de face	<i>idem</i>
Comment rendre l'ombre de l'objet plus petite sur l'écran ?	Identifier les paramètres permettant de faire varier la taille d'une ombre	<i>idem</i>

Descriptif I/« Dessine-toi, toi et ton ombre au soleil »

Il s'agit pour les élèves, avant toute sortie à l'extérieur, de dessiner rapidement de mémoire trois éléments : eux-mêmes, leur ombre et le Soleil. Les dessins doivent être suffisamment grands pour être visibles de tous lors de la mise en commun.

Les dessins sont en général très différents (ombre attachée aux pieds ou non, Soleil du côté opposé ou non, ombre munie ou non d'yeux, d'un nez et d'une bouche, vue de profil ou de dessus, ombre nette ou tache floue, représentation ou non du sol). Cette diversité sert de point départ à la discussion. On peut proposer aux élèves de les regrouper par catégorie à l'aide des questions

Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01

« Qu'est-ce qui est pareil / pas pareil ? Quelles sont les différences entre les dessins ? ». On peut encore choisir des dessins représentatifs pour lancer la discussion. L'échange fait émerger des incompatibilités de point de vue entre les dessins.



La principale difficulté est ici la représentation d'un phénomène 3D sur une feuille plane (2D). Les élèves parviennent en général à trouver une solution qui les satisfait.

Comment savoir quel dessin représente le mieux la réalité ?

Il faut vérifier. L'observation dans la cour et les jeux au soleil (voir aussi les séquences ombres E-02, E-03 et M-08) permettent de régler les questions soulevées. L'enjeu est d'expliciter l'association entre l'ombre, la présence d'une source lumineuse et l'obstacle au passage de la lumière, et leurs positions respectives.

Il existe une zone, la zone d'ombre, depuis laquelle on ne voit pas le Soleil (et où une ombre peut se "cacher" dans une autre).



Après l'observation, demander un nouveau dessin et le comparer au précédent : une seconde observation dans la cour après discussion collective, puis un troisième dessin peuvent être nécessaires.

Est-il possible qu'un bâton vertical n'ait pas d'ombre au soleil ?

C'est une question à laquelle la plupart des élèves de cycle 3 répondent par l'affirmative en expliquant que le Soleil doit se trouver « au-dessus ». On peut aider les plus jeunes en le remplaçant par une lampe de poche qu'ils peuvent manipuler et déplacer. On leur demande ensuite d'expliquer le phénomène par un dessin. Les premiers dessins de rayons lumineux « droits » apparaissent parfois : *La lumière se déplace-t-elle en ligne droite ? Comment s'en assurer ?*



En inclinant le bâton, il peut ne plus avoir d'ombre. Il indique alors la direction des rayons du Soleil.

2/ Comment la lumière se déplace-t-elle ? (cycle 3)

Dans une salle obscure, la poussière ambiante permet en général d'observer des « rayons » de lumière solaire. On peut aussi visualiser un rayon issu d'une source artificielle (torche, projecteur) réduite à un point (obturateur en carton percé d'un trou, typ. \varnothing 1 mm). Il peut être nécessaire d'empoussiérer le trajet de la lumière (nuage de poussière de craie, de talc, etc.) pour le rendre plus visible. Après l'avoir ainsi observé, on admettra que la lumière se propage en ligne droite dans la classe, et par extension que c'est également vrai des rayons solaires.

On peut alors tester la pertinence du modèle des « rayons lumineux » pour interpréter des phénomènes.

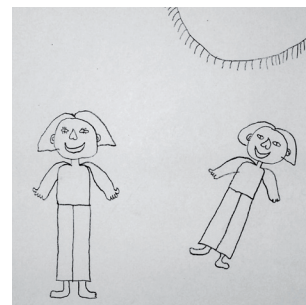


Fig. 1 : dessin réalisé de mémoire par une élève de CM2

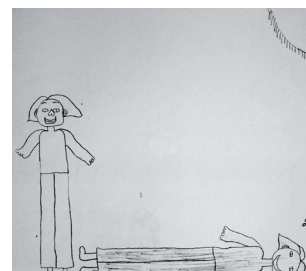


Fig. 2 : dessin réalisé par la même élève après confrontation collective des dessins et première sortie pour observation de l'ombre



Fig. 3 : idem, après confrontation collective des deuxièmes dessins et deuxième observation dans la cour

Comment faire varier la taille d'une ombre ?



On présente la boîte à chaussures ouverte. « À votre avis, quand la boîte est fermée et l'ampoule allumée, par quel trou peut-on voir la lumière ? ». Les élèves doivent justifier leur réponse par un dessin avant de la vérifier en mettant l'œil au(x) trou(s) qu'ils ont choisi(s). Ils optent généralement pour une vue du dessus, en coupe au niveau des trous.



S'assurer au préalable qu'il n'y a pas de lumière parasite visible par les autres trous, hors alignement (les parois doivent être noires, les trous bien alignés, le couvercle bien fermé).

On désire maintenant éclairer un autre trou d'observation. Où faut-il placer la nouvelle ampoule ? (lorsqu'on sera d'accord sur son emplacement, on devra percer un trou supplémentaire pour sa douille, dans l'alignement du nouveau trou d'observation et de celui du mur en carton).



Pour identifier le point à percer, les élèves peuvent s'aider d'une baguette rigide (pic à brochette) traversant les deux trous existants.

Reste alors à vérifier en allumant l'ampoule. Peut-on faire la même chose pour le troisième trou d'observation ? Ne pas oublier de dessiner avant de vérifier : une droite partant de l'ampoule et passant à travers les deux trous choisis représente le rayon de lumière qui arrive jusqu'à notre œil (c'est une vue de dessus).

3/ Comment expliquer la taille de l'ombre ? (cycle 3)

Avec ce modèle des rayons lumineux, peut-on maintenant expliquer la taille de notre ombre au Soleil ? Après avoir laissé les élèves exprimer leurs idées, vous pouvez leur proposer de les justifier en dessinant un bâtonnet de colle, éclairé par la source lumineuse utilisée (lampe torche). Lors de la mise en commun, les dessins avec une vue de profil prédominent.



On constate souvent un mélange des vues de profil, de dessus, en perspective.

Choisissez parmi les dessins ou présentez si nécessaire aux élèves une vue de profil du dispositif : Que représentent les différents éléments représentés ? À quel endroit se placer pour voir le dispositif de cette façon ? Un trait horizontal peut représenter la table et un rectangle le bâtonnet. Comment représenter l'ombre ? En épaississant le trait représentant la table là où la lumière ne parvient pas, par exemple. Proposez alors d'utiliser cette représentation pour répondre à la question initiale.

Des élèves traceront spontanément un trait partant de l'extrémité du bâtonnet à l'extrémité de l'ombre pour fermer le triangle, sans nécessairement

Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01

le prolonger au-delà du bâton. *Que représente ce trait ?* Les échanges entre élèves devraient conduire à la notion de « rayon limite » : c'est le dernier rayon de lumière qui arrive sur la table en frôlant l'objet. L'utilisation des pics à brochette permet de visualiser ces rayons de lumière. Un nouveau dessin réalisé par les élèves permet de s'assurer de leur compréhension du phénomène. La mise en commun des dessins permet alors de conclure : l'ombre sur le sol est la zone où le bâtonnet empêche la lumière de la source de passer.



Il est facile de vérifier qu'il y a une zone derrière l'objet où la lumière ne passe pas ; par exemple, placer un objet plus petit dans l'ombre du bâtonnet.



Des dessins incorrects ne sont pas un obstacle pour la suite : un travail sur la séquence Ératosthène (E-02) permet d'asseoir la notion de rayons lumineux.

4/ Que se passe-t-il lorsque je place un obstacle entre la source et l'écran ?

Un écran et la lampe éteinte sont posés sur la table : demandez aux élèves de dessiner le dispositif une fois la lampe allumée. La difficulté de représentation est souvent un obstacle au dessin : *Comment faire ?* Ne pas hésiter à préciser que cette difficulté est normale et que vous attendez d'eux qu'ils essaient : la mise en commun des dessins aidera à résoudre le problème.



Avec les plus jeunes, on peut directement allumer la lumière et dessiner ce que l'on voit.

L'affichage des premiers dessins révèle la diversité des options et la difficulté à comprendre ceux des autres. Il est donc nécessaire de se mettre d'accord sur ce qu'il faut représenter (la source, l'objet, l'écran, la table...) pour que le dessin soit compréhensible et sur le(s) mode(s) de représentation possible(s).

En s'appuyant sur les productions des élèves, introduire et comparer représentation en perspective, vue de dessus, vue de face et vue de profil. La perspective est délicate à dessiner rapidement ; sur la vue de dessus, le bâtonnet est représenté par un rond, l'écran par un trait, la table est délimitée par un rectangle, l'écran par une droite : la taille de l'ombre n'est pas représentée ; la vue de face permet de visualiser l'ombre sur l'écran, mais on ne peut pas tracer de rayons lumineux.

La vue de profil apparaît la mieux adaptée : en surlignant les traits représentant la table et l'écran, on peut visualiser leur ombre et dessiner les rayons lumineux

De haut en bas

Fig. 4 :

un rayon pas très droit mais une réelle compréhension du phénomène

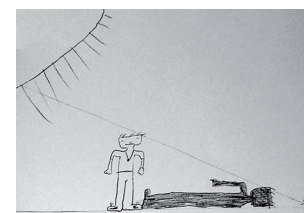
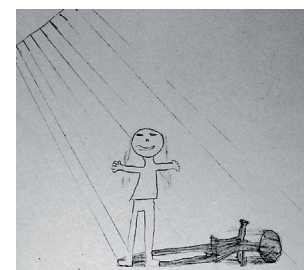
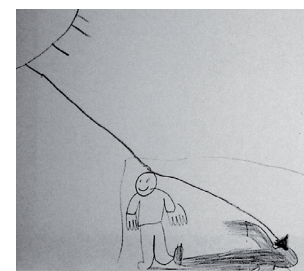
Fig. 5 :

des rayons qui n'arrivent pas jusqu'au sol

Fig. 6 :

difficulté de tracé avec l'ombre d'une personne

(3 élèves différents de CM1)





Demander aux élèves ce qu'ils prévoient dans le cas où ils sont eux-mêmes l'objet, où le Soleil est la source de lumière et un mur, l'écran.
La vérification dans la cour conduira à une conclusion similaire : l'ombre part bien de leurs pieds.

pour les plus grands. Proposer alors aux élèves de faire un nouveau dessin en utilisant la vue de profil.



Pour aider les élèves à comprendre et visualiser les différentes représentations, leur demander de se placer de façon à voir le dispositif par dessus, de profil, de face, en perspective.



Pour les plus jeunes, proposez au choix des vues de profil ou en perspective à compléter.

De nouvelles différences apparaissent lors de la nouvelle mise en commun des dessins, en particulier : *L'ombre part-elle de la base de l'objet ou apparaît-elle uniquement sur l'écran ?*

Une observation du phénomène par chaque groupe permet de répondre à la question (l'ombre reste attachée à l'objet) et une nouvelle série de dessins est réalisée. Elle permet en outre de conforter la prise en main des représentations et de repérer l'appropriation des outils.

5/ Comment rendre l'ombre de l'objet plus petite sur l'écran ?

Par groupe, les élèves sont amenés à expliciter leurs idées avant de manipuler pour vérifier leurs prévisions. Pour aider les élèves dans l'écriture de leur compte-rendu, ne pas hésiter à leur fournir la structure de l'affiche (cf. III-4).

La mise en commun des résultats permet d'insister sur le fait que, lorsque l'on a bougé la source par exemple, on ne peut conclure que si l'on a maintenu l'objet et l'écran immobiles. Ce travail peut être facilité par le remplissage pour chaque dispositif réalisé d'un tableau spécifiant tout ce que l'on peut déplacer et ce que l'on modifie. Pour prévoir l'évolution de la taille de l'ombre, il ne faut bouger qu'un élément (ombre, écran, objet) à la fois. C'est également l'occasion d'aider les élèves à formuler précisément leur pensée : on rapproche/éloigne tel objet de tel autre objet, tel objet doit être plus près/loin de tel autre... sans modifier leurs positions respectives. Par exemple, « Pour rendre l'ombre de l'objet plus petite, on peut le rapprocher de l'écran, sans bouger la source et l'écran ... ». On peut encore une fois les aider en indiquant pour chaque proposition « ce que l'on bouge » et « ce que l'on ne bouge pas ».

Ce que je peux modifier

Déplacer l'écran
Déplacer la lampe sur la table
Déplacer l'objet
Incliner le faisceau par rapport à la table

Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01

Certains élèves peuvent également proposer de déplacer la lampe de manière à modifier la direction générale du faisceau, toujours orienté vers l'objet. Il faut alors garder constante la distance entre la source et l'objet et ajouter ce paramètre dans la liste de «ce que l'on ne bouge pas». Ce travail peut être associé à l'étude des angles en mathématiques (cycle 3).

Prolongement : Observer et repérer l'évolution de l'ombre d'un bâton au soleil dans la cour au cours d'une journée permet de réinvestir le travail réalisé en classe. Renouvelés au fil de l'année, ces relevés sont des supports précieux pour travailler sur le phénomène des saisons.

Le théâtre d'ombres et l'histoire de Boucle d'or permettent de réinvestir les acquis (un projecteur de diapositives et un drap tendu suffisent). Découpez dans du carton trois gabarits identiques d'ours, de bols, de tables, de chaises, de lits et demandez aux élèves de s'arranger pour avoir sur l'écran un petit, un moyen, et un grand bol.

Propositions d'animations

Première animation :

- « Dessine-toi, toi et ton ombre au soleil »
- Comment savoir quel dessin représente le mieux la réalité ?
- Observation dans la cour
- Nouveau dessin et confrontation des productions
- Identification des dessins corrects dans un lot de dessins fournis (*dessins des élèves de la classe*)
- Comment rendre l'ombre du bâton au Soleil toute petite ?
La faire disparaître ?
(*en inclinant le bâton on peut faire disparaître son ombre*)
- Que se passe-t-il lorsque je place un obstacle entre la source et l'écran ? (*discussion et expérimentation uniquement*)
- Comment rendre l'ombre de l'objet plus petite sur l'écran ?

Deuxième animation :

- Comment la lumière se déplace-t-elle ?
- Est-il possible qu'un bâton vertical n'ait pas d'ombre au soleil ?
- Comment expliquer la taille de l'ombre du bâton ?
(*dessin et confrontation aux dessins des élèves de la classe*)
- Comment rendre l'ombre du bâton au Soleil toute petite ?
La faire disparaître ? Comment dessiner les rayons du Soleil dans ce cas ?
- Peut-on faire des ombres similaires avec une lampe torche et un obstacle (bâtonnet de colle) ?

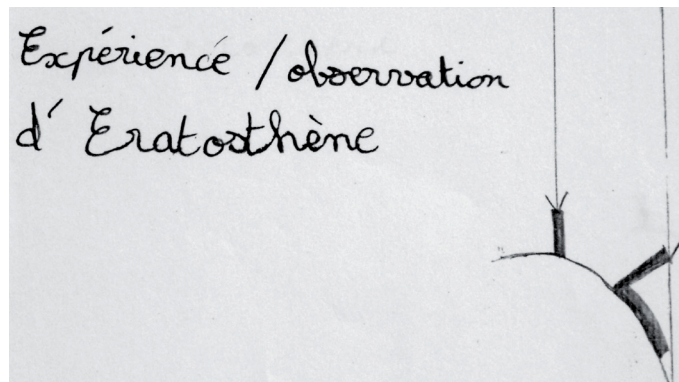
Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

E-02

Objectif général :

Approfondir la compréhension de ce qu'est l'ombre.

Une ombre est associée à une source de lumière : la lumière ne parvient pas dans une zone située derrière un objet, à l'opposé de la source. Pour décrire le trajet de la lumière à l'aide de rayons lumineux, on peut tracer des rayons soit parallèles, soit divergents. Pour nous, les rayons du Soleil peuvent être considérés comme parallèles.



Lien avec le programme :
ombres et lumière,
le ciel et l'espace

Matériel

 Par groupe ou binôme : 1 carton semi-rigide A4 (type carton de déménagement) ; 2 cure-dents ; 1 lampe torche puissante.


Par élève : 1 règle, des feutres et crayons de couleur.

Pour l'enseignant : TMPatifix, éventuellement projecteur de diapositives.

Budget

 Lampe torche : 6 € l'unité, empruntable.

Préparation : 15 minutes

 Sur chaque carton, écrire le plus loin possible l'un de l'autre les mots *Syène* et *Alexandrie* ; près de chacun, planter un cure-dents, *perpendiculairement* au carton.

Conditions spécifiques

Ciel ensoleillé aussi peu nuageux que possible (et salle obscurcie si possible).
Il est utile d'avoir travaillé préalablement avec les élèves les compétences de la séquence *Comment faire varier la taille de l'ombre ?* Sont supposées acquises : la représentation de la lumière par des rayons lumineux et la capacité des élèves à tracer le rayon de lumière limite permettant d'associer objet et taille de l'ombre.



Cycle 3



4 heures environ



Séquence E-01

Comment faire varier
la taille des ombres ?

Séquence E-03

Ombres colorées

Difficultés travaillées :

Utiliser le modèle des rayons lumineux ; réaliser une vue de profil d'une situation et tracer des rayons parallèles.

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Narration de l'histoire d'Ératosthène : quand on voit le soleil éclairer le fond du puits, que dire de l'ombre d'un bâton ?	S'approprier un problème.	<i>Travail collectif</i>
Peut-on concevoir une expérience qui nous permette des observations similaires à celles d'Ératosthène ?	Par essais/erreurs, réaliser que, dans les conditions fixées, il faut courber le carton pour obtenir une ombre sur un bâton et pas sur l'autre.	<i>Travail en groupe puis confrontation des dessins individuels en collectif</i>
Comment interpréter nos observations ?	Utiliser les différentes manipulations infructueuses réalisées en extérieur pour parvenir à une interprétation du phénomène, par le parallélisme des rayons du Soleil.	<i>idem</i>
Rayons du soleil parallèles... mais pas dans les illustrations de littérature jeunesse : qui triche ?	Observer que les ombres de deux objets tendent à devenir parallèles quand on éloigne la source de lumière et prendre conscience des dimensions du système solaire.	<i>idem</i>

Descriptif **I/Ératosthène et les ombres : quand on voit le soleil au fond du puits, que dire de l'ombre d'un bâton ?**



Ératosthène :
Cyrène (aujourd'hui
Shahat en Libye), ca. 276
– Alexandrie, Égypte,
ca. 194 avant e.c.

Ératosthène est un savant grec du III^e siècle avant l'ère commune, auquel on doit en particulier la mesure de la circonférence de la Terre. C'est en s'inspirant de son approche que l'investigation va commencer.

Il s'agit dans un premier temps de raconter l'histoire aux élèves.

Un 21 juin, Ératosthène se rend à Syène (Assouan aujourd'hui), une ville située sur le tropique du Cancer. Il a demandé à l'un de ses amis qui habite Alexandrie, 850 km plus au nord, d'observer la plus haute obélisque (verticale)

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

E-02

de la ville et de mesurer la longueur de son ombre au moment où elle est la plus courte. Une ombre était bien visible à Alexandrie ce jour-là. À Syène, Ératosthène se penche au-dessus d'un puits vertical très profond. À midi solaire exactement, il voit le soleil se refléter dans l'eau, tout au fond du puits.

Si à côté du puits on plante un bâton vertical, que dire de son ombre au moment où l'on voit le Soleil au fond du puits ?

Un échange avec la classe devrait permettre d'arriver rapidement à la conclusion que le Soleil doit se trouver à la verticale du puits : si le bâton est bien droit et planté perpendiculairement au sol, il n'y a alors pas d'ombre visible. *Que peut-on tirer de ces observations ? En quoi est-ce intrigant ?* Le problème apparaît alors : *comment expliquer qu'à Syène il n'y a pas d'ombre sur un bâton alors qu'à Alexandrie il y en a une ?*

Les élèves peuvent alors proposer leurs interprétations et les faire partager à la classe sous la forme de dessins. Si ces derniers sont rarement exploitables à ce niveau, ils permettent d'identifier les moyens utilisés par les élèves pour représenter le phénomène. Le plus souvent, ils représentent une terre plate ou ronde, un Soleil imposant avec des rayons divergents tombant verticalement au niveau d'un bâton (Syène) et arrivant inclinés sur l'autre bâton (Alexandrie).

2/ Peut-on concevoir une expérience qui nous permette des observations similaires à celles d'Ératosthène ?

On convient facilement avec les élèves qu'il n'est pas envisageable d'aller en Égypte le 21 juin pour observer le phénomène. *Comment pourrait-on faire sans quitter l'école ni attendre le jour dit ?* Certains éléments sont accessibles à l'expérimentation en classe : deux bâtons éloignés l'un de l'autre et de la lumière (il faut impérativement exploiter le Soleil). D'autres non : position sur le globe des bâtons et moment dans l'année. *Et si l'on essayait tout de même avec les moyens à notre disposition ? En plantant deux cure-dents dans un carton, peut-on parvenir à avoir une "grande" ombre sur l'un et pas sur l'autre ?*



Faire deux marques identiques sur les cure-dents et les enfoncer dans le carton jusqu'à cette hauteur. Les cure-dents dépassent alors du carton de la même longueur. Les planter bien perpendiculairement à la surface du carton pour éviter les ombres parasites.

Lors des tentatives réalisées dans la cour, on observe presque toujours que les élèves commencent par poser le carton au sol. Ils sont étonnés d'obtenir deux ombres parallèles (et de même longueur) quelle que soit l'orientation du carton. Vient ensuite une reprise en main du carton. Les élèves le tournent et



Le 21 juin est le jour du solstice d'été.

Midi solaire, le moment exact où les ombres sont les plus courtes.

À cet instant, les rayons du Soleil arrivent verticalement sur le tropique du Cancer (pas d'ombre sur un bâton planté au fil à plomb donc).



L'angle sous lequel nous voyons le Soleil est très petit ($0,5^\circ$). C'est ce qui nous permet de considérer comme parallèles les rayons qui nous en parviennent.

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

l'inclinent plus ou moins. Dépités ils observent soit deux ombres parallèles et de même taille, soit pas d'ombre du tout !



Si les cure-dents ne sont pas rigoureusement perpendiculaires au carton, l'un d'eux au moins a une petite ombre. Bien préciser aux élèves qu'il faut une grande ombre (et faire constater la mauvaise inclinaison du cure-dents).

Après de nombreuses tentatives, des élèves finissent toujours par courber le carton et parvenir au résultat recherché (cette découverte est souvent associée à des exclamations, la Terre est ronde, bien sûr !). Très rapidement tous les élèves parviennent au même résultat.

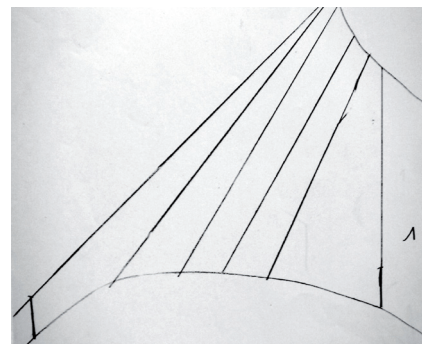
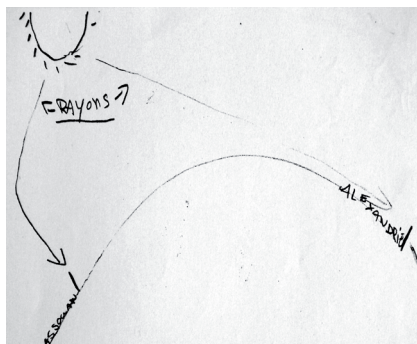
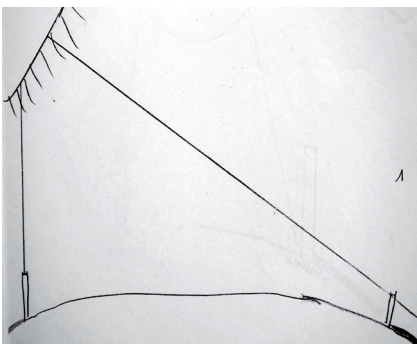


Certains élèves courbent le carton dans l'autre sens : on obtient le résultat recherché également, c'est aussi une réponse possible avec le carton. Il faut un argument supplémentaire pour exclure une Terre concave : par exemple, on ne verrait pas au bord de la mer les mâts des bateaux avant leur coque.

3/ Comment interpréter nos observations ?

De retour en classe, il s'agit de réaliser individuellement un schéma permettant d'interpréter le phénomène observé dans la cour : pas d'ombre sur un bâton et une ombre sur l'autre. On peut ou non proposer déjà une représentation particulière (vue de profil).

Si l'on a laissé les élèves libres de leurs représentations, un tri rapide et une présentation collective des dessins aboutissent en évidence des difficultés de compréhension des différentes représentations. En perspective, il est très difficile



Premiers tracés réalisés par des élèves de CM2

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

E-02

de rendre compte du phénomène ; une vue de profil est plus pertinente... mais il faut veiller à ce que, lorsque le carton est courbé, les deux bâtons lui restent bien perpendiculaires. Un échange avec la classe permet de se mettre d'accord sur le choix de la vue de profil et d'une légende pour rendre compte des observations.

Dans presque tous les cas, les rayons dessinés pour interpréter le phénomène sont divergents. La remise en mémoire et en dessin des différents moments vécus dans la cour (avec éventuellement de nouvelles manipulations) va permettre de faire évoluer les représentations.

Interprétons d'abord ce qui se passe lorsque le carton n'est pas courbé et qu'aucun des deux bâtons ne produit d'ombre en utilisant le concept de rayons de lumière. Les élèves sont conduits à dessiner des rayons dans le prolongement des bâtons, c'est-à-dire parallèles.



La représentation du Soleil est inutile à ce stade, voire néfaste. Les rayons suffisent.

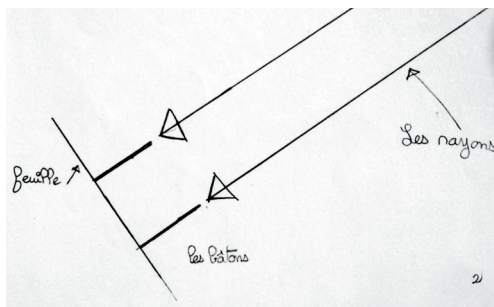
Et au sol, qu'avaient-ils observé ? Deux ombres de même taille et parallèles. Tracer des rayons solaires parallèles permet d'expliquer le phénomène observé (Thalès).



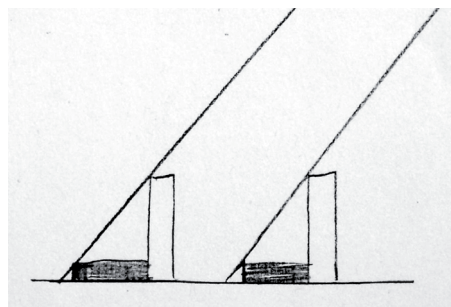
Retourner dans la cour si besoin pour observer et mesurer les ombres des cure-dents. L'ombre d'une grille est également un excellent moyen de constater le phénomène. Si vous utilisez des cure-dents de longueurs différentes, il faudra les dessiner à l'échelle.



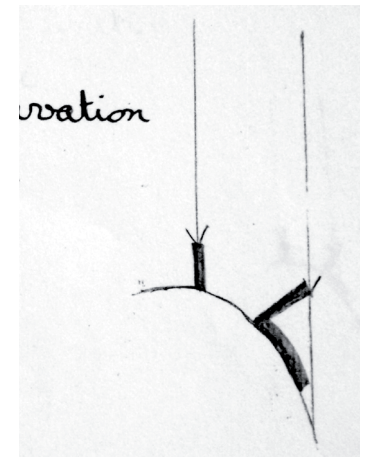
Il est possible de visualiser la direction des rayons lumineux à l'aide de morceaux de ficelle ou de pics à brochette, que l'on fait passer par les extrémités des ombres et des cure-dents.



Pas d'ombre sur les deux bâtons :
dessin réalisé par un élève de CM2



Deux ombres de même taille et parallèles :
dessin réalisé par un élève de CM2



Un bâton sans ombre et l'autre
avec : dessin réalisé par un élève
de CM2

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?



On observe parfois dans la nature des "rayons" de lumière solaire qui ne sont pas parallèles entre eux. Cela résulte en général de géométries plus compliquées.

Ainsi, dans un sous-bois, la lumière qui parvient au sol dépend de l'alignement de "trous" aléatoires dans le feuillage ; un nuage se comporte comme un miroir de forme torturée qui brise le parallélisme des rayons solaires et les réfléchit dans toutes les directions.

4/Des rayons parallèles... sauf dans les livres pour enfants ?

Les illustrations de la littérature enfantine sont friandes de Soleil aux rayons partant dans toutes les directions et les élèves savent pour la plupart que le Soleil est une grosse boule qui nous éclaire. Comment concilier cette vision avec des rayons parallèles ?

Tout d'abord, en créant les ombres de deux crayons à l'aide d'une lampe torche puissante ou d'un projecteur de diapositives. On observe que les ombres ne sont pas parallèles mais le deviennent progressivement si on éloigne la source de lumière (on a l'impression de deux ombres parallèles). Peut-on envisager le même phénomène pour le Soleil ? Une recherche documentaire amène aux tailles respectives de la Terre et du Soleil et à leur distance. En ramenant la taille du Soleil à dix centimètres, quelle serait la taille de la Terre et sa distance au Soleil ? L'utilisation de la règle de trois (proportionnalité) permet de conclure qu'on aurait une Terre d'environ un millimètre à plus de dix mètres du Soleil ! Le Soleil est donc très éloigné de la Terre et les illustrations, jamais à l'échelle, véhiculent une représentation erronée des tailles et de la distance Terre-Soleil.



Ces calculs nécessitent la maîtrise des grands nombres et l'utilisation de la règle de trois. Pour les élèves qui n'ont pas encore abordé ces notions, ne pas hésiter à donner la réponse.



Le site de *La Main à la Pâte* propose d'aller plus loin et d'associer votre classe à un projet international : des écoles du monde entier mesurent tous les ans la circonférence de la Terre.

Proposition d'animation

- Ératosthène et les ombres : quand on voit le soleil au fond du puits, que dire de l'ombre d'un bâton ?
- Peut-on concevoir une expérience qui nous permette des observations similaires à celles d'Ératosthène ?
(présenter directement le dispositif en l'expliquant)
- Comment interpréter nos observations ? (proposer directement la vue de profil adaptée pour les dessins et fournir des schémas à compléter par les visiteurs avec les ombres et les rayons du Soleil)

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

E-03

Objectif général :

Approfondir la compréhension de ce qu'est l'ombre.

Elle n'est pas *absence* de lumière mais *déficit de lumière*, on la voit sur un écran par contraste. Chaque ombre d'un objet est associée à une source de lumière : la lumière de cette source ne parvient pas dans la zone située de l'autre côté de l'objet. Cette zone peut par ailleurs être éclairée par une(des) autre(s) source(s) : c'est le phénomène des ombres colorées.



Lien avec le programme :
ombres et lumières

Matériel



Par groupe : 1 source lumineuse avec miroirs orientables et son générateur ou 3 lampes torches puissantes ; 3 filtres : rouge, vert, bleu ; 2 feuilles de papier calque ; 1 objet faisant obstacle à la lumière (par exemple 1 bâtonnet de colle) ; 1 écran blanc ; pâte à modeler

Par élève : 1 règle, feutres et crayons de couleurs

Pour l'enseignant : 1 rouleau de TMScotch ou TMPatafix ; 4 bonshommes TMPlaymobil (rouge, vert, jaune, bleu).

Éventuellement projecteur de diapositives.

Budget



Source avec ses filtres et son générateur : 200 €, empruntable
(ou lampes torches : 6 € l'unité et filtres : 15 € les trois).

Préparation : 15 minutes



Réalisation d'écrans pouvant tenir verticalement : carton épais A4 recouvert d'une feuille blanche et fixé sur la table par deux boules de pâte à modeler.

Conditions spécifiques



Obscurité dans la salle et rallonges pour alimenter les sources

Il est nécessaire d'avoir travaillé avec les élèves les compétences de la séquence « Comment faire varier la taille des ombres ».



Cycles 2 & 3



6 heures environ
(soit 5 séances)



Séquence E-01

Comment faire varier la
taille des ombres

Séquence E-02

Sur les traces
d'Eratosthène

Difficultés travaillées :

Raisonnement sur deux sources en même temps et identifier l'ombre associée à chacune, les ombres colorées pouvant s'interpréter comme des endroits où il « manque une couleur » par rapport au reste de l'écran.

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Des découvertes surprenantes, présentation et manipulation libre du matériel	Faire naître et formuler les questions.	<i>Travail en groupe, bilan collectif des questions</i>
Mélanger des lumières de différentes couleurs, qui donne quoi ?	Mettre des mots sur des perceptions visuelles.	<i>Travail en groupe ou collectif</i>
Comment expliquer les couleurs des ombres ?	Proposer une interprétation du phénomène des ombres colorées.	<i>Travail en groupe puis confrontation des affiches et formulation collective de la réponse</i>
Notre interprétation permet-elle de prévoir la couleur des ombres dans d'autres circonstances ?	Vérifier la robustesse de notre interprétation.	<i>Travail en groupe</i>

Descriptif *I/Des découvertes surprenantes*

Laissez dans un premier temps les élèves manipuler librement le matériel. La source lumineuse à miroirs ou les lampes doivent être équipées des trois filtres de couleur ; un écran est posé sur la table.



Pour la source à miroirs, faire observer si besoin aux élèves que c'est comme si l'on avait trois sources mobiles à disposition (en déplaçant les miroirs), et qu'il est possible de les éteindre à volonté en les occultant avec des caches en carton.

Si les élèves ne font pas spontanément l'expérience, passez la main devant l'écran pour faire apparaître des ombres colorées : surprise garantie. Un objet interposé entre les sources de lumière et l'écran remplacera avantageusement la main pour la suite.

La mise en commun des observations permet de souligner deux découvertes et de faire naître deux questions :

Quand on mélange les couleurs, on en obtient de nouvelles ; quel mélange donne quelle couleur ?

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

E-03

Quand on place un objet entre les sources et l'écran, on voit apparaître plusieurs ombres avec des couleurs différentes, qui bougent quand on bouge les miroirs ; comment expliquer la couleur des ombres ?



Sur l'écran, les ombres n'ont pas tout à fait la même taille. Les élèves devraient être capables de réinvestir les acquis du travail de la séquence E-01, « Comment faire varier la taille des ombres ? », et mener un raisonnement du type « l'objet et l'écran ne bougeant pas, si j'ai des tailles d'ombre différentes c'est que les lampes torches ne sont pas à la même distance de l'écran ou que les miroirs modifient la distance source/écran ».

2/ Mélanger des lumières de différentes couleurs

Il est assez facile de se mettre d'accord avec les élèves sur la façon de procéder : essayer les mélanges de couleurs deux à deux, puis le mélange des trois.

Les observations peuvent être notées sous forme de phrases (*quand on superpose/mélange un faisceau de lumière rouge avec un faisceau de lumière verte, à l'endroit où les faisceaux se superposent on voit du jaune sur l'écran*) ou sous la forme de dessin. Il convient de préciser le vocabulaire pour désigner les couleurs (cyan, magenta, jaune).

3/ Comment expliquer les couleurs des ombres ?

On se restreint d'abord à deux sources de lumière colorée, par exemple la rouge et la verte. La question devient alors : *Comment expliquer qu'avec une source de lumière verte et une source de lumière rouge, on observe une ombre verte et une ombre rouge sur fond jaune ?*

3.1. Recherche de réponses



Il est possible de mettre à la disposition des différents groupes des vues en perspective, de dessus, de face des différents éléments (source, écran, objet) afin de les aider dans la schématisation (cf. dessin page suivante, réalisé par des élèves de CM2).

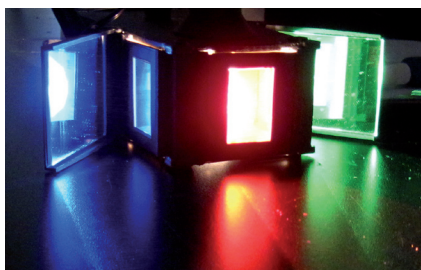
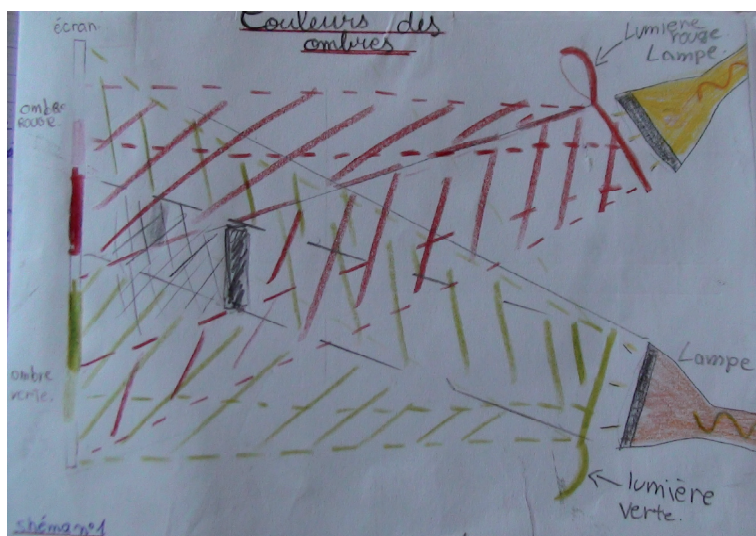
La réalisation d'une affiche par groupe enrichira les échanges.



Pour la source à miroirs, occulter la lumière centrale et mettre les filtres sur les deux entrées latérales pour avoir l'équivalent de deux sources mobiles en utilisant les miroirs. On pourra les représenter sur les dessins par deux lampes torches indépendantes.



C'est notre cerveau (via l'œil) qui nous permet de voir du jaune quand un faisceau de lumière verte et un faisceau de lumière rouge se superposent. Si l'on utilise un spectroscope, instrument capable d'analyser la lumière, celui-ci, pointé sur l'écran, révèle deux bandes, une rouge et une verte (mais pas de jaune). Pointé sur une lampe au sodium qui émet une lumière jaune, le spectroscope montre une unique bande jaune. Contrairement au spectroscope, notre œil est incapable d'analyser la composition du jaune que nous voyons.



Vert + Rouge :
on voit du Jaune !



Certains élèves peuvent penser que la couleur de l'objet influe sur celle des ombres. *Comment faire pour savoir ?* Sans rien modifier d'autre, prendre des objets identiques à la couleur près (™ Playmobil) et observer sur l'écran : rien ne change ; la couleur de l'objet n'influe donc pas sur celle de son ombre.

Guidage des groupes :



Certains groupes peuvent avoir des difficultés à démarrer ou ont une réponse toute faite assez déstabilisante : *on voit du rouge parce qu'on a une source de lumière rouge et du vert parce qu'on a une source de lumière verte, il n'y a rien de plus à comprendre.* À ceux-là, indiquer que ce qui nous intéresse, c'est de comprendre pourquoi à un endroit on voit du rouge et à un autre du vert alors que tout autour on voit du jaune.

Les élèves procèdent en général de deux façons différentes : en occultant une source ou en la déplaçant. Cependant, l'absence d'idée *a priori* rend souvent la manipulation peu efficace : il faut alors les aider à expliciter leurs actions et à anticiper le résultat. Un premier point est de leur proposer de ne pas déplacer l'objet (ni l'écran) pendant leurs recherches, pour ne pas tout faire varier à la fois.

Deux approches sont possibles pour faciliter la compréhension du phénomène :

- Demander aux élèves ce qui d'après eux va se passer si l'on « éteint » l'une des sources avec le cache en carton *en gardant fixes les deux miroirs (les deux lampes)*. Ils peuvent alors dessiner sur un calque la trace de l'ombre sombre et hachurer le reste avec le crayon de la couleur correspondante. En faisant la même opération avec un deuxième calque pour l'autre source, puis en superposant les deux, les élèves peuvent observer la zone où la lumière des deux sources se mélange, et celle où seule la lumière rouge (verte) arrive sur l'écran. Il ne reste plus qu'à dessiner et mettre en mots sur une affiche.

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

E-03

- Réaliser progressivement le mélange des couleurs. En maintenant une source fixe (l'écran est alors de la couleur de cette source et l'ombre est sombre), on trace l'ombre correspondante ; puis on fait progressivement « glisser » l'autre source vers l'écran. L'endroit sur l'écran où les deux sources se mélangent apparaît jaune ; l'extension de la zone jaune augmente quand on déplace la source mobile ; puis elle atteint l'ombre sombre. Celle-ci prend alors progressivement la couleur de la source mobile. Apparaît ensuite une ombre de la même couleur que la source fixe. Arrêter de tourner le miroir (les lampes) lorsque les deux ombres colorées sont apparentes et dessiner la trace de la nouvelle ombre. Occulter la source initialement fixe : cette ombre devient sombre, elle est associée à la source mobile.



Pour aider les élèves à comprendre d'où vient la lumière que l'on voit sur l'écran, il est possible d'utiliser des fils de laine rouge et vert qui partent des sources et que l'on tend pour rendre perceptible la représentation de la lumière par des rayons lumineux, représentation déjà connue des élèves. Certains sont bloqués par l'objet et n'arrivent pas jusqu'à l'écran (ombre associée à la source).

3.2. Mise en commun des résultats et formulation de la réponse

La confrontation des affiches permet de s'assurer que tous les groupes ont compris le phénomène ; elle met en évidence la diversité des énoncés trouvés pour l'expliquer et la difficulté de se faire comprendre par les autres.

Quelques formulations possibles (pour l'ombre verte, on inverse vert et rouge dans les textes) :

« Si l'on voit une ombre rouge, c'est parce que de la lumière rouge arrive sur l'écran à cet endroit et que l'objet empêche la lumière de la source de lumière verte d'y arriver. Ailleurs l'écran est jaune car la lumière rouge et la lumière verte atteignent l'écran. »

« En occultant la source de lumière rouge, l'écran devient vert et une ombre sombre apparaît là où la source de lumière verte ne passe pas. Avec les deux sources non occultées, cette ombre devient rouge. L'ombre rouge est donc l'ombre associée à la source de lumière verte, cette zone restant éclairée par la source de lumière rouge. »



Et si l'on approche l'objet de l'écran ?

On voit apparaître une partie sombre : à cet endroit aucune des deux sources n'éclaire l'écran.

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?



Que se passe-t-il en lumière blanche ?

Enlevons les filtres de couleur. On peut faire le lien avec les ombres d'un joueur de football sur un stade éclairé, remarquer que les ombres ne sont pas uniformément sombres et que plus il y a de sources de lumière, moins les contrastes entre les ombres sont prononcés.

4/ Notre interprétation permet-elle de prévoir la couleur des ombres dans d'autres circonstances ?

Notre interprétation peut-elle s'appliquer dans d'autres conditions ou ne s'applique-t-elle que dans le cas étudié ? Peut-elle permettre de prévoir ce qui va se passer si les filtres de couleurs sont inversés, si l'on change leur couleur, si on ajoute une troisième source colorée de lumière, si l'on a plusieurs sources de lumière blanche... Suivant la rapidité avec laquelle les groupes résolvent les problèmes, on peut multiplier les variations sur le même thème. Dans tous les cas, prévoir ce que l'on va observer *avant* d'allumer les sources. Si notre interprétation résiste à ces différents contrôles, elle gagne en robustesse et en généralité ; sinon, nous en découvrons les limites !

Proposition d'animation

- Manipulation libre du matériel.
- Mélanger des lumières de différentes couleurs, qui donne quoi ?
(prévoir un schéma à compléter)
- Comment expliquer les couleurs des ombres ?
(prévoir des schémas à compléter avec une vue de dessus.
Fournir rapidement du papier calque. Se focaliser sur la pertinence des explications fournies par les élèves visiteurs et les guider pour les dessins. Se satisfaire d'un dessin où les zones éclairées par les sources sont représentées sans forcément de rayons en provenance de ces sources).
- Notre interprétation permet-elle de prévoir la couleur des ombres dans d'autres circonstances ?

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?

E-04

Objectif général :

La glace et l'eau liquide sont deux états d'une même matière.
Le changement d'état se fait à température constante.



Matériel



Par groupe : 1 saladier, transparent de préférence ; 1 petit pot en plastique ; 1 tube à essai en plastique ; 1 brin de laine ; du carton ; 1 cuillère ; 2 thermomètres ; 1 pince à linge ; 200 g environ de sel fin ; 1 torchon ; 1 marteau ; de la glace pilée (assez pour remplir le saladier).

Pour l'enseignant : « La Pêche à la queue », extrait du *Roman de Renart* (e.g. Milan éd., 1997) ; 1 cutter ; liquide antigel ; 1 balance de cuisine.

Budget



Album jeunesse : 16 € ; produits alimentaires consommés : 3 € ; thermomètre : 4 € l'unité ; reste du matériel empruntable.

Préparation : 10 minutes



Découpage des bouteilles pour piler la glace. Lettre aux parents pour suggérer quelques expérimentations à la maison.

La veille, placer des bouteilles d'eau au congélateur. Découper avec précaution au cutter les bouteilles congelées (pour pouvoir ensuite récupérer facilement la glace pilée). Placer chaque bouteille dans un torchon et laisser les élèves piler la glace. Graduer des axes pour représenter l'évolution de la température d'une eau qui se refroidit en fonction du temps. Photocopier la feuille pour les élèves de cycle 3.

Conditions spécifiques



Réaliser de préférence ce travail en hiver.

Les élèves doivent savoir lire la température avec un thermomètre (cf. Annexe I). Si des élèves ont déjà fait une partie des expériences à la maternelle, cela permet d'évaluer ce qu'ils en ont retenu. La répétition ne pose pas de difficulté : les élèves sont toujours ravis d'observer de l'eau qui gèle.

Lien avec le programme :
changements d'état,
mélanges et solutions



Cycles 2 & 3



2 à 4 heures suivant
les activités réalisées



Séquence M-13

*Glace et eau,
une même matière ?*

Séquence E-09

Se dissoudre ou pas

Séquence E-06

L'ébullition

Séquence E-15

Découvrons la densité

Difficultés travaillées :

On ne peut pas obtenir de l'eau liquide aussi froide qu'on le veut. Un mélange d'eau liquide et de glace garde une température constante. Lorsqu'on ajoute une autre substance comme du sel à de la glace, elle peut fondre et la température baisser dans le mélange (mélange réfrigérant).

€-04

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
De quoi a-t-on besoin pour faire comme dans l'histoire ?	S'approprier un problème. Proposer un dispositif expérimental pour fabriquer de la glace. Comparer un dispositif expérimental au contenu d'une histoire et faire des liens.	<i>Travail individuel puis mise en commun</i>
Que se passe-t-il dans le pot ?	Observer la solidification de l'eau et faire un dessin du dispositif.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Comment la température évolue-t-elle dans le tube quand l'eau se solidifie ?	Relever des températures et observer un palier.	<i>idem</i>
Comment évolue la température dans le tube quand la glace fond ?	<i>idem</i>	<i>idem</i>
Peut-on refroidir l'eau liquide autant qu'on le souhaite ? Comment obtenir de l'eau liquide en dessous de 0°C ?	Réinvestir ses connaissances. Lorsqu'on mélange l'eau à d'autres produits, le mélange peut rester liquide à des températures inférieures à 0°C.	<i>idem</i>
En hiver, on vide les canalisations extérieures de leur eau et on arrête les fontaines : comment expliquer ces précautions ?	Quand de l'eau se transforme en glace, sa masse reste constante mais son volume augmente.	<i>Expérimentation collective</i>

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?

E-04

1/De quoi a-t-on besoin pour faire comme dans l'histoire ?



Travailler à partir d'un récit imaginaire ou d'un album nécessite quelques précautions. Il est important de différencier ce qui relève de l'histoire de ce qui peut advenir dans le monde réel. Certains phénomènes peuvent être communs à ces deux mondes, d'autres non (on est alors dans la « fantaisie »). *Est-ce que c'est possible ?* est une question qui pose la démarcation entre ces deux mondes. On peut alors chercher des dispositifs pour « faire comme dans l'histoire ».

Il existe de nombreuses versions plus ou moins simplifiées de la pêche à la queue. Nous nous attachons à ce qu'il arrive à la queue du loup Ysengrin. Il l'a plongée dans de l'eau et au bout d'un moment elle est coincée dans la glace.

Est-ce possible ? Au cycle 2, la plupart des élèves savent que, quand il fait froid, l'eau se transforme en glace. Ce n'est donc pas une surprise.

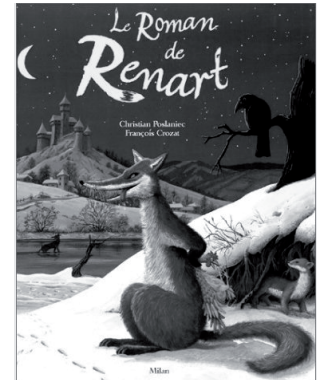
Peut-on faire comme dans l'histoire ? De quoi a-t-on besoin pour cela ? On n'a ni loup, ni lac et il ne gèle pas forcément dehors. On peut substituer à la queue d'Ysengrin quelque chose que l'on fera tremper dans de l'eau liquide : un brin de laine fait très bien l'affaire (on peut en glisser l'autre extrémité dans un loup en carton). Le lac peut être remplacé par un petit pot en plastique dans lequel on aura mis un peu d'eau. Il faut maintenant « du froid ». Les élèves peuvent proposer de mettre le pot dans un réfrigérateur, dans le freezer, dans un congélateur, dehors...

S'il n'est pas possible de tester ces différents dispositifs en classe, les élèves peuvent les réaliser à la maison et revenir avec les résultats : l'eau se change en glace dans le freezer, pas dans le réfrigérateur. Suivant la température extérieure, l'eau peut ou non geler. Il faut donc « du froid » pour solidifier la glace mais il y a différentes « qualités » de froid, certains étant « plus froids » que d'autres. Comment les caractériser ? Les élèves connaissent les thermomètres : l'eau gèle dans le freezer ou le congélateur à -18°C , mais pas dans un réfrigérateur à 4°C .

2/Que se passe-t-il dans le pot ?

Lorsque l'on mélange de la glace pilée et du sel dans un saladier (prévoir 100 à 200 grammes de sel par litre de glace pilée), on obtient un *mélange réfrigérant*. La température du mélange chute pour se stabiliser bien en

Descriptif



€-04

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?



Si l'on attend suffisamment longtemps, la glace du mélange peut fondre totalement. On a alors dans le saladier de l'eau salée liquide à une température très inférieure à 0°C. L'eau pure gèle à 0°C ; il faut descendre beaucoup plus bas pour geler de l'eau salée.

dessous de 0°C (entre -10 et -15°C suivant les mélanges). Chaque groupe disposera alors de l'équivalent d'un congélateur à l'air libre pour observer la solidification de l'eau. Il suffit de poser sur ce mélange le pot en plastique contenant le brin de laine et un peu d'eau puis d'observer l'évolution de cette « queue de loup ». Les élèves peuvent toucher le contenu du pot et sentir la couche de glace se former.



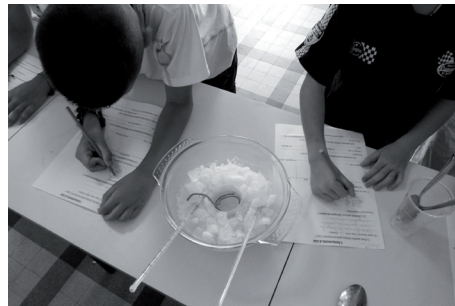
Il faut utiliser de la glace pilée et du sel fin pour assurer un bon mélange. Dans ces conditions, le mélange descend très bas en température. Ne pas utiliser les doigts mais une cuillère pour mélanger.



L'eau gèle en une dizaine de minutes si vous en mettez juste de quoi recouvrir la surface du pot et imbiber le brin de laine.



Les élèves ne doivent pas mettre de sel dans le pot d'eau douce ; sinon elle ne gèlera pas. S'ils touchent le mélange réfrigérant, ils devront essuyer leur doigt avant de le remettre dans le pot.



Les élèves peuvent dessiner le dispositif en même temps qu'ils l'observent. Il est possible de placer un thermomètre dans le mélange réfrigérant et de constater que la température est bien en dessous de zéro. Au bout d'une dizaine de minutes, les enfants sont ravis de démouler la glace formée : la queue du loup est bel et bien coincée. Comment faire pour le libérer ? Il suffit de laisser la glace fondre dans sa main. On récupère également l'eau initialement versée en laissant le pot se réchauffer dans l'air à température ambiante.

Cette expérience a permis de constater, s'il en était besoin, que l'eau liquide pouvait se changer en glace, et réciproquement (on peut renouveler plusieurs fois le cycle fusion-solidification) : on dit que ce sont *deux états* d'une même matière. Peut-on maintenant regarder de plus près l'évolution de la température de l'eau quand elle se change en glace ? Le pot n'est pas pratique, un tube à essai en plastique le remplacera avantageusement.

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?

E-04



Il est possible de procéder au relevé des températures à la suite de la première expérimentation. Le mélange réfrigérant permet de maintenir une température très inférieure à 0°C pendant 1 à 2 heures.



3/ Comment la température évolue-t-elle dans le tube quand l'eau se solidifie ?

Les élèves peuvent réaliser un tableau en indiquant la température lue à intervalles de temps réguliers.



Utiliser une pince à linge pour bloquer la tige du thermomètre et éviter qu'elle ne touche le fond du tube, souvent plus froid que l'eau qu'il contient.

Les élèves constatent que la température de l'eau chute rapidement avant de se stabiliser aux alentours de 0°C. Ils peuvent observer la solidification progressive de l'eau en glace. Au bout d'un moment, la tige du thermomètre est prise dans la glace (elle permet de soulever le tube). Peu après, la température se met à chuter de nouveau. Il n'y a alors plus d'eau liquide dans le tube. Cette chute cesse une fois que la glace a atteint la température du mélange réfrigérant.

L'eau liquide refroidit jusqu'à une température avoisinant 0°C. À cette température elle se change en glace. Tant qu'il y a à la fois de l'eau et de la glace, la température reste constante. Lorsqu'il n'y a plus d'eau liquide, la température de la glace chute jusqu'à atteindre celle du mélange réfrigérant.



Les élèves devraient savoir que deux objets mis en contact finissent par avoir la même température, si l'on attend assez longtemps. C'est ainsi que fonctionne le réfrigérateur. S'ils n'en sont pas sûrs, c'est l'occasion de le vérifier.



Relever la température à intervalles de temps réguliers. La température peut varier d'un thermomètre à l'autre : on se contentera de dire que l'eau se solidifie *aux environs de zéro degré Celsius*.

4/ Comment évolue la température dans le tube pendant que la glace fond ?

À la suite de l'expérience précédente, on peut observer le contenu du tube sorti du saladier et laissé à l'air ambiant. On relève l'évolution de sa température en fonction du temps. Elle remonte progressivement et se stabilise aux alentours de 0°C. Le contenu du tube commence alors à fondre. Tant qu'il y a de l'eau



L'échelle Celsius des températures a été conçue pour permettre des calibrages faciles : dans les conditions normales de pression, la température d'un mélange d'eau et de glace définit le zéro (0°C) et celle de l'eau bouillante les 100°C. Il suffit ensuite de diviser en 100 intervalles égaux la hauteur comprise entre ces deux repères. Les anglo-saxons préfèrent l'échelle Fahrenheit (dont le zéro est la plus basse température atteinte lors d'un dur hiver continental : 0°F ≈ - 18°C ; 32°F = 0°C).



La température du mélange eau/glace ne dépend pas de celle du milieu extérieur. Il est facile de vérifier que, tant que l'on a de l'eau et de la glace, la température du mélange reste à 0°C dans le tube, même en le plaçant près du radiateur ou dans un endroit plus frais que la classe. Le temps nécessaire pour que la glace se change en eau, lui, variera.

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?



C'est la raison pour laquelle on sale les routes en hiver. En roulant, les voitures écrasent la glace et la font un peu fondre. Le sel se dissout dans cette eau et, si la température est supérieure à -15°C , cette eau salée ne regèle pas. Progressivement de l'eau salée remplace la glace, c'est mieux pour les voitures !



Pour faire fondre un solide, il faut lui fournir de la chaleur. Quand un liquide se solidifie, en revanche, il en libère. C'est difficile à observer avec l'eau. Les chauffeuses où l'on tripote un petit bout de métal et où le contenu de la poche se cristallise très rapidement permettent de constater le phénomène. Elles contiennent en fait un liquide « surfondu » : il est resté liquide en dessous de sa température normale de solidification. Cela arrive avec certaines substances. Il suffit de perturber suffisamment le milieu pour que tout le liquide prenne en masse, d'un coup : cela libère beaucoup de chaleur et permet de réchauffer ses mains ou un biberon.

et de la glace, la température reste constante. Quand il n'y a plus que de l'eau, la température recommence à monter doucement. En attendant suffisamment, l'eau se met à la température de la classe

Quand de la glace se change en eau liquide, la température du mélange eau/glace reste constante, aux environs de 0°C . Quand toute la glace a fondu, l'eau liquide prend progressivement la température du milieu ambiant.

5/ Peut-on refroidir l'eau liquide autant qu'on le souhaite ? Comment obtenir de l'eau liquide en dessous de 0°C ?

Les élèves sont souvent convaincus *a priori* que l'on ne peut pas avoir d'eau liquide en dessous de zéro degré dans la classe, puisqu'elle gèle à cette température. Sinon, comment envisagent-ils de procéder ? Bien souvent, ils proposent de mettre des glaçons dans l'eau. Il est facile de faire l'expérience et de constater qu'elle ne descend pas en dessous de 0°C .

L'eau pure gèle à 0°C : c'est ennuyeux pour les conducteurs qui souhaitent laver les vitres de leur voiture quand la température est en dessous de zéro. Comment font-ils ? Il existe des liquides antigels que l'on mélange à l'eau. Ces mélanges gèlent à des températures beaucoup plus basses. On pourrait aussi tout simplement saler l'eau : dans le mélange réfrigérant, l'eau salée reste liquide alors que le mélange a une température très en dessous de zéro (-15°C).

De l'eau pure ne peut pas être refroidie en dessous de zéro degré, elle se change en glace. Quand on y ajoute un autre produit, le mélange obtenu peut en revanche rester liquide à des températures bien en dessous de zéro. C'est le cas avec le sel ou le liquide de l'antigel.

6/ En hiver, on vide les canalisations extérieures de leur eau et on arrête les fontaines : comment expliquer ces précautions ?

Peu d'élèves savent que l'on vide les canalisations d'eau extérieures en hiver pour éviter qu'elles n'éclatent. Certains ont pu voir leurs parents ne pas remplir complètement une bouteille de liquide à mettre au congélateur.

La discussion permet de savoir où en sont les élèves. Si certains sont convaincus que la glace « gonfle », prend plus de place que l'eau, il faut trouver un moyen de le vérifier. Sinon, on peut proposer aux élèves de placer une bouteille en plastique entièrement remplie d'eau au congélateur et de l'observer le lendemain. L'eau est alors bloquée dans la bouteille comme celle qui se trouve dans les canalisations.

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?

E-04

Les élèves constatent que la bouteille s'est déformée, voire a éclaté : la glace occupe plus d'espace que l'eau.



Ne pas faire l'expérience avec une bouteille en verre.

De l'eau mise à geler occupe plus d'espace que lorsqu'elle est liquide. Sa masse change-t-elle comme son volume ? Il suffit de vérifier à l'aide d'une balance : si le volume change, la masse reste en revanche la même.



Il faut essuyer les gouttelettes de condensation qui apparaissent sur la bouteille. Celle-ci s'alourdit sinon de toute cette eau de condensation.

Proposition d'animation

- Lecture de l'histoire : de quoi a-t-on besoin pour faire comme dans l'histoire ?
- Que se passe-t-il dans le pot ? (*dessiner le dispositif*)
- Comment la température évolue-t-elle dans le tube quand l'eau se solidifie ? (*faire un tableau de mesure*)
- Quand l'eau est-elle à l'état solide ?
(*fournir des images avec des grêlons, de la neige, des icebergs, du givre, de la rosée, de l'eau qui goutte d'un robinet, un lac... et demander aux élèves de classer les images selon l'état de l'eau*).



Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

E-05

Objectif général :

L'air contient de la vapeur d'eau. L'eau liquide et l'eau à l'état gazeux sont deux états d'une même substance.



Lien avec le programme :
changements d'état,
mélanges et solutions



Cycle 3



4 à 6 heures suivant
les activités réalisées



Séquence E-07

L'air, ce n'est pas rien !

Séquence E-09

Se dissoudre ou pas

Séquence E-06

L'ébullition

Séquence E-04

*Solide, liquide : deux états
d'une même matière ?*

Matériel



Par groupe : 2 petits pots en verre identiques ; film alimentaire transparent ;
1 miroir ; des glaçons ; plusieurs assiettes.

Pour l'enseignant : 2 petits pots ; un miroir ; des glaçons ; 2 saladiers transparents ;
ventilateur ; plaque électrique ; pipette 1 ml en plastique.

Facultatif : un peu d'alcool ménager et d'acétone (dissolvant à ongles) ;
3 thermomètres.

Budget



Thermomètre : 4 € ; pipettes : 3,80 € les 50.

Préparation : aucune



Conditions spécifiques



Réaliser de préférence ce travail en hiver.

Les élèves doivent savoir lire la température avec un thermomètre
(cf. Annexe A-1).

Difficultés travaillées :

L'air est un mélange de gaz ; on y trouve de l'eau sous une forme invisible, la vapeur d'eau. Notion de saturation en vapeur d'eau (facultatif). Quand de l'eau s'évapore, elle prend de la chaleur au milieu qui l'entoure (facultatif).

E-05

Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que devient l'eau quand on lave le tableau de la classe ou la vaisselle sans l'essuyer ?	S'approprier un problème. Prendre conscience qu'on peut mettre de l'eau dans l'air. On ne la voit plus : c'est de la vapeur d'eau.	<i>Travail individuel puis mise en commun</i>
Que se passe-t-il sur la paroi extérieure d'un verre sec quand j'y mets des glaçons ?	On peut récupérer la vapeur d'eau présente dans l'air sous forme de gouttelettes. Des variations brutales de température favorisent le phénomène.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Que se passe-t-il lorsqu'on souffle sur une vitre froide ou un miroir ?	L'air expiré contient de la vapeur d'eau. Elle se condense au contact d'une surface froide.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il pour un verre mouillé (intérieur et extérieur) que l'on retourne sur une table pour le faire sécher ?	Observer que, suivant le volume d'air disponible, l'eau s'évapore plus ou moins.	<i>Travail de réflexion en groupe, mise en commun puis expérimentation en groupe</i>
Peut-on mettre autant de vapeur d'eau qu'on le souhaite dans l'air ? (facultatif)	Découvrir que l'on peut saturer l'air en vapeur d'eau et que cela dépend de la température.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il en hiver quand je souffle ?	Le nuage qui apparaît quand on expire en hiver est constitué de toutes petites gouttelettes d'eau.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>

Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

E-05

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment faciliter l'évaporation ?	Proposer des protocoles expérimentaux et les tester.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand un liquide s'évapore ?	L'évaporation d'un liquide prend de la chaleur au milieu qui l'entoure (acétone).	<i>Expérience collective</i>

Commençons par définir la vapeur d'eau comme de l'eau présente dans l'air mais *que l'on ne voit pas*. Par conséquent, ce que l'on voit dehors, quand on souffle et qu'il fait froid, *n'est pas* de la vapeur d'eau. On appellera cela un "nuage" ou du "brouillard". Ce sont en fait de toutes petites gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. Le vocabulaire ayant ici son importance, nous suggérerons, pour certaines étapes, des formulations possibles.

Descriptif

1/ Que devient l'eau quand on lave le tableau de la classe ou quand la vaisselle sèche sans qu'on l'essuie ?

Au cycle 3, la plupart des élèves ont l'intuition que l'eau ne disparaît pas, mais s'en va quelque part. Il y a deux possibilités, que l'on peut tester : soit elle rentre dans le tableau (ou dans la vaisselle), soit elle s'échappe dans l'air. Comment choisir ?

Passez un coup d'éponge mouillée sur le tableau ou sur un verre, puis recouvrez-en une partie avec du film alimentaire (qui adhère tout seul). On observe que la surface non protégée sèche ; l'autre, non. Le tableau (le verre) n'absorbe donc pas l'eau. S'il n'y en a plus là où il n'y a pas de film, c'est donc que l'eau est partie dans l'air ou a disparu. L'air contiendrait-il de l'eau ?

2/ Que se passe-t-il sur la paroi extérieure d'un verre sec quand j'y mets des glaçons ?

Demandez aux élèves s'ils pensent qu'il y a ou non de l'eau dans l'air, et s'ils ont des idées pour le démontrer. Ils ont pu entendre parler de « déshumidificateurs d'air », ou en voir. Les élèves pourvus de lunettes, ou qui ont observé

Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

la *condensation* qui se dépose sur un miroir de salle de bain ou sur une vitre, savent bien que l'on peut voir de l'eau apparaître sur une surface froide. Dans la cuisine il est également nécessaire de dégivrer le congélateur de temps en temps. Il semble raisonnable de penser que cette eau se trouvait quelque part avant d'apparaître sous forme de buée. L'air est un bon candidat.

Condensation et *buée* sont deux mots utilisés spontanément par les élèves : que signifient-ils exactement ? Un détour par le dictionnaire semble indiquer qu'ils sont associés au passage de l'eau de l'état vapeur à celui de liquide (ou solide).

Pourrait-on faire apparaître l'eau contenue dans l'air de la classe ? S'il y a de la buée sur les vitres, c'est déjà fait. Les exemples proposés par les élèves indiquent que la présence d'objets à des *températures différentes* semblent favoriser l'apparition de la buée. *Que se passe-t-il sur la paroi extérieure d'un verre sec quand j'y mets des glaçons ?* De l'eau apparaît sur la paroi extérieure, c'est de la condensation.



On s'est mis d'accord sur le fait que le verre ne « fuyait » pas : l'eau qui apparaît sur les parois externes n'est pas celle de la fonte du glaçon, à l'intérieur.

S'il y a un réfrigérateur dans la classe, on peut en sortir un verre sec et froid : il se recouvre rapidement de buée. Il est également possible de placer un sachet en plastique gonflé d'air et hermétiquement clos dans la partie freezer : quand on l'en ressort, on peut voir que le sachet est plus opaque. De toutes petites gouttelettes se sont déposées sur la paroi intérieure (réaliser l'observation sans tarder, elles s'évaporent rapidement à température ambiante). Il y a donc de l'eau dans l'air du sac : en attendant un peu, le sac reprend son aspect habituel, les gouttelettes sont redevenues vapeur d'eau. Ces expériences peuvent être facilement reproduites par les élèves à la maison.

Avec les élèves, on peut alors écrire : *Quand je place un objet froid dans la classe et que j'attends, il se couvre de gouttelettes. Cette eau provient de l'air. On ne voyait pas l'eau qui se trouve dans l'air, car elle était sous forme de vapeur d'eau, mais elle était bien là. La vapeur d'eau peut se changer en eau liquide, c'est la condensation.*

3/ Que se passe-t-il lorsqu'on souffle sur une vitre froide ou sur un miroir ?

Comme précédemment, on observe l'apparition de buée. Notre haleine est riche en eau. On ne voit pourtant rien sortir de notre bouche la plupart du temps : cette eau est expirée sous forme de vapeur d'eau. Sur le miroir froid par contre,

Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

E-05

cette vapeur repasse à l'état liquide, de toutes petites gouttes apparaissent. Elles semblent ensuite disparaître de la surface du miroir : l'eau s'évapore de nouveau et passe dans l'air de la pièce (comme l'eau du tableau).

Formulation de réponse possible : *Quand je souffle sur un miroir, de la buée apparaît. L'air expiré contient de la vapeur d'eau invisible qui se condense sous forme de gouttelettes sur le miroir. Si j'attends un peu, la buée disparaît : comme dans le cas de l'eau sur le verre ou sur le tableau, elle se change en vapeur d'eau que l'on ne voit pas.*

4/ Que se passe-t-il pour un verre mouillé (à l'intérieur comme à l'extérieur) que l'on retourne sur une table pour le faire sécher ?

Les élèves écrivent ou expliquent ce qu'ils pensent qu'il va se passer pour l'eau d'une part à l'intérieur, d'autre part à l'extérieur du verre. On essaie ensuite pour vérifier. L'extérieur du verre sèche mais l'intérieur reste mouillé (espace clos). L'eau qui se trouvait à l'extérieur s'est évaporée. *Comment faire sécher l'intérieur du verre ?* Les parois internes sèchent également quand on retourne le verre et qu'elles se retrouvent de nouveau en contact avec l'air de la pièce. Dans un premier temps, l'eau enfermée dans le verre ne s'est pas évaporée et est restée sous forme liquide. Au contact de l'air de la pièce, elle s'est évaporée, comme sur la paroi externe.

Avec les élèves les plus jeunes, on en reste au niveau du constat, sans expliquer pourquoi l'extérieur du verre sèche et pas l'intérieur. Si les élèves soulèvent le problème, on peut supposer avec eux que la quantité d'air à disposition pour l'évaporation doit jouer puisque c'est la seule chose qui change entre l'intérieur et l'extérieur du verre.

Comme précédemment, on en conclut que : *De l'eau liquide peut partir dans l'air ; c'est l'évaporation. On ne la voit plus, car elle est passée sous la forme de vapeur d'eau.*

5/ Peut-on mettre autant de vapeur d'eau qu'on le souhaite dans l'air ? (pour les plus âgés)



Ce travail est grandement facilité si les élèves ont travaillé sur la saturation d'une solution en solide dissous (cf. E-09, *Se dissoudre ou pas*). On sature l'air en vapeur d'eau de la même façon que l'on sature l'eau liquide en sel ou en sucre.

Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

Laissez dans un premier temps les élèves réfléchir à la question en petits groupes. Demandez-leur de proposer des moyens de vérifier leurs idées ou de s'appuyer sur les expériences déjà réalisées qui les confortent. Une discussion permet de faire le point. Ils ont constaté que dans un espace clos, l'eau ne s'évaporait pas (verre retourné). Ils savent aussi que le linge peut ne pas sécher dans les régions humides ou dans une pièce fermée. Peut-être ne peut-on mettre qu'une quantité d'eau limitée sous forme vapeur dans l'air et que, s'il y en a plus, elle reste sous forme liquide ? Le linge ne sécherait plus parce qu'il y a déjà trop de vapeur d'eau dans l'air et que l'on a atteint la saturation de la pièce en vapeur d'eau.

Proposez alors l'expérience suivante. Deux petits pots remplis d'eau sont posés chacun dans un saladier transparent. L'ensemble est placé dans un endroit frais. Une fois les récipients à la température de la pièce, on recouvre les saladiers de film alimentaire transparent. On conserve l'un des deux au frais, l'autre étant déplacé dans un endroit chaud (sous une lampe, près d'un radiateur). Rien de visible ne se passe. Attendre quelques heures puis ramener le second saladier au frais : de la condensation se dépose sur ses parois intérieures.

Initialement, les deux saladiers contenaient de l'air ambiant à la même température. La réserve d'eau des pots a pu l'enrichir de vapeur d'eau. Leur différence de comportement suggère que ce processus a été plus efficace dans le saladier placé au chaud : la condensation peut s'expliquer en supposant que l'air s'y est plus enrichi en eau, puis s'en est « débarrassé » quand la température a de nouveau baissé. L'air chaud peut donc contenir plus de vapeur d'eau que l'air froid. Quand on refroidit de l'air chaud, cet excédent de vapeur repasse à l'état liquide, c'est la *condensation*.

C'est aussi ce qui se passe à l'intérieur d'un sac plastique sec clos dans le freezer. Une partie de la vapeur d'eau de l'air s'est condensée quand sa température et celle du sac ont baissé. En remettant le sac à température ambiante, sans l'ouvrir, les gouttelettes disparaissent : l'air qu'il contient accepte la même quantité de vapeur d'eau qu'au départ et les gouttelettes peuvent de nouveau s'évaporer.

Plus il fait chaud, plus un même volume d'air peut contenir de vapeur d'eau. Quand l'air se refroidit, l'excédent de vapeur d'eau qu'il contenait se condense alors sous la forme de petites gouttes sur les parois froides.

6/Que se passe-t-il en hiver quand je souffle dehors ?

En hiver, quand je souffle, je peux fabriquer des « nuages ». Si pendant qu'un élève souffle un autre le regarde de profil, il ne voit rien sortir au niveau de la bouche ; le nuage ne se forme qu'un peu plus loin. Entre la bouche et le nuage,



On peut observer le même phénomène plus rapidement en posant des glaçons sur le film transparent.

Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

E-05

l'air est encore tiède ; pour cette température, la vapeur d'eau n'est pas en excès dans l'air. Un peu plus loin l'air est plus froid et ne plus contenir autant de vapeur d'eau : une partie de la vapeur se condense, c'est du nuage. Ensuite les petites gouttelettes se dispersent, la proportion de vapeur d'eau dans l'air diminue et les gouttelettes s'évaporent.

La vapeur d'eau invisible qui sort de ma bouche se change quand il fait froid en toutes petites gouttelettes d'eau liquide qui sont en suspension dans l'air. Au bout d'un moment on ne voit plus le nuage : on peut supposer que ces gouttelettes se changent de nouveau en vapeur d'eau invisible ou qu'elles deviennent trop petites, ou trop éloignées les unes des autres...

7/Comment faciliter l'évaporation ?

Les élèves identifient assez facilement les facteurs qui favorisent l'évaporation : un air sec, une bonne ventilation, un environnement chaud et une surface d'échange importante. C'est pour cela que le linge sèche mieux quand il est étalé au grand air, qu'il fait du vent, qu'il fait chaud et que l'air est sec. Comment vérifier ? Chaque groupe peut par exemple tester un paramètre. Un tableau indiquant ce que l'on ne change pas et ce que l'on change permet de s'assurer que l'on ne fait varier qu'un paramètre à la fois.

Les élèves peuvent travailler avec des quantités d'eau identiques ou avec des bouts de tissus identiques imbibés d'une même quantité d'eau disposés à différents endroits de la classe dans des conditions différentes (ou dehors). Il leur faut dans tous les cas choisir une situation qui servira de référence par rapport aux autres.

Attention : l'air de la classe est plus chargé en humidité que l'air extérieur et la ventilation est moindre.

Exemple de tableau récapitulatif (permettant de s'assurer que l'on fait varier un seul paramètre à la fois)

Dans la classe	Chiffon 1	Chiffon 2	Chiffon 3	Chiffon 4
Quantité d'eau versée	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml
Surface d'échange	Totalité du chiffon	Totalité du chiffon	Totalité du chiffon	Chiffon plié en deux
Température ambiante	Température de la pièce	Température de la pièce	Au-dessus d'une plaque chaude	Température de la pièce
Ventilation	Pas de ventilation	Ventilateur	Pas de ventilation	Pas de ventilation
Durée d'observation	15 minutes	15 minutes	15 minutes	15 minutes
Résultat (état du chiffon)	humide	Très peu humide	Très peu humide	mouillé

Liquide, gaz : une même substance ? L'évaporation

8/ Que se passe-t-il quand un liquide s'évapore ? (pour les plus âgés)

Les élèves ont pu constater que l'eau s'évaporait plus rapidement lorsqu'il faisait chaud, toutes choses égales par ailleurs. Ils savent sans doute qu'un vêtement mouillé porté à même la peau sèche plus vite que s'il était mis à sécher sur une patère : on a alors une sensation de « froid ». Quand on ne se sèche pas à la sortie de la douche et que l'eau s'évapore, on éprouve la même sensation de froid. Ils ont peut-être observé que de la vaisselle chaude laissée à l'air séchait plus rapidement que de la vaisselle froide.

Présentez-leur du dissolvant à ongles ou un peu d'acétone en indiquant que c'est un liquide qui s'évapore plus rapidement que l'eau. Vous pouvez en verser quelques gouttes sur un mouchoir et attendre quelques secondes avant de le faire toucher aux élèves, il est froid (et sec). Les élèves savent que quand on fournit de la chaleur à un objet, sa température augmente (sauf changements d'état). Inversement, un objet qui refroidit est un objet qui perd de la chaleur. L'eau qui s'évapore "prend" de la chaleur au support et à ce qui l'entoure.

Une goutte de dissolvant à ongles posée sur la peau permet d'éprouver facilement la sensation de froid qui accompagne l'évaporation. Il est également possible de faire lire à trois élèves la température de trois thermomètres stockés dans la pièce, qui indiquent la température ambiante. Plongez-les respectivement dans de l'eau, de l'alcool ménager et de l'acétone et faites observer l'évolution de leur température lorsqu'on les en ressort : celle-ci baisse très rapidement dans le cas de l'acétone. Les liquides s'évaporent en prenant de la chaleur autour d'eux, en particulier au thermomètre. La température qu'ils indiquent chute.



L'évaporation d'un liquide prend de la chaleur au milieu qui l'entoure, tout comme l'ébullition prend de la chaleur à la plaque électrique.



En versant beaucoup d'acétone sur du coton, il est possible de voir apparaître des cristaux de glace à sa surface. En s'évaporant l'acétone prend de la chaleur à l'air alentour : de l'eau se condense sur le coton et peut même se transformer en glace.

Proposition d'animation :

- Que devient l'eau quand la vaisselle sèche sans qu'on l'essuie ?
- Que se passe-t-il sur la paroi extérieure d'un verre sec quand j'y mets des glaçons ?
- Que se passe-t-il lorsqu'on souffle sur une vitre froide ou un miroir ?
- Que se passe-t-il quand un liquide s'évapore ?

Liquide, gaz : une même substance ? L'ébullition

E-06

Objectif général :

Une même substance peut exister sous plusieurs états. Au cours de l'ébullition, le changement d'état se fait à température constante et on observe la formation de nuage (ou de brouillard) au dessus du récipient où l'eau bout. Ce nuage est constitué de très petites gouttelettes en suspension dans l'air. L'eau liquide contient de l'air dissous.



Lien avec le programme :
changements d'état,
mélanges et solutions

Matériel



Pour l'enseignant : 2 casseroles métalliques de petite capacité et 2 plaques électriques ; 1 marqueur ; 2 récipients de volume comparable à celui de la casserole ; 1 chronomètre (montre) ; 2 thermomètres ; 1 bassine suffisamment large pour y plonger les casseroles ; de l'essuie-tout ; 1 miroir ; des glaçons ; 1 éprouvette ou 1 verre doseur.

Budget



Thermomètres : 4 € l'unité.

Préparation : 5 minutes (pour les CM2)



Pour tracer l'évolution de la température de l'eau en fonction du temps sur des feuilles de papier millimétré (ou quadrillé), graduer l'axe vertical en °C et l'axe horizontal de 2 en 2 min.

Conditions spécifiques



Réaliser de préférence ce travail en hiver.
Les élèves doivent savoir lire la température avec un thermomètre (cf. Annexe A-1).



Cycle 3



4 heures



Séquence E-07

L'air, ce n'est pas rien !

Séquence E-09

Se dissoudre ou pas

Séquence E-04

Solide, liquide : deux états
d'une même matière ?

Difficultés travaillées :

Même si le changement d'état se fait à température constante, il faut fournir de la chaleur pour passer de l'eau liquide à la vapeur d'eau. On peut chauffer et ne pas augmenter la température d'une matière lorsqu'elle change d'état (c'est le cas pour les corps purs).

Liquide, gaz : une même substance ? L'ébullition

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que se passe-t-il quand je chauffe de l'eau ?	Observer et prendre des mesures. Se poser une question.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Peut-on augmenter la température de l'eau qui chauffe autant qu'on le souhaite ?	Le changement d'état se fait à température constante.	<i>Travail en groupe et expérience collective</i>
Que dire des bulles qui apparaissent aux alentours de 80°C ?	Faire le lien entre la baisse du niveau de l'eau dans la casserole et l'apparition d'un nuage et de condensation sur le couvercle.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Que contiennent les première bulles à apparaître quand on chauffe de l'eau du robinet ?	Participer à la définition d'un protocole expérimental.	<i>idem</i>



Au-dessus de la casserole, l'ébullition provoque des fluctuations spatiales et temporelles de la proportion de vapeur présente dans l'air, et donc de l'indice optique, ce qui perturbe la propagation de la lumière et la formation des images.

C'est un phénomène similaire qui brouille la vision d'un paysage au travers du flux des réacteurs d'un avion au décollage.

Remarque sur le vocabulaire

Il convient d'être particulièrement vigilant sur le vocabulaire employé, et surtout sur sa cohérence au fil de la séance. Ainsi, c'est le fait de voir un « nuage » (ou « du brouillard ») qui permettra de distinguer une *suspension* de toutes petites gouttelettes d'eau dans l'air d'une *vapeur* d'eau – les élèves ayant préalablement appris que la vapeur d'eau est de l'eau, présente dans l'air, que l'on ne voit pas (cf. séquence E-05).

Pour autant, il vaut mieux éviter de dire que la vapeur est *invisible*. Si on ne la voit pas au sens où l'on pourrait voir un gaz coloré (par exemple le tristement célèbre gaz moutarde), il est toutefois possible, dans certaines conditions, de distinguer sa présence au-dessus d'une casserole d'eau en train de bouillir par les perturbations qu'elle apporte à l'image d'un objet qu'on regarde au travers, et qui apparaît légèrement fluctuante.

Liquide, gaz : une même substance ?

L'ébullition

E-06

I/Que se passe-t-il quand je chauffe de l'eau ?

La plupart des élèves répondent que l'eau *bout*. Pour certains cela signifie que des bulles viennent crever la surface, pour d'autres que la température augmente, pour d'autres encore qu'il y a du nuage qui sort de la casserole, le couvercle se recouvrant de gouttelettes d'eau («*buée*»).

Vous pouvez rebondir sur leurs réponses. *Peut-on augmenter la température de l'eau autant qu'on le souhaite ? Qu'y a-t-il dans les bulles qui remontent à la surface ? Quand apparaissent-elles ? La quantité d'eau dans la casserole change-t-elle quelque chose au phénomène ?* Ils sont rarement d'accord sur la température d'ébullition de l'eau, ne se sont que rarement demandés ce qu'il y avait dans les bulles, pensent souvent qu'en chauffant plus fort ou plus longtemps la température de l'eau augmente. Il va donc falloir observer attentivement de l'eau qui chauffe.

De quoi a-t-on besoin pour une observation et une caractérisation efficaces de l'ébullition ? Il faut mesurer la température de l'eau à intervalles réguliers. Pour pouvoir comparer ce qui se passe quand on chauffe plus ou moins fort et plus ou moins longtemps, il faut partir de la même quantité d'eau dans chaque casserole et s'assurer que les températures initiales de l'eau, de la casserole et de la plaque sont les mêmes.

On peut séparer la classe en trois groupes et réaliser trois expériences différentes : on observe ce qui se passe quand la puissance de la plaque varie, quand il y a plus d'eau dans la casserole, quand on chauffe plus longtemps. Demandez aux élèves s'ils pensent que l'on observerait la même chose avec de l'eau sortant du robinet et de l'eau déjà bouillie. *Peut-on facilement vérifier ?* (Il suffira que le troisième groupe emploie l'eau préalablement bouillie par le premier, après qu'elle aura refroidi).

De l'eau versée dans une casserole chaude chauffera plus vite que si elle l'est dans une casserole froide. Pour ramener les casseroles à la même température au début des deux expériences, on prépare une bassine remplie d'eau du robinet dans laquelle on les plongera. L'eau utilisée par le troisième groupe sera refroidie de la même façon si besoin. Idéalement, on renouvellera à chaque fois l'eau de la bassine. Une assiette ou un couvercle permettra de recueillir l'eau de condensation éventuelle. Les plaques seront préchauffées (premier groupe) pour partir de températures de plaque similaires pour toutes les observations.

Descriptif



Pour le dictionnaire, *Bouillir* : produire des bulles qui crèvent au fur et à mesure, en parlant d'un liquide soumis à la chaleur ou à la fermentation. Il existe d'autres sens dérivés (la viande bouillie, bouillir de colère...)



Liquide, gaz : une même substance ? L'ébullition

Chaque groupe construit son protocole et présente à la classe, pour validation, un tableau spécifiant ce qui change et ne change pas dans son expérience.

Premier groupe	Casserole 1	Casserole 2
Puissance de la plaque	Niveau 3	Niveau 6
Volume d'eau	200 ml eau du robinet	<i>idem</i>
Température initiale de l'eau	Température de l'eau du robinet	<i>idem</i>
Température initiale de la plaque	Préchauffée 5 minutes niveau 3	<i>idem</i>
Température initiale de la casserole	Température de l'eau du robinet	<i>idem</i>
Durée de chauffe	15 minutes	<i>idem</i>
Relevé de température toutes les :	2 minutes	<i>idem</i>

Exemple de tableau récapitulatif des paramètres employés (pour le groupe où seule la puissance de la plaque varie)

Pendant qu'un groupe fait ses observations, les autres sont en autonomie (prévoir 40 min de travail). Chaque groupe va observer ce qui se passe lorsque l'on chauffe de l'eau, prendre un relevé des températures (tableau de mesures) et noter ses observations (bulles, etc.).



L'enseignant reste auprès des plaques électriques. Il faut chauffer suffisamment longtemps pour observer que la température d'ébullition est stable (palier de température). Faire lire la température par tous les élèves. Mettre une assiette sèche et froide (refroidie éventuellement à l'aide d'un glaçon) au dessus de la casserole et observer.



Ce que l'on voit sortir de la casserole, c'est du nuage. Cela *ne peut pas être de la vapeur*, puisque la vapeur d'eau ne se voit pas.



La quantité d'eau laissée par le premier groupe peut avoir significativement baissé (mais ce n'est pas toujours repérable). Le troisième groupe devra alors corriger sur son protocole le volume d'eau utilisé, après l'avoir mesuré.

Liquide, gaz : une même substance ?

L'ébullition

E-06

Résultats attendus :

Les deux premiers groupes observeront des bulles à 40° C, puis des bulles plus grosses à 70/80° C environ (cela commence à s'agiter). Vers 100° C, des bulles ne cessent d'éclater à la surface, on dit que l'eau "bout" et la température reste presque constante.

Le troisième groupe n'observe pas de bulles avant 70/80 degrés, ses autres observations sont similaires. La confrontation des mesures des trois groupes permet de conclure que la température de l'eau se stabilise aux alentours de 100° C dans toutes les casseroles.

Pour le premier groupe, la température de l'eau de la casserole 2 augmente plus vite que celle de la casserole 1. Pour le deuxième groupe, c'est la température de l'eau de la casserole 1 qui augmente le plus vite. Pour le troisième groupe, la température augmente de façon similaire dans les deux casseroles : un temps plus long de chauffage conduit à une diminution plus prononcée du niveau de l'eau dans la casserole.



Avec des CM2, tracer les courbes d'évolution de la température en fonction du temps. Tous les élèves d'un même groupe qui ont tracé la courbe pour une même casserole d'eau doivent obtenir des courbes très proches. À peu de choses près, la courbe d'évolution de la température de la casserole 1 doit être identique pour tous les groupes : « rien ne change » ou presque. Si l'on a procédé de la même façon, on doit obtenir la même chose.



On trace à main levée une courbe qui passe par les points. Relier les points à la règle conduit à des ruptures de pente injustifiées. Vous pouvez indiquer aux élèves qu'en réalisant de très nombreuses mesures, on constaterait que la courbe est lisse.

2/ Peut-on augmenter autant qu'on le souhaite la température de l'eau qui chauffe ?

La comparaison des différents tableaux de mesures ou des graphes permet de constater que, quel que soit le volume d'eau, la puissance ou la durée de chauffe, la température de l'eau reste stable aux alentours de 100° C. On parle d'un palier de changement d'état.

Plus on chauffe fort, moins il faut de temps pour atteindre cette température. Plus il y a d'eau, plus il faut chauffer longtemps pour atteindre cette température.



La température de l'eau liquide ne dépasse jamais celle de l'ébullition (de même que la température de la glace ne dépasse jamais la température de fusion ; ce n'est que lorsqu'elle a entièrement fondu que la température de l'eau peut recommencer à augmenter.)

Liquide, gaz : une même substance ? L'ébullition



En altitude, du fait de la plus basse pression atmosphérique, la température d'ébullition de l'eau est plus faible. Les alpinistes se déplacent donc rarement sans une cocotte-minute, dans laquelle cette température est au contraire d'environ 110°C. Leur utilité domestique est liée au fait que la plupart des aliments cuisent plus vite lorsque la température de cuisson est plus importante.

Quand des bulles se forment de façon régulière et que la température ne varie plus et reste aux alentours de 100°C, on dit que l'eau liquide contenue dans la casserole bout, elle se change alors en vapeur d'eau : c'est **l'ébullition**. Au cours de l'ébullition, on fournit de la chaleur mais la température reste constante.



C'est contre-intuitif pour les élèves pour lesquels, quand on chauffe, la température augmente. En fait, quand on fournit de la chaleur à un corps, on peut augmenter sa température (c'est ce qu'il se passe au début, la température de l'eau liquide augmente) ou le faire changer d'état à température constante (c'est le cas de l'eau qui bout). Les élèves ont déjà rencontré cette difficulté à propos de la fusion de la glace (E-04).

3/De quoi sont faites les bulles qui apparaissent toujours aux alentours de 80°C et continuent à éclater quand l'eau bout ?

Dans toutes les expériences, on observe un nuage au dessus de la casserole dès que l'eau se met à chauffer (à 40/50 degrés, l'évaporation est conséquente et génère les premières volutes observables). Il est nettement plus visible vers 70/80 degrés quand de grosses bulles commencent à éclater à la surface. Si l'on place un couvercle ou une assiette au-dessus de la casserole, on constate que de l'eau se dépose : il y a condensation. D'où provient cette eau ? Des bulles éclatent à la surface, que l'on ne voit plus ensuite. On récupère en revanche de l'eau liquide sur le couvercle. Et si les bulles contenaient de l'eau sous forme de vapeur ? Y a-t-il un moyen de s'en assurer ? Le groupe 3 a récupéré moins de 200 ml d'eau du groupe 1 et après les 20 minutes de chauffe, il en reste encore moins dans la casserole. Quand l'eau bout, le niveau de l'eau dans la casserole diminue, des bulles s'échappent de la casserole, de l'eau liquide se dépose sur un couvercle. Les bulles qui éclatent lors de l'ébullition sont sans doute des bulles pleines d'eau, des bulles de vapeur d'eau.

Reste un problème à régler : le groupe 3 est le seul à ne pas avoir vu de bulles à 40°C. Il est probable que ses observations vont être mises en cause. Comment vérifier ? On peut refroidir de nouveau cette eau bouillie et refaire en classe entière l'expérience. Pour la deuxième fois, à 40°C, avec l'eau bouillie, on n'observe pas de bulles au fond de la casserole. Le niveau de l'eau a lui visiblement baissé.

Il semble donc qu'il y ait deux sortes de bulles. Celles qui s'échappent de l'eau du robinet à 40°C ne sont pas des bulles de vapeur d'eau puisqu'on ne les observe ni la deuxième ni la troisième fois que l'on chauffe l'eau (et il reste de

Liquide, gaz : une même substance ? L'ébullition

E-06

l'eau dans la casserole). On peut supposer que l'eau du robinet contient quelque chose qui apparaît sous forme de bulles vers 40° C. Une fois ce « quelque chose » parti sous forme de bulles, il n'y en a plus dans l'eau. Quand on la chauffe à nouveau, il faut attendre de faire des bulles d'eau pour voir des bulles.

4/Que contiennent les première bulles à apparaître quand on chauffe de l'eau du robinet ?

Il est possible de poser la question autrement : que peut contenir l'eau du robinet susceptible de faire des bulles ? Les élèves sont souvent convaincus que c'est de l'air : ce sont les bulles qu'ils connaissent le mieux. Ils peuvent également penser que ce sont les mêmes bulles que dans les boissons gazeuses. Comment savoir ?

On peut lire l'étiquette d'une bouteille d'eau gazeuse : il y a effectivement un gaz dissous dans les eaux pétillantes, c'est du dioxyde de carbone. Pour savoir si l'eau du robinet contient de l'air ou du dioxyde de carbone, il faudrait analyser les bulles mais nous ne pouvons pas le faire. Certains indices peuvent tout de même nous mettre sur la voie. Il arrive que des poissons meurent asphyxiés parce l'eau n'est pas assez aérée. Dans les aquariums, on met des bulleurs qui permettent d'aérer l'eau. On peut alors penser que les bulles que l'on voit à 40° C contiennent de l'air dissous dans l'eau.

Que se passe-t-il si l'on remet de l'air dans l'eau bouillie et que l'on chauffe ?

Si l'air est bien responsable de bulles à 40° C, on devrait les voir apparaître de nouveau. Comment remettre de l'air dans l'eau ? Il suffit "d'aérer" l'eau en la secouant violemment dans une bouteille à moitié vide (ou plutôt à moitié pleine d'air !) ou d'utiliser un bulleur d'aquarium.

En chauffant cette eau "aérée" on voit effectivement de nouveau des bulles apparaître vers 40° C.

Les bulles qui apparaissent aux alentours de 40° C peuvent donc être des bulles d'air (des ouvrages confirment cette hypothèse).



La sublimation du camphre

Placer un petit morceau de camphre dans une casserole (ou mieux : un bécher transparent TMPyrex) et chauffer.

Quand celui-ci devient liquide, retirer la casserole de la plaque. Ce liquide se solidifie très rapidement mais au-dessus de la casserole on continue à voir de la fumée, formée de particules solides en suspension dans l'air. Elle se dépose sur les parois du récipient. La fumée se forme alors à partir du solide au fond de la casserole.

Il y a un changement d'état du solide vers sa vapeur (vapeur de camphre, sublimation) puis retour au solide (condensation solide).



Le camphre et l'eau donnent des vapeurs invisibles : ce n'est pas le cas de tous les composés (la vapeur de d'iode dont les solutions servent à désinfecter les plaies est violette par exemple).

€-06

Liquide, gaz : une même substance ? L'ébullition

Proposition d'animation

- Que se passe-t-il quand je chauffe de l'eau ?
(faire observer et dessiner ce qui se passe, réaliser un tableau de mesures, constater la présence d'un palier)
- Que devient l'eau de la casserole ?
- Que se passe-t-il si je chauffe plus fort ?
- Que se passe-t-il si je chauffe plus longtemps ?

L'air, ce n'est pas rien !

E-07

Objectif général :

Prendre conscience que l'air n'est pas le vide, mais une forme de matière. Il est partout autour de nous, il occupe de la place. Pour faire entrer de l'air dans un récipient plein d'eau, il faut d'abord enlever celle-ci, et réciproquement.



Matériel



Par groupe : 1 aquarium ; 1 verre bas (ou petit pot) ; 1 paille coudée ; 30 cm de tube transparent (e.g. celui utilisé par les aquariophiles) ; 2 bouteilles d'eau vides ; 1 grosse seringue ; 3 sacs de congélation en plastique petit format ; 1 élastique ; du papier essuie-tout.

Pour l'enseignant : prévoir des éponges ; 1 cutter ; des vrilles.

Budget



Aquarium : 10 € (peut-être remplacé par des bassines transparentes) ; seringue : 3 € ; tube transparent : 2 € les 2 mètres.

Préparation : 15 minutes



Remplissage des aquariums et découpe des bouteilles (nécessite un cutter).

Conditions spécifiques



La préparation doit inclure la réalisation personnelle par l'enseignant de toutes les expériences, faciles mais dont les résultats sont parfois peu intuitifs.

Lien avec le programme :
l'air et les pollutions de l'air



Cycles 2 & 3



4 à 6 heures



Séquence E-08

Des voitures
à air comprimé

Difficultés travaillées :

L'air est une matière invisible, la plupart du temps peu perceptible par nos sens (à l'exception des « courants d'air »).

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
<p>Y a-t-il quelque chose dans le sac ? Peut-on concevoir une expérience qui nous permette de le savoir ? Peut-on faire des bulles ?</p>	S'approprier un problème.	<i>Travail collectif et en groupe</i>
<p>Comment maintenir sec un mouchoir dans un verre immergé sous l'eau ?</p>	Par essais/erreurs, réaliser qu'il suffit de plonger le verre verticalement sous l'eau. Il n'est pas nécessaire de fermer le verre avec la main, d'aller vite, de poser le verre au fond de l'aquarium : quelque chose empêche l'eau de rentrer, c'est de l'air.	<i>Dessins individuels puis travail en groupe et mise en commun</i>
<p>Que se passe-t-il si j'emprisonne un bouchon dans un verre que j'enfonce sous l'eau ? Où va se trouver le bouchon ?</p>	Prévoir la position du bouchon en réinvestissant ses connaissances (« l'air occupe de l'espace »). Vérifier expérimentalement et formuler la réponse.	<i>idem</i>
<p>Comment faire pour déplacer le bouchon dans le verre ?</p>	Prendre conscience du fait que, pour faire monter l'eau dans le verre, il faut enlever de l'air (visible sous la forme de bulles) ; et que pour faire descendre le bouchon, il faut en rajouter.	<i>idem</i>
<p>Comment faire flotter le bouchon en dessous (ou au-dessus) du niveau de l'eau dans l'aquarium en utilisant une demi-bouteille coupée ?</p>	Prévoir avant d'expérimenter en utilisant du matériel différent et en réinvestissant ses connaissances. Formuler la réponse.	<i>idem</i>

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que se passe-t-il quand j'enfonce une demi-bouteille surmontée d'un sac étanche dans l'eau ?	Prévoir, vérifier en expérimentant et interpréter. L'air occupe l'espace disponible et gonfle le sac.	<i>idem</i>
Que devient un bouchon flottant à la surface lors de l'expérience précédente ?	Prévoir, vérifier en expérimentant et interpréter.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand je perce une bouteille fermée remplie d'eau ?	Prévoir, vérifier en expérimentant et interpréter. Réinvestir ses connaissances : pour que de l'eau s'écoule, il faut que de l'air rentre.	<i>idem</i>

Fonctionnement général : par défis.



Lors du travail sur l'air, ce sont les défis lancés par le maître qui motivent la recherche et suscitent l'émulation entre les groupes. Veiller toutefois à ce que ce fonctionnement ne conduise pas à autre chose qu'une compétition amicale.



Pour les premières manipulations, distribuer le matériel après avoir fait dessiner les élèves, et uniquement le matériel nécessaire.

Il s'agira toujours de prévoir et d'essayer de justifier ses intuitions avant de faire les expériences. Ici, un travail écrit (ou avec des dessins pour les cycle 2) est fondamental. C'est lui qui permettra d'identifier les conceptions à l'œuvre afin de mieux les dépasser, puis de faire prendre conscience aux élèves de l'écart entre ce qu'ils pensaient « avant » et ce qu'ils ont compris.

La formulation des réponses présente une réelle difficulté pour les élèves. Nous proposons donc des exemples de formulations recevables.



Toute la recherche peut être réalisée sans utiliser le mot *pression*, terme technique dont nous déconseillons l'utilisation à ce stade. Des expressions du type « l'air pousse sur l'eau » sont également à éviter.

Descriptif

1/Y a-t-il quelque chose dans le sac ?

Les sacs de congélation sont initialement plats (peu d'air à l'intérieur). Penser à les ouvrir avant de les présenter aux élèves.

Cette question permet de faire émerger deux idées mutuellement exclusives : soit il n'y a rien, soit il y a *quelque chose*. Comme il serait difficile de démontrer l'absence d'une matière invisible et intangible, on convient de tester plutôt l'idée que le sac contient quelque chose.

Les élèves ne manquent pas d'idées. Il est possible de fermer hermétiquement le sac et d'appuyer dessus : il résiste à l'écrasement (sensation similaire à la résistance d'un sac plein d'eau). Lorsqu'on le fait éclater, un courant d'air se produit : quelque chose en sort violemment. Si on le perce pour le vider plus lentement, le courant d'air produit peut éteindre une bougie ou déplacer de petits bouts de papier, faire des bulles en l'immergeant...

Le sac contient donc quelque chose qui peut s'en échapper. Ce « quelque chose », on l'appellera de *l'air*.



Faire des bulles avec un sac en plastique fermé est loin d'être évident pour les plus jeunes. Si le sac est maintenu fermé à la main, il faut le remplir d'air puis en plonger l'ouverture dans l'eau avant d'appuyer dessus : cela demande une certaine coordination. On peut plus simplement plonger un sac fermé dans l'eau, le percer avec une vrille et observer la sortie des bulles : elles remontent *verticalement*. Il faudra être vigilant sur les dessins après avoir observé le phénomène.



On peut remplacer le sac par une bouteille en plastique vide. En plus de ce qui précède, on peut alors marcher sur la bouteille fermée, puis ouverte ; ou encore aspirer l'air qu'elle contient à l'aide d'un aspirateur pour la voir s'écraser.

2/ Comment maintenir sec un mouchoir dans un verre immergé sous l'eau ?

On tasse un mouchoir en papier au fond d'un verre. *Comment faire pour qu'il reste sec lorsqu'on immerge complètement le verre sous l'eau ?*

Les élèves, souvent convaincus que c'est impossible, imaginent d'abord toutes sortes d'échappatoires : vider l'aquarium, mettre le pot retourné au fond de l'aquarium et verser l'eau ensuite ; fermer le pot avec la main (ou un carton) et le poser au fond ; plonger le pot le plus rapidement possible au fond ; ou encore longer les parois de l'aquarium et se dépêcher d'aller au fond.

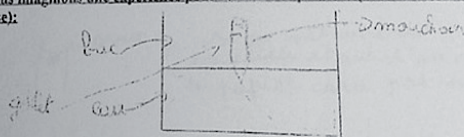


Une des conceptions fréquemment à l'œuvre est qu'il n'y a rien dans le pot et que, si l'on va assez vite au fond de l'aquarium, l'eau n'aura pas le temps d'y entrer.

EXPERIENCE :

Problème posé, défi : *Trouver une solution pour plonger un mouchoir de papier sous la surface de l'eau et le ressortir sans qu'il soit mouillé.*

1) Nous imaginons une expérience pour résoudre ce problème (avec un dessin et au moins une phrase):

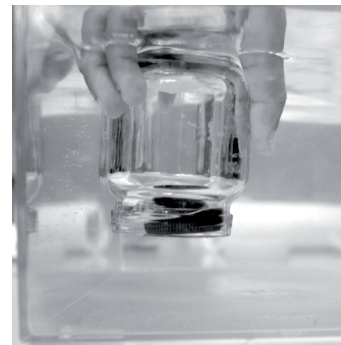


On met le goblet très vite dans le bac l'eau rentre mais n'attend pas le mouchoir

Matériel : bac, de l'eau, mouchoir, goblet

Dans la plupart des cas, les élèves parviennent à garder le mouchoir sec. La mise en commun des solutions trouvées révèle souvent qu'ils ne font pas le lien entre cette observation et la présence d'air dans le pot, même s'ils ont vu des bulles s'échapper au cours de leurs essais. Il s'agit alors de les perturber : *Que se passe-t-il si je vais doucement ? Si je ne vais pas jusqu'au fond et que j'attends ? Si je ne ferme pas le pot ?* Le mouchoir reste sec, du moins tant que le pot reste vertical. La formulation de réponse se fait en deux temps : pour garder le mouchoir au sec, il faut plonger le pot *verticalement* dans l'eau et le ressortir de la même façon (= ce que nous avons fait). Le mouchoir reste sec car il y a dans le pot de l'air qui occupe l'espace et empêche l'eau de rentrer (= notre interprétation).

3/ Que se passe-t-il si je pose un bouchon sur l'eau, que je l'emprisonne dans un verre, puis que j'enfonce celui-ci sous l'eau ?



Un bouchon perturbant



Même si l'air est compressible, la variation de volume est ici à peine détectable.

Cela ne serait plus le cas si l'on faisait l'expérience au fond d'une piscine, sous trois mètres d'eau.

Avec les plus âgés on peut montrer la compressibilité de l'air dans une seringue (on peut aussi détendre l'air en tirant sur le piston) : en cela l'air ne se comporte pas comme l'eau (on peut tirer ou pousser le piston, il ne se passe rien, elle est incompressible à notre niveau).

À quel niveau le bouchon va-t-il se trouver ?



Il arrive très souvent que les élèves ne dessinent pas le niveau de l'eau dans le pot, représentant le bouchon « en lévitation ». Certains n'ont pas pensé à le tracer, d'autres évitent la difficulté ou ne savent pas : le leur demander permet de réagir de façon adaptée à chaque situation.

Beaucoup dessinent le bouchon en haut du pot plutôt qu'au niveau du bord inférieur. Ils sont toujours sous l'effet de la même conception erronée, très robuste : puisqu'il n'y a rien dans le pot, l'eau va y entrer et le remplir ; le bouchon suit alors le niveau de l'eau.

L'échange entre les différents groupes avant l'expérience permet de faire émerger une autre idée : il y a de l'air dans le pot ; celui-ci empêchera l'eau d'y monter. L'expérience permet de trancher : l'eau ne rentre pas dans le pot, le bouchon flotte à sa surface, au niveau du bord inférieur du pot (= *ce que nous avons vu*). Il y a de l'air dans le pot qui occupe l'espace dans le pot et empêche l'eau de rentrer (= *notre interprétation*).



Il faut se mettre d'accord avec les enfants sur l'utilisation du verbe « flotter ». *Un objet flotte s'il reste à la surface d'un liquide*, où que se situe celle-ci. C'est le cas du bouchon même lorsqu'il se trouve en dessous du niveau de l'eau dans le reste de l'aquarium !

4/ Comment faire pour déplacer le bouchon dans le verre ?

Déplacer le niveau de flottaison du bouchon dans le pot renforce l'idée de l'existence d'un air invisible. Utiliser le concept de l'air/matière qui occupe de l'espace permet en effet d'anticiper les mouvements du bouchon. On augmente (resp. diminue) la quantité d'air enfermée dans le pot pour faire descendre (resp. monter) le niveau de flottaison.



Le tour est joué !

Une seringue peut être utile, mais on peut se contenter d'aspirer à la bouche par un tube. On peut aussi diminuer la quantité d'air en penchant le pot pour libérer des bulles ou encore, si l'on utilise un verre en plastique, le percer sur le haut et voir des bulles s'en échapper verticalement. Certains élèves ne manqueront pas de noter que l'air s'échappe vers le haut et que c'était donc le fond du pot qui l'empêchait de s'échapper.

Pour déplacer le bouchon, on fait varier la quantité d'air présente dans le pot. Quand on en enlève, le niveau de l'eau monte dans le pot et le bouchon suit. Quand on en ajoute c'est l'inverse.



Que se passe-t-il si je fais rentrer de l'eau dans le pot avec la seringue ? Il arrive que des élèves fassent spontanément cette expérience lorsqu'ils cherchent à faire monter le bouchon. Cette question suscite généralement des intuitions contradictoires. De fait, le bouchon ne monte pas : de l'eau rentre, mais elle ressort immédiatement. L'air présent dans le pot semble bien être l'obstacle à la montée du niveau de l'eau dans le pot.

5/ Comment faire flotter le bouchon en dessous (ou au-dessus) du niveau de l'eau dans l'aquarium en utilisant une demi-bouteille coupée ?



On substitue au pot une bouteille coupée fermée mais débouchable. Tout peut se faire avec le pot utilisé précédemment cependant la bouteille offre davantage d'options : on peut la boucher et déboucher, l'air peut rentrer ou s'échapper directement par le haut. Ce changement de matériel permet par ailleurs de constater que ce qui était valable avec un petit pot l'est aussi avec un autre récipient : la méthode présente une certaine robustesse.

Pour élever le bouchon au-dessus du niveau de l'eau dans l'aquarium, la reprise du raisonnement précédent amène à enlever de l'air dans la bouteille. Celui-ci est alors remplacé par de l'eau, le niveau d'eau monte dans la bouteille et le bouchon avec. Une autre possibilité, parmi beaucoup d'autres, consiste à simplement soulever la bouteille : on n'ajoute pas d'air dans la bouteille, le volume occupé par celui-ci reste donc identique (ou presque). Le bouchon suit le niveau de l'eau dans la bouteille et monte avec elle. Pour le faire redescendre, on peut déboucher la bouteille.

6/ Que se passe-t-il quand j'enfonce une demi-bouteille surmontée d'un sac étanche dans l'eau ?

Dans ce cas particulier, l'air de la bouteille peut s'échapper dans le sac qui tend alors à se gonfler. Le bouchon reste flottant à la surface, au même niveau que l'eau dans le reste de l'aquarium puisque l'air a de la place dans le sac.



Comment vérifier que de l'air entre ou sort ?

On peut s'entraîner à sentir les mouvements de l'air avec une paille ou, si l'on fait un petit trou à l'aide d'une vrille, mettre de l'eau savonneuse au niveau du trou et observer la bulle de savon qui se forme.



Que se passe-t-il si j'enfonce la bouteille coupée dans l'eau ouverte ? Le bouchon flottant reste au niveau de l'eau dans l'aquarium et de l'air sort par le col de la bouteille (on sent un courant d'air).



Que se passe-t-il si le sac est déjà gonflé, ou trop petit ? L'air de la bouteille occupe déjà tout l'espace à sa disposition, c'est-à-dire aussi celui du sac et le bouchon se retrouve sous le niveau de l'eau de l'aquarium.



Cette expérience est à rapprocher de phénomènes du quotidien : il faut casser les deux extrémités d'une ampoule buvable pour que le liquide s'écoule ; il faut enlever la languette pour que le TMFlambi tombe ; on peut déplacer du liquide avec une paille si l'on en bouche une extrémité ; lorsqu'on vide une brique de liquide, cela « glougloute » car de l'air rentre en même temps que le liquide sort ; lorsqu'on aspire avec une paille le liquide de certaines briquettes de jus de fruit, elles s'écrasent et au bout d'un moment on ne peut plus aspirer de liquide : il faut alors laisser de l'air rentrer avant de reprendre l'aspiration...



Ne pas utiliser un ballon de baudruche (extensible, donc plus compliqué). Le bouchon pourrait alors se retrouver sous le niveau de l'eau dans l'aquarium : il y a de la place dans le ballon, mais l'air doit « pousser fort » pour le déformer ; l'interprétation du phénomène nécessite de prendre en compte l'existence d'états différents de l'air (pression).

7/Que se passe-t-il quand je perce le bas d'une bouteille fermée remplie d'eau ?

La discussion devrait tourner autour de la possibilité ou non de faire rentrer de l'air par le trou. Les élèves peuvent prévoir que si l'air ne rentre pas, il ne se passera rien. Mais cette expérience est contre-intuitive ! Même avec un trou relativement grand, l'eau ne coulera pas (aucune difficulté avec un trou de 2 mm percé à l'aide d'une vrille —voire du diamètre d'un crayon en s'y prenant bien). *Comment faire couler l'eau ?* Lorsqu'on appuie sur la bouteille, de l'eau s'écoule ; en la relâchant, on observe des bulles d'air qui rentrent : l'air occupe l'espace qui est devenu disponible quand on a relâché la bouteille. Il suffit sinon d'ouvrir la bouteille ou de faire un trou au-dessus du niveau de l'eau, là où l'air peut rentrer dans la bouteille: l'air prend la place de l'eau, qui s'écoule.

Pour aller plus loin :

Documents de La Map sur l'air (rédigé par Jean-Michel Rolando) :
<http://www.lamap.fr/>

Chemin : Accueil > Documentation > Pédagogique > Comment faire > L'air

Proposition d'animation

L'ensemble des étapes, dans l'ordre, éventuellement scindées en de nombreux ateliers.

Prévoir des schémas à compléter et aller aussi loin que les élèves visiteurs peuvent aller en prenant le temps nécessaire pour s'assurer oralement de leur compréhension des phénomènes.

Des voitures à air comprimé

E-08

Objectif général :

Construire une voiture qui roule et avance droit ; découvrir qu'expulser de l'air permet de la faire avancer ; identifier des paramètres influant sur la distance parcourue.



Matériel



Par groupe ou binôme : 4 bouchons en plastique de bouteilles d'eau minérale ou de lait ; clou et marteau ou vrille (pour percer les bouchons) ; 2 pailles ; 2 pics à brochette ; 2 ballons de baudruche ; du carton ; des bouteilles ; des barquettes en polystyrène ou des boîtes allongées pour le corps de la voiture (boîte de papier aluminium par exemple) ; de la colle ; du TMScotch ; une sarbacane ou un morceau de 3 cm de long du corps d'un feutre usagé scié ; ficelle.

Pour l'enseignant : une petite voiture visible par toute la classe (sans mécanisme particulier pour la faire avancer) ; TMPatafix ; ballon de baudruche ; scie ; un appareil photo numérique.

Budget



100 pailles : 2,50 € ; 50 pics à brochette en bois : 2 € ; 50 ballons : 3 € ; colle liquide : 3 € ; vrilles : 4 € ; 50 sarbacanes (cotillons) : 6 € (facultatif) ; fil de fer : 2 €.

Préparation : 10 minutes



Vérifier que la petite voiture peut rouler avec un ballon fixé sur son toit. Lettre pour solliciter les parents (matériel de récupération : bouchons, corps de la voiture...).

Conditions spécifiques



Pour le test des véhicules, prévoir un espace dégagé, lisse et plat : un couloir peut faire l'affaire.

Lien avec le programme :
objets mécaniques,
transmission de
mouvement



Cycles 2 & 3



6 heures



Séquence E-07

L'air, ce n'est pas rien !

Difficultés travaillées :

Mise en rotation des roues, stabilité du véhicule, fixation du ballon.

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment faire avancer le véhicule sans le pousser ?	S'approprier un problème. Utiliser un dispositif permettant de déplacer un objet à l'aide d'un ballon rempli d'air et réaliser le lien entre le sens de déplacement de l'objet et celui de l'air expulsé.	<i>Travail collectif et en groupe</i>
Comment construire un véhicule qui roule ?	Planifier la construction d'un véhicule et anticiper les différentes étapes à l'aide de dessins. Réaliser un prototype.	<i>Travail en groupe et confrontation des dessins</i>
Comment modifier le véhicule pour qu'il roule droit ?	Tester les prototypes et identifier les dysfonctionnements. Proposer des solutions et les mettre en œuvre.	<i>idem</i>
Quelles modifications apporter pour que le véhicule soit propulsé par le ballon ?	Adapter le ballon sur le véhicule et modifier celui-ci pour éviter les frottements sur le sol, l'envol du véhicule.	<i>idem</i>
Que peut-on faire varier pour que le véhicule aille le plus loin possible ?	Identifier des paramètres susceptibles de modifier la distance parcourue par le véhicule et les tester un à un.	<i>idem</i>
Comment construire un véhicule à propulsion à air qui aille le plus loin possible ?	Concevoir un nouveau prototype, le construire, le tester et réaliser une fiche de fabrication.	<i>idem</i>

Descriptif *1/ Comment faire rouler le véhicule sans le pousser ?*

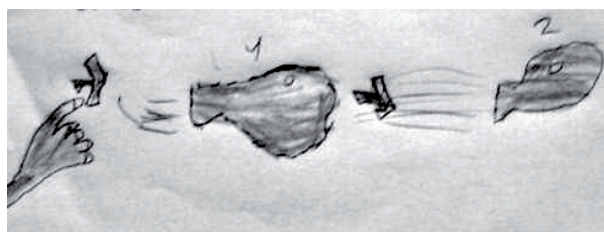
Après avoir montré une petite voiture, demandez aux élèves d'expliquer comment on pourrait faire pour qu'elle roule sans qu'on la pousse. Laissez quelques minutes à chaque groupe pour lister ses idées sur une feuille avant de

Des voitures à air comprimé

E-08

faire un bilan collectif au tableau. Les idées testables sont alors mises à l'épreuve : souffler, percuter la voiture avec un autre objet... La voiture n'est pas autonome. Présentez alors un ballon de baudruche à la classe : *Peut-on l'utiliser pour faire avancer la voiture ?*

Dans le cas où les élèves n'ont pas d'idée, demandez ce qui se passe quand ils gonflent le ballon puis le lâchent : il s'envole en se dégonflant (le vérifier).



Un ballon qui se dégonfle ;
des flèches précisent le sens
du déplacement

Peut-on utiliser ce phénomène pour faire rouler la voiture ? Le plus souvent, les élèves proposent de fixer le ballon gonflé sur la voiture, puis de poser le véhicule au sol et de libérer l'air emprisonné. *Comment vérifier ?* Il suffit d'essayer, les élèves n'attendent que cela. Mais *dans quel sens le véhicule va-t-il partir ?* Laissez quelques minutes à chaque élève pour faire un dessin en indiquant à l'aide d'une flèche la direction du véhicule puis quelques minutes supplémentaires pour permettre la discussion au sein du groupe. Après la mise en commun des idées, une vérification s'impose et à la grande joie des élèves, le véhicule avance.



L'interprétation du phénomène n'est pas simple pour des élèves de cet âge. On se contentera d'observer que lorsque de l'air s'échappe du ballon, le véhicule se déplace.

Il va maintenant s'agir pour les élèves de construire leur propre véhicule à propulsion à air en utilisant uniquement du matériel de récupération. Il est possible de lancer un défi entre les groupes : le vainqueur sera celui dont le véhicule ira *le plus loin*. Mesurer la distance parcourue ne pose aucune difficulté : il suffira de comparer la position des véhicules à l'arrivée, la ligne de départ étant fixée.



Identifier la voiture *la plus rapide* n'est en revanche pas chose simple : comme la vitesse des véhicules variera notablement au cours de la course, vitesses moyenne (distance parcourue/temps mis à parcourir cette distance) et instantanée (nécessaire pour répondre à cette question) ne sont pas confondues ici. À éviter donc.

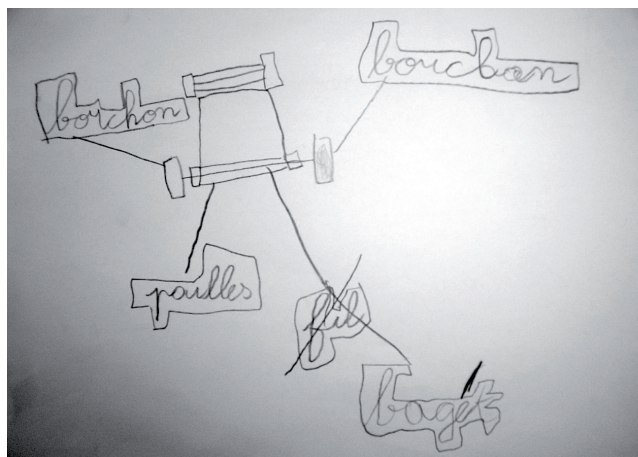
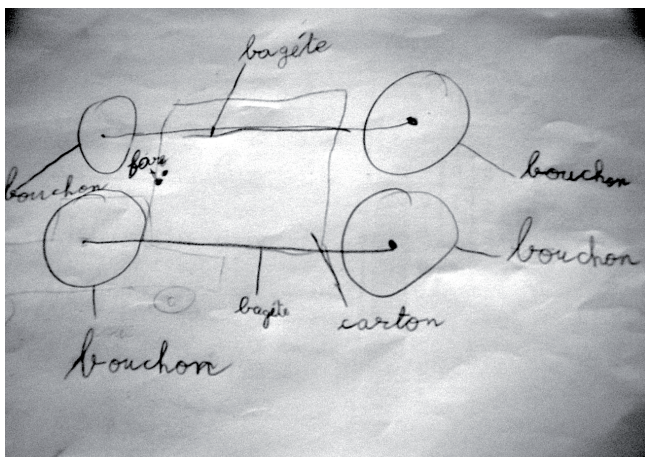
2/ Comment construire un véhicule qui roule ?

Suivant l'âge des élèves et le temps que l'on souhaite consacrer à la construction des voitures, il est possible de fournir à chaque groupe le matériel nécessaire ou de les laisser se procurer du matériel de récupération à leur convenance en ayant pris soin de mettre à disposition de tous, sur une table, des bouchons, des pailles, des pics à brochette, du carton et quelques boîtes.

Même si, dans un premier temps, on se concentre sur la réalisation d'un véhicule capable de rouler, il faut garder en tête qu'il faudra y fixer le ballon. Avant de se lancer dans la construction, les élèves doivent planifier leur travail et proposer un plan de leur véhicule avec le matériel envisagé. Cela fait, ils sont libres (veiller aux consignes de sécurité) de le réaliser. Les premières réalisations sont rarement concluantes. Typiquement, les premiers véhicules ne roulent pas : les enfants ont collé les roues directement sur la boîte/châssis et la voiture ne peut que glisser, les roues n'étant pas mobiles. Demandez aux enfants (ou à un élève rapporteur) de noter les difficultés observées et les modifications proposées.



En complément, n'hésitez pas à faire des photos des différents véhicules réalisés (les élèves omettront de nombreuses modifications) : vous pourrez revenir sur l'évolution des différents véhicules construits.



Une première tentative puis une seconde : des pailles limitent les frottements, c'est pratique !

3/ Comment modifier le véhicule pour qu'il roule droit ?

Les premiers essais amènent les élèves à procéder à des modifications radicales. Une solution fréquente consiste à coller les roues sur un axe/essieu (pic à brochette) et à faire tourner celui-ci dans des trous plus larges réalisés dans le châssis ; une alternative est de fixer solidairement l'axe sur le châssis, les roues tournant librement autour de l'axe.

Les élèves vont alors construire de nouveaux prototypes et être confrontés à d'autres difficultés :

- les trous percés dans les roues peuvent être trop gros (il y a trop de jeu, elles ne sont pas solidaires de l'essieu et ne sont pas entraînées) ;
- les roues peuvent ne pas être verticales (elles ne roulent pas bien) ou ne pas toucher le sol (trous percés à des niveaux différents dans les bouchons ou le châssis) ;
- essieux non parallèles (la voiture ne roule pas droit), fixation des éléments peu solide (la voiture tombe en morceaux) ;
- lorsque les roues sont mobiles autour d'un axe fixé au châssis, les élèves oublient souvent de les bloquer en bout d'axe (elles partent alors pendant que le véhicule roule), ou au contraire les fixent trop près du châssis (elles ne peuvent alors plus tourner à cause des frottements).

Après de nombreux tâtonnements, les élèves parviennent en général à réaliser un véhicule qui roule à peu près droit : le test de chaque véhicule devant la classe et la présentation des choix réalisés permettent d'identifier les stratégies les plus efficaces. Si aucun groupe n'y a pensé, l'enseignant peut présenter son propre prototype où les essieux sont glissés dans des pailles collées au châssis.



Coller des pailles sur le châssis évite d'avoir à le percer. Il est alors plus facile d'avoir deux essieux parallèles et des roues à la même hauteur.

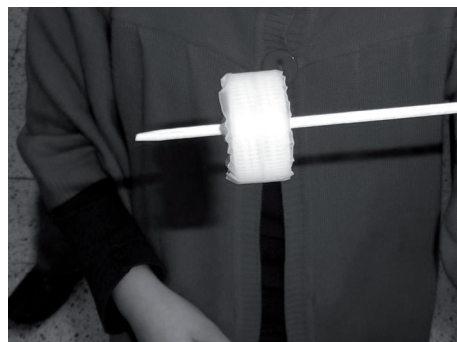
4/ Quelles modifications apporter pour que le véhicule soit propulsé par le ballon ?

Il s'agit maintenant de fixer le ballon sur le véhicule. Bien préciser que le véhicule devant être utilisé pour de nombreux essais, il faut un système qui résiste à l'usage. Aux élèves de dessiner comment ils pensent s'y prendre avant d'essayer. Scotcher le ballon n'est pas très efficace car le ballon se déforme et le TMScotch n'adhère pas très bien. Utiliser de la TMPatafix en quantité raisonnable ne vaut guère mieux.

Ces premiers essais permettent toutefois aux élèves de constater que si le ballon gonflé touche le sol, il frotte et ralentit le véhicule. Il arrive également que la voiture, trop légère, s'envole ! Très rapidement les véhicules sont modifiés : alourdis, rehaussés. Il faut maintenant trouver une solution pour gonfler le ballon sans tout démonter à chaque fois et empêcher ensuite l'air de s'échapper. L'utilisation d'un « chalumeau » pour guider et gonfler le ballon est efficace : une sarbacane, le corps d'un stylo, un morceau de paille scotché au ballon font l'affaire et peuvent se fixer directement sur le châssis.

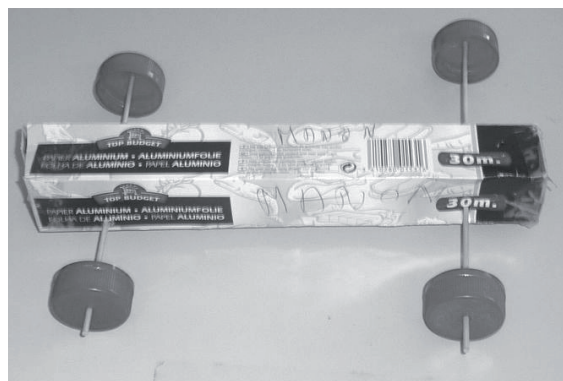
É-08

Des voitures à air comprimé

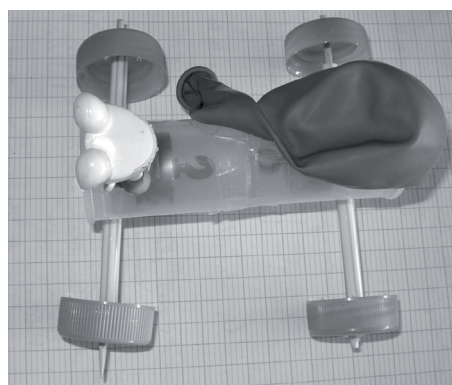


Quelles roues choisir ?

Percer, enfiler, assembler : que d'aventures !



Des systèmes d'attache très variés



Il ne reste plus qu'à essayer les différents prototypes et à comparer les distances parcourues par chacun : pour éviter les rencontres indésirables, il est préférable de ne lancer que deux à trois véhicules à chaque fois.

5/ Que peut-on faire varier pour que le véhicule aille le plus loin possible ?

Un premier bilan permet d'identifier les véhicules les plus performants. Que pourrait-on changer pour que les véhicules aillent encore plus loin ? Parmi les paramètres possibles, les élèves peuvent proposer de modifier la taille des roues, le nombre de ballons, le diamètre du chalumeau, la quantité d'air dans le ballon, sa taille, la masse du véhicule, sa forme, la nature du sol, les matériaux utilisés...

Pour tester ces propositions, il faudrait disposer à chaque fois d'au moins deux véhicules identiques en tout point sauf celui que l'on veut étudier. Ce n'est pas simple, comment s'assurer d'avoir deux véhicules « identiques » ? Un autre choix possible consiste à se mettre d'accord sur une structure commune à tous les véhicules et à répartir entre les groupes les tests de différents paramètres. Chaque groupe modifie alors un paramètre sur un même véhicule et compare les distances parcourues par celui-ci lors des différents essais. Chaque test doit être réalisé par deux groupes au moins, et plusieurs fois par chaque groupe.

Les élèves constatent généralement qu'avec un ballon plus gros ou plus gonflé, le véhicule va plus loin. Ils constatent également qu'alourdir un véhicule le fait aller moins loin ; que le véhicule va plus loin sur un sol lisse que sur un sol rugueux ; en revanche, il est difficile de conclure sur l'influence du diamètre du chalumeau ou sur le nombre de ballons (l'orientation des chalumeaux, difficile à contrôler, est en fait cruciale).



Cela permet d'identifier des erreurs éventuelles, de discuter la pertinence des tests et la difficulté à contrôler les paramètres (quantité d'air dans le ballon, usure du ballon...).

6/ Comment construire un véhicule à propulsion à air qui aille le plus loin possible ?

On peut alors proposer la construction d'un modèle qui tienne compte au mieux des observations réalisées, en cumulant toutes les caractéristiques les plus favorables, et rédiger sa fiche de fabrication (matériel utilisé, outils utilisés, étapes). Même si tous les tests ne sont pas concluants et s'il reste des incertitudes, les élèves ont pris conscience de la difficulté d'identifier et de contrôler des paramètres : c'est un bon début ! On pourrait également se préoccuper du coût et du *design* mais c'est une autre histoire.

Proposition d'animation

Comment construire un véhicule qui roule ?

Présenter le matériel mis à disposition : des petites et grandes roues trouées en leur centre ou en périphérie ; des pics à brochette ; des boîtes (de papier aluminium) pré-percées pour fixer le chalumeau et y glisser les pics à brochette, certaines avec les trous bien disposés et d'autres avec des trous de guingois. Le fil de fer et le chalumeau sont présentés dans un second temps. Fournir un questionnaire à remplir par les élèves visiteurs.

- Quelles roues choisir ?
(cocher parmi les images de roues sur le questionnaire celles souhaitées et la quantité, faire expliciter le choix sans commenter)
- Quel corps de véhicule choisir ? *(idem)*
- Comment vérifier que le véhicule roule ?
(construction des véhicules avec le matériel choisi et modification des choix si besoin)
Roule-t-il droit ? (nouvelle modification si nécessaire)
- Quelles modifications apporter pour que le véhicule soit propulsé par le ballon ?
(montrer le fil de fer, le chalumeau et laisser les visiteurs installer le chalumeau)
- À quel endroit placer le ballon ? Vers où va partir le véhicule ?
(dessiner le ballon sur un schéma à compléter et indiquer par une flèche le déplacement supposé du véhicule)
- Comment vérifier ?
(gonflage et installation du ballon sur le véhicule)
- Comment faire pour que le ballon ne ralentisse pas le véhicule ?
(pour les visiteurs qui ont positionné le ballon vers l'extérieur, ce qui crée des frottements)

Se dissoudre ou pas ?

E-09

Objectif général :

Découvrir que certains solides se dissolvent dans l'eau et d'autres non ; on ne peut pas récupérer un solide dissous par filtration, l'évaporation le permet ; au-delà d'une certaine quantité, un solide ne se dissout plus dans l'eau, il y a saturation ; quand on dissout un solide dans un liquide, la masse du mélange est égale à la somme des masses des constituants.



Lien avec le programme :
mélanges et solutions,
changements d'état de l'eau,
proportionnalité



Cycles 2 & 3



6 à 10 heures suivant
les étapes choisies



Séquences E-05 & E-06

Liquide, gaz, une même
substance ?

Séquence E-11

Chimie des couleurs

Séquence E-10

Comment rendre

l'eau claire ?

Séquence E-15

Découvrons la densité

Matériel



Par atelier : une petite bouteille d'eau minérale ; récipients contenant sable, sucre en poudre et en morceaux, sel fin, semoule, riz, noix de coco en poudre, café en poudre et café soluble, poudre de cacao ; 3 cuillères à café et 1 cuillère à soupe ; 9 petits pots bébé (ou 9 verres) ; une boîte en carton pour stocker le matériel ; une assiette ; passoirs ou grosses boules à thé ou chinois ; filtres à café.

Pour l'enseignant : une balance de Roberval ou de cuisine ; une bouilloire électrique (facultatif) ; une éprouvette graduée ou verre doseur ; permanganate de potassium ou colorant alimentaire en poudre ; une plaque électrique, casserole ou poêle ; une louche (facultatif).

Budget



Produits alimentaires : 7 € ; filtres à café : 3 € les 80 ; sachet de permanganate de potassium : 0,20 € (en pharmacie) ; colorants alimentaires en poudre : 4 € le lot de 4 couleurs ; reste du matériel empruntable.

Préparation : 15 minutes



Pour chaque groupe, verser dans des verres un peu des différents solides et remplir une bouteille d'eau.

Difficultés travaillées :

Ce n'est pas parce qu'on ne voit plus un solide dissous qu'il a disparu ; pour tester un paramètre il ne faut faire varier que ce paramètre et garder tous les autres identiques.

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que se passe-t-il quand je verse un solide dans de l'eau ?	S'approprier un problème. Tester ses idées. Classer les solides suivant leur comportement dans l'eau.	<i>Travail individuel et en binôme puis mise en commun</i>
Comment récupérer les solides ?	Proposer et tester différentes approches. Il y a des solides que l'on ne peut pas récupérer par filtration. Ce sont des solides dissous.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Comment récupérer le sel ou le sucre dissous ?	Proposer et tester ses idées. Il est possible de récupérer les produits dissous en chauffant ou en évaporant la solution.	<i>Travail de réflexion en groupe, mise en commun puis expérimentation en groupe et collective</i>
Que se passe-t-il quand je verse des solides colorés dans l'eau ?	Certains solides colorés sont solubles dans l'eau, d'autres le sont partiellement. Selon que l'on mélange ou non avec la cuillère et qu'on laisse la solution reposer ou non, la solution n'a pas la même allure.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Comment ranger trois solutions de la plus salée à la moins salée sans les goûter ?	Réinvestir les connaissances acquises. Proposer différents protocoles et les tester.	<i>idem</i>
Peut-on dissoudre autant de solide qu'on le souhaite dans un petit pot d'eau ?	Découvrir le phénomène de saturation. Constater la faible variation de volume des différentes solutions. Introduire la notion de concentration (facultatif).	<i>idem</i>

Se dissoudre ou pas ?

E-09

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que dire de la quantité de solide que l'on peut dissoudre si l'on utilise moitié moins d'eau ?	Concevoir un protocole expérimental. Expérimenter et comparer des résultats.	<i>Travail de réflexion en groupe, mise en commun puis expérimentation par binôme</i>
Quelle est la masse d'un mélange contenant 100 g d'eau et 20 g de sel ?	Prévoir le résultat d'une mesure en justifiant. Expérimenter et constater la conservation de la masse.	<i>Travail individuel puis expérimentation par groupe ou collective</i>
Comment expliquer que l'évaporation permet de récupérer un solide dissous ? (difficile)	Associer l'évaporation à une diminution du volume de liquide et à une conservation de la quantité de solide dans le récipient. En conclure que lorsque la concentration augmente, on atteint la saturation de la solution.	<i>Travail de réflexion collectif</i>
Comment savoir si de l'eau contient un produit dissous ?	Réinvestir ses connaissances.	<i>Travail individuel, en groupe et mise en commun</i>
Comment ajouter du sucre à une solution déjà saturée ?	La saturation d'un liquide en solide dissous dépend de la température.	<i>Expérience collective</i>

Descriptif

Nous avons découpé le déroulement en quatre parties distinctes. La séquence peut s'arrêter au terme de chacune, sans perte de cohérence. Son déroulement anticipe en revanche les réactions des élèves au comportement spécifique des produits proposés. En choisir d'autres peut les amener à partir rapidement dans des directions très différentes.

1/ Que se passe-t-il quand je verse un solide dans de l'eau ?

Présentez sel fin, sucre en poudre, semoule, riz, sable, et noix de coco en poudre. *Que se passe-t-il quand on les verse dans de l'eau ?* Les élèves remplissent un tableau comportant trois colonnes : solide utilisé | ce que je pense qu'il va se passer | ce que j'observe (dessins ou/et phrases). Chaque binôme (ou chaque groupe) réalise ensuite les différents mélanges.



Certains sels contiennent de l'anti-agglomérant qui rend difficile la dissolution. Choisir du sel bon marché.



Il est possible que certains versent différents solides dans un même pot, « pour voir ». Ces mélanges exotiques peuvent aussi être exploités. Du sable (ou n'importe quel corps non soluble) restera aussi visible dans l'eau salée que dans l'eau pure. On décidera pour la suite de ne mettre qu'un produit à la fois dans l'eau.



Décidez avec les élèves de la quantité (modérée) de solide qu'ils verseront dans chaque pot. Certains peuvent néanmoins verser une quantité importante de sucre ou de sel dans l'eau et saturer la solution. Le sel ou le sucre reste alors visible. *Comment ont-ils fait ?* De façon souvent peu précise, ils expliquent avoir versé beaucoup de solide. La quantité de solide semble avoir une influence sur l'aspect du mélange, il faut donc la noter sur le cahier. La classe peut alors choisir de travailler sur la saturation avant d'envisager de récupérer les solides contenus dans les pots.

La mise en commun permet d'établir que certains produits ont gardé le même aspect alors que d'autres ont « disparu ». On ne les voit plus. C'est l'occasion de demander aux élèves comment ils ont procédé. Ils n'ont souvent rien noté (ce n'était pas demandé). L'observation des pots montre qu'ils n'ont pas toujours employé le même volume d'eau. Cela peut-il changer quelque chose ? Comme on ne peut pas savoir *a priori*, on décide d'indiquer les quantités d'eau et de solide utilisées dans les prochaines expériences.

Comment classer les solides dans ces conditions ? Il y aura une colonne des produits qui disparaissent et une autre pour ceux qui restent visibles (avec éventuellement une colonne supplémentaire pour ceux dont le comportement dépend des quantités utilisées).

Se dissoudre ou pas ?

E-09

Dans les mélanges limpides, *le sel et le sucre sont-ils toujours présents ?* Cette question suscite le débat. Pour beaucoup, ils sont là mais on ne les voit plus. Une première possibilité pour s'en assurer est de goûter. Les élèves proposent souvent cette solution et en concluent que le sel ou le sucre est toujours bien présent.



Elle ne convainc pourtant pas toujours certains jeunes élèves pour lesquels ces produits peuvent ne plus être là et avoir néanmoins « *laissé leur goût* » à l'eau. Il est alors possible de travailler directement le questionnement proposé au § 8 ci-dessous. La masse du mélange étant la somme de celles de l'eau et du sucre ou du sel versé, l'augmentation de masse est un indice de leur présence. L'accumulation d'observations convergentes leur permet d'accepter progressivement la présence de produits invisibles dans l'eau.



On prévoit
et on vérifie

2/ Comment récupérer les solides ?

Les élèves proposent souvent spontanément d'utiliser des filtres à café, des cuillères ou des passoirs.

Une présentation du matériel disponible stimule l'imagination de ceux qui seraient à court d'idées. La mise en commun des suggestions avant la manipulation conduit souvent certains groupes à modifier leur dispositif.



Même si c'est très rare, il arrive que des élèves pensent à évaporer ou à chauffer l'eau pour récupérer le sel ou le sucre. Cette dernière expérience sera alors réalisée sous votre contrôle (cf. infra, § 3).

La mise en commun des résultats obtenus montre que la filtration n'est efficace que pour les solides dont l'aspect avait été peu modifié par le mélange. On ne récupère ainsi ni sel, ni sucre. On dit des produits que l'on ne peut



Quand on dissout un solide coloré, la solution obtenue l'est en général aussi : ce n'est pas l'invisibilité d'un produit mais l'incapacité à le récupérer à l'aide d'un filtre qui détermine s'il est soluble ou non.

récupérer par filtration qu'ils se sont *dissous* dans l'eau. Le sel et le sucre sont des composés *solubles dans l'eau*.



Lorsqu'un solide se dissout dans de l'eau, on parle de *solution*. Celle-ci contient autre chose que de l'eau : c'est l'occasion de rappeler quelques consignes de sécurité sur le stockage des mélanges.



Pour les élèves qui ont déjà résolu le problème, une nouvelle question surgit : comment s'assurer que l'on récupère bien *la totalité* du sel versé ?

3/ Comment récupérer le sel ou le sucre dissous ?

Les élèves cherchent dans un premier temps un dispositif par petits groupes. La mise en commun des idées permet de constater la diversité des réponses : ayant constaté, à la plage, qu'ils étaient salés en sortant de l'eau, certains pensent qu'il faut « sécher », d'autres qu'il faut chauffer, d'autres encore qu'il faut mettre l'eau salée (sucrée) au soleil, près d'un ventilateur ou d'un sèche-cheveux...



« L'eau sèche » est une expression à reformuler : l'eau « part » ou, mieux, « s'évapore ».



Pour les élèves qui n'ont jamais travaillé sur les changements d'état de l'eau (E-05), c'est l'occasion d'une première approche de l'évaporation.



Une cuillère rase (c'est-à-dire remplie à ras bord, mais pas au-delà ; on peut s'en assurer en passant le doigt sur le dessus pour éliminer le surplus) permet de s'assurer que tous les élèves utilisent bien la même quantité de solide.

Les groupes se répartissent les différents essais à mener en utilisant les mêmes mélanges de départ, par exemple une cuillère à soupe rase de sel ou de sucre et 100 ml d'eau (mesurés à l'aide d'un verre doseur, de l'éprouvette ou d'une marque réalisée par l'enseignant sur les pots).

3.1. Évaporation

Proposez aux élèves qui testent les mélanges d'eau salée ou sucrée placés au soleil, sous un sèche-cheveux ou près d'un ventilateur de les verser dans une assiette pour plus de commodité. Ils sont souvent déçus de ne rien voir après quelques minutes. Expliquez alors qu'il est possible que cela prenne plus de temps qu'ils ne l'imaginaient.

On se limitera donc à l'observation des assiettes placées au Soleil. En quelques jours, des cristaux de sel (resp. de sucre) apparaissent au fond (resp. à la surface). Le solide dissous *crystallise* ou *précipite*. Si une marque a été faite sur l'assiette, les élèves observent une baisse du niveau d'eau.



Le sucre met souvent plus de temps que le sel à précipiter. Si l'on veut récupérer la totalité du sucre à l'état solide, il est nécessaire de casser régulièrement la croûte qui se forme.

3.2. Chauffage sous votre contrôle

Les groupes qui chauffent de l'eau salée voient rapidement un solide apparaître au fond de la casserole ou de la poêle utilisée. Il a un goût salé et on peut raisonnablement en conclure que c'est du sel.

Pour ceux qui chauffent de l'eau sucrée, il se passe quelque chose d'inattendu. Si l'on chauffe fortement, on obtient du caramel, identifiable à son odeur (mais brûlant : on pourra le goûter *une fois qu'il aura bien refroidi*) : la lecture de livres de cuisine confirme que pour fabriquer du caramel il faut chauffer du sucre dissous dans de l'eau. Ce n'est donc pas une façon pratique de récupérer le sucre. Avec un peu de soin, on peut toutefois chauffer doucement de l'eau sucrée et, une fois le mélange épaissi (sirop épais), arrêter de chauffer et laisser le reste de l'eau s'évaporer.



Conserver le sel et le sucre obtenus pour pesée ultérieure.

Lors du bilan collectif, les élèves constatent qu'évaporer ou chauffer le liquide permet de récupérer le solide dissous. La diminution du volume d'eau accompagne le dépôt de sel ou de sucre.

A-t-on récupéré *tout* le solide que l'on avait dissous ? On peut essayer de remettre le sel dans la cuillère pour comparer au volume initial mais ce n'est pas toujours facile avec les cristaux obtenus. Le mieux est de comparer *la masse* obtenue à la masse initiale. Elle est très voisine de celle du sel ou du sucre que l'on avait dissoute.



Si la pesée initiale n'a pas été effectuée, pesez une cuillère rase de sel et comparez. On peut aussi refaire rapidement l'expérience.

4/ Que se passe-t-il quand je verse des solides colorés dans l'eau ?

Les élèves connaissent-ils des solides capables de colorer l'eau ? Cacao et café sont les grands gagnants.

Présentez-leur alors poudre de cacao, café en poudre et soluble, permanganate de potassium, colorant alimentaire. Que se passe-t-il quand on les verse dans l'eau ? Un produit suscite des questions : si on parle de *café soluble*, c'est qu'il y en a aussi qui ne l'est pas. Les colorants alimentaires en poudre et le permanganate



Les élèves observent parfois la poudre de café qui surnage et constatent qu'en « touillant » vigoureusement, on facilite le mélange. Il est possible qu'ils évoquent aussi la chaleur pour faciliter la dissolution d'un produit. Ces deux manières d'accélérer la dissolution peuvent être l'objet d'une expérimentation.

intriguent les élèves qui n'en ont jamais manipulé. Il faut donc essayer, après s'être mis d'accord sur un protocole. Il suffit pour cela de réinvestir ce qui a été fait précédemment : verser une petite quantité des différents solides dans un même volume d'eau, mélanger puis filtrer et/ou évaporer.



N'utilisez que quelques cristaux de permanganate : c'est suffisant pour colorer l'eau d'un violet profond. Il tache les doigts et les vêtements en jaune (sans danger, mais il ne faut pas l'ingérer).

La mise en commun des expériences permet de vérifier que le café soluble et le permanganate sont entièrement solubles (aucun dépôt ou presque sur le filtre) et que les autres produits le sont partiellement (dépôt de poudre sur le filtre et solution qui reste colorée).



Certaines marques proposent maintenant une poudre de cacao entièrement soluble.

5/ Comment classer trois solutions de la plus salée à la moins salée sans les goûter ?

Présentez aux élèves trois bouteilles contenant des solutions plus ou moins salées. Les étiquettes se sont égarées, vous ne savez plus les identifier. *Comment faire sans les goûter ?*

Laissez les élèves concevoir leurs protocoles sur affiche. Chauffer ou évaporer une même quantité des trois liquides et peser le sel qui reste sont les procédures habituellement proposées. La mise en commun des affiches permet d'identifier et de rectifier certaines erreurs. Certains groupes omettent d'indiquer qu'ils utilisent le même volume d'eau.

Que pensent les élèves de ces protocoles ? Qu'est-ce que leurs camarades ne font pas changer ? Qu'est-ce qu'ils font changer ? Les élèves parviennent rapidement à la conclusion qu'il faut utiliser un même volume d'eau pour pouvoir comparer les masses de sel obtenues. Vous pouvez aussi laisser les groupes passer directement au classement et profiter de la mise en commun des résultats pour exploiter les contradictions. Une nouvelle expérimentation est alors nécessaire pour trancher.



Les élèves peuvent également penser à peser un même volume des différentes solutions et à les comparer. Cette approche est recevable ici car quand on ajoute du sel dans un volume d'eau donné, le volume de mélange est peu différent du volume initial.

6/Peut-on dissoudre autant de solide qu'on le souhaite dans un petit pot d'eau ?

Les intuitions sont contradictoires. Une explication en termes de place disponible dans l'eau apparaît souvent : au bout d'un moment, le sel (le sucre) n'aura « plus assez de place » dans l'eau, et il ne pourra plus se dissoudre.



Certains élèves ont entendu parler des molécules. La saturation est effectivement liée aux interactions entre molécules mais c'est compliqué. Il leur faudra patienter et grandir un peu pour avoir une explication qui tienne la route.

Proposez dans un premier temps aux élèves d'essayer. Une partie de la classe utilisera du sel et l'autre du sucre. Comment procéder ? Les groupes proposent souvent deux protocoles :

- ajouter progressivement le solide dans une même quantité d'eau ;
- ou verser des quantités de solide différentes dans des récipients, y ajouter une même quantité d'eau, mélanger et observer ce qu'il se passe.



Une troisième possibilité, rarement proposée, consiste à rajouter progressivement de l'eau sur une quantité donnée de solide.

Les différents protocoles présentés et validés par la classe peuvent amener des résultats proches. Expliquez que vous souhaitez en comparer les résultats. *Comment s'y prendre pour comparer les résultats des différents groupes ?* Pour cela, on décide de ne faire varier qu'un paramètre, la quantité de solide versée, en fixant un même volume d'eau pour tous les groupes. Chacun organise ensuite son tableau de mesures puis note ses observations suivant les quantités de solide ajoutées (mesurées en cuillères à café rases par exemple).

La mise en commun des résultats permet de conclure : il y a bien un volume maximum de solide que l'on peut dissoudre dans un volume d'eau donné. Lorsque l'on ne peut plus dissoudre un produit dans un liquide, on dit que le mélange (la solution) est saturé. Les résultats des différents groupes permettent de trouver un encadrement du volume de sel nécessaire (en unité cuillère à café) pour atteindre la saturation. Pour le sucre, les résultats sont souvent moins tranchés, l'encadrement sera plus large (il est très difficile d'atteindre la saturation en sucre ; pour cette raison les résultats varient souvent d'un groupe à l'autre).

Les livres indiquent des valeurs en grammes de produit dissous dans un volume de solution. Comment comparer nos résultats à ces références ? Il suffit de peser une cuillère à café de chaque solide, pour convertir en grammes.



Pour 100 ml d'eau à température ambiante, la saturation est typiquement atteinte pour environ 35 g de sel et 67 g de sucre. La solubilité, définie en gramme par litre le plus souvent, dépend de la température.



Comment obtenir une meilleure estimation de la masse d'une cuillère rase d'un solide ? On peut verser plusieurs cuillères rases et diviser ensuite la masse totale mesurée par le nombre de cuillères versées.

Pour aller plus loin :

Le volume total de mélange varie peu dans des pots contenant une quantité croissante de sel/sucre et reste proche du volume d'eau utilisé. Plus il y en a dans un même volume, plus le mélange est dit *concentré*. Les élèves savent bien que plus ils mettent de sirop dans un même volume d'eau, plus la boisson est « forte ». On concentre plus ou moins le lait des biberons en variant la quantité de poudre versée dans un même volume d'eau. Inversement, pour une quantité donnée de sirop (ou d'eau salée, etc.), plus on verse d'eau, moins le mélange est « fort » : on dit qu'on le *dilue*.

7/ Quelle quantité de solide peut-on dissoudre si l'on utilise moitié moins d'eau ?

Les élèves répondent souvent que l'on peut dissoudre moitié moins de solide. Comment vérifier ? Ils utilisent le même protocole que précédemment ou limitent leurs essais aux quantités proches de celles qu'ils estiment nécessaires pour avoir la saturation. La mise en commun des résultats permet de conclure que dans un volume moitié plus petit d'eau, il faut en effet moitié moins de solide pour atteindre la saturation.

8/ Quelle est la masse d'un mélange contenant 100 g d'eau et 20 g de sel ?

Chaque élève répond individuellement à cette question, puis les groupes conçoivent et réalisent leurs expériences.

À quel volume correspondent 100 g d'eau ? C'est l'occasion de faire remarquer aux élèves que 1 ml d'eau pèse exactement 1 g. La pesée des différents constituants puis du mélange permet de conclure : 20 g de sel mélangés à 100 g d'eau pèsent 120 g.

Peut-on généraliser ? Il suffit que chaque groupe réalise d'autres mélanges pour vérifier que la masse du mélange reste égale à la somme des masses des différents constituants (avant évaporation du moins).

9/ Comment expliquer que l'évaporation permet de récupérer un solide dissous ?

Une discussion collective permet d'identifier ce qui change et ce qui ne change pas au cours de l'évaporation. On a vu qu'après évaporation, on avait la même masse de sel qu'au départ. La masse de sel ne change donc pas. En revanche le



La correspondance des unités n'est pas fortuite. Le litre était autrefois défini comme le volume occupé par un kilogramme d'eau pure à son maximum de densité.

Se dissoudre ou pas ?

E-09

volume d'eau diminue. On a toujours la même quantité de sel dans un volume d'eau de plus en plus petit.

On sait qu'il faut moitié moins de sel pour obtenir une solution saturée dans un volume moitié moindre d'eau. Au cours de l'évaporation, il y a un moment où, dans le mélange, on dépasse la masse de sel que le volume d'eau peut accepter sans qu'il y ait saturation. *Que devient l'excédent de sel ?* Il précipite, redevient solide, se dépose sur les parois et forme des cristaux. Au fur et à mesure que l'eau s'évapore, on concentre la solution en sel, jusqu'au moment où l'on atteint la saturation : du sel solide se redépose alors. C'est le principe de fonctionnement des marais salants.

10/ Comment savoir si de l'eau contient un produit dissous ?

Chaque élève écrit son protocole dans son cahier d'expériences. Par groupe, les élèves listent ensuite les propositions validées sur une affiche. La mise en commun permet de comparer les solutions trouvées. On peut évaporer ou chauffer le liquide et observer si un dépôt se forme ; peser un volume donné de liquide et comparer à un volume d'eau dont on sait qu'elle ne contient pas de produits dissous, etc. Différentes eaux minérales, de pluie, du robinet, de l'eau déminéralisée peuvent être alors testées. Il est très difficile de comparer les masses, la quantité de sels dissous étant très faible (c'est l'occasion de lire les étiquettes des bouteilles). Les dépôts sont en revanche faciles à observer. Quelques gouttes de chaque échantillon d'eau déposées sur une pochette transparente propre et évaporées permettent une observation rapide.



Cette procédure ne permet d'identifier que des produits à relativement forte concentration. Elle ne suffit pas à garantir qu'une eau est « pure » : elle peut être contaminée par des produits dangereux à l'état de « traces ».

11/ Comment ajouter du sucre à une solution déjà saturée ?

Après avoir réalisé une solution saturée en sucre à température ambiante, l'expérimentation collective permet de constater que l'on peut continuer à dissoudre du sucre en chauffant l'eau initialement saturée.



Utiliser un bain marie pour éviter de faire du caramel !

Si l'on veut dissoudre une grande quantité de sucre dans un volume d'eau donné, il est préférable d'utiliser de l'eau chaude. La quantité de solide nécessaire pour saturer un volume d'eau dépend de sa température.



On ne dissout pas toujours plus de solide à chaud ; certains solides sont plus solubles à froid.



Que se passe-t-il quand on laisse refroidir l'eau ? L'excédent de sucre dissous recristallise, mais cela prend du temps. Vous pouvez remplacer le sucre par du nitrate de sodium ou de potassium (à acheter en droguerie ou en pharmacie) qui, une fois la solution saturée à chaud, recristallise très rapidement en faisant de splendides cristaux (chauffer au bain marie !).

Propositions d'animations**Première animation :**

- Que se passe-t-il quand je verse un solide dans de l'eau ?
(fournir des schémas à compléter, prévoir et vérifier en essayant)
- Comment récupérer les solides ?
(se contenter de constater qu'il y a des produits que l'on récupère avec le filtre et d'autres non, on dit qu'ils sont dissous)
- Que se passe-t-il quand je verse des solides colorés dans l'eau ?
(prévoir et vérifier, identifier les produits solubles dans l'eau)
- [- Comment fabriquer une boule à neige ? cf. séquence M-14]

Deuxième animation :

- Que se passe-t-il quand je verse un peu de sel ou de sucre dans de l'eau ? *(fournir des schémas à compléter, prévoir et vérifier en essayant)*
- Peut-on les récupérer avec un filtre à café ?
(donner la définition d'un produit dissous)
- Peut-on dissoudre autant de sucre ou de sel qu'on le souhaite dans un petit pot d'eau ? *(fournir un tableau à compléter)*
- Que dire de la quantité de solide que l'on peut dissoudre si l'on utilise moitié moins d'eau ?

Troisième animation :

- Quelle est la masse d'un mélange contenant 100 g d'eau et 20 g de sel ? d'un mélange contenant 100 g d'eau et 30 g de sel ?
(faire réaliser les mélanges et constater la faible variation de volume éventuellement)
- Comment classer trois solutions de la plus salée à la moins salée sans les goûter ?
(faire dessiner et expliquer la procédure avant d'essayer)

Comment rendre l'eau claire ?

E-10

Objectif général :

Découvrir qu'il existe des filtres avec des trous de différentes tailles ; choisir le filtre adapté à un mélange donné ; découvrir que la filtration ne suffit pas à rendre l'eau claire ; les substances dissoutes ne se retrouvent pas dans l'eau qui se condense après évaporation ou ébullition (cycle 3) ; concevoir un dispositif pour piéger l'eau qui se condense.



Matériel



Par groupe : une petite bouteille d'eau minérale ; récipients contenant de la terre, de l'herbe, des cailloux ; 1 cuillère à soupe ; un entonnoir (ou haut de bouteille coupée) ; 10 petits récipients (bols ou verres), bas de bouteilles coupées ; passoirs ou grosses boules à thé ; filtres à café ; coton ; sable ; un rouleau de papier essuie-tout ; une bassine ; du liquide vaisselle ; un peu d'huile ; 1 éponge.

Pour l'enseignant : colorant alimentaire ou encre.

Cycle 3 : une plaque électrique, une casserole et couvercle transparent de préférence ; un sèche cheveux ; une assiette ; un petit pot bébé ; un saladier transparent plus haut que le pot bébé ; film alimentaire transparent ; un gros caillou ; charbon actif (*facultatif*)

Budget



Filtres à café : 3 € les 80 ; sachet de permanganate de potassium : 0,20 € (en pharmacie) ; colorants alimentaires en poudre : 4 € le lot de 4 couleurs.

Préparation : 5 minutes (cycle 2) ou 10 minutes (cycle 3)



Voir précisions page suivantes.

Conditions spécifiques



Prévoir de quoi protéger les tables et de l'eau chaude pour nettoyer le matériel, l'huile étant particulièrement tenace sur les passoirs.

Lien avec le programme :
mélanges et solutions,
changements d'état de l'eau



Cycles 2 & 3



4 à 6 heures



Pour le cycle 3 :

Séquences E-05 & E-06

*Liquide, gaz, deux états
d'une même matière ?*

Séquence E-09

Se dissout ou pas ?

Séquence E-11

Chimie des couleurs

Difficultés travaillées :

Il faut choisir un filtre dont les trous sont adaptés à la taille des solides à retenir. Avec des trous trop gros, le solide passe ; avec des trous trop fins, le filtre peut se boucher. Pour séparer de l'eau un solide dissous, on peut l'évaporer et récupérer l'eau qui se condense (cycle 3).

Comment rendre l'eau claire ?

Préparation

Préparer autant de bouteilles que de groupes.

Pour le cycle 2 :

Mettre dans une bouteille un peu d'huile, de terre, de cailloux, d'herbe et mélanger.

Pour le cycle 3 :

Colorer également l'eau avec du colorant alimentaire (ou de l'encre). Faire cette préparation juste avant l'expérimentation pour éviter la formation de mauvaises odeurs.

Fabrication d'un épurateur d'eau :

Verser un peu d'eau colorée au fond du saladier transparent. Poser un petit pot vide et sec au centre du saladier. Couvrir le saladier d'un film transparent. Poser un objet suffisamment lourd au centre du film pour creuser la surface (la pointe du cône produit doit se trouver au-dessus du petit pot).

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Qu'y a-t-il dans la bouteille ?	Identifier quelques constituants d'un mélange et formuler un questionnement.	<i>Travail individuel, par groupe puis mise en commun</i>
Comment enlever les cailloux et la terre ?	Proposer et tester différentes approches. Associer la taille des trous d'un filtre à la taille des particules qui peuvent passer au travers.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Comment enlever l'huile ?	Proposer et tester différentes approches.	<i>idem</i>
Peut-on rendre l'eau encore plus claire (cycle 2) ? Comment enlever la couleur de l'eau (cycle 3) ?	Proposer et tester différentes approches. Il y a des matières que l'on ne peut pas récupérer avec nos filtres.	<i>idem</i>

Comment rendre l'eau claire ?

É-10

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment fonctionne une station d'épuration ?	Réinvestir les connaissances acquises.	<i>idem</i>
Comment rendre douce de l'eau de mer ?	<i>idem</i>	<i>idem</i>

Nous conseillons de ne mettre de colorant alimentaire dans l'eau qu'avec les élèves de cycle 3. Le traitement de l'eau ainsi salie nécessite en effet un travail sur l'évaporation hors programme du cycle 2.

Descriptif

I/Qu'y a-t-il dans la bouteille ?

Présentez la bouteille réalisée par vos soins aux élèves : qu'y a-t-il à l'intérieur ? Distribuez une bouteille par groupe et proposez à chaque élève de dessiner et d'écrire sur un quart de feuille A4 ce qu'il pense que la bouteille contient. Demandez à chaque groupe de coller les différents papiers sur une affiche, en écrivant en titre la question posée.

La mise en commun permet de faire le point sur les constituants du mélange. Il est également possible de réaliser de nouvelles bouteilles d'eau sale avec les élèves : ils adorent ce genre d'activité.

Que peut-on faire de cette eau ? S'il n'y avait pas d'huile, elle pourrait éventuellement servir à l'arrosage des plantes mais, là, elle n'est vraiment pas ragoûtante.

Peut-on la rendre claire ? Voilà une idée qui plaît aux élèves ! Que peut-on essayer d'enlever en premier ? Les cailloux et la terre ont souvent leur préférence, ils savent comment procéder. Nous proposons donc d'opérer en deux (ou trois) étapes : les gros morceaux d'abord ; ensuite l'huile, puis la « couleur » de l'eau.



L'expression « nettoyer l'eau » inciterait les élèves à utiliser du savon. C'est la raison pour laquelle nous parlerons plutôt de « rendre l'eau claire ».

2/ Comment récupérer les cailloux et la terre en suspension ?

Dans un premier temps les élèves dessinent et écrivent sur un quart de feuille A4 comment ils envisagent de procéder. Ils collent ensuite sur l'affiche toutes les propositions du groupe et discutent les différents modes opératoires. Du matériel disposé négligemment sur une table peut faciliter leur travail, mais cela est rarement nécessaire. Les élèves pensent souvent à la passoire et à la cuillère, parfois au filtre à café et au savon (ou au liquide vaisselle). Certains constatent que le contenu de la bouteille a décanté pendant qu'ils dessinaient. Les plus astucieux (c'est rare) peuvent alors proposer de percer la bouteille juste au dessus du niveau du dépôt, pour récupérer l'eau qui coule dans un autre récipient et de reboucher la bouteille dès que l'huile arrive au niveau du trou. La mise en commun des affiches permet de constater la diversité des méthodes envisagées.



Avant l'expérimentation, il peut être utile de répartir le mélange de départ dans plusieurs récipients pour tester l'ensemble des méthodes, ou d'en refaire. Prévoir quelques récipients supplémentaires (bas de bouteille coupée).

Avant de laisser les élèves tester leur méthode, demandez-leur comment vérifier qu'elle est efficace. Les élèves oublient souvent de conserver un peu du mélange de départ pour pouvoir comparer l'eau « traitée » à l'eau « sale » de départ. Lors des manipulations, ils seront tentés de réutiliser une eau mal nettoyée par un procédé pour en tester un autre. C'est possible, à condition d'en garder un peu pour comparaison.

La passoire ou le(s) tamis ne permettent pas de séparer l'huile du mélange ; elle en élimine par contre les plus gros objets et les herbes flottantes. Le liquide vaisselle et le savon n'enlèvent rien mais changent l'aspect de l'huile et font de la mousse. L'utilisation du filtre à café donne des résultats assez mitigés : il arrive bien souvent qu'il se perce ou se bouche. L'huile passe au travers du filtre. Les élèves écrivent en dessous de chacune des méthodes proposées les résultats obtenus.



L'huile s'écoule assez lentement pour que, si les enfants sont rapides, le filtre puisse néanmoins permettre une séparation partielle du mélange.

Enlever les cailloux à la cuillère est assez long mais efficace. On peut aussi enlever l'huile ainsi. Le perçage de la bouteille est une méthode élégante : si on rebouche bien le trou, il n'y a rien à nettoyer !



Il faut enlever le bouchon pour que l'eau s'écoule ! (cf. E-07)



Le savon est un tensioactif : en mélangeant de l'huile, de l'eau et du savon, on forme une émulsion (gouttelettes d'huile en suspension dans l'eau) et de la mousse (air emprisonné dans des films de savon).

Comment rendre l'eau claire ?

E-10



Pas trop vite !
Je dessine le
dispositif !

Une bassine,
c'est pratique
pour ne pas en
mettre partout.



La mise en commun permet de faire le bilan des différentes approches. La passoire laisse passer l'huile mais retient tout ce qui est plus gros que les trous. Le filtre à café retient plus de choses, mais pas forcément l'huile.

A-t-il des trous comme la passoire ? En regardant à travers une lumière suffisamment intense, on constate en effet la présence de tout petits trous. La cuillère permet de récupérer les matières qui flottent, y compris l'huile. Le liquide vaisselle modifie l'aspect de l'huile mais ne l'enlève pas. Percer un trou est efficace et rapide mais abîme la bouteille.

L'eau n'est toujours pas claire : elle est même franchement trouble (voire colorée).



Le diamètre des trous est une caractéristique importante d'un filtre ou d'un tamis. Les biologistes séparent les différents constituants d'une terre en utilisant des tamis de plus en plus fins.

3/ Comment récupérer l'huile qui reste ?

Comme précédemment, les groupes soumettent leurs propositions avant d'expérimenter. Ils parviennent rapidement à éliminer l'huile du mélange, le plus souvent en la récupérant à l'aide de la cuillère. Vous pouvez montrer ensuite, si aucun élève n'y a pensé, la technique du trou dans la bouteille : ils apprécieront.

4/ Peut-on rendre l'eau encore plus claire ?

Lors de la discussion collective, les élèves émettent souvent l'idée que, pour retenir les petites particules, il faut des trous plus petits encore. Si le filtre à café n'a pas encore été utilisé, qu'en pensent-ils ? A-t-il des trous ? Peut-on trouver un filtre qui aurait des trous encore plus petits ? Vous pouvez également proposer

Comment rendre l'eau claire ?

aux élèves d'employer du coton. En l'effilochant, les élèves observent que les fibres sont très enchevêtrées : les petites particules peuvent rester coincées entre ces fibres et l'on peut considérer le coton comme un filtre. Il est également possible d'utiliser du sable posé sur un filtre ou des cailloux pour l'empêcher de s'échapper.



Comment s'assurer que la filtration a un effet sur la clarté de l'eau ? Il faut pour cela conserver un peu d'eau non filtrée avec le coton ou les filtres à café pour pouvoir comparer sa limpidité avant et après filtration.

Chaque groupe procède alors à sa façon et on compare les différents résultats obtenus. L'eau est beaucoup moins trouble mais il reste encore des particules en suspension (et sa couleur reste celle du colorant éventuel, malgré l'utilisation d'une grande quantité de filtres ou de coton).

Les élèves proposent souvent de superposer plusieurs filtres à café, de mettre plus de coton ou de filtrer plusieurs fois. Si on parvient bien à rendre l'eau un peu plus claire, il faut vite se rendre à l'évidence : il reste des particules en suspension.



L'utilisation de filtres superposés avec des trous de plus en plus petits peut être proposée au cours de la mise en commun : on évite ainsi de boucher les filtres et on gagne du temps.

Superposer des filtres ou filtrer plusieurs fois avec des filtres identiques ne permet pas d'enlever les particules indésirables (ou la couleur verte), la taille des trous restant globalement la même (il serait en principe possible de réduire la taille du maillage en croisant judicieusement deux filtres, mais pas avec le matériel disponible ici).

Comment faire pour rendre malgré tout l'eau plus claire ?

Vous pouvez alors utiliser du charbon actif : celui-ci n'agit pas comme le filtre mais retient de nombreuses particules à sa surface, couverte d'une multitude de petites aspérités. L'eau est beaucoup plus claire. Peut-on la boire pour autant ? Certes non : des choses dangereuses pour l'homme (microbes, pesticides, métaux lourds) peuvent être trop petites pour qu'on les voie ! Une eau peut être à la fois claire et empoisonnée.

Comment enlever la couleur de l'eau ? (cycle 3)

Après avoir superposé plusieurs filtres à café, mis plus de coton ou filtré plusieurs fois, les élèves constatent l'échec de la filtration. Comment faire ?

1^{er} cas : Les élèves ont déjà travaillé sur la dissolution et les changements d'état de l'eau.

Une fois acquise l'idée que la couleur provient d'un solide dissous, il s'agit de réinvestir ce qu'ils connaissent déjà dans un autre contexte.

Pour cela on peut laisser un peu d'eau colorée s'évaporer « par inadvertance » sur le bord d'une assiette et observer le dépôt coloré. Ils ont alors quelques idées, à tout le moins, pour récupérer « la couleur » : il faut évaporer ou chauffer l'eau. Il s'agit maintenant de trouver une solution pour récupérer l'eau aussi.

Certains élèves pensent qu'en chauffant, on pourra récupérer l'eau sur un couvercle. De quelle couleur sera-t-elle ? Les idées fusent. Certains élèves se souviennent que lorsqu'on avait chauffé de l'eau salée (E-09), la totalité du sel dissous était resté dans la casserole. Ils sont convaincus que ce sera pareil avec l'eau colorée et que l'eau sur le couvercle sera incolore. D'autres n'en sont pas sûrs. Il faut vérifier.



On peut considérer que les élèves capables de ces raisonnements ont assimilé le travail réalisé précédemment. Il s'agit ici d'une séance d'évaluation formative.

L'enseignant réalise l'expérience et fait observer le couvercle aux élèves à tour de rôle. De l'essuie-tout blanc passé sur le couvercle confirme l'absence de couleur (attention aux projections si vous chauffez trop fort). Pendant ce temps, les autres dessinent et relatent l'expérience sur leur cahier d'expérience, puis réfléchissent à un dispositif sans chauffage.

Peut-on récupérer l'eau par évaporation ?

Les élèves proposent souvent de fermer le récipient dans lequel l'eau s'évapore. Mais, dans cette géométrie, l'eau qui se condense retombe dans le récipient. Il faudrait la guider vers un autre endroit. On peut imaginer toutes sortes de dispositifs pour guider l'eau de condensation.

Vous pouvez les laisser essayer si le temps le permet, ou leur présenter votre « épurateur ». Les élèves devraient alors être capables d'expliquer son fonctionnement.

Un saladier contient un peu d'eau colorée. Lorsqu'elle s'évapore elle est piégée par le film transparent qui le recouvre. L'inclinaison du film dirige les gouttelettes vers le petit pot et permet de les récupérer. Il suffit ensuite d'attendre et d'observer la couleur de l'eau dans le pot (en utilisant l'eau colorée précédemment chauffée, le processus d'évaporation est accéléré).

2° cas : Les élèves découvrent la dissolution et les changements d'état de l'eau.

Laissez un peu d'eau verte dans des assiettes sur lesquelles sont posés les mélanges des élèves et attendez qu'elle se soit évaporée pour continuer le travail. Faites alors observer le dépôt aux élèves : ils conçoivent assez facilement que la « couleur » de l'eau est restée sur l'assiette. L'eau est « partie », s'est évaporée. Comment rendre l'eau claire dans ces conditions ? Il faut récupérer l'eau qui s'évapore. Les idées ne manquent pas. Les élèves adoptent alors souvent une nouvelle stratégie : chauffer. La suite du déroulement est identique.



Les stations qui rendent l'eau potable mettent en œuvre des procédés supplémentaires pour s'assurer que l'eau produite respecte un certain nombre de normes fixées par les États et l'Union Européenne.

5/ Comment fonctionne une station d'épuration ?

De nombreux documents sont disponibles tant dans des ouvrages que sur Internet pour faire le lien entre ce que les élèves ont fait de façon artisanale et les procédés utilisés dans les stations d'épuration (parfois visitables). Pour le traitement de l'eau, les stations incluent des étapes supplémentaires comme la floculation (qui rassemble de nombreuses petites particules en suspension pour en faire un flocon plus gros et facile à récupérer) et le traitement biologique, qui élimine de nombreux polluants dissous (les procédés par évaporation et chauffage sont trop coûteux pour traiter les eaux usées d'une ville). Compte tenu du nombre de stations d'épuration disponibles, il est utile de ne pas trop salir d'eau. On pourrait aussi construire plus de stations !

6/ Comment rendre douce de l'eau de mer ?

Il s'agit d'une évaluation formative : demandez tout d'abord à chaque élève de dessiner et d'écrire comment il pense s'y prendre pour obtenir de l'eau douce à partir d'eau salée. Les discussions et l'expérimentation des différents groupes permettent ensuite d'asseoir les connaissances et savoir-faire nouvellement acquis.

Proposition d'animation

- Qu'y a-t-il dans la bouteille?
- Comment enlever les cailloux et la terre ?
(concevoir un dispositif ; le dessiner ; le tester, l'améliorer)
- Peut-on rendre l'eau encore plus claire ? (cycle 2)
- Comment enlever la couleur de l'eau ? (cycle 3)

Chimie des couleurs

E-11

Objectif général :

Découvrir l'effet colorant de certains composés solides ; mélanger différentes solutions colorées ; prendre conscience de l'effet de la dilution ; connaître les symboles de danger chimique ; découvrir qu'un même produit placé dans des conditions différentes peut changer de couleur.

Matériel



Par groupe : un support en bois et 12 tubes à essais ; 8 pipettes en plastique ; un petit pot (bébé) ; une bouteille d'eau ; une cuillère ; un presse-agrumes ; un demi-citron ; des TM Smarties ; quelques emballages de paquets ayant contenu des bonbons très colorés ; du vinaigre blanc ; du bicarbonate de soude ; une liste des colorants alimentaires autorisés en France et de leur nomenclature ; lunettes de protection.

Pour l'enseignant : gants et lunettes de protection ; cuillère ; 4 verres transparents ; cinq petits pots bébé avec couvercle ; étiquettes standard et de sécurité chimique (main rongée par les acides) ; chou rouge ; mixeur électrique ou pilon et mortier ; microbilles de soude (déboucheur pour canalisations) ; cristaux de permanganate de potassium (achat en pharmacie, facultatif) ; colorants alimentaires rouge, bleu, vert, jaune ; sirop de menthe vert et TM Ricqlès incolore (ou essence de menthe) ; boîtes vides de détergents et autres produits sur lesquels on peut trouver les symboles de danger chimique ; bouteilles sur lesquelles l'indication de pH est indiquée (eau minérale, cosmétiques).

Budget



Pipettes en plastique : 3,80 € les 50 ; tubes à essai en verre : 7,20 € les 50 ; support bois pour 12 tubes à essais : 5 € l'unité ; produits consommables : environ 20 € ; mortier et pilon ou mixeur électrique, presse agrume : empruntables.

Préparation : 30 minutes



Préparation des solutions et impression des étiquettes sécurité chimique. (voir page suivante)

Conditions spécifiques



Réaliser toutes les expériences avant de les proposer aux élèves.



Lien avec le programme :
mélanges et solutions



Cycles 2 & 3



5 à 8 heures



Séquence E-09
Se dissoudre ou pas ?

Difficultés travaillées :

Utiliser une pipette pour prélever un liquide et prendre conscience des effets de la dilution d'une substance.

Préparation

Préparation des solutions de colorant alimentaire :

Remplir d'eau un demi petit pot et ajouter quelques gouttes ou un peu de poudre du colorant considéré. Prévoir un pot de chaque colorant par groupe.

Préparation de la solution de chou rouge :

Mixer quelques feuilles de chou rouge avec un peu d'eau pour obtenir une solution violette. Si elle est très foncée, la diluer. Remplir de cette solution autant de pots que de groupes et stocker le reste au réfrigérateur.



La solution de chou sent rapidement mauvais, il est préférable d'en refabriquer régulièrement.

Préparation des solutions de soude :

Remplissez d'eau à moitié un petit pot. Après avoir enfilé gants et lunettes, prélevez 3 à 6 billes de soude avec une cuillère et versez-les dans le petit pot (attention, ça chauffe !). Mélangez puis, à l'aide d'une pipette en plastique, versez une ou deux gouttes de cette solution dans un tube contenant la solution de chou rouge. Observez le changement de couleur. Une coloration verte indique que la solution de soude qu'on a fabriquée est diluée. Une coloration jaune, qu'elle est concentrée.



Si vous obtenez une coloration bleue, vous avez réalisé une solution très diluée, conservez-la précieusement et fabriquez de nouvelles solutions plus concentrées.

Transférez la moitié de la solution initiale de soude dans un autre petit pot et stockez-la en ajoutant deux étiquettes : l'une marquée « *produit corrosif* » (étiquette de sécurité chimique) et une autre indiquant si la solution est diluée ou concentrée. Dans le pot restant, si la solution était diluée, ajoutez quelques billes de soude et testez cette nouvelle concentration sur la solution de chou rouge. Ajoutez des billes jusqu'à obtenir une coloration jaune. Inversement, si la solution était trop concentrée, remplissez le petit pot entièrement d'eau, testez et, si besoin, diluez de nouveau pour que la solution de chou vire au vert. Placez ensuite les étiquettes correspondantes sur le(s) petit(s) pot(s).

Préparation des solutions de citron, de vinaigre et bicarbonate de sodium (facultatif) pour test avant fabrication par les élèves :

Testez d'abord votre jus de citron pur (deux ou trois gouttes dans un tube à essai contenant la solution de chou rouge) puis diluez progressivement pour faire varier la couleur de la solution de chou. Vous pouvez obtenir des couleurs allant du rouge au rose. Il peut être nécessaire de verser quelques gouttes supplémentaires pour observer un changement de couleur. Repérez la dilution nécessaire pour obtenir une variation de teinte. Faites de même avec le vinaigre.

En saupoudrant la solution de chou d'un peu de bicarbonate de sodium, vous pouvez observer son blanchissement. Vous pouvez aussi réaliser une solution de bicarbonate et la tester.

Quelques symboles à identifier :

les anciens
(ci-contre)



N - Dangereux pour l'environnement

Du chou rouge aux colorants alimentaires : que de couleurs !

... et les nouveaux !



Je tue

Je nuis gravement à la santé

Je fais flamber



Je pollue

Je flambe

J'explose



J'altère la santé

Je suis sous pression

Je ronge



Site de l'INRS pour télécharger et imprimer les symboles de sécurité chimique :

http://www.inrs.fr/htm/pictogrammes_pour_la_signalisation_sante_securite.html

Sur le chou rouge :

<http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/labospc/spip.php?article238>.

Pour télécharger et imprimer la liste des colorants alimentaires :

<http://www.inspection.gc.ca/francais/fssa/labeti/decisions/colourf.shtml>

ou

http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_additifs_alimentaires

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment colore-t-on les aliments ?	S'approprier un problème. Découvrir la présence de colorants extraits de produits naturels ou synthétiques dans de nombreux aliments. Décrypter une étiquette.	<i>Discussion collective, en groupe et expérience collective</i>
Comment décolorer des TMSmarties ?	Tester ses idées. Certains composés peuvent se dissoudre dans l'eau et la colorer.	<i>Travail en groupe et mise en commun</i>
Comment obtenir une coloration intense de l'eau ?	Comprendre la signification des mots <i>concentration</i> et <i>dilution</i> .	<i>idem</i>
Que se passe-t-il lorsqu'on mélange des solutions colorées ?	Observer les couleurs obtenues en mélangeant différentes solutions colorées, réaliser un panel de couleurs. Apprendre à utiliser une pipette.	<i>idem</i>
Comment récupérer le colorant dissous ? (facultatif, réservé aux élèves ayant travaillé sur les mélanges)	Réinvestir le travail réalisé sur les mélanges.	<i>idem</i>
Comment reconnaître un produit dangereux ?	Connaître les pictogrammes de danger. Comprendre pourquoi il ne faut pas mettre un produit dangereux dans une bouteille alimentaire et la nécessité d'une étiquette indiquant le contenu sur les contenants.	<i>Discussion collective puis travail en groupe</i>

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
<p>Comment fabriquer des solutions de concentrations différentes ?</p> <p>Comment évaluer la concentration d'un produit ? (facultatif)</p>	<p>Fabriquer des solutions de concentrations différentes.</p> <p>Identifier différentes façons d'évaluer la concentration suivant la nature du produit. (facultatif)</p>	<p><i>Travail en groupe et mise en commun</i></p>
<p>Le chou rouge, un moyen d'évaluer l'acidité d'un produit ?</p>	<p>Observer les changements de couleur de la solution de chou rouge suivant l'acidité du milieu. L'acidité dépend de la concentration et de la nature du produit.</p>	<p><i>idem</i></p>
<p>Le pH, une information indiquée sur de nombreux aliments et cosmétiques.</p>	<p>Apprendre à lire des étiquettes. Le pH de la salive varie énormément.</p>	<p><i>idem</i></p>

Nous vous proposons de travailler sur la dissolution et les mélanges de colorants alimentaires avant de travailler dans une autre direction, celle des indicateurs colorés d'acidité (de pH). Vous pouvez au choix travailler les deux thématiques ou vous arrêter avant les manipulations avec la solution de chou rouge.

Déroulement

I/ Comment colore-t-on les aliments ?

Préparez plusieurs verres contenant respectivement du TMRicqlès (sans ses bulles), du sirop de menthe, de l'eau et de l'eau colorée verte. Après les avoir présentés aux élèves en indiquant qu'il s'agit de boissons, demandez s'ils ont une idée de ce qu'ils contiennent. La plupart des élèves associent la couleur verte au sirop de menthe. Pour les liquides incolores, on ne peut pas savoir. Très vite, ils indiquent qu'il faut sentir ou goûter. Quelques élèves témoins voudront goûter les boissons : versez-en quelques gouttes sur leur langue à l'aide des pipettes (une pipette par pot).



Vous pouvez bander les yeux de certains : la force de l'habitude suffit parfois à associer la seule couleur d'une eau verte au goût de menthe !

On peut donc avoir un goût de menthe sans coloration verte (certains connaissent la menthe bleue) et une coloration verte sans ce goût.

Comment est-ce possible ? Les enfants, qui ont souvent la langue de toutes les couleurs après avoir mangé des bonbons, savent bien qu'ils contiennent des colorants.

Comment le vérifier ? Vous pouvez leur présenter différents emballages de paquets de bonbons, les étiquettes du sirop de menthe et du TMRicqlès. La liste des ingrédients indique bien la présence de colorants (naturels ou non), listés sous la forme E1XX.

Qu'est-ce que cela signifie ? Proposez de regarder à quoi correspondent ces codes. Certains colorants sont fabriqués par les chimistes, d'autres récupérés dans la nature (e.g. E120, rouge extrait d'un insecte, la cochenille ; E153, noir de charbon). On peut s'amuser à identifier ainsi les différents colorants utilisés pour colorer des TMSmarties ou d'autres bonbons.

2/ Peut-on décolorer des TMSmarties ou des TMTicTac et récupérer le colorant ?

Dans la bouche, ces bonbons colorent la langue : les enfants ont rapidement l'idée de les mettre dans l'eau.

Que va-t-il se passer, à leur avis ? Faites leur dessiner ce qu'ils pensent obtenir avant de les laisser essayer (limiter à 4 le nombre de bonbons utilisables). Certains vont mélanger les couleurs, d'autres n'utiliser qu'une seule couleur par pot d'eau ; certains vont mettre plusieurs bonbons de la même couleur dans un peu d'eau, d'autres un seul.



Une fois que les élèves ont constaté que les bonbons devenaient blancs, les retirer de l'eau. Sinon, la pellicule de sucre se dissout à son tour, puis le chocolat apparaît et la solution devient trouble. Vous pouvez aussi les laisser observer le phénomène : quelle est cette matière blanche qui se dissout dans l'eau ?

Un rapide bilan permet de constater que, si l'on met des bonbons d'une couleur donnée dans l'eau, on obtient une eau colorée de cette même couleur. Sinon, c'est plus délicat et on ne peut rien dire (sauf si les élèves ont mélangé du bleu et du jaune...). On constate également que, pour une même quantité d'eau, la couleur est d'autant plus intense que plus de bonbons ont été décolorés.

Les élèves trouvent cela normal : il y a plus de colorant qui est passé dans l'eau. On peut alors refaire l'expérience de façon systématique pour vérifier cette intuition.

3/ Comment obtenir une coloration intense de l'eau ?

Il faut dans un premier temps se mettre d'accord sur la procédure avec les élèves.

Que peut-on changer ? La quantité d'eau dans le pot, la quantité de bonbons, la couleur des bonbons. Chaque groupe peut se charger d'une couleur (cela permet d'utiliser la totalité des bonbons disponibles). On se met d'accord pour que tous les groupes utilisent la même quantité d'eau dans chaque pot et on observe ce qui se passe pour un nombre de plus en plus grand de bonbons placés dans l'eau.



Comment avoir la même quantité d'eau dans chaque pot ? On peut faire une marque au même niveau sur chacun d'eux s'ils sont identiques. Sinon, il faut utiliser un volume étalon (verre doseur...).

Groupe I	Pot 1	Pot 2	Pot 3	Pot 4
Volume d'eau	Marque à demi-verre	Marque à demi-verre	Marque à demi-verre	Marque à demi-verre
Couleur du bonbon	bleue	bleue	bleue	bleue
Nombre de bonbons	2	4	6	8
Observations				

Plus il y a de bonbons, plus la coloration est intense ; on dit que la solution obtenue est plus *concentrée*. Les élèves connaissent ce phénomène : pour obtenir une boisson plus sucrée, on rajoute du sucre sans changer la quantité de liquide.

À l'inverse, comment obtenir une solution plus pâle à partir d'une solution de coloration intense ? Il suffit de rajouter de l'eau, on a alors effectué une *dilution*. C'est ce que l'on fait avec le sirop, on dilue en rajoutant de l'eau : la coloration et la sensation de « sucré » s'atténuent.

4/ Que se passe-t-il lorsqu'on mélange des solutions colorées ?

Il est difficile pour les élèves de prévoir. Demandez par contre de noter ou de dessiner toutes les expériences réalisées. C'est l'occasion d'apprendre à manipuler les pipettes. Distribuez le support avec les tubes à essai, les pots contenant les colorants alimentaires et un petit pot avec de l'eau.

Que veulent-ils essayer ? Ils peuvent vouloir observer ce qu'il se passe en mélangeant les couleurs, en les diluant. Vous pouvez les laisser essayer librement ou construire avec eux une procédure plus systématique (avec 3 couleurs, il y a 5 possibilités ; avec 4 couleurs, 11 possibilités).

Les élèves réalisent souvent un panel de couleurs impressionnant et comprennent mieux comment, avec quelques couleurs de base, il est possible d'en obtenir d'autres. Ils découvrent aussi que, comme avec la peinture, un mélange de bleu et de jaune donne du vert.

5/ Comment récupérer le colorant dissous ?

Cette question est l'occasion pour les élèves qui ont déjà travaillé sur les mélanges et les solutions de réinvestir leurs connaissances. Si tel n'est pas le cas, vous pouvez consulter la séquence correspondante (E-09) pour réaliser ce travail. Les élèves devraient proposer de faire évaporer l'eau : on observe alors un dépôt coloré sur les parois du récipient.

Que se passe-t-il si l'on reverse de l'eau ? La solution se colore de nouveau. L'utilisation de permanganate de potassium étonne souvent les élèves : quelques aiguilles de permanganate colorent toute l'eau d'un petit pot en un violet profond. Après évaporation, on voit à peine le dépôt sur les parois. Il suffit de verser de l'eau dans le pot pour retrouver ce même violet : on peut jouer au magicien !



Le permanganate de potassium, autrefois utilisé comme désinfectant pour laver les légumes, tache temporairement les mains en jaune... et les habits de façon permanente.

6/ Comment reconnaître un produit dangereux ?

Indiquez aux élèves que, pour la suite des expériences, ils vont avoir à manipuler des produits qui peuvent présenter des dangers. Connaissent-ils des produits ménagers dangereux ? Les élèves citent souvent l'eau de Javel, les décapants et les déboucheurs pour les toilettes.



Ce sont souvent des liquides incolores que l'on peut confondre avec l'eau. C'est la raison pour laquelle il ne faut jamais les transvaser dans

des bouteilles ayant contenu des boissons et toujours indiquer sur une étiquette ce que l'on met dans un contenant.

Comment les reconnaissent-ils ? Pour reconnaître les produits dangereux, une façon de procéder consiste à lire les étiquettes. Distribuez alors des contenants vides (bien lavés !) ou des étiquettes sur lesquelles se trouvent les pictogrammes de danger. Les élèves identifient rapidement le sens de certains : la tête de mort, des flammes ou une main rongée sont très parlants. Qu'en est-il du poisson, du point d'exclamation (nouveaux pictogrammes) ou de la croix ? Proposez alors un tirage du document avec les pictogrammes de danger et leur signification. Ils sont souvent surpris d'apprendre, par exemple, que les antimites polluent l'environnement.

Ce point sécurité réalisé, comment manipule-t-on des produits dangereux ? Il faut se protéger : des gants, une blouse, des lunettes sont le plus souvent conseillés. C'est d'ailleurs préconisé sur les emballages des déboucheurs qui indiquent qu'il y a des risques de projection. Montrez-leur alors les solutions de soude que vous avez réalisées en leur demandant d'identifier l'étiquette sécurité chimique correspondante. Pour des raisons de sécurité, les enfants ne manipuleront ces flacons que sous votre surveillance, ou vous manipulerez pour eux.



À ce stade, les élèves ont appris à utiliser les pipettes ; ils ne seront donc à aucun moment en contact direct avec le produit (poser systématiquement la pipette utilisée dans un récipient dédié à cet usage). Il n'y a pas de raison que la solution atteigne les yeux ou les mains mais, dans un souci d'éducation à la sécurité chimique, faites porter des lunettes à l'élève qui manipule. On trouve difficilement des gants de protection adaptés aux petites mains des élèves, et des gants trop grands sont source de danger.



Quand on manipule des produits dangereux, des protections simples évitent de se mettre en danger.

Si jamais, malgré toutes vos précautions, des élèves se mettent un peu de solution de soude sur la main, il suffit de la laver rapidement à grande eau. Les solutions sont suffisamment diluées pour qu'il n'y ait pas de sensation de brûlure immédiate, ni de séquelle. En cas de contact avec l'œil, il faut immédiatement rincer à grande eau et consulter un médecin : les lunettes sont là pour empêcher cela.

7/ Comment fabriquer des solutions de différentes concentrations ?

Les élèves ont pu lire sur les petits pots que vous aviez réalisé des solutions plus ou moins concentrées en soude.

Peuvent-ils eux aussi réaliser des solutions plus ou moins concentrées avec du jus de citron et du vinaigre ? Demandez à chaque groupe d'imaginer un protocole pour réaliser trois solutions de vinaigre de concentrations différentes avec le matériel disponible (pipettes, petits pots et eau). La mise en commun des propositions révèle souvent deux approches chez les élèves. La première consiste à mettre une même quantité d'eau dans plusieurs pots et à rajouter de plus en plus de vinaigre (il faut anticiper et ne pas mettre trop d'eau au départ !)

ou à mettre une même quantité de vinaigre dans plusieurs pots et à rajouter de plus en plus d'eau. L'autre démarche, plus rare, consiste à faire un premier mélange puis à en transférer une partie dans un autre flacon et à compléter avec de l'eau puis à renouveler l'opération aussi souvent que nécessaire. La discussion conduit les élèves à la conclusion que toutes ces méthodes sont efficaces.

Comment faire pour réaliser des mélanges identiques ? On peut se mettre d'accord sur une procédure. Laissez alors les groupes réaliser leurs mélanges et incluez un pot de vinaigre pur à la série. N'oubliez pas de coller des étiquettes sur les pots. On peut ensuite faire la même chose avec le jus de citron.

Comment faire pour ranger les solutions de la plus à la moins concentrée si les étiquettes se sont décollées ? Quand la solution est colorée, l'intensité de la couleur est un indice. Ici ce n'est pas possible. On peut goûter : le vinaigre et le citron purs « piquent » plus que celui qui est un peu dilué et ainsi de suite. Indiquez aux élèves que la sensation de « piquant » est liée à une propriété de ces produits que l'on appelle l'acidité. Le vinaigre et le citron contiennent des acides (acides éthanique et citrique, respectivement). Plus on dilue, moins la solution « pique », moins elle est acide.

Comment fait-on lorsqu'on ne peut pas goûter ? La solution de chou rouge va fournir un élément de réponse.



Un produit est acide (basique) suivant que son mélange avec de l'eau conduit à une solution dont la concentration en ions hydronium H_3O^+ est supérieure (inférieure) à celle de l'eau pure.



La notion d'acide et de base est complexe. Il s'agit juste ici d'introduire cette notion. Les explications sont donc données pour répondre aux attentes des élèves sans aller plus loin. Il ne s'agit plus d'une démarche d'investigation. Vinaigre et citron sont des produits acides, la soude est une base. Le bicarbonate de sodium, suivant le milieu dans lequel il se trouve se comporte tantôt comme une base, tantôt comme un acide.



Si vous avez déjà travaillé sur la séquence E-09 : *Se dissoudre ou pas ?*, les élèves pourraient proposer de peser un même volume des différentes solutions et les comparer. Ils ont en effet procédé de cette façon pour classer des eaux de la moins à la plus salée. C'était alors possible car on rajoutait du sel sans modifier notablement le volume du mélange. Dans un volume donné, si l'un des liquides pèse plus que l'autre, plus on en a dans le mélange, plus ce dernier est lourd (à volume constant). Cette méthode n'est pas applicable ici, les masses volumiques des différents liquides étant trop proches. Il faut tout de même essayer et soit leur fournir une explication, soit reporter l'explication à plus tard (séquence E-15 : *Découvrons la densité*).

8/ Le chou rouge, un indicateur coloré d'acidité ?

Vous allez proposer un mode opératoire aux élèves. Après avoir versé la même quantité de solution de chou rouge dans les différents tubes à essai à leur disposition, ils vont verser quelques gouttes de chacune des solutions de vinaigre ou de citron qu'ils ont fabriquées et observer ce qui se passe. Il faut veiller à numéroter les tubes pour savoir ce que l'on a mis dans chacun et conserver un tube témoin (sans ajout d'un autre produit). Passez parmi eux pour qu'ils versent une pincée de bicarbonate dans un tube et les différentes solutions de soude dans les autres. En parallèle, demandez à chaque élève de dessiner et noter ses observations.

La mise en commun des observations permet de constater que la solution de chou a changé de couleur suivant le produit versé et sa concentration. Le citron et vinaigre purs amènent des colorations similaires. Avec des solutions très diluées, on obtient un changement de coloration mais entre les deux, les couleurs des solutions sont trop proches pour que l'on puisse dire quoi que ce soit. Avec la soude plus ou moins concentrée, on observe également des colorations différentes. Expliquez alors aux élèves que le chou, en changeant de couleur, indique la concentration en acide d'un produit. C'est un *indicateur coloré* d'acidité.



La nocivité est liée tant à la nature d'un acide (d'une base) qu'à sa concentration.

9/ Le pH, une information indiquée sur de nombreux aliments et cosmétiques.

Citron et vinaigre pur sont d'une acidité comparable et provoquent un changement de couleur comparable. On classe les produits du plus acide au moins acide. Dans l'eau, les chimistes classent l'acidité des produits sur une échelle de 1 à 14. L'eau pure a une acidité de 7 (on parle aussi de pH) et on dit qu'elle est neutre. En dessous de 7, on parle d'*acide* (vinaigre, citron), au dessus on parle de *base* (bicarbonate de soude, soude).

Le pH est une information indiquée sur de nombreux aliments et cosmétiques : les élèves peuvent ramener de la maison différents produits dont le pH est indiqué. C'est l'occasion de découvrir sur les emballages de dentifrice que le pH de la salive varie. En mettant un peu de salive dans un tube à essai, on peut observer une modification de la couleur de la solution variable d'un groupe à l'autre.



Un pH très petit (inférieur à 3) signifie que la concentration en acide de la solution est très élevée. Un pH très élevé (supérieur à 12) indique qu'elle est très concentrée en base. Une solution basique concentrée de pH 13 est aussi dangereuse qu'une solution acide de pH 2.

Propositions d'animations**Première animation :**

- Comment colore-t-on les aliments ?
- Comment décolorer des TMSmarties ?
- Comment obtenir une coloration intense de l'eau ?
- Que se passe-t-il lorsqu'on mélange des solutions colorées ?

Deuxième animation :

- Comment reconnaître un produit dangereux ?
 - Comment se protéger ?
 - Comment utiliser une pipette ? (*s'entraîner avec de l'eau*)
 - Le chou rouge, un moyen d'évaluer l'acidité d'un produit ?
(*attention, présence d'un adulte indispensable*)
- [- Le pH, une information indiquée sur de nombreux aliments et cosmétiques.]

Densité et saturation : des morceaux de sucre sans dessus dessous

E-12

Objectif général :

Réinvestir ses connaissances dans un nouveau contexte.



Lien avec le programme :
mélanges et solutions

Matériel



Par binôme : une petite bouteille d'eau minérale ; une assiette plate ; une dizaine de morceaux de sucre ; un verre transparent lisse.

Pour l'enseignant : une balance de Roberval ou de cuisine ; une bouilloire électrique (facultatif) ; une éprouvette graduée ou un verre doseur ; 2 pipettes en plastique ; colorants alimentaires ou 2 cartouches d'encre de couleur différente ; papier buvard ; une éponge.

Budget



Produits alimentaires : 5 €.

Préparation : 5 minutes



Préparer deux solutions colorées dans des petits pots.

Conditions spécifiques



Une bonne luminosité facilite les observations.



Cycle 3



2 à 4 heures



Séquence E-11
Chimie des couleurs

Séquence E-10
Comment rendre
l'eau claire ?

Séquence E-15
Découvrons la densité

Difficultés travaillées :

Identifier et isoler les différents phénomènes en jeu pendant l'expérimentation.

€-12

Densité et saturation : des morceaux de sucre sans dessus dessous

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que se passe-t-il quand je plonge un morceau de sucre dans l'eau sans agiter ?	Observer attentivement et essayer d'interpréter des phénomènes.	<i>Travail en binôme puis mise en commun</i>
Que se passe-t-il quand je verse de l'eau très sucrée dans de l'eau qui ne l'est pas ?	Prévoir le résultat d'une expérience en argumentant et vérifier. Le liquide le plus dense tombe et se retrouve sous le liquide le moins dense.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand j'enlève le carton ?	Prévoir le résultat d'une expérience en argumentant et vérifier. Le liquide le moins dense reste au dessus du liquide le plus dense. Progressivement le milieu s'homogénéise.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand je pose deux sucres colorés dans une assiette remplie d'eau ?	Observer la dissolution des morceaux de sucre et le déplacement des zones où les liquides sont les plus sucrés.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand on pose délicatement un sucre à la surface de l'eau ?	Découvrir le phénomène de capillarité.	<i>Travail en groupe et mise en commun</i>
Que se passe-t-il quand on pose délicatement un sucre à la surface de l'eau ?	Réinvestir des connaissances. La quantité de sucre soluble dans l'eau dépend de sa température.	<i>idem</i>

Densité et saturation : des morceaux de sucre sans dessus dessous

€-12

Il s'agit de réinvestir ce qui a été compris par ailleurs pour interpréter des phénomènes et d'en découvrir de nouveaux, comme la *capillarité*.

Descriptif

1/ Que se passe-t-il quand je plonge un morceau de sucre dans l'eau sans agiter ?

Proposez aux élèves d'observer la dissolution d'un morceau de sucre dans l'eau et de noter son évolution dans le cahier.

Tout d'abord, des bulles s'échappent du morceau de sucre pour remonter à la surface. Elles entraînent parfois aussi de toutes petites particules de sucre qui montent puis redescendent en laissant une traînée dans l'eau. Cette perturbation de l'homogénéité du liquide disparaît rapidement. Le morceau de sucre s'effondre ensuite en un tas qui reste au fond du verre. Des bulles continuent de monter et d'entraîner des particules de sucre. Progressivement, le sucre se dissout ; mais cela prend du temps. En remuant délicatement, le liquide au fond du verre se trouble comme lorsqu'une particule de sucre redescend. En attendant suffisamment longtemps, le morceau de sucre se dissout entièrement.

De quoi sont faites les bulles ? Même s'il n'est pas possible de le vérifier, les élèves peuvent penser qu'il s'agit de bulles d'air. Le morceau de sucre est constitué de tas de petits grains très proches les uns des autres. Les espaces entre les grains contiennent de l'air qui s'échappe.

Comment expliquer que les petites particules de sucre montent puis redescendent ? Elles peuvent être entraînées par les bulles d'air. Quand celles-ci s'en décrochent, la particule, plus dense que l'eau, retombe.

Comment interpréter les "volutés" et les "traînées" que l'on voit apparaître derrière elles ? On peut supposer que, là aussi, le sucre se dissout progressivement. Ce que l'on voit serait alors de l'eau très sucrée dans de l'eau qui ne l'est pas beaucoup, avant que le mélange ne se fasse.

Pourquoi l'eau du fond du verre apparaît-elle trouble quand on remue doucement ? Au fond du verre, l'eau est très sucrée : elle ne laisse pas passer la lumière de la même façon que l'eau moins sucrée qui se trouve juste au dessus.

2/ Que se passe-t-il quand je verse de l'eau très sucrée dans de l'eau qui ne l'est pas ?

Les élèves peuvent prélever un peu de liquide fortement sucré et en verser quelques gouttes dans un verre d'eau, à l'aide d'une pipette en plastique. Les gouttes sucrées tombent au fond en laissant sur leur passage une traînée

Densité et saturation : des morceaux de sucre sans dessus dessous

similaire à celles observées précédemment. Une goutte d'eau sucrée est plus dense qu'une même goutte d'eau non sucrée, c'est la raison pour laquelle elle coule. En chemin, cette goutte se dilue, sa traînée est constituée d'eau sucrée.

Pour mieux observer le phénomène, il est possible de colorer l'eau très sucrée utilisée.

3/ Que se passe-t-il quand j'enlève le carton ?

Présentez aux élèves deux petits pots remplis à ras bord, d'eau très sucrée colorée pour l'un et pour l'autre d'eau douce. Recouvrez le second d'un carton, retournez-le et posez-le bord à bord sur celui d'eau sucrée.

Que se passe-t-il quand on retire d'un coup le carton ? Rien. L'eau sucrée, la plus dense, est dessous : il faut compter une bonne journée pour que les eaux se mélangent.

En plaçant l'eau douce en dessous, on observe en revanche un mélange rapide des deux solutions, l'eau sucrée tombant dans l'eau douce.

4/ Que se passe-t-il quand je pose deux sucres colorés dans une assiette remplie d'eau ?

Remplir des assiettes d'eau sur une hauteur de 5 à 10 mm environ. Teinter deux sucres de couleurs différentes, à l'aide de la pipette et de colorants alimentaires. Les poser rapidement sur l'assiette, diamétralement opposés.

En se dissolvant, les sucres entraînent avec eux le colorant et l'on observe deux taches colorées qui avancent et grandissent. Ce sont les zones d'eau sucrée. On constate souvent que les deux fronts arrêtent d'avancer avant de se toucher. En inclinant légèrement l'assiette, il est possible de faire glisser une zone colorée sous l'autre sans les mélanger.

Les colorants permettent d'observer la dissolution du sucre dans l'eau et la dilution progressive de l'eau sucrée qui occupe de plus en plus d'espace en se diluant. Si l'on attend suffisamment longtemps (une journée au moins), le mélange devient homogène.

5/ Que se passe-t-il lorsqu'on pose délicatement un sucre à la surface de l'eau ?

Utilisez de l'eau colorée pour rendre le phénomène visible (prévoir des conditions d'hygiène suffisante pour qu'elle reste potable). En posant délicatement le bord d'un sucre dans l'eau, on observe la montée rapide de l'eau colorée dans

Densité et saturation : des morceaux de sucre sans dessus dessous

€-12

le sucre. Si l'on aspire rapidement par le haut, le sucre redevient incolore et l'on a en bouche une eau sucrée colorée. On peut observer le même phénomène avec un papier buvard ou une éponge dont un bord trempe dans l'eau : celle-ci monte progressivement.

Quel est le point commun à tous ces matériaux ? Ils possèdent des tubes très fins dans lesquels l'eau semble capable de « grimper ». Ce phénomène porte le nom de *capillarité* (en latin : fin comme un cheveu).

6/ Comment dissoudre plus de sucre dans l'eau ?

Après avoir demandé aux élèves s'ils pensent pouvoir dissoudre autant de morceaux de sucre qu'ils le veulent dans un verre d'eau, laissez-les expérimenter et conclure qu'au-delà d'une certaine quantité, le sucre ne se dissout plus, même en agitant fortement.

Comment pourrait-on en dissoudre plus dans une même quantité d'eau ? Les élèves savent souvent qu'en chauffant, on dissout *plus vite* le sucre dans un liquide mais pas forcément que l'on peut également en dissoudre *une plus grande quantité*.

Pour pouvoir comparer la quantité de sucre soluble dans l'eau chaude et dans l'eau froide, il faut expérimenter avec des volumes d'eau identiques. Après avoir placé un même volume d'eau très chaude dans un verre, froide dans l'autre, laissez les élèves dissoudre leurs morceaux de sucre. Il faut plus de morceaux pour atteindre la saturation dans l'eau chaude.

Proposition d'animation

- Que se passe-t-il quand je plonge un morceau de sucre dans l'eau sans agiter ? (observation guidée par l'animateur)
- Que se passe-t-il quand je verse de l'eau très sucrée dans de l'eau qui ne l'est pas ?
- Que se passe-t-il quand j'enlève le carton ? (prévision puis démonstration de l'animateur avec manipulation par les visiteurs)
- Que se passe-t-il quand je pose deux sucres colorés dans une assiette remplie d'eau ? (dessiner l'évolution du phénomène)

Équilibres et déséquilibres

E-13

Objectif général :

Découvrir le principe du levier.

« Un objet qui peut tourner autour d'un axe fixe peut rester en équilibre s'il est soumis à des forces dont les effets se compensent. Pour faire tourner l'objet, une grande force a plus d'effet qu'une petite force appliquée à la même distance de l'axe. Pour faire tourner l'objet, une même force a davantage d'effet si elle est appliquée à une plus grande distance de l'axe. »

(fiche connaissance des programmes 2002)



Lien avec le programme :
leviers

Matériel



Par binôme : une réglette rigide (en bois) ; une gomme ; masses variées (cailloux, petites boîtes plus ou moins lourdes, écrous, morceaux de sucre, etc.) ; tiges de bambou ; une ficelle ; 7 pinces à linge ; une bouteille 1,5 l lestée ; une bande de carton épais de (40 x 2 cm) ; 1 pic à brochette (ou une balance mathématique) ; carton épais (couvercle et fond de boîte de camembert) ; 1/4 de feuille A4 de papier calque ; un petit morceau de plastique épais (bouteille d'eau pétillante) ; ruban adhésif ; une photo de fillette indonésienne transportant un bidon.

Pour l'enseignant : 1 image de bascule de cour de récréation (« tape-cul ») ; le même matériel que pour un binôme d'élèves.

Budget



Tiges de bambous et bois des réglettes (contre-plinthe) : 10 € ; balances mathématiques élèves : 20 € le lot de 5 (facultatif).

Préparation : 10 à 15 minutes



Fabrication d'une balance mathématique et d'une libellule équilibriste.
Voir précisions page suivante.



Cycles 2 & 3



4 à 8 heures suivant
les activités proposées



Séquence E-22

L'écrase-biscotte

Séquence E-14

Les balances

Difficultés travaillées :

Un objet peut être en équilibre sans être horizontal : il suffit qu'il soit au repos. Réaliser un schéma avec une vue de dessus, de profil (de face) ou en perspective et choisir la vue adaptée.

Préparation

Impression des photos qui peuvent être téléchargées sur le site de l'éditeur : <http://somniaumeditations.free.fr> > Hors collection > Côté jardin > Compléments > Fiche E-13

Balance mathématique :

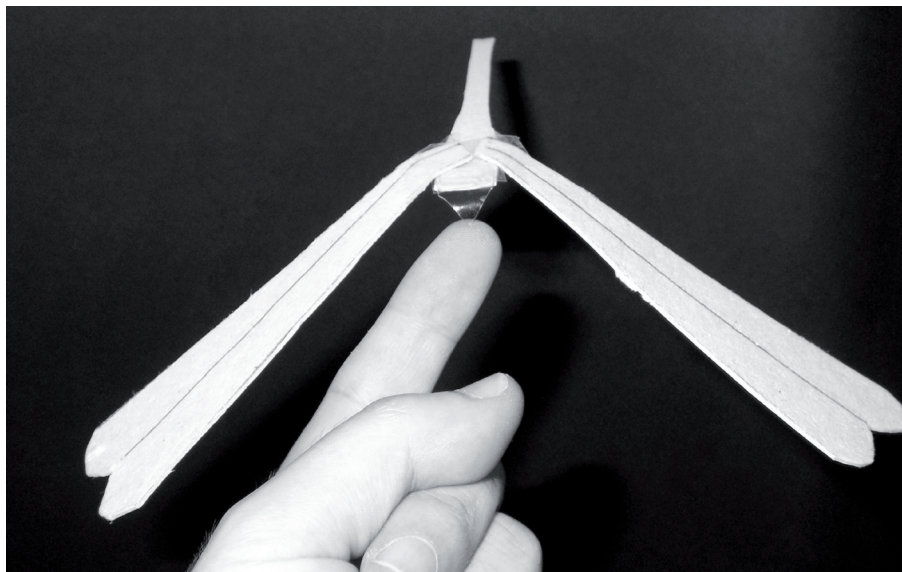
Préparer une bande de carton épais de 40x2 cm. À 5 mm d'un bord, la percer d'un trou en son milieu (typ. Ø 2 mm). Graduer régulièrement la bande de carton de part et d'autre du trou (typ. tous les 2 cm). Remplir une bouteille plastique de sable ou de cailloux pour l'alourdir (socle). Percer celle-ci de deux trous diamétralement opposés et insérer un pic à brochette horizontal, qui servira de pivot. Insérer l'extrémité du pic dans le trou central de la bande de carton ; celle-ci doit pouvoir pivoter librement.

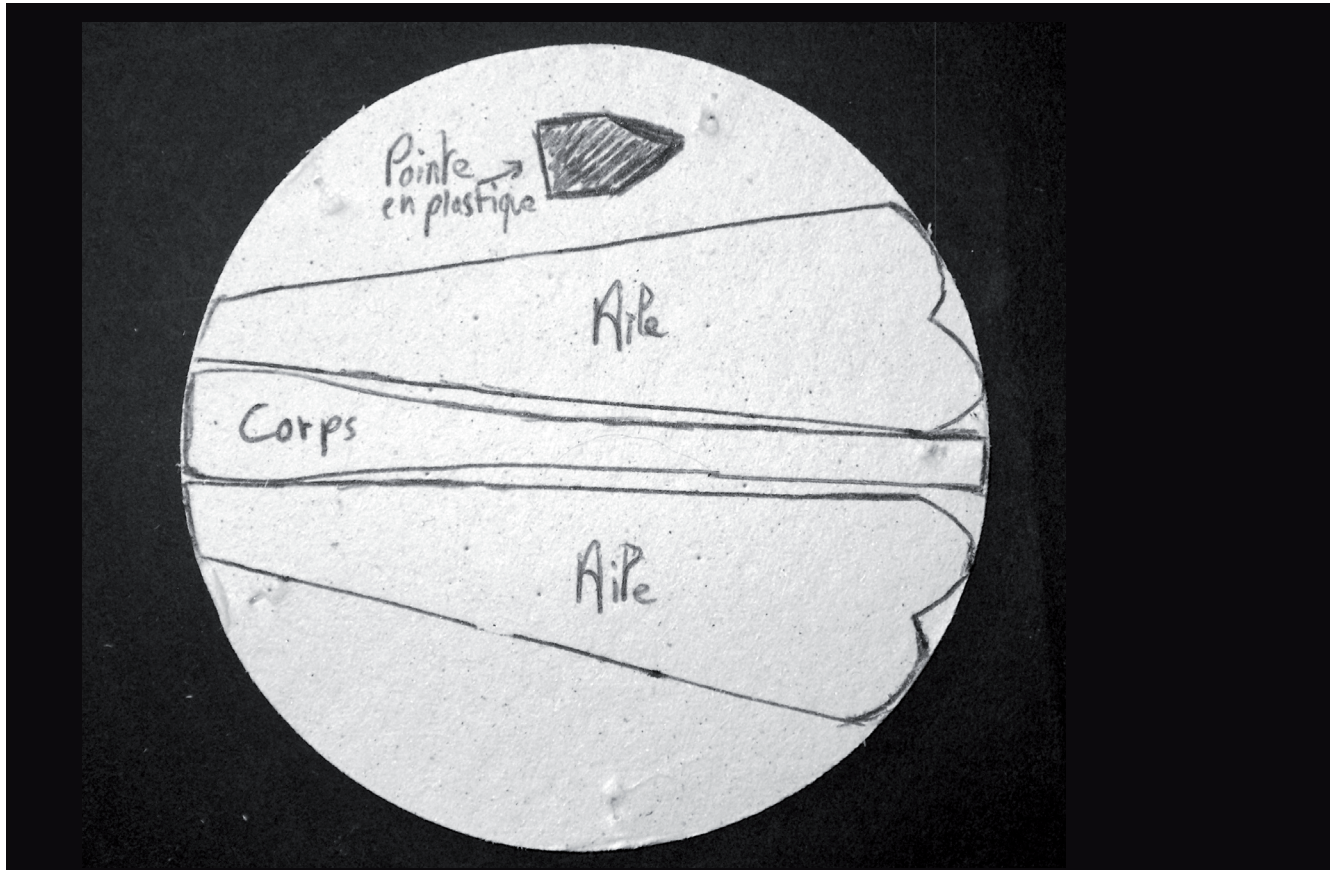
Libellule équilibriste :

Reporter à l'aide de papier calque le patron ci-contre sur du carton épais (boîte de camembert). Découper le corps et les ailes de la libellule. Découper la pointe (pivot) dans la partie lisse et rigide de la bouteille d'eau pétillante (plastique plus épais que les bouteilles d'eau plate). Assembler les différents éléments avec du ruban adhésif, en veillant à incliner les deux ailes vers l'avant, symétriquement de part et d'autre du corps. Plier le plastique pour former une pointe et augmenter l'inclinaison des ailes jusqu'à obtenir l'équilibre.

Attention ! L'équilibre dépend du fait que les ailes et le corps ne sont pas dans le même plan, et n'existe pas toujours si les ailes ne sont pas assez inclinées. Il peut être nécessaire de lester le corps de la libellule.

La libellule de face





Exemple de «bascule» (ici, le pivot est fixe).



Fillette indonésienne de retour de la corvée d'eau

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment réaliser un équilibre horizontal avec le matériel fourni ?	Mise en place du vocabulaire. Choisir la vue la mieux adaptée pour représenter l'équilibre horizontal.	<i>Travail par binôme puis mise en commun</i>
Comment aider Astérix et Obélix à rétablir l'équilibre horizontal de la bascule ?	S'approprier un problème. Proposer et tester ses idées.	<i>idem</i>
Comment faire pour monter Astérix puis Obélix le plus haut possible sur la bascule ?	Procéder par essais / erreurs puis utiliser une procédure.	<i>idem</i>
Comment faire pour soulever le plus facilement possible Obélix ?	Pour minimiser l'effort fourni, il faut que la masse à soulever soit le plus près possible de l'axe et la personne ou l'objet qui soulève le plus loin possible.	<i>idem</i>
Peut-on établir l'équilibre horizontal du mobile avec des masses différentes de part et d'autre du pivot ?	Réinvestir ses connaissances dans un autre contexte.	<i>idem</i>
Peut-on établir l'équilibre horizontal de la balance numérique avec des masses différentes de part et d'autre du pivot ?	Réinvestir ses connaissances dans un autre contexte. Observer une régularité et proposer une loi. Prévoir la position des masses pour réaliser un équilibre horizontal (facultatif).	<i>idem</i>
Comment construire une libellule qui tient sur le bout du doigt ?	Réaliser un jouet utilisant le principe du levier.	<i>idem</i>



Nous proposons un travail par binôme.

Il est également possible de travailler par groupe avec le même matériel. C'est le maître qui, par les défis qu'il lance, motive la recherche des élèves et suscite l'émulation. Veiller toutefois à ce que ce fonctionnement ne conduise pas à autre chose qu'une compétition amicale.

1/ Comment réaliser un équilibre horizontal avec le matériel fourni ?

Proposez aux élèves de réaliser un équilibre horizontal avec une réglette en bois et une gomme, puis de dessiner leurs solutions sur une feuille A4.

La mise en commun permet de constater que plusieurs solutions sont possibles : les deux éléments peuvent être posés sur la tranche ou sur leur partie la plus large. Dans tous les cas, c'est la partie centrale de la réglette qui repose sur la gomme pivot.

Repérez les dessins des élèves qui utilisent des vues différentes et reproduisez-les au tableau : *Comment l'élève s'est-il positionné pour dessiner son dispositif ? En face ? Au dessus ? Ni l'un, ni l'autre pour une représentation en perspective. Quelle est la vue la mieux adaptée ?* La vue en perspective est pratique mais souvent difficile à dessiner. On préférera la vue de face, qui permet de voir l'ensemble des éléments.

On se met également d'accord sur la façon dont on représentera la gomme et la réglette. La gomme permet à la réglette de basculer, c'est un pivot : on peut la représenter par un triangle ; un côté est posé sur le sol, la réglette repose sur la pointe. La réglette peut être représentée par un rectangle long et mince, ou par un simple trait. Les élèves peuvent alors schématiser de nouveau leurs solutions en utilisant la vue de face.



Les élèves oublient souvent de représenter le sol (la table) : un trait horizontal peut suffire, mais il est indispensable.

2/ Comment aider Astérix et Obélix à rétablir l'équilibre horizontal de la bascule ?

L'image d'une « bascule », jeu bien connu des élèves, lance le travail : *Comment fonctionne-t-elle ?*

Il suffit de se mettre de part et d'autre et, si les deux partenaires ont des masses proches, l'équilibre horizontal est facilement atteint : on rompt l'équilibre en poussant avec les pieds. *Mais que faire si Astérix et Obélix veulent jouer ensemble ?*

Descriptif



Il est nécessaire de préciser que l'on recherche un *équilibre horizontal* quand tel est le cas. On risque sinon d'amener les élèves à penser qu'hors de l'horizontal il n'y a point d'équilibre, ce qui serait faux.

Avant toute manipulation, il s'agit de dessiner les différentes solutions imaginées. Ensuite seulement les élèves les testent et les valident ou non en utilisant le matériel précédent.

Gomme et règle remplacent avantageusement la bascule (avec la possibilité supplémentaire de déplacer la gomme) et deux masses très différentes représentent nos Gaulois.

La mise en commun permet de formaliser les solutions trouvées : rapprocher Obélix de l'axe, déplacer le pivot vers lui, ou rajouter des partenaires à Astérix (sans parler d'imposer un régime à Obélix...).



Attention à la précision du dessin (pivot, longueur de la règle, position des masses) sans oublier celle de la mise en mots : rapprocher Obélix *du pivot*, rapprocher le pivot *d'Obélix*.

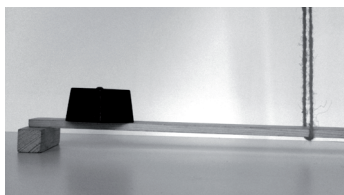
3/ Comment faire pour monter Astérix puis Obélix le plus haut possible sur la bascule ?

On propose dans un deuxième temps, toujours avec le même matériel, d'imaginer des solutions pour réaliser des situations d'équilibre non horizontal : *comment faire pour qu'Astérix (resp. Obélix) soit le plus haut possible ?* Il s'agit ensuite de mettre à l'épreuve ces solutions. Les différentes tentatives sont l'occasion de nombreuses découvertes et l'enseignant n'a plus ensuite qu'à aider les élèves à les formaliser. Pour mettre en mots, on part de la situation d'équilibre horizontal : il faut alors déplacer le pivot *vers ceci* ; rapprocher ou éloigner *cela* du pivot. *Peut-on prévoir ce qui va se passer si le poids d'Obélix (resp. d'Astérix) augmente ? Dans quel sens la règle va-t-elle basculer ?*

4/ Comment faire pour soulever le plus facilement possible Obélix ?

Obélix est posé d'un côté du pivot. Où les élèves pensent-ils qu'il vaut mieux appuyer pour le soulever le plus facilement possible ? Comme toujours, il faut dessiner avant de vérifier. Plus on éloigne le doigt de l'axe pour appuyer, plus c'est facile (moins il faut appuyer fort). Si je remplace le doigt qui appuie sur la règle par des écrous (ou des morceaux de sucre), que dire du nombre d'écrous nécessaires pour soulever Obélix, selon que je suis près ou loin au pivot ? Les élèves peuvent prévoir et vérifier que plus on s'éloignera du pivot, moins il faudra d'écrous. Plus il y a d'écrous superposés, plus ils appuient fort.

Nouveau défi : le pivot est maintenant placé *tout au bout* de la règle, Obélix est installé à quelques centimètres du pivot et, un peu plus loin, une ficelle passée



sous la règle permet de la soulever. Où vaut-il mieux placer la ficelle pour soulever Obélix et minimiser les efforts ? Encore une fois les élèves dessinent avant de contrôler leur réponse : plus on sera loin du pivot, plus ce sera facile.

Montrer alors la photo avec la fillette transportant un bidon d'eau : Où est le pivot ? Par quoi est remplacé Obélix ? Que pensent-ils de sa technique ?



La roue tient lieu de pivot.

5/ Peut-on établir l'équilibre horizontal du mobile avec des masses différentes de part et d'autre du pivot ?

On suspend des baguettes de bambou par le milieu (équilibre initial horizontal de la baguette). Comment positionner des pinces à linge de part et d'autre de la baguette tout en maintenant l'équilibre horizontal de la tige ? Elles sont d'abord accrochées les unes aux autres pour qu'il n'y ait qu'un point d'accroche de chaque côté. Comment équilibrer une pince avec une seule autre, puis deux, puis trois ? Demandez aux élèves de garder une trace des différents équilibres horizontaux réalisés. Ils peuvent par exemple dessiner à chaque fois la tige, le point d'attache de la ficelle et les positions respectives des pinces. N'y aurait-il pas une relation entre la distance à l'axe et le nombre de pinces ? *Comment vérifier ?*

Les élèves ont pu constater qu'avec une seule pince de part et d'autre, de nombreux équilibres horizontaux étaient possibles. Il suffit que les deux pinces soient à la même distance du pivot, quelle que soit cette distance. Avec deux pinces à linge d'un côté et une de l'autre, pour établir un équilibre horizontal, la distance entre le pivot et les deux pinces doit être moitié plus petite que celle entre le pivot et la pince isolée. Avec trois pinces, le rapport des distances est d'un tiers. *Et avec quatre pinces ?* On peut prévoir que la distance entre la pince unique et le pivot doit être quatre fois plus grande que celle entre les quatre pinces accrochées les unes aux autres et le pivot : l'expérimentation confirme l'hypothèse.

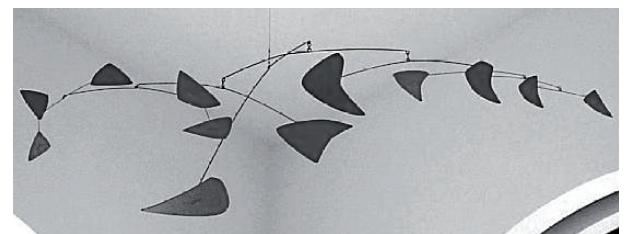
Est-ce le nombre de pinces ou leur masse qui importe ? *Que se passe-t-il si on remplace une pince par un objet de même poids ?*

En lien avec un travail en géométrie, il est possible de construire des figures en carton épais dont la surface double, puis triple et quadruple. Il en est de même de leur masse. Peut-on prévoir comment les disposer de part et d'autre du pivot pour réaliser un équilibre horizontal ?



Le travail sur les mobiles peut-être prolongé. Ainsi, la ficelle peut ne pas être placée au centre de la tige et la tige être déséquilibrée avant toute manipulation. On peut choisir des objets gros et légers à équilibrer avec des objets petits et lourds, pour aider les élèves à dissocier gros/lourd et petit/léger.

Il est également possible d'observer comment différents artistes ont utilisé les équilibres et déséquilibres dans leurs œuvres (Alexander Calder par exemple).



6/ Peut-on établir l'équilibre horizontal de la balance mathématique avec des masses différentes de part et d'autre du pivot ?



Avec de bons élèves, on peut poser l'équation $m_1 d_1 = m_2 d_2$. C'est une autre façon, plus concise, de dire la même chose et de démystifier les équations. Le langage est différent mais la signification reste la même.

Les baguettes de bambou ne permettent pas de mesures très précises. Proposez aux élèves d'utiliser une balance mathématique comme la vôtre. *Comment la construire ?* Il faut peu de temps aux élèves pour imaginer comment la construire ; la phase de construction des balances est alors lancée.



Il faut parfois ajouter un peu de pâte à modeler ou rogner un bord pour équilibrer la bande en carton.

Les balances construites permettent alors de vérifier les idées des élèves : pour établir un équilibre horizontal, si un objet est n fois plus lourd qu'un autre, il doit être n fois plus près du pivot.

Que dire alors du produit de la masse de l'objet par sa distance au pivot ? Il est identique de part et d'autre du pivot quand on a un équilibre horizontal (avec une barre initialement équilibrée bien sûr).

Les élèves peuvent alors établir de nombreux équilibres horizontaux avec 2 puis 3 pinces à linge d'un côté et une de l'autre mais cette fois en les accrochant à leur guise. *Pourquoi appelle-t-on cette balance une balance mathématique ?* Si l'on accroche une pince à la fois, on peut effectuer des additions en numérotant chaque trait symétriquement au trou central. Une pince à linge à une distance égale à 6 fois la distance unité du pivot est équilibrée par deux pinces à linge à une distance de (5 et 1) ou (4 et 2) ou (3 et 3) fois égales à la distance unité...

7/ Comment construire une libellule qui tienne sur le bout du doigt ?

Montrez la libellule aux élèves : comment expliquer qu'elle tienne sur le bout des doigts ? La pointe en plastique sert de pivot. À l'équilibre, le poids du corps est équilibré par le poids des ailes. Celles-ci sont réparties de part et d'autre du corps pour éviter que la libellule ne penche. C'est leur inclinaison qui permet l'équilibrage de la libellule. À eux alors de construire leur propre libellule : plaisir garanti !

Propositions d'animations

Première animation :

- Comment réaliser un équilibre horizontal avec le matériel fourni ? *(préciser la façon de représenter les différents éléments et ne pas oublier de dessiner le sol)*
- Comment aider Astérix et Obélix à rétablir l'équilibre horizontal de la bascule ?
(prévoir et dessiner avant d'essayer puis modifier si besoin)
- Comment faire pour monter Astérix puis Obélix le plus haut possible sur la bascule ? *(idem)*
- Comment faire pour soulever le plus facilement possible Obélix ?
(idem)

Deuxième animation :

- Peut-on établir l'équilibre horizontal du mobile avec des masses différentes de part et d'autre du pivot ?
(préciser la façon de représenter les différents éléments)
- Peut-on établir l'équilibre horizontal de la balance numérique avec des masses différentes de part et d'autre du pivot ?
(prévoir et dessiner avant d'essayer puis modifier si besoin)
- Comment construire une libellule qui tienne sur le bout du doigt ?



Objectif général :

Comprendre le fonctionnement de la balance de Roberval et de la balance romaine.

Découvrir la notion de levier et les conditions de réalisation d'un équilibre horizontal.



Matériel



Par groupe : plusieurs objets de masses différentes, certaines voisines, d'autres non, comme 2 pommes, une orange, un citron (un kiwi, une balle de tennis, une boule de pétanque, une balle de ping-pong...) ; 1 kg de farine ; 500 g de sucre ; 250 g de sel ; une boîte de sucre en morceaux ; une tige en bois de 50 cm (diamètre de 1 cm environ) ; 1 feutre ; 1 vrille ; des cailloux ; 3 fonds de bouteille plastique ; de la ficelle ; du fil de fer ; une petite scie (empruntée aux parents, manipulable par l'enseignant).

Par binôme : une planchette de bois (règle rigide) ; une gomme (pivot).

Matériel supplémentaire pour l'enseignant : 1 balance de Roberval ; 2 tares (masses marquées) identiques ; balance de cuisine ; 12 verres en plastique et une réserve de matière (de préférence du sable ou une poudre, comme du sel) ; 1 marqueur pour indiquer sur chaque verre la masse qu'on y a placée ; 1 boîte à chaussures ; du carton épais ; un pic à brochette ; 5 bouteilles en plastique ; 1 cutter.

Budget



Balance de Roberval ou assimilée (empruntable) : de 30 à 100 € ; denrées alimentaires (réutilisables) : 15 € ; tiges en bois (ou bambous) et tasseaux : 5 €.

Préparation : (voir page suivante)



- 1 - Fabrication de tares : 5 minutes
- 2 - Fabrication d'une balance Trébuchet (balance de justice) et d'une balance romaine : 30 minutes

Lien avec le programme :
leviers et balances



Cycles 2 & 3



6 heures environ



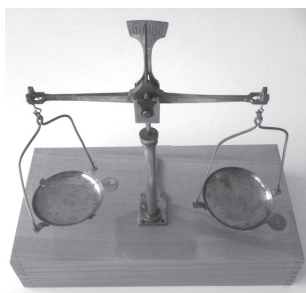
Séquence E-12
Équilibres et déséquilibres

Séquence E-15
Découvrons la densité

Difficultés travaillées :

Pas de difficulté particulière pour les élèves ou pour l'enseignant.

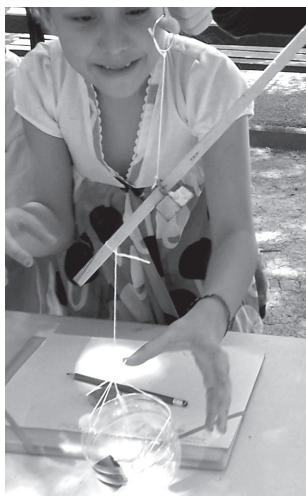
Préparation



De haut en bas

Fig. 1 :
balance Trébuchet

Fig. 2 :
balance romaine maison

**I - Fabrication de tares (5 minutes)**

12 verres : remplis de sable, de sel ou de sucre en poudre : 200 g, 100 g ;
remplis de morceaux de sucre : 50 g (= 10 morceaux), 20 g, 10 g, 5 g
(deux exemplaires de chaque).

Les masses sont préalablement vérifiées et ajustées à l'aide de la balance de cuisine. Les verres pleins sont marqués et stockés dans la boîte à chaussures pour constituer des tares.

II - Fabrication d'une balance Trébuchet et d'une balance romaine : (30 minutes)**a/ Balance Trébuchet (balance de justice) (Fig. 1)**

Préparer une bande de carton épais de 40 cm de longueur sur 2 cm de large percée de trois trous : un au centre (typ. Ø 2 mm) et un à chaque extrémité, symétriquement.

Remplir une bouteille plastique de sable ou de cailloux pour l'alourdir (socle). La percer de deux trous diamétralement opposés et insérer un pic à brochette horizontal, qui servira de pivot.

Insérer l'extrémité du pic dans le trou central de la bande de carton ; celle-ci doit pouvoir pivoter librement. Accrocher aux extrémités les plateaux réalisés avec des fonds de bouteilles suspendus à une ficelle passée par quatre trous.

Vous pouvez aussi réaliser une balance en bois : une réglette sert de fléau, une vis et son écrou servent de pivot, un tasseau de bois dans lequel on insère la vis et une bouteille pleine de sable pour stabiliser l'ensemble qui constitue le socle.

2/ Balance Romaine (Fig. 2)

Réaliser un panier avec un fond de bouteille percé de 4 trous.

Avec la scie, tracer deux gorges sur une tige de bois, l'une près de l'extrémité et l'autre à 5 cm de la précédente (on peut se contenter de deux encoches, l'une « vers le haut » et l'autre « vers le bas »). Accrocher le panier à l'extrémité de la tige à l'aide d'une ficelle et nouer serré pour la bloquer dans la première encoche.

Former un anneau (typ. Ø 3 cm) avec du fil de fer. Il permettra de tenir la balance avec un doigt. Y nouer une ficelle d'environ 15 cm de longueur, dont l'autre extrémité est fermement engagée dans la deuxième gorge. Celle-ci doit être assez profonde pour que la tige puisse pivoter sans que la ficelle n'en sorte.

Comme contrepoids, préparer une masse pouvant coulisser librement le long de la tige. L'enfiler dans la tige (un *doughnut*, anneau de pâte à modeler d'environ 200 g ou un objet accroché à un anneau en fil de fer feront très bien l'affaire).

Étalonnage de la balance : placer une tare dans le panier et déplacer le contrepoids pour atteindre l'équilibre horizontal ; marquer alors au feutre la position sur la tige en indiquant la masse réalisant l'équilibre. Renouveler la manipulation avec d'autres tares.

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment savoir si un objet est plus lourd qu'un autre ?	S'approprier un problème : - nos sens manquent de précision, - un objet plus volumineux n'est pas forcément plus lourd qu'un objet de moindre volume.	<i>Travail collectif et en groupe</i>
Comment utiliser la balance de Roberval pour classer des objets du plus lourd au plus léger ?	Utiliser une balance de Roberval pour comparer des masses : l'objet le plus lourd se trouve sur le plateau le plus bas de la balance ; lorsque les deux objets ont la même masse, le fléau est à l'équilibre horizontal.	<i>Travail en groupe puis confrontation des dessins individuels en collectif</i>
Comment déterminer la masse d'un objet avec une balance de Roberval ?	Effectuer des pesées simples en utilisant des masses marquées.	<i>idem</i>
La balance Trébuchet et la balance de Roberval ont-elles des points communs ?	Utiliser les représentations en perspective, vues de dessus et de face.	<i>idem</i>
Peut-on réaliser l'équilibre horizontal d'une barre avec des masses différentes ?	Première approche des leviers.	<i>idem</i>
Comment fonctionne la balance romaine ?	Prévoir, vérifier en expérimentant.	<i>idem</i>
Comment fabriquer d'autres balances romaines pour la classe ?	Construire une balance et réaliser son étalonnage.	<i>idem</i>

Descriptif



Sur la Lune, la masse d'un objet reste inchangée mais son poids est six fois plus faible que sur la Terre.

La masse d'un corps est une propriété liée à sa quantité de matière ; son unité est le kilogramme (kg). Le poids est une force associée, par surcroît, à la présence de la Terre sous nos pieds. Nous comparerons en fait des poids mais, dans notre situation de classe, cela revient à comparer des masses. En toute rigueur, l'unité de poids (à ne pas aborder avec les élèves) est le Newton (N), et non le kilogramme.

1/ Comment savoir si un objet est plus lourd qu'un autre ?

L'enseignant propose à chaque groupe d'élèves plusieurs objets et fruits (de même nature) à classer du plus léger au plus lourd, au jugé. Si certains sont faciles à ordonner, il en est d'autres pour lesquels les élèves ne pourront se mettre d'accord. Ils peuvent alors dessiner/écrire leurs différents classements : leur confrontation permet de conclure que, si nos sens nous permettent de comparer des masses très différentes, il nous est difficile d'y parvenir lorsque celles-ci sont proches. Les élèves devraient convenir que l'utilisation d'un outil plus sensible s'impose. C'est la balance.

C'est également l'occasion de constater que ce n'est pas parce qu'un objet est volumineux qu'il est lourd. Volume et masse sont deux caractéristiques différentes (une pomme et une boule de pétanque ont à peu près le même volume, mais des masses très différentes, cf. séquence E-15 : *Découvrons la densité*).

2/ Comment utiliser la balance de Roberval pour classer des objets du plus lourd au plus léger ?

Il est alors temps de présenter la balance de Roberval (vide).

Comment l'utiliser pour comparer des masses ? Une discussion collective permet de se mettre d'accord sur son fonctionnement : lorsqu'on place un objet sur chaque plateau de la balance, elle s'incline du côté du plus lourd (prendre soin de choisir des objets dont la comparaison des masses est consensuelle).

Comment faire pour avoir les deux plateaux au même niveau ? Les élèves répondent spontanément que la barre (le fléau) est horizontale et l'aiguille au milieu du cadran lorsque deux objets « pèsent autant », c'est-à-dire ont la même masse. *Comment le vérifier ?* En utilisant deux masses connues identiques.

Quelle stratégie adopter pour classer tous les objets en un minimum de pesées ?

Après une courte réflexion dans les groupes, chacun précise le nombre de pesées nécessaires et fait les manipulations devant la classe. Une stratégie possible est la comparaison des objets deux à deux ($A < B$ et $B < C$ donc $A < B < C$, etc.).



Les élèves peuvent choisir de ne comparer que les objets qui posent problème. La pesée des masses bien différenciées est facultative.

3/ Comment connaître la masse d'un objet avec une balance de Roberval ?

Après avoir comparé les masses entre elles, on peut aller plus loin et vouloir connaître le poids d'un objet, par exemple une pomme.

Comment faire ?

Les enfants ont sous les yeux, outre la balance, la boîte de sucre, les paquets de farine de 1 kg, de 500 g de sel, de 250 g de sel, mais ils ne peuvent pas encore les manipuler. Cette recherche peut se faire soit par groupes, soit directement en discussion collective ; la proposition d'utiliser des étalons émerge presque toujours spontanément. Si l'on connaît la masse d'un certain nombre d'objets de référence, on peut dans un premier temps encadrer la masse de l'objet. Des étalons plus fins permettent d'affiner l'estimation. La précision de mesure correspond à la masse de la plus petite tare dont l'ajout ou le retrait sur un plateau fait basculer l'équilibre.

Par exemple, la masse d'une pomme de 274 g est d'abord encadrée par celles des masses de référence de 250 g et 500 g. L'ajout successif de morceaux de sucre de 5 g à la tare de 250 g permet d'affiner l'encadrement entre 270 et 275 g.



On peut travailler sur la proportionnalité : connaissant le poids de la boîte (inscrit sur l'emballage) compter le nombre de couches ; en déduire la masse d'une couche ; puis compter le nombre de morceaux de sucre sur une couche et en déduire la masse d'un morceau.

Dans le cadre d'un travail en atelier, chaque groupe d'élèves peut ensuite s'essayer à la pesée de différents objets avec la balance de Roberval et les masses marquées fournies par l'enseignant.



Il faut prévoir 15 minutes de manipulation par groupe. Elles peuvent se situer à différents moments de la journée ; un travail en autonomie peut être proposé aux autres groupes pendant ce temps.

Très souvent, les élèves évaluent le poids de l'objet au jugé et jouent ensuite aux devinettes, en essayant sans aucun ordre les différentes masses marquées. On peut les guider vers une approche plus systématique, par encadrements successifs.



On peut alors introduire la balance de cuisine et comparer la masse qu'elle affiche à celle estimée avec la balance de Roberval. L'abandon de cette dernière par les commerçants s'explique par la facilité et la rapidité de la pesée des balances modernes.

Une méthode efficace consiste à essayer la masse marquée la plus lourde (ou la plus proche de la masse supposée l'objet) puis celle immédiatement inférieure, et de renouveler jusqu'à ce qu'une masse trop faible fasse basculer l'équilibre. On obtient un premier encadrement de la masse de l'objet. On le précise en reprenant la même procédure avec deux masses (la dernière tare utilisée qu'on laissera en permanence dans le plateau et la tare immédiatement inférieure, qu'on remplacera par une plus petite, etc.).

4/ La balance Trébuchet et la balance de Roberval fonctionnent-elles de la même façon ?

Après avoir distribué des photos d'une balance Trébuchet, l'enseignant demande aux élèves comment ils pensent que cette balance fonctionne. Ils proposeront sans doute un fonctionnement similaire à celui de la balance de Roberval.

Comment faire pour vérifier ?

Il faut essayer avec la balance Trébuchet. Vous pouvez alors apporter la balance que vous avez fabriquée et proposer aux élèves d'identifier les points communs avec celle de la photo. Il est facile de vérifier que l'horizontalité du fléau est obtenue quand des masses égales sont placées dans chaque plateau. Balances Trébuchet et de Roberval semblent fonctionner de la même façon.

Ont-elles d'autres caractéristiques communes ?

Toutes deux possèdent un fléau qui pivote en son milieu et deux plateaux à égale distance du pivot : *Existe-t-il un lien entre ces caractéristiques géométriques et la réalisation d'un équilibre horizontal lorsqu'une masse identique est posée sur chacun des plateaux ?*

Si l'on trouve d'autres dispositifs similaires, le lien est probable. Présentez alors une réglette de bois et une gomme, ainsi que plusieurs morceaux de sucre et demandez aux élèves de dessiner l'agencement de ce matériel pour obtenir un fonctionnement similaire à celui de la balance de Roberval. Ils vérifient ensuite leurs idées en réalisant leur montage : la réglette est posée sur la gomme-pivot, positionnée en son milieu. On obtient l'équilibre horizontal avec des masses égales de part et d'autre du pivot à même distance.

Les élèves peuvent également penser à d'autres dispositifs : mobiles, bascules que l'on trouve dans les parcs. Au-delà de la diversité du matériel, il semble bien y avoir une règle générale.



On peut envisager la construction de balances Trébuchet par tous les groupes ou encore un travail en technologie sur l'intérêt d'avoir un

double fléau sur la balance de Roberval (constitution d'un parallélogramme avec le reste des pièces mécaniques qui maintient les plateaux horizontaux pendant la pesée, stabilisation de l'équilibre horizontal)

5/ Peut-on réaliser l'équilibre horizontal d'une barre avec des masses différentes de part et d'autre d'un pivot ?

Après avoir dessiné la (les) façon(s) dont ils pensent s'y prendre, les enfants testent leurs propositions avec par exemple trois morceaux de sucre empilés d'un côté et un seul de l'autre.

Une mise en commun des solutions montre qu'il y a plusieurs possibilités :

- maintenir les morceaux de sucre aux extrémités et déplacer le pivot vers la masse la plus lourde,
- maintenir le pivot au milieu de la réglette et rapprocher les trois morceaux de sucre du pivot,
- une combinaison des deux précédentes.

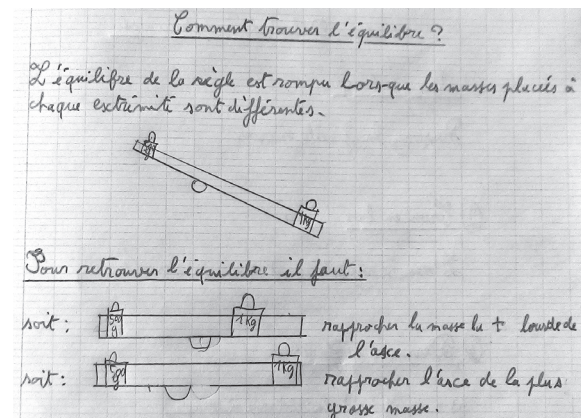
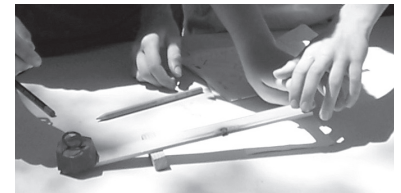
Proposez alors un nouveau défi : placez le pivot aux 2/3 de la règle et demandez de réaliser l'équilibre horizontal de la barre avec d'abord quatre, puis cinq, puis six, puis sept morceaux de sucre empilés à l'extrémité la plus courte de la réglette, deux morceaux de sucre seulement étant toujours empilés de l'autre côté. Les élèves constatent alors que plus il y a de morceaux empilés à l'extrémité la plus courte de la barre, plus il faut éloigner du pivot les deux morceaux de sucre de l'autre côté.



Suivant la taille et le poids de la règle, il peut être nécessaire de modifier les quantités de sucre ou la position initiale du pivot pour réaliser ces équilibres. Il s'agit ici de sensibiliser les élèves au fonctionnement de la balance romaine.

Il est alors temps de leur présenter une balance romaine « maison » : *Peuvent-ils imaginer son fonctionnement ?*

Laisser chaque élève/groupe décrire la façon dont il s'y prendrait pour peser un objet avec cette balance avant de lancer la discussion collective. Puis essayer. Plus l'objet à peser est lourd, plus il faut éloigner le contrepoids du pivot. Lorsque l'équilibre horizontal est atteint, on lit sur la réglette la masse pesée au niveau du contrepoids.





On peut ensuite distribuer des photos d'une balance romaine ancienne :
Quels sont les points communs avec celle construite par l'enseignant ?

6/ Comment fabriquer sa propre balance romaine ?

En s'inspirant de la balance romaine construite par le maître, les élèves peuvent concevoir leur propre balance en dessinant le schéma puis se lancer dans sa construction. Il s'agira ensuite de l'étalonner.



La position du pivot sur la barre détermine la masse maximum qu'on peut peser : c'est celle qui est nécessaire pour réaliser l'équilibre horizontal en positionnant le contrepoids le plus loin possible de l'axe.

Propositions d'animations

Première animation :

- Comment savoir si un objet est plus lourd qu'un autre ?
- Comment utiliser la balance de Roberval pour classer des objets du plus lourd au plus léger ? (*prévoir plusieurs lots d'objets et éventuellement faire deux équipes d'élèves visiteurs*)
- Comment déterminer la masse d'un objet avec une balance de Roberval ? (*prévoir pour l'animateur une calculatrice*)

Deuxième animation :

- Peut-on réaliser l'équilibre horizontal d'une barre avec des masses différentes ?
- Comment fonctionne la balance romaine ?
- Comment fabriquer d'autres balances romaines ?

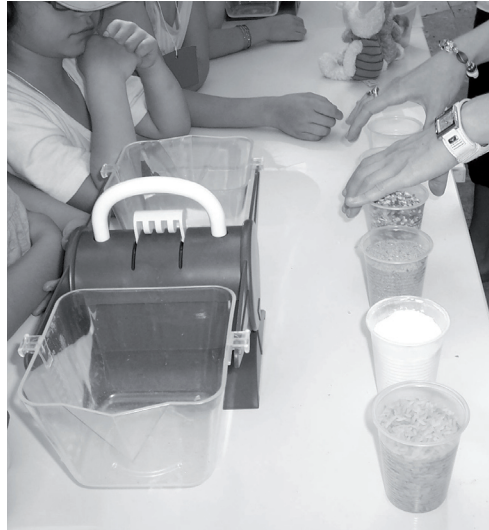
Découvrons la densité

E-15

Objectif général :

Découvrir que, pour un même volume, la masse varie suivant la matière considérée.

Réciproquement, pour une masse donnée, le volume dépend de la matière.



Lien avec le programme :
mélanges et solutions

Matériel



Par groupe : récipients contenant sable, sucre en poudre, sel fin, semoule, riz, noix de coco en poudre, farine, poudre de cacao, grosses pâtes, graviers, coton ; 10 verres en plastique ; une boîte en carton pour stocker le matériel ; une balance à liquide ou de cuisine ; une verre doseur ; une masse marquée de 200 g ou un sachet alimentaire de même poids ; un paquet de coton de 200 g ; une bassine ; 2 petits pots bébé en verre ; du carton épais ; une cuillère ; une pipette en plastique (*facultatif*).

Pour l'enseignant : une éprouvette graduée ; un verre doseur ; huile ; vinaigre ; alcool ménager ; sirop épais ; colorants alimentaires ; bouilloire électrique ; glaçons colorés ; 1 kg de plomb (de plongée, facultatif).

Budget



Produits alimentaires : 7 € ; colorants alimentaires : 4 € ; verres en plastique : 3,50 € les 50 ; balance à liquide : 29 €.

Préparation : 15 minutes



Préparer pour chaque groupe des récipients contenant les produits étudiés.



Cycle 3



6 heures



Séquence E-14

Les balances

Séquence E-09

Se dissoudre ou pas

Séquence E-19

Sable et solides en grains

Difficultés travaillées :

Notions de masse, volume et densité.

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Une masse métallique et un paquet de coton peuvent-ils avoir le même poids ?	S'approprier un problème. Identifier masse et volume comme deux paramètres pouvant varier séparément. Première définition de la densité.	<i>Travail individuel puis mise en commun</i>
Comment utiliser un verre doseur ?	Proposer et tester ses idées.	<i>Travail de réflexion en groupe, mise en commun puis expérimentation en groupe</i>
Un verre doseur permet-il de classer les matières de la plus dense à la moins dense ?	Pour une même masse, plus le volume occupé est faible, plus la matière est dense. Comparer les indications portées sur le verre pour différentes matières.	<i>Travail en groupe puis mise en commun</i>
Comment faire pour classer des solides du plus dense au moins dense ?	Proposer un protocole et le tester. Pour un même volume, plus le poids est élevé, plus la matière est dense.	<i>idem</i>
Y a-t-il des liquides plus denses que d'autres ?	Proposer un protocole et le tester.	<i>idem</i>
Comment classer des liquides du plus dense au moins dense ?	<i>idem</i>	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand on mélange deux liquides de densité différente ?	Expérimenter de façon systématique.	<i>idem</i>

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Peut-on superposer des liquides colorés dans une éprouvette ?	Réinvestir les connaissances acquises.	<i>idem</i>
Que va-t-il se passer quand on enlèvera le carton ?	Découvrir que l'eau chaude et l'eau froide n'ont pas la même densité. Vérifier que l'eau salée est plus dense que l'eau douce.	<i>idem</i>
Où va l'eau du glaçon ?	Réinvestir les connaissances acquises.	<i>idem</i>

I / Masse marquée, paquet de coton : lequel est le plus lourd ?

Distribuez à chaque groupe une masse marquée métallique et un paquet de coton de même masse puis demandez-leur si, d'après eux, l'un des deux est plus lourd que l'autre. Chaque élève doit écrire ce qu'il pense avant d'en discuter dans le groupe. Une mise en commun permet de mettre en évidence différents raisonnements : les deux objets portent la même indication de masse, il n'y a pas de raison que l'un soit plus lourd que l'autre ; ou bien : l'un des objets est nettement plus volumineux que l'autre, il devrait être plus lourd ; d'autres encore ont comparé au jugé et estiment un objet plus lourd que l'autre. Cet échange permet de poser le vocabulaire. On appellera « gros » un objet volumineux. L'unité de mesure du *volume* est le litre (l). Quand on dit qu'un objet est « *lourd* » ou « *léger* », il s'agit de son *poids*.

Connaissent-ils des objets à la fois gros et légers ? Des objets petits et lourds ? La question initiale était de comparer des poids : la même valeur en grammes est indiquée sur les deux objets, ils pèsent donc autant. Comment vérifier ce qui est indiqué sur le paquet de coton ? On peut utiliser la balance de cuisine ou la balance à liquide. Pour cette dernière, les deux bacs sont à l'équilibre horizontal (ou presque) et le poids du coton indiqué par la balance de cuisine correspond à peu de chose près à celui de la masse marquée.



Il faut s'arranger pour le coton ne dépasse pas trop de part et d'autre du bac.

Descriptif



La *masse* d'un corps est une propriété liée à sa quantité de matière ; son unité est le kilogramme (kg).

Le *poids* est une force associée, par surcroît, à la présence de la Terre sous nos pieds. Nous comparerons en fait des poids mais, dans notre situation de classe, il n'est pas nécessaire de les distinguer des masses. En toute rigueur, l'unité de poids (à ne pas aborder avec les élèves) est le Newton (N), et non le kilogramme.

Vous pouvez alors introduire la notion de *densité* : quand deux objets ont le même poids et que l'un est plus volumineux que l'autre, on dit qu'il est *moins dense*.

2/ Comment utiliser un verre doseur ?



On caractérise de nombreux corps par leur densité. La densité de l'or est différente de celle du cuivre ou de l'argent. Pour une même densité, un volume double correspond à une masse double.

Les élèves ayant ramené de la maison un verre doseur, demandez-leur de l'observer de près. *Comment l'utilise-t-on ?* Les élèves ont peut-être vu leurs parents procéder. Les groupes se mettent assez vite d'accord : il peut remplacer une balance pour les matières indiquées. Il suffit de remplir le verre jusqu'au trait pour avoir le poids souhaité de riz, de sucre, etc. Les élèves sont souvent troublés de voir des traits à des hauteurs différentes pour des mêmes masses de semoule et de cacao par exemple. Certains trouvent cela normal et font le lien avec le coton et la masse marquée : un même poids peut correspondre à des volumes différents, cela dépend de la matière considérée.

Comment vérifier que c'est la bonne façon d'utiliser un verre doseur ? Les élèves proposent d'y verser la quantité indiquée d'une matière, puis de la peser à l'aide d'une balance (ne pas oublier de tarer les récipients).

Les différentes pesées permettent de conclure. Si l'on n'est pas à quelques grammes près (comme c'est le cas en cuisine), le verre doseur est une bonne manière de se passer de balance. Les différents groupes ne trouvent pas exactement les mêmes résultats : cela dépend de la façon dont ils ont tassé les solides, de la façon de mesurer la hauteur (il faut avoir les yeux au même niveau que le trait). Il y a de nombreuses sources d'imprécision liées tant à l'outil qu'à l'expérimentateur.

3/ Un verre doseur permet-il de classer les matières de la plus dense à la moins dense ?

Rappelez aux élèves la comparaison du coton et de la masse marquée. *Pourquoi dit-on que la masse marquée est plus dense que le coton ?* La réponse doit faire apparaître que pour un même poids, le volume occupé par la masse marquée est *plus petit* que celui occupé par le coton.

Peut-on classer les différentes matières indiquées sur le verre doseur de la plus dense à la moins dense ? Chaque groupe propose son classement en expliquant sa façon de faire. La confrontation des différents classements permet d'asseoir la notion.

Comment vérifier ? Il suffit de remplir des verres en plastique de quantités d'un même poids des différents produits et de comparer leur remplissage.

4/ Comment classer les matières dans les verres de la plus dense à la moins dense ?

Présentez aux élèves des verres identiques, tous remplis à la même hauteur avec les produits utilisés précédemment et quelques nouveaux.

Comment les classer du plus dense au moins dense sans modifier le contenu des verres ? Chaque élève ou groupe d'élèves propose un protocole avant d'essayer. La mise en commun permet de comparer les classements et les procédures. Suivant la balance utilisée (balance à liquide qui permet les comparaisons ou à pesée directe pour les balances de cuisine) les solutions proposées diffèrent.

Il suffit de classer les verres des matières connues du plus au moins lourd pour retrouver le classement de la plus dense à la moins dense. On peut ensuite intercaler entre ces derniers les verres contenant les produits de densité inconnue par comparaison ou pesée directe.

Une autre façon de savoir si un produit est plus dense qu'un autre consiste donc à comparer un même volume des deux produits : le plus lourd est alors le plus dense.



Mais comment faire ?

5/Y a t-il des liquides plus denses que d'autres ?

Faites remarquer aux élèves que lorsque l'on achète un produit solide, ce dernier est la plupart du temps vendu au poids. Qu'en est-il des liquides ? On achète *un litre* et non *un kilogramme* d'huile ou de vinaigre. Les liquides sont vendus au litre.

Comment faire pour savoir si huile, vinaigre, eau, alcool ménager, sirop de menthe ont ou non la même densité ? Laissez les élèves proposer leur protocole en utilisant comme matériel une balance, des verres en plastique, un verre doseur. Ils peuvent expérimenter directement ou après une mise en commun. Ils proposent essentiellement deux approches : à masses égales, comparer les volumes occupés par les différents liquides ; ou bien, à volume égal, comparer les masses. Tous les groupes doivent aboutir au même classement. La confrontation des résultats permet de revenir sur les protocoles et d'identifier les erreurs éventuelles (mesure insuffisamment précise, volume ou masse non fixés...).

Avec le matériel de la classe, il est bien plus difficile de comparer des volumes (à poids égal) que des poids (à volume égal).



Par densité décroissante, on trouve sirop, vinaigre, eau, huile, alcool ménager.



Pendant très longtemps, le grain était vendu au « *boisseau* », une ancienne unité de volume. Certains marchands trichaient. Il est facile de constater que selon la façon dont on tasse le grain, on en met plus ou moins dans un récipient. Le passage d'une unité de volume à une unité de masse a réglé ce problème.

6/ Que se passe-t-il quand on mélange deux liquides de densité différente ?

Beaucoup d'élèves (mais pas tous) savent que l'huile flotte sur l'eau, qu'elle ne se mélange pas au vinaigre et que du sirop versé dans de l'eau tombe au fond (il faut mélanger).

Combien de mélanges différents peut-on faire avec les produits disponibles ? Comment organiser les observations ? L'ordre dans lequel on verse les produits a-t-il une importance ? Un tableau à double entrée permet de s'assurer que l'on n'a rien oublié. Verser systématiquement en premier le produit indiqué dans la colonne permet de vérifier si l'ordre des produits a une influence. Il faut les verser doucement : en utilisant une cuillère ou une pipette et en versant sur le bord, on évite un mélange trop rapide.

La mise en commun des résultats indique que certains produits (l'huile) restent séparés dans le mélange. Les autres liquides se mélangent plus ou moins vite suivant la façon d'opérer. Lorsque le mélange obtenu semble limpide après avoir touillé ou attendu, on dit des produits qu'ils sont "miscibles". Si le moins dense reste au-dessus, on dit qu'ils sont *non miscibles*.

Les élèves remarquent que l'huile coule dans l'alcool et flotte au-dessus de tous les autres liquides. Le sirop coule également dans les autres liquides mais, si l'on attend suffisamment longtemps (ou si l'on remue), le mélange devient partout le même : il s'est *homogénéisé*. L'alcool reste au-dessus des autres liquides si on le verse en second et délicatement, puis le mélange s'homogénéise lentement (on peut le colorer pour mieux voir le phénomène). On constate qu'en l'absence de mélange le produit le plus dense se retrouve systématiquement au fond du verre.

7/ Peut-on superposer des liquides colorés dans une éprouvette ?

On peut alors s'amuser à verser successivement dans une éprouvette sirop, vinaigre, eau colorée, huile, alcool coloré (certains bars à jus de fruits proposent des mélanges multicolores de ce type).



Versez soigneusement au bord du verre, en laissant les liquides couler le long du manche d'une cuillère.

8/ Que va-t-il se passer quand on enlèvera le carton ?

Présentez aux élèves deux petits pots remplis à ras, pour l'un, d'eau très salée colorée et pour l'autre d'eau douce. Recouvrez le pot d'eau douce d'un carton,

retournez-le et posez-le bord à bord sur celui d'eau salée. *Que va-t-il se passer quand on retirera d'un coup le carton ?* La discussion est animée : pour certains, l'eau salée, la plus dense est dessous, il ne se passe rien ; pour d'autres, eau salée et eau douce vont rapidement se mélanger.

Comment vérifier ? L'enseignant retire le carton et rien ne se passe : il faut attendre une bonne journée pour que les eaux se mélangent complètement.



Avec deux liquides non miscibles, le moins dense flotte sur l'autre et il n'y a pas d'évolution au cours du temps. Avec des liquides miscibles, le résultat est initialement le même mais, progressivement, le mélange se fait et on finit par obtenir un liquide unique de densité intermédiaire.



Laissez les enfants manipuler dans une baignoire : ils prennent vite le coup de main pour enlever le carton mais, en attendant, cela peut faire des inondations fâcheuses !

Que se passe-t-il maintenant si c'est l'eau douce qui est en bas et l'eau salée au dessus ? On constate un mélange rapide des deux liquides, l'eau salée tombe dans l'eau douce.

Il est alors possible de faire la même chose avec de l'eau très chaude (moins dense) et de l'eau froide. Pour dire les choses autrement, une même masse d'eau occupe un volume plus grand lorsqu'elle est chaude. Ce phénomène porte un nom : la *dilatation thermique*. Il est utilisé pour repérer la température avec les thermomètres à liquide (on utilise souvent de l'alcool).

9/ Où va l'eau du glaçon ?

On peut observer la fusion de glaçons colorés (congeler de l'eau avec un peu de colorant alimentaire) dans des verres remplis l'un d'eau pure, l'autre d'eau très salée. Où va l'eau de fonte ? Dans le premier, l'eau colorée coule au fond (glacée, elle est plus dense que l'eau tiède du verre) ; dans le second, elle reste à la surface (pure, elle est moins dense que l'eau très salée).



Le *Gulf Stream* est un courant d'eau chaude qui se déplace au dessus d'une eau plus froide pendant des milliers de kilomètres avant que le mélange ne se fasse.



Le glaçon posé dans l'eau pure fond plus vite que celui placé dans l'eau salée. En effet, si l'eau de fonte, très froide, stagne à la surface et entoure le glaçon, elle ralentit la fusion. Si elle coule, le glaçon reste en contact avec de l'eau à température ambiante qui lui transfère la chaleur nécessaire à sa fusion.

La glace est moins dense que l'eau. C'est une exception. Pour la très grande majorité des matériaux, la matière est plus dense à l'état solide qu'à l'état liquide. Quand on met de l'eau liquide au congélateur, sa masse reste constante mais son volume augmente : la glace formée est donc moins dense que l'eau liquide et flotte. Il est possible de faire un "glaçon" d'huile d'olive au congélateur (elle se solidifie aux alentours de -17°C) : ce dernier coule dans l'huile liquide, il est plus dense qu'elle. En revanche, il flotte sur l'eau.

Propositions d'animations**Première animation :**

- Une masse marquée et un paquet de coton peuvent-ils avoir le même poids ?
(formulation de la densité : « pour une même masse, plus le volume... »)
- Comment utiliser un verre doseur ? Comment vérifier ?
- Un verre doseur permet-il de classer les matières de la plus dense à la moins dense ?
- Comment faire pour classer des solides du plus dense au moins dense ? (passage à une nouvelle formulation de la densité : « pour un même volume, plus la masse... »)

Deuxième animation :

- Un même volume de sirop et d'eau ont-ils le même poids ?
(formulation de la densité : « pour un même volume, plus la masse... »)
- Comment faire pour classer des liquides du plus dense au moins dense ?
- Que se passe-t-il quand on mélange deux liquides de densité différente ?
- Peut-on superposer des liquides colorés dans une éprouvette ?
[- Que va-t-il se passer quand on enlève le carton ?]
[- Où va l'eau du glaçon ?]

Électricité : comment allumer le nez de l'ours ?

E-16

Objectif général :

Identifier les conditions nécessaires pour allumer une ampoule : notions de boucle (circuit fermé), d'isolant et de conducteur.

Matériel



Par binôme : 4 fils munis de pinces crocodile ; une ampoule ; une douille ; carton épais ; papier aluminium ; une pile plate à lames 4,5V ; attaches parisiennes ; fils et matériaux divers (laine, scoubidou, plastique, verre...) ; ciseaux ; ruban adhésif ; ardoise des élèves si utilisation dans la classe.

Pour l'enseignant : une ampoule domestique à vis (à filament de préférence) ; paille de fer (*facultatif*).

Budget



Le lot d'ampoules, douilles et fils pinces crocodile : 30 € ; piles plates : 13 € les 12 ; papier aluminium : 1 €.

Préparation : 10 à 20 minutes



Fabrication du gabarit pour le découpage des ours : 5 min ; fabrication d'un ours : 5 min. Pour les plus jeunes, découpage des ours : 20 min environ.

Fabrication d'un ours : Découper le carton en forme de tête d'ours, deux longs rectangles de carton (les pattes de l'animal) dépassant de part et d'autre de son encolure. En les pliant à l'épaule, ces pattes doivent pouvoir se toucher. En recouvrir l'extrémité de mitaines de papier aluminium. Percer le nez pour y insérer l'ampoule et sa douille (photo). À l'aide de fils pinces crocodile, connecter les pattes de la douille, l'une à une lame de la pile et l'autre à une « main » de l'ours (au niveau du papier alu). Connecter l'autre main de l'ours (*idem*) à la seconde lame de la pile.

On peut fixer la pile de manière à maintenir l'ensemble vertical. Couvrir le montage d'un carton pour le masquer aux élèves.

Conditions spécifiques



Il n'est pas nécessaire d'interpréter les phénomènes en termes de *courant électrique*. On peut se contenter de la notion de *boucle* associée à la pile.

Quand, partant d'une lame de la pile et suivant les éléments du montage, on arrive sans interruption à l'autre lame, une boucle est réalisée. Si tous les éléments inclus dans la boucle sont conducteurs, l'ampoule s'allume.

Sécurité électrique : Les piles 1,5 ou 4,5V sont inoffensives. Il n'est en revanche pas question de toucher aux prises de courant à la maison ou à l'école !



Quand les pattes revêtues d'aluminium se touchent, le nez s'allume !

Lien avec le programme :
circuits électriques alimentés par des piles, règles de sécurité, dangers de l'électricité



Cycles 2 & 3



8 heures



Difficultés travaillées :

Pour les plus jeunes, il est parfois difficile de connecter les fils aluminium à l'ampoule et de réaliser une observation fine des points de connexion.

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
De quoi a-t-on besoin pour fabriquer l'ours ?	S'approprier le projet et prendre conscience des éléments nécessaires à sa réalisation.	<i>Travail individuel et bilan collectif</i>
À quoi ressemble une ampoule ?	Découvrir les éléments constitutifs de l'ampoule et mettre en place le vocabulaire (<i>plot</i> et <i>culot</i>).	<i>Travail en binôme et bilan collectif</i>
Comment allumer l'ampoule au contact de la pile ?	Réaliser un montage simple et savoir le schématiser.	<i>idem</i>
Comment allumer l'ampoule loin de la pile ?	Découvrir la notion de boucle.	<i>idem</i>
Comment éteindre l'ampoule sans toucher ni à la pile ni à l'ampoule ?	Comprendre qu'une boucle doit être fermée pour allumer une ampoule. Première découverte de l'interrupteur.	<i>idem</i>
Par quoi peut-on remplacer un fil d'aluminium ?	Découvrir que certains matériaux permettent d'allumer l'ampoule et d'autres pas. Sécurité électrique.	<i>idem</i>
Comment fabriquer l'ours ?	Réinvestir les acquis et réaliser un circuit simple.	<i>idem</i>

Descriptif **1/De quoi a-t-on besoin pour fabriquer l'ours ?**

La présentation de l'ours aux élèves (fils de connexion cachés) en phase collective permet le démarrage du projet : comment allumer le nez de l'ours ? Les enfants trouvent facilement qu'il suffit de rapprocher ses pattes pour allumer l'ampoule. De quoi a-t-on besoin pour en fabriquer d'autres ? La réponse à cette question peut être cherchée collectivement ; chaque enfant peut également écrire sur son ardoise ce qu'il pense avant la confrontation des différentes idées.

Électricité : comment allumer le nez de l'ours ?

E-16

Si les élèves proposent spontanément les éléments visibles (carton, ampoule, attache parisienne, papier aluminium) et conçoivent bien la nécessité de fils de connexion, il leur arrive d'oublier la pile (à la maison, il suffit d'appuyer sur un interrupteur pour que la lumière s'allume). Avec les plus grands, demander de dessiner les branchements qu'ils proposent : cela permet de se faire une idée des compétences qu'ils mobilisent (il va falloir avancer progressivement...).

L'ampoule est le premier élément à étudier afin de mettre en place le vocabulaire nécessaire (*plot, culot*). Cela évite les formulations imprécises («*Je mets le truc sur le machin et alors...*»).

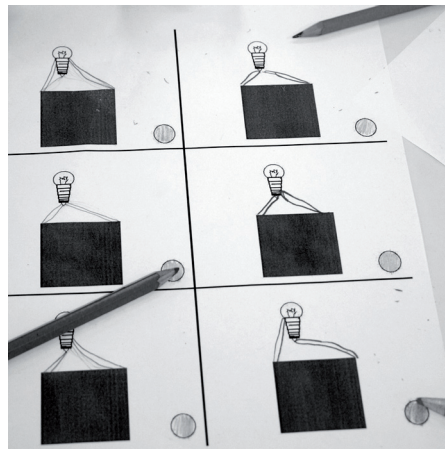
2/ À quoi ressemble une ampoule ?

Ce travail préliminaire n'est pas en démarche d'investigation et peut s'effectuer en une quinzaine de minutes. Après avoir présenté aux élèves une ampoule domestique (à vis, pour faciliter ensuite la comparaison avec les petites ampoules utilisées pour l'ours), il s'agit de la dessiner. La confrontation des premiers dessins révèle de grandes disparités. On observe alors attentivement les points problématiques (essentiellement l'intérieur de l'ampoule et la zone basse culot/isolant/plot). La distribution d'une ampoule par binôme permet l'observation ciblée et la mise en place du vocabulaire commun.

3/ Comment allumer l'ampoule au contact de la pile ?

Présentez le matériel (pile et ampoule). Précisez que si cela chauffe, c'est que le montage réalisé n'est pas bon. Demandez aux élèves de dessiner avec précision comment ils veulent procéder *avant* d'essayer.

Cette étape permet de garder la trace des différents essais et de souligner les façons de faire «*qui marchent*». Il est rébarbatif de dessiner l'ensemble du montage avant chaque essai : distribuer des schémas à compléter où seules les lames reliant la pile et l'ampoule restent à dessiner permet de gagner du temps. La mise en commun des solutions permet de conclure que, pour allumer l'ampoule, il faut qu'une lame de la pile soit en contact avec le plot et l'autre avec le culot.



Les ampoules à filament tendent à être remplacées par des ampoules où c'est un gaz soumis à une haute tension qui émet de la lumière. Cela ne pose pas de problème ici : seules les bornes de l'ampoule et leur séparation par un isolant nous intéressent. La comparaison de différents types d'ampoules peut mettre en évidence l'existence systématique de ces éléments (ce n'est toutefois pas toujours aussi clair pour les nouvelles diodes DEL).



Circulez dans les groupes afin de vérifier que les élèves positionnent bien la pile et l'ampoule comme décrit sur leur dessin. Insistez sur les connexions : *En contact avec quel endroit de l'ampoule la lame est-elle dessinée ? La lame dessinée connecte-t-elle bien la pile et un point de l'ampoule ?*

Différents essais pour parvenir à allumer l'ampoule. Seules les lames sont dessinées par les élèves.

4/ Comment allumer l'ampoule loin de la pile ?

Il s'agit maintenant d'allumer l'ampoule en s'aidant de « fils » d'aluminium maison. Pour les réaliser, les élèves découpent des bandes d'aluminium d'environ 1 cm de largeur et 15 cm de longueur, puis les tortillent. Des schémas à compléter facilitent le dessin *avant* expérimentation. La confrontation des différentes solutions trouvées par les binômes permet de conclure que pour allumer l'ampoule loin de la pile, il faut qu'un fil connecte une lame au plot de l'ampoule et qu'un autre fil connecte la seconde lame au culot. On vérifie qu'en partant d'une lame, on peut suivre avec le doigt les éléments du circuit et arriver à l'autre lame : on a réalisé une boucle.

Introduction de la douille : Il faut se mettre à deux pour réaliser le montage avec une ampoule nue et ce n'est pas pratique (les fils tiennent mal). La douille va faciliter le travail. Son observation attentive permet de constater que les deux « pattes » sont connectées chacune à un élément métallique en contact l'un avec le plot, l'autre avec le culot et que ces éléments sont séparés par un isolant (caoutchouc la plupart du temps). Ces pattes se substituent au plot et au culot de l'ampoule. En entortillant le fil aluminium autour des pattes de la douille et des lames de la pile, l'ampoule reste allumée sans qu'on soit obligé de la tenir.



Les élèves peuvent constater que la longueur et l'épaisseur de fil n'influent pas sur l'intensité lumineuse de l'ampoule

Exemple de document distribué par un enseignant à ses élèves

Comment peut-on allumer l'ampoule loin de la pile ?

Explique en complétant ces schémas, comment à ton avis, nous pouvons allumer l'ampoule loin de la pile.

Teste avec le matériel et vérifie si la pile est allumée ou non. Note-le sur tes schémas.

Pour allumer l'ampoule loin de la pile, un fil doit relier une lame de la pile au culot, et un fil doit relier l'autre lame au plot.

Électricité : comment allumer le nez de l'ours ?

E-16

5/ Comment éteindre l'ampoule sans détacher les fils ?

Laissez aux élèves le temps de la réflexion et d'écrire ce qu'ils veulent faire avant de les autoriser à essayer. Leurs idées reviennent souvent à détacher un fil de la douille ou d'une lame de la pile : ce n'est pas une réponse satisfaisante, ils doivent se débrouiller pour éteindre l'ampoule autrement. Il suffit qu'un binôme pense à couper l'un des fils d'aluminium pour que la solution se propage à toute la classe.

Comment rallumer l'ampoule ensuite ? Il suffit de rapprocher les deux extrémités du fil coupé. La conclusion s'impose naturellement : lorsqu'on a une boucle fermée, l'ampoule s'allume ; si la boucle est coupée, l'ampoule s'éteint. Les élèves viennent de réaliser leur premier *interrupteur*.

6/ Par quoi peut-on remplacer un fil d'aluminium ?

Laissez dans un premier temps les enfants faire une liste des objets qu'ils veulent tester en leur précisant qu'ils ont dans leurs trousse et autour d'eux de quoi réaliser déjà de nombreux tests. Comme toujours, leur demander de prévoir avant d'essayer. Il est pratique d'organiser les prévisions et les résultats sous la forme d'un tableau. Proposer en complément des fils variés et différents matériaux : fils avec pinces crocodile, scoubidou, fil de fer, fil de laine, ruban adhésif, élastique, mine de critérium, plastique, verre, bois...

La mise en commun des résultats permet de constater que la matière semble être le critère déterminant. Les objets en métal permettent de fermer la boucle et d'allumer l'ampoule ; la mine de critérium (graphite) également, mais pas les autres matériaux. Les matériaux qui permettent d'allumer l'ampoule (le passage du courant, dira-t-on plus tard) seront appelés des *conducteurs* et les autres des *isolants*.

Sécurité électrique : Peut-on trouver une justification aux choix de matériaux des fils pinces crocodile et des douilles ? Le caoutchouc qui sépare les deux pattes de la douille est un isolant. Sans cela, ce serait comme si un simple fil connectait les deux pattes.



En prolongement, les élèves peuvent se lancer dans la réalisation d'interrupteurs : ils sont souvent très imaginatifs et utilisent aluminium, trombones, attaches parisiennes, systèmes coulissants... Ouvrir le boîtier d'une lampe de poche à pile plate permet d'observer la solution technologique choisie pour l'interrupteur et de vérifier que, là aussi, pour que l'ampoule s'allume, les concepteurs ont réalisé une boucle.



Certaines règles de bureau sont recouvertes d'un vernis isolant et ne permettent pas d'allumer l'ampoule : si c'est possible, gratter un peu la surface ; sinon l'indiquer aux élèves.



La laine permet-elle d'allumer l'ampoule ?



En remplaçant l'ampoule par une diode (faire attention à son branchement : c'est un composant polarisé, une patte doit être connectée au pôle positif de la pile – suivre les indications du fabricant), on peut observer qu'elle brille en présence d'eau dans le circuit.

Il faut utiliser de l'eau très salée pour voir briller une ampoule (et rapprocher les fils de connexion).

Les élèves ont pu constater qu'un fil métallique inséré entre les deux lames d'une pile chauffait fortement : c'est un *court-circuit*. On peut également créer des étincelles dans de la paille de fer en la posant entre les lames de la pile (ne pas la laisser trop longtemps ou la pile ne sera plus utilisable). L'élément que l'on voulait insérer dans la boucle (ici, l'ampoule) est court-circuité ; il y a risque d'incendie et plus prosaïquement de brûlures si le fil se trouve à côté d'éléments combustibles.

Lorsqu'on ôte le cache plastique de la pince crocodile, on constate qu'elle est reliée à un fil de cuivre enrobé de plastique. L'extérieur du fil est isolant et l'intérieur conducteur. La partie du fil que l'on manipule est donc isolée pour éviter que de l'électricité ne nous traverse. Le maître a pourtant laissé les élèves manipuler avec du fil aluminium conducteur ! Les élèves ne sentent rien et l'ampoule ne s'allume pas quand on remplace un fil de connexion par un doigt : le corps humain semble être un mauvais conducteur. Proposez alors aux élèves de mettre leur langue entre les deux lames de la pile : cela « picote », la langue humide conduit mieux l'électricité que les mains. L'électricité domestique présente un danger bien plus grand que la pile et tous les fils électriques sont *isolés*. Quand on branche un appareil dans les prises de la maison, on touche *uniquement* la partie en plastique, les doigts ne doivent *jamais* entrer en contact avec le métal conducteur qui se trouve à l'intérieur des prises ou d'un fil dénudé connecté à une prise (risque mortel).

7/ Comment fabriquer son ours ?

L'utilisation de fils munis de pinces crocodile facilitera le montage. En cas de croisement, les fils aluminium génèrent des courts-circuits ; il est utile de les isoler à l'aide de ruban adhésif. Avant de se lancer dans la construction de l'ours, les enfants dessinent le montage qu'ils envisagent : les premiers essais sont souvent infructueux.

Par exemple, le nez reste allumé en permanence et ne s'éteint que lorsque les pattes se touchent. C'est l'erreur de montage classique où les enfants ont connecté l'ampoule directement à la pile (première boucle) et, en parallèle, les deux pattes de l'ours à la pile (deuxième boucle) : à chaque fois qu'elles se touchent, ils réalisent un court-circuit et l'ampoule s'éteint. Il faut alors corriger le montage : chaque nouvel essai est précédé d'un dessin. La comparaison des dessins permet de constater que les montages réussis sont ceux où une boucle unique est fermée lorsque les deux pattes se touchent : celles-ci servent d'interrupteur.

Il faut bien quatre mains pour tout tenir !



Électricité : comment allumer le nez de l'ours ?

E-16

Prolongement :

Plutôt que le nez, on peut choisir d'allumer les yeux de l'ours. Comment faire pour allumer deux ampoules loin de la pile ? Deux montages sont possibles : les deux ampoules sont intégrées dans une même boucle, c'est le montage « en série » ; ou dans deux boucles distinctes, c'est le montage « en parallèle ».

On peut observer que les deux ampoules brillent autant l'une que l'autre, quel que soit le montage ; en revanche, elles sont plus brillantes lorsqu'elles sont montées en parallèle.

Par ailleurs quand on déconnecte l'une des ampoules, l'autre continue de briller dans le montage en parallèle (boucles indépendantes), mais s'éteint dans le montage en série (on coupe le circuit). On privilégie le montage en parallèle aux ampoules plus brillantes. Pour éviter à l'ours de dormir d'un œil, les deux ampoules doivent être connectées aux mêmes endroits (interrupteur commun). On peut proposer aux élèves de réaliser de nombreux autres jeux électriques sur le principe de la fermeture d'une boucle : jeux questions-réponses, jeu de l'anneau (il s'agit de faire avancer un anneau métallique le long d'un fil métallique tout tordu sans le toucher, tout contact étant sanctionné par l'allumage d'une ampoule).



Mais la pile durera moins longtemps dans le montage en parallèle ; le montage en série permet de l'économiser.

Pour aller plus loin :

J.-M. ROLANDO et al., *64 Enquêtes pour comprendre le monde C3*, Magnard, coll. Odysséo Sciences, 2010.

Site internet de La Main à la Pâte :
<http://www.lamap.fr>.

R. TAVERNIER et al., *Enseigner les sciences expérimentales à l'école élémentaire*, Physique et technologie, Bordas, 2009.

Propositions d'animations**Première animation : (C2)**

- À quoi ressemble une ampoule ?
- Comment allumer l'ampoule au contact de la pile ?
- Comment allumer l'ampoule loin de la pile ?
- [- Comment éteindre l'ampoule sans toucher ni à la pile ni à l'ampoule ?]

Deuxième animation :**(C2 à la suite de la précédente idéalement)**

- Comment allumer l'ampoule loin de la pile ?
- Par quoi peut-on remplacer un fil d'aluminium ?
- [- Comment éteindre l'ampoule sans toucher ni à la pile ni à l'ampoule ?]

Troisième animation :**(C3 ou à la suite de la précédente, attention à l'organisation des rotations dans ce cas)**

- [- Comment allumer l'ampoule loin de la pile ?]
- Comment éteindre l'ampoule sans toucher ni à la pile ni à l'ampoule ?
- Comment fabriquer l'ours ?
(douille et fils avec pinces crocodiles)

Quatrième animation : (C3 ayant déjà travaillé en électricité)

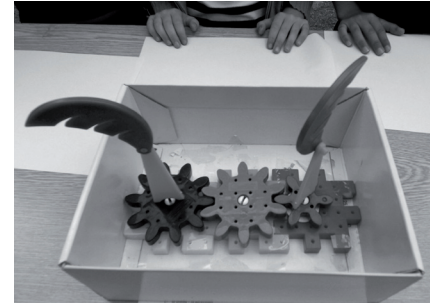
- Comment allumer deux ampoules loin de la pile ?
- Que se passe-t-il quand on ôte une ampoule de sa douille ?
- Dans un montage parallèle, comment faire pour éteindre les deux ampoules en même temps ?
(utilisation de fils en aluminium)
- Comment fabriquer un ours dont les yeux s'allument quand ses pattes se touchent ?

Engrenages

E-17

Objectif général :

Construire un engrenage ; observer que deux roues à denture externe tournent en sens contraire ; observer les sens de rotation d'un train d'engrenages ; faire le lien entre le nombre de dents de deux roues en contact et le nombre de tours effectués par chacune.



Matériel



Par groupe : roues dentées de diamètres différents avec leur support ; personnages type TMPlaymobil ; gommettes ; boîtes à chaussures ; ruban adhésif ; carton ; essoreuse à salade (transparente de préférence).

Budget



400 roues dentées, supports et pièces d'animation diverses : 100 € (achat par lot).

Préparation : 30 minutes



Réalisation des boîtes mystères, de flèches courbées et d'une feuille d'exercice sur les engrenages.

Sur une feuille, dessiner plusieurs engrenages comportant de 3 à 8 roues dentées en contact. Tracer une flèche indiquant le sens de rotation de la première roue. Titrer : *Dans quel sens tourne la dernière roue de l'engrenage ?*

Flèches : découper des flèches en carton courbées de 10 cm environ pour représenter les sens de rotation possibles des roues dentées.

Boîte-mystère : fixer au fond des boîtes à chaussures les supports et engrenages correspondants (deux à trois roues dentées au choix). Fixer une pièce d'animation au centre des deux roues dentées situées aux extrémités (cf. photos). Percer le couvercle pour permettre aux élèves de faire tourner les pièces d'animation sans voir le contenu de la boîte. Prévoir des boîtes avec des roues identiques en utilisant trois petites roues ou deux grandes roues (pour avoir un espacement similaires entre les pièces d'animation visibles par les élèves) et d'autres avec 2 roues de tailles très différentes.

Lien avec le programme :
transmission
du mouvement



Cycles 2 & 3



3 à 4 heures



Difficultés travaillées :

«Dent pour dent» : une dent d'une roue entraîne une dent d'une autre roue. Quand une roue fait un tour, le nombre de tours effectués par les roues entraînées dépend de leur nombre de dents.



Séquence M-16
Engrenages (maternelle)

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Qu'y a-t-il dans la boîte mystère ?	S'approprier un problème. Observer pour émettre des hypothèses.	<i>Travail par groupe puis mise en commun</i>
Que se passe-t-il quand une roue dentée en entraîne une autre ?	Deux roues d'un engrenage tournent en sens contraire.	<i>Travail par binôme puis mise en commun</i>
Comment représenter un engrenage ?	Schématiser et rendre compte d'une observation.	<i>Travail individuel puis mise en commun</i>
Peut-on prévoir le sens de rotation de la dernière roue d'un engrenage ? Comment bloquer un engrenage ?	Observer une régularité et associer le nombre de roues d'un engrenage avec le sens de rotation d'une roue de celui-ci.	<i>Travail par groupe puis mise en commun</i>
Comment repérer qu'une roue a fait un tour ?	Concevoir un mode opératoire pour repérer le nombre de tours effectués par une roue.	<i>idem</i>
Quand une roue fait un tour, combien la roue entraînée en fait-elle ?	Observer la mise en rotation d'une roue dentée. Quand la dent d'une roue se déplace, elle entraîne la dent d'une autre roue.	<i>idem</i>
Qu'y a-t-il dans la boîte mystère ?	Réinvestir ses connaissances pour résoudre un problème Réaliser des boîtes mystères pour ses camarades.	<i>Travail par binôme</i>
Comment fonctionne une essoreuse à salade ?	Deux roues peuvent tourner dans le même sens si l'une des deux a des dents internes.	<i>Travail par groupe puis mise en commun</i>
Dans quels objets trouve-t-on des roues dentées ?	Découvrir des objets techniques.	<i>Discussion collective</i>

Il arrive que les élèves possèdent des jeux de construction avec des roues dentées : n'hésitez pas à les emprunter pour multiplier les exemples.

Descriptif

1/ Qu'y a-t-il dans la boîte mystère ?

Présentez les boîtes mystère fermées aux élèves et demandez à chacun de dessiner son contenu probable sur un quart de feuille A4, puis de coller son dessin sur l'affiche du groupe. La confrontation des affiches et les discussions amènent les élèves à affiner leurs recherches. La plupart sont convaincus qu'il y a des roues dentées à l'intérieur (certains ont regardé par les petites ouvertures laissées pour les personnages d'animation). Des élèves ont observé que les personnages ne tournaient pas à la même vitesse ou dans le même sens, d'autres n'ont rien vu de tout cela. C'est l'occasion d'introduire du vocabulaire : une roue en *entraîne* une autre ; plusieurs roues entraînées par une autre forment un *engrenage* ; les roues sont *dentées*.

Les dessins des élèves sont également très variés : roues détachées les unes des autres, en contact, superposées. L'observation de roues qui tournent permettra d'identifier les dessins corrects. Plusieurs pistes de travail apparaissent donc : observer des roues de plus près et, plus particulièrement leur sens de rotation et leur vitesse ; se mettre d'accord sur une façon de représenter les roues.

2/ Que se passe-t-il quand une roue dentée en entraîne une autre ?

Proposez aux binômes un support et deux roues dentées. Les élèves ont vite fait le tour de la question : quand une roue tourne dans un sens, l'autre tourne en sens contraire. Pour les plus jeunes qui auraient des difficultés, procédez comme sur la fiche maternelle (M-16).

3/ Comment représenter un engrenage ?

Une discussion autour des premiers dessins réalisés conduit les élèves à éliminer ceux où les dents ne sont pas en contact et ceux où la représentation des roues est par trop inexacte. Ce n'est pas facile de dessiner des roues avec des dents : comment faire ? Il est toujours possible de démonter les roues du support, de les poser sur une feuille et de longer les bords des roues avec un crayon. C'est fastidieux. Découper des roues dentées photocopiées pour les coller ne permet pas de réaliser un engrenage où les dents sont en contact. Les dents posent problème : comment faire pour les dessiner sans modèle ? On peut décider de tracer les roues sous forme de deux cercles, le plus petit situé à la

base des dents et l'autre englobant leurs sommets ; on se contente alors de ne dessiner qu'une partie des dents, celles qui sont en contact avec les dents d'une autre roue. Laissez alors chaque élève dessiner son engrenage.

L'affichage des nouveaux dessins permet de constater leur évolution : ces dessins rendent-ils compte des observations ? Souvent, on ne voit pas que les roues tournent et on ne peut pas savoir quelle roue a entraîné quelle autre. Les élèves proposent spontanément d'utiliser des flèches. On s'accorde sur leur signification à l'aide de flèches en carton : quand on fait tourner une roue avec le doigt, il passe d'abord par la base puis ressort par la pointe de la flèche. Il faut également indiquer sur le schéma la roue qui entraîne les autres roues (roue «*menante*») en l'écrivant ou en choisissant un code couleur.

4/ Peut-on prévoir le sens de rotation de la dernière roue d'un engrenage ?



Fournissez à chaque élève une feuille sur laquelle sont représentés plusieurs engrenages avec un nombre varié de roues. *Peuvent-ils prévoir le sens de rotation de la dernière ?* La discussion qui s'ensuit dans les groupes conduit les élèves à vouloir vérifier leurs idées. Distribuez alors un nombre important de roues dentées et de supports à chacun et demandez-leur de trouver une règle simple qui permettrait de savoir rapidement si la roue de sortie tourne dans le même sens ou en sens contraire à celui de la roue menante. La mise en commun permet de constater que lorsque l'on a un nombre pair de roues, la première et la dernière tournent systématiquement en sens contraire ; mais que pour un nombre impair, elles tournent dans le même sens. «*C'est logique !*» admettront aisément certains élèves, qui ont bien noté que l'on inverse le sens de rotation à chaque fois que l'on ajoute une roue.

Peut-on bloquer un engrenage ? Il suffit de constituer une boucle avec un nombre impair de roues. Comme dans tout engrenage, cela implique qu'aux deux extrémités les roues tournent dans le même sens. Or deux roues en contact doivent tourner en sens inverse l'une de l'autre. Les deux conditions ne peuvent être réalisées en même temps et cela conduit au blocage du dispositif.

5/ Comment repérer qu'une roue a fait un tour ?

Laissez chaque groupe réfléchir sur la question. La mise en commun permet de lister différentes solutions et d'éliminer celles qui n'y répondent pas. On peut par exemple faire des repères sur la roue et le support (gommette), les positionner en vis à vis et tourner la roue. Elle a fait un tour quand les deux

repères se retrouvent face à face. *Comment repérer qu'une roue va plus vite qu'une autre ?* Une discussion collective conduit les enfants à comparer le nombre de tours fait par deux roues pendant un temps donné. On peut aussi regarder combien de tours fait une roue entraînée (« menée ») quand celle que l'on tourne en fait un. Si elle fait plus (resp. moins) d'un tour, elle va plus (resp. moins) vite ; si elle en fait également un, elle va à la même vitesse.

6/ Quand une roue fait un tour, combien la roue entraînée en fait-elle ?

Présentez aux élèves différents engrenages de deux roues, dont les premières sont identiques et les secondes plus petites, pareilles ou plus grandes. *Peuvent-ils prévoir combien de tours fera la roue entraînée quand la roue menante en fera un ?* Laissez les groupes discuter et écrire ce qu'ils pensent (en justifiant) avant de distribuer le matériel pour vérification. *Comment expliquer ce qui se passe ?* Si les élèves n'abordent pas la question du point de contact entre les roues, faites-le leur observer. Une dent d'une roue entraîne une seule dent d'une autre roue. Certains élèves ne sont pas convaincus, comment faire pour vérifier ? Pour les aider il est possible de coller des gommettes de couleurs sur plusieurs dents adjacentes de chacune des roues. Les deux dents avec la gommette rouge entrent en contact, puis c'est au tour des deux avec la gommette bleue, etc. Dent pour dent, donc. Si les deux roues ont le même nombre de dents, quand l'une fait un tour, l'autre en fait autant. Sinon, quand la roue la plus petite a fait un tour, la roue la plus grande a fait moins d'un tour ; et inversement.



Que se passe-t-il quand plusieurs roues sont entraînées successivement par une même roue menante ? Comme une dent entraîne toujours une seule autre, le nombre de dents des roues intermédiaires n'a pas d'importance. C'est la comparaison du nombre de dents des deux roues extrêmes qui compte. C'est bien pratique.

7/ Qu'y a-t-il dans la boîte mystère ?

Les élèves sont prêts à utiliser leurs connaissances pour identifier le contenu de la boîte mystère. Ils peuvent déterminer si la boîte contient un nombre pair ou impair de roues et comparer la taille des roues d'entrée et de sortie.



S'il y a des roues intermédiaires, on ne peut rien en dire.

Connaissant la taille des roues utilisées, cela devient plus facile : on peut s'aider de la distance entre les différents objets d'animation pour estimer la taille des différentes roues. Après avoir dessiné ce qu'ils pensent, les élèves ouvrent la boîte pour vérifier.



Il est possible de fabriquer ses propres boîtes mystères en découpant des roues dentées dans du carton épais. Un découpage soigneux des dents est nécessaire pour un engrenage fonctionnel.



La petite roue qui entraîne le panier est placée au centre du couvercle. Cela permet de réaliser un dispositif d'accrochage entre le panier et le couvercle en plusieurs points (ergots le plus souvent) et évite que le panier ne « décroche ». Pour cette raison, la manivelle est excentrée. Bel objet !

8/ Comment fonctionne une essoreuse à salade ?

Apportez une essoreuse à salade : même si c'est un objet qui se fait rare dans les cuisines, les élèves sont souvent capables d'identifier la bête. Sinon, montrez-leur comment on l'utilise. *Peut-on imaginer comment elle a été conçue ?* Les élèves peuvent-ils en dessiner l'intérieur ? Elle peut circuler de groupe en groupe mais les élèves ne peuvent pas l'ouvrir ou la démonter. Les dessins permettent une évaluation formative du travail réalisé : les élèves qui proposent un système où la manivelle est reliée à une grande roue et le panier à une petite (donc plus rapide) sont sur la bonne voie. S'ils ont observé que le panier tournait dans le même sens que la manivelle et proposent un système à trois roues, c'est encore mieux.

La comparaison des dessins révèle qu'il n'est pas facile de comprendre ce que les uns et les autres ont fait car les roues sont solidaires de parties différentes de l'objet : l'une est associée à la manivelle et l'autre au panier. On peut utiliser des couleurs différentes pour y voir plus clair. Les dessins suscitent de nombreuses questions et remarques : *Comment le couvercle entraîne-t-il le panier ? Comment les roues sont-elles disposées ?* Il faut regarder. Vous pouvez demander aux élèves d'apporter les essoreuses à salade de la maison si elles utilisent des roues dentées (il y en a avec une ficelle que l'on tire, comme un yo-yo). Les élèves sont souvent surpris : il y a deux roues et l'une a ses dents à l'intérieur. Quand une roue à dents internes entraîne une roue à dents externes, elles tournent toutes les deux dans le même sens.

9/ Dans quels objets trouve-t-on des roues dentées ?

Demandez aux élèves d'apporter des objets ou des images dans lesquels on trouve des engrenages. Il y a bien sûr les vélos (la chaîne permet aux deux roues de tourner dans le même sens) mais aussi les montres anciennes, les chignoles, les batteurs à œufs, les roues des anciens moulins à huile ou à farine. On peut prolonger le travail par l'étude d'un de ces objets.

Propositions d'animations**Première animation :**

- Qu'y a-t-il dans la boîte mystère ?
- Que se passe-t-il quand une roue dentée entraîne une autre ?
- Comment représenter un engrenage ?
- Peut-on prévoir le sens de rotation de la dernière roue d'un engrenage ? Comment bloquer un engrenage ?
- Comment repérer qu'une roue a fait un tour ?
- Quand une roue entraîne une autre et fait un tour, peut-on prévoir le nombre de tours faits par la roue entraînée ?
- Qu'y a-t-il dans la boîte mystère ?

Deuxième animation : (C3)

- Comment fonctionne une essoreuse à salade ?
(la faire fonctionner, demander de la dessiner avant de l'observer)
- Dans quels objets trouve-t-on des roues dentées ?
(demander de prévoir ce qu'il se passe avant d'essayer)
- Qu'y a-t-il dans la boîte mystère ?



Objectif général :

Construire un sablier, identifier des paramètres susceptibles d'affecter la durée d'écoulement et les faire varier.



Matériel



Par atelier : 16 petites bouteilles d'eau minérale et leurs bouchons, identiques si possible (même diamètre), et autant de bouchons supplémentaires que possible ; colle ; chatterton ; gobelets contenant sable, sucre en poudre, sel fin et gros sel, semoule moyenne et fine, riz, lentilles ; 6 cuillères ; 1 boîte en carton pour stocker les sabliers et gobelets ; 4 entonnoirs (ou feuilles roulées en cône) ; 2 petits marteaux ; 2 planches ; carton ; 1 paire de ciseaux ; rouleau adhésif ; bacs pour la manipulation.

Pour l'enseignant : sablier commercial ; métronome (facultatif) ; marteau et lot de poinçons ; colle silicone (ou pistolet à colle).

Budget



Poinçons : 9 € le lot de 10 ; produits alimentaires : 5 € ; colle silicone : 6 € ; chatterton : 4 € les 3 rouleaux de couleurs différentes.

Préparation : 15 minutes



Sollicitation des parents pour le prêt de sabliers (on en trouve dans certains jeux de société) et d'un métronome (*facultatif*).

Fabrication de 4 sabliers : À l'aide du marteau, percer le centre de huit bouchons avec le même poinçon. Coller ensuite les bouchons deux à deux l'un contre l'autre, en veillant à avoir les deux trous en vis-à-vis. Renforcer le collage avec le chatterton. Il ne reste plus qu'à remplir quatre bouteilles avec différents volumes d'un même solide en grains, à y visser les deux bouchons collés, puis à compléter le montage en vissant par-dessus la bouteille vide. Percer huit bouchons supplémentaires de trous de diamètres très différents (par paires).

Conditions spécifiques



Prévoir des planches pour le perçage des bouchons avec les poinçons afin de ne pas abîmer les tables. Prévenir les collègues qu'il y aura un peu de bruit dans la salle. Prévoir des bacs pour éviter de répandre du sable partout.

Lien avec le programme :
mesure du temps



Cycles 2 & 3



4 à 6 heures



Séquence E-19

Sable et solides en grains

Séquence E-07

L'air, ce n'est pas rien !

Difficultés travaillées :

Pour tester un paramètre et pouvoir observer son influence sur le dispositif, il faut ne faire varier que ce paramètre et garder tous les autres identiques.

Déroulement succinct

Préparation



Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Peut-on fabriquer notre propre sablier et choisir sa durée d'écoulement ?	S'approprier un problème. Imaginer un prototype.	<i>Travail collectif et en groupe</i>
Fabrication des sabliers	Réaliser et tester son prototype. Identifier les dysfonctionnements et proposer des solutions.	<i>Travail en groupe et mise en commun</i>
Que peut-on modifier sur le sablier pour faire varier sa durée d'écoulement ?	Identifier des paramètres possibles et concevoir un protocole expérimental.	<i>idem</i>
Comment organiser nos recherches ?	Faire varier un paramètre à la fois et enregistrer les résultats. Constater une régularité dans les observations ; par exemple quelle que soit la nature du solide en grains, plus il y en a dans la bouteille, plus la durée d'écoulement est importante, les autres paramètres étant identiques.	<i>idem</i>
Peut-on remplacer dans le sablier notre solide en grains par un liquide ? (uniquement si un travail sur l'air a été mené)	Distinguer le comportement des solides en grains et des liquides. Évaluation formative du travail réalisé sur l'air : pour que de l'eau rentre il faut que de l'air sorte (et inversement).	<i>idem</i>



Les minuteurs ont remplacé les sabliers dans les cuisines, mais la fabrication de ces derniers suscite toujours l'intérêt des élèves. Nous détaillons volontairement certaines étapes qui permettent un travail sur une procédure essentielle en sciences expérimentales : ne faire varier qu'un paramètre à la fois.

I/Peut-on fabriquer notre propre sablier et choisir sa durée d'écoulement ?

Une séance d'Éducation Physique et Sportive lance le travail. Les sabliers apportés par les enfants sont présentés comme une alternative à l'utilisation du chronomètre pour des activités réalisées en temps limité (un élève pourra ensuite être responsable de la durée du jeu).

Comment les utilise-t-on ? Très rapidement, les élèves expliquent qu'il faut les retourner : lorsque le sable a fini de tomber, le temps que l'on s'était accordé pour une tâche donnée est écoulé. *Peut-on utiliser n'importe lequel des sabliers présentés ?* La présence de plusieurs sabliers va les amener à discuter : *mesurent-ils tous la même durée ?* Ils peuvent prévoir de les ordonner, « du plus rapide au moins rapide » : notez les arguments utilisés.

Comment faire pour vérifier ? Pour pouvoir comparer, il faut retourner tous les sabliers en même temps. On peut alors les classer, par *durée d'écoulement*, de la plus courte la plus longue.



Les élèves comparent en fait des durées, non des vitesses.

En faisant attention à utiliser systématiquement l'expression « durée d'écoulement », en parlant de « temps écoulé », vous amènera les élèves à faire de même et à ne plus employer « plus vite / moins vite ».

Un même sablier mesure-t-il toujours la même durée ? C'est bien sûr la reproductibilité de la durée d'écoulement d'un solide en grains qui fait l'intérêt de leur utilisation.

Peut-on le vérifier ? La répétition de mesures de durée d'écoulement avec un chronomètre ou un métronome, supposé au moins aussi précis que le sablier, permet de s'en assurer. Les mesures ne seront pas rigoureusement identiques : déclenchement et arrêt de la mesure par l'expérimentateur sont une source fréquente d'imprécision.

Peut-on choisir la durée d'écoulement d'un sablier ou la faire varier ? Les sabliers commerciaux ne le permettent pas. Il faut donc en fabriquer un. De retour en classe, les élèves conçoivent alors leur prototype de sablier : il leur est demandé d'utiliser du matériel de récupération facile à se procurer.

Descriptif



Pour nous, un solide en grains sera constitué d'une multitude de grains de sable, sel, sucre, semoule en contact les uns avec les autres. (cf. séq. E-19)



La quantité de grains tombant par unité de temps (le débit) serait une grandeur pertinente à étudier en modifiant la taille de l'ouverture ou la nature du solide dispersé. C'est cependant bien au-delà des compétences de nos jeunes élèves.



Pour gagner du temps, on peut présenter les sabliers réalisés par le maître puis faire dessiner leur prototype aux élèves, avant de les laisser construire leur propre sablier.

2/ Fabrication des sabliers

Selon que vous rendrez ou non visibles les bouteilles, marteaux et poinçons, les élèves feront de nombreux essais avant de parvenir à construire un sablier répondant au cahier des charges ou iront droit au but. Sans guidage, ils seront confrontés à deux difficultés principales : choix des récipients et du diamètre du trou. Il faut choisir des récipients transparents, avec des ouvertures de diamètres proches. Le diamètre du trou doit être limité, pour éviter que tout le solide en grains ne coule d'un coup mais, inversement, suffisamment large pour le laisser passer. Toute modification doit être notée dans le cahier.



Il est utile, en particulier pour les plus jeunes élèves, de consacrer un petit moment à la question du transvasement avant d'essayer les prototypes. Les enfants n'auront qu'une envie : jouer avec le solide en grains mis à leur disposition. *Comment verser du sable dans un récipient au goulot étroit sans en mettre partout en utilisant une cuillère ?* Il ne faut pas trop la remplir et guider le sable avec un entonnoir.



Si les trous sont trop petits, le sablier peut se boucher ou l'écoulement être irrégulier. Il faut utiliser des bouteilles bien sèches pour les expériences avec le sel ou le sucre.

La mise en commun des sabliers réalisés permet de faire le point sur les solutions imaginées pour maîtriser l'écoulement du solide en grains : utilisation d'un carton troué inséré entre les deux récipients pour ralentir l'écoulement, obturation de l'ouverture par du carton ou du coton en laissant un petit trou dans lequel passe le solide en grains, utilisation de bouchons percés.

Cette dernière solution sera adoptée pour sa simplicité de réalisation : il est facile de contrôler le diamètre du trou et de monter/démonter les sabliers.



Utiliser des couleurs de chatterton différentes pour les différents diamètres de trou : cela facilite leur identification.

3/ Que peut-on modifier sur le sablier pour faire varier sa durée d'écoulement ?

Il s'agit dans un premier temps de faire une liste des paramètres susceptibles de modifier la durée d'écoulement. Parmi les possibles : le diamètre du trou, la nature du solide en grains, la quantité versée dans la bouteille, la couleur/forme/taille de la bouteille. Certains ont déjà été considérés par les élèves pendant la construction ; il s'agit maintenant de les traiter de façon systématique, un par un.



Ne pas introduire spontanément de paramètre non proposé par les élèves.

4/ Comment organiser nos recherches ?

4.1. Comment s'assurer que plus on met de sable, plus la durée d'écoulement du sablier est longue ?

Laissez chaque élève réfléchir sur la façon dont il pense s'y prendre et la dessiner/l'écrire dans son cahier. Après discussion au sein de chaque groupe, une affiche est réalisée avec les solutions trouvées. Leur mise en commun devrait permettre d'affiner les protocoles de test. Vous pouvez également choisir de ne pas faire de mise en commun avant les expériences et de ne discuter leur pertinence qu'après. Il faudra sans doute refaire bon nombre d'entre elles, mais c'est de toute façon extrêmement formateur. Ils ont à disposition des bouchons avec des trous plus ou moins gros.



Prévoir assez de bouchons avec des trous de diamètre identique (trois au minimum par groupe) pour avoir suffisamment de sabliers et proposer aux élèves des bouchons aux diamètres de trous très variés.



Ne fournir qu'un seul solide en grains pour cette expérimentation (e.g. du sable).

Laissez chaque groupe faire son expérience. Précisez qu'ils auront ensuite à expliquer à leurs camarades ce qu'ils ont fait et à présenter leurs résultats sur une affiche.

La présentation des sabliers utilisés, des expériences réalisées et la mise en commun des résultats permettent de vérifier que pour des sabliers par ailleurs identiques en tout point (y compris la taille du trou), plus grande la quantité de sable, plus long le temps que prend le réservoir pour se vider.

Que dire des autres résultats ?

N'hésitez pas à demander aux élèves ce qu'ils pensent de la procédure choisie par leurs camarades. La discussion des protocoles des groupes qui trouvent un résultat différent montre qu'ils ont fait varier deux paramètres. *Que se passe-t-il s'ils n'en font varier qu'un ?* Il faut essayer. Les nouveaux résultats, plus simples à interpréter, confirment les précédents.



Certains groupes ont pu faire varier simultanément plusieurs paramètres (e.g. quantité de matière et taille du trou) et trouver néanmoins la même relation entre quantité de sable et durée de l'écoulement.

Que faire ? Proposez une expérience collective en utilisant leurs sabliers. Placez dans le sablier au trou le plus large un petit peu plus de matière que dans un autre à l'ouverture plus étroite. Demandez à l'ensemble

des élèves de prévoir ce qui va se passer. Le résultat suscite la surprise. Il faut moins de temps au sablier qui contient le plus de matière pour que son réservoir se vide : c'est en apparence contradictoire avec les résultats précédents !

Laissez-les alors résoudre l'énigme. Le démontage des sabliers leur donne la clef : ils ne sont pas pareils. Selon la taille du trou et la quantité de sable, on peut obtenir un résultat ou son contraire. Modifier deux choses en même temps amène de la confusion. Si l'on refait l'expérience en s'assurant que les trous sont tous identiques (changez les bouchons), on retrouve le résultat attendu.

En gardant tous les paramètres constants *sauf un*, tous les groupes aboutissent à la même conclusion. Cela semble une bonne façon de procéder, on la garde pour la suite (et on essaiera de s'en souvenir lors d'autres investigations scientifiques).

4.2. Que se passe-t-il quand on remplace le sable par un autre solide en grains ?

Les élèves pensent qu'il va se passer la même chose. *Comment s'en assurer ?* Chaque groupe peut tester un solide en grains différent et rendre compte ensuite à la classe. Il semble bien que l'on puisse généraliser le résultat obtenu avec le sable. On peut proposer comme nouvelle formulation plus générale : « Avec des sabliers identiques en tout point sauf la quantité de solide en grains, le sablier met d'autant plus de temps à se vider qu'il y a plus de solide ».



Pour aider les élèves, il est possible de lister les paramètres que l'on peut changer puis d'utiliser un tableau spécifiant ce qui change ou non d'un sablier à l'autre.

Ce que je peux changer : la taille du trou, la quantité de matière, la nature du solide en grains, le volume du récipient. *Ce que je fais varier :* la quantité de matière.

GROUPE A	Sablier 1	Sablier 2	Sablier 3	Sablier 4
Solide en grains	Sel fin	Sel fin	Sel fin	Sel fin
Quantité versée	5 cuillères	7 cuillères	9 cuillères	11 cuillères
Type de bouteille	Bouteilles 750 ml	Bouteilles 750 ml	Bouteilles 750 ml	Bouteilles 750 ml
Diamètre du trou	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
Durée d'écoulement				

Exemple de tableau
identifiant
le paramètre étudié

4.3. Que se passe-t-il quand on fait varier la taille du trou ?

Mettre différents solides en grains à la disposition des élèves pour l'expérimentation. Ils devraient réinvestir la procédure utilisée précédemment.

Chaque groupe conçoit son protocole, fait ses expériences, note ses résultats, rédige l'ensemble sur une affiche. Il faut maintenant ne faire varier que la taille du trou et utiliser une quantité identique d'un même solide en grains dans chaque sablier utilisé.



Certains ont rempli tous leurs sabliers à moitié, d'autres au tiers... Pourtant les résultats obtenus sont similaires : plus le trou est petit, plus il faut de temps pour que le réservoir se vide. Le résultat ne semble donc pas dépendre de la quantité de solide en grains utilisée (à condition bien sûr de comparer des sabliers qui contiennent une même quantité de matière). Il est important de le faire remarquer aux élèves au cours de la mise en commun.

La mise en commun permet d'établir que, pour la quantité de matière utilisée et le solide en grains considéré, « Avec des sabliers identiques en tout point sauf le diamètre du trou, plus le trou est petit, plus le sablier met de temps à se vider ».

4.4. Que se passe-t-il quand on fait varier la nature du solide dispersé ?

Il s'agit de ne rien faire varier d'autre que la nature du solide en grains. Il est facile de concevoir que, certains grains étant plus gros que d'autres (e.g. semoule vs. sable), il ne va pas se passer la même chose pour une taille de trou donnée. Les résultats obtenus sont la plupart du temps difficiles à interpréter, sauf dans le cas de grains plus gros que le trou. Le plus simple est d'en rester au constat.

4.5. Que se passe-t-il quand on change la contenance du sablier ?

Il arrive que les élèves pensent que la taille de la bouteille influe sur la durée d'écoulement. *Comment faire pour savoir ?* Il suffit de remplir deux bouteilles de contenance différente avec la même quantité du même solide en grains et le même diamètre de trou, de les retourner en même temps et d'observer. Aux erreurs de manipulation près, les durées d'écoulement dans les deux bouteilles sont identiques. Il est important de renouveler plusieurs fois l'expérience pour s'en assurer. La contenance des réservoirs ne joue pas (ou presque) sur la durée d'écoulement.



La forme et la matière des bouteilles peuvent en revanche influencer sur le résultat. Choisir des bouteilles en même matière avec un évasement comparable comme celles d'eau minérale de 1,5 l et 0,75 l.



En plus du rapport entre la taille des grains et celle de l'ouverture, de nombreux autres paramètres sont à prendre en compte : la forme des grains, la rugosité de leur surface, les frottements avec les parois du sablier, etc. En conséquence, il est très compliqué de prédire quoi que ce soit à partir des expériences réalisées.

5/ Que se passe-t-il quand on remplace le solide en grains par de l'eau ?

Les enfants sont souvent convaincus *a priori* qu'on peut remplacer le sable par de l'eau. La surprise est au rendez-vous : si le trou n'est pas assez gros, l'eau ne coule pas du tout. Si le trou est très large, l'eau peut couler par à coups en « glougloutant ». Comment expliquer le phénomène ? On oublie bien souvent qu'il y a de l'air dans le sablier : quand du sable passe d'un réservoir à l'autre, il libère de l'espace d'un côté et en occupe de l'autre. De l'air doit passer d'un réservoir à l'autre : il y a plein d'espace entre les grains d'un sablier et cela ne pose pas de problème (en général). Avec de l'eau, ce n'est plus possible ; du coup, rien ne se passe. (cf. E-07)

Comment y remédier ? Il faut laisser partir de l'air du réservoir du bas : on peut y faire un trou. L'eau ne s'écoule toujours pas car il faut aussi faire arriver de l'air dans le réservoir du haut. Un deuxième trou, cette fois dans le réservoir du haut, et l'eau s'écoule. On peut ensuite imaginer des solutions technologiques pour que le sablier à eau soit utilisable sans fuite d'eau quand on le retourne. Percer chaque réservoir à mi hauteur et les relier par un tube flexible souple est une solution envisageable. L'air qui quitte le réservoir du bas passe dans l'autre réservoir et compense le volume d'eau qui chute du réservoir du haut.



Les Anciens utilisaient des « sabliers à eau », appelés *clepsydras*.

Proposition d'animation

- Peut-on ranger les sabliers de celui qui prend le moins de temps à se vider à celui qui en prend le plus ?
(prévoir, justifier, vérifier ; premier lot de sabliers avec un volume différent de sable et un même diamètre d'ouverture)
- Mêmes questions avec un second lot de sabliers avec un volume différent de sable (visiblement) et un diamètre d'ouverture différent (non visible avant démontage) :
le sablier le plus rempli se vide le premier. Comment l'expliquer ?
- Que peut-on modifier sur le sablier pour faire varier sa durée d'écoulement ?
- Peut-on ranger les sabliers de celui qui prend le moins de temps à se vider à celui qui prend le plus de temps ?
(prévoir, justifier, vérifier ; troisième lot de sabliers avec un même volume de sable et un diamètre d'ouverture différent)
- [- Peut-on fabriquer notre propre sablier et choisir sa durée d'écoulement ?]

Sable et solides en grains

E-19


Objectif général :

Découvrir le comportement particulier, entre solide et liquide, des solides en grains et identifier quelques paramètres qui déterminent la forme d'un tas de solide en grains.

Matériel

 Voir précisions page suivante.

Budget : de 0 à 50 €

 Tube de plexiglas : 24 € ; bouchons caoutchouc : 3 € ; perles à facettes : 1,80 € les 20 ; perles cubes : 11 € les 300 ; perles rondes percées : 3,90 € les 100 ; billes de verre : 2,90 € les 250 ; contreplaqué fin : 5 € ; roue en bois pleine de 3 cm de diamètre : 1,30 € ; produits alimentaires : 20 € (la plupart des solides en grains peuvent être fournis par les parents).

Préparation : 35 minutes



Verser les solides en grains disponibles dans les récipients et les disposer dans les boîtes de stockage. Réaliser un cadre anti-projection par groupe : découper des bandes en carton de 15 cm de hauteur et les assembler avec des agrafes ou de l'adhésif.

Fabrication d'un piston : Construire un piston à l'aide du tube en carton fort et du bouchon ou en clouant un disque en bois à l'extrémité du morceau de manche à balai. L'ensemble doit coulisser sans frottement à l'intérieur du tube en plexiglas

Conditions spécifiques



C'est une séquence relativement facile mais ambitieuse, jouant avec des concepts relativement nouveaux. Prendre le temps de vous imprégner de son contenu avant de la proposer aux élèves. Tester les différents matériaux. S'entraîner pour les expériences avec le tube en plexiglas (il y a un coup de main à prendre...).



Lien avec le programme :
mobiliser ses compétences dans des contextes scientifiques différents, exercer des habiletés manuelles, réaliser certains gestes techniques



Cycle 3



6 à 8 heures



Séquences E-18

Sabliers

Difficultés travaillées :

Pour tester un paramètre et pouvoir analyser son influence sur le dispositif, il ne faut faire varier que ce seul paramètre en gardant tous les autres identiques ; comparaison de volumes, de hauteurs, de pentes.

Matériel

Par binôme :

Autant de récipients avec couvercle (boîtes en plastique ou bocaux de récupération) que de solides en grains considérés ; une grande boîte pour le stockage de ces récipients ; un entonnoir à gros goulot (ou bouteille en plastique coupée) ; une grande cuillère ou une petite pelle en plastique ; 3 verres de même contenance (200 ml).

Différents solides en grains de toutes tailles et formes, et de différents matériaux : sable, gravier (litière), cailloux, sel fin et gros sel, riz, lentilles, pois cassés, haricots, semoule fine et grosse, quinoa, pâtes alimentaires, billes en verre et en plastique, perles facettées, etc. ; fil élastique de couture ; 2 punaises.

Les pâtes offrent une grande variété de formes et de tailles.

Types conseillés : coquillettes, farfalle et mini-farfalle TMBarilla, pipe rigate et mini pipe rigate TMBarilla, lumaconi TMPanzani, coudes rayés TMCasino, petites roues tricolores TMCarrefour et grandes roues (rotelle) TMRiscossa, torti TMPanzani, fusilli TMCarrefour.

Différents supports : 1 feuille de papier TMCanson A4 ; une planchette en bois format A4 ; un set de table en bambou (facultatif) ; une pochette transparente ; un morceau de tissu microfibrés, une feuille de papier de verre (facultatif) ; du papier journal.

Pour l'enseignant :

15 oranges et/ou balles de tennis ; 15 balles de ping-pong (facultatif) ; 15 à 20 gros cailloux ; des cubes en bois ou en papier ; une boîte de sucre en morceaux ; carton type chemise cartonnée.

Facultatif : un tube cylindrique en plexiglas transparent (typ. Ø 4 cm x 50 cm) ; un bouchon pour le tube en plexiglas ; un tube en carton muni d'un bouchon ou un morceau de 50 cm de manche à balai surmonté d'un disque en bois, l'ensemble coulissant librement dans le tube de plexiglas ; clous et marteau.

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Peut-on faire des tas de n'importe quel matériau en grains ?	S'approprier un problème. Préciser la notion de solide en grains.	<i>Discussion collective, en groupe, expérience collective</i>
L'aspect du tas dépend-il de la façon dont on l'a construit ?	Découvrir que la forme d'un tas dépend de la façon de le créer.	<i>Travail en binôme et mise en commun</i>

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Peut-on réaliser à volonté des tas semblables ?	Vérifier qu'une même procédure conduit au même résultat. Comprendre que sans cette reproductibilité, les résultats obtenus ne seraient pas utilisables.	<i>idem</i>
Comment réaliser le plus haut tas possible avec le solide en grains à notre disposition ?	Tester son idée. La nature du support influe sur la forme du tas. Comparer différents solides en grains.	<i>Discussion collective Travail en binôme et mise en commun</i>
Quelles questions pouvons-nous nous poser ?	Élaborer un questionnaire et identifier des paramètres.	<i>Discussion collective</i>
Que se passe-t-il quand je fais des tas avec de plus en plus de grains ?	Identifier et préciser le paramètre que l'on va observer (la pente).	<i>Travail en binôme et mise en commun</i>
La taille des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?	Faire varier un paramètre à la fois et enregistrer les résultats. Constater une régularité dans les observations.	<i>idem</i>
La taille des grains suffit-elle à prévoir l'aspect du tas ? (prolongement)	Préciser un paramètre : la proportionnalité des dimensions des différents grains ou son absence influe sur l'aspect du tas.	<i>idem</i>
La forme des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?	Faire varier un paramètre à la fois et enregistrer les résultats. Constater une régularité dans les observations.	<i>idem</i>

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
La masse des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ? (facultatif)	<i>idem</i>	<i>idem</i>
Comment aller plus loin ?	Comprendre la nécessité de travailler sur des matériaux parfaitement contrôlés pour essayer de généraliser.	<i>Discussion collective</i>

Pour découvrir une autre propriété étonnante des solides en grains :

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que se passe-t-il quand on pousse des billes dans un tube ?	Émettre des hypothèses. Relier des observations entre elles.	<i>Expérience collective</i>
Que se passe-t-il quand des grains se tassent dans un tube ?	Observer un phénomène. Comprendre des choix architecturaux.	<i>idem</i>

Descriptif



À mi-chemin entre celui des solides (forme conservée) et celui des liquides (ils coulent), le comportement des solides en grains n'est pas encore entièrement compris, et fait toujours l'objet de nombreuses recherches.

Les tas de sable passionnent les élèves. Nous proposons une observation de différents tas de solides en grains (hauteur, pente, aspect...). On n'ira pas au-delà d'une approche qualitative, les mécanismes physiques en cause étant trop nombreux et trop complexes pour de jeunes élèves.

1/ Peut-on faire des tas de n'importe quel matériau en grains ?

Matériel : Oranges ou balles de tennis, balles de ping-pong, cailloux, cubes en bois, sable, boîte de sucre en morceaux.

Demandez aux élèves s'ils ont déjà fait des tas de sable ou de matériaux similaires et s'ils ont souvenir d'avoir été intrigués par ce qu'ils ont observé. *Est-il facile de faire un tas de sable très haut ? Comment s'y prendre pour y parvenir ?*

L'utilisation de sable mouillé est une solution connue de beaucoup d'enfants. Expliquez alors que la classe va se pencher sur la façon dont le sable et d'autres matériaux se comportent et font des tas. Ces matériaux sont constitués d'une multitude d'éléments solides, on les appelle des «solides en grains». *Lesquels connaissent-ils ?*

Indiquez quelques produits alimentaires avec lesquels ils vont travailler. Comme on souhaite pouvoir les réutiliser, on ne les mouillera pas. On se contentera de solides en grains secs.

Que se passe-t-il quand on verse du sable sec par terre ? Tous les enfants ont déjà joué avec du sable et la réponse fuse. Est-il possible de faire un tas avec n'importe quoi ? Notez les remarques des élèves puis présentez-leur les oranges, les balles de ping-pong, les cailloux et les petits cubes de bois.

Peut-on faire des tas de ces différents matériaux ? Qu'en pensent-ils ?

Laissez chaque groupe discuter, en justifiant ses idées. Si les avis sont partagés, le groupe doit indiquer les arguments avancés par chaque partie. Cette réflexion permet ensuite un débat constructif dans la classe. *Comment faire pour savoir ?* Comme toujours, il suffit de faire l'expérience.



En lien avec le travail en géométrie, chaque élève peut réaliser 5 cubes en papier de 5 cm de côté (et d'autres volumes) qui pourront être utilisés.

Les élèves sont souvent très étonnés de ne pas pouvoir faire de tas avec les objets sphériques : ils ont vu des étalages où les oranges étaient entassées bien rangées. Ils trouvent vite la parade : il faut monter des bords sur lesquelles s'appuyer pour construire le tas d'oranges. Une bande de carton fermée sur elle-même fera l'affaire. *Que se passe-t-il quand on enlève les parois ?* Le tas s'effondre.

Très souvent, ils le construisent en posant les oranges une à une. *Est-ce ainsi que l'on fait un tas de sable ?* Ce n'est pas le cas, les grains sont trop nombreux et trop petits pour cela. Pour faire un tas, on peut verser le matériau, le pousser ou encore remplir un récipient puis le fermer et le retourner d'un coup sec, mais on n'en range pas les éléments un à un.

Peut-on faire un tas de petits cubes ? Certains élèves sont tentés de les empiler pour monter le tas, d'autres considèrent que «c'est de la triche».

Présentez alors la boîte de sucre en morceaux. *Peut-on parler de «tas de sucre» ?* La réponse est clairement non : les morceaux sont trop bien ordonnés, rangés. *Comment faire alors un tas de morceaux de sucre ou de cubes ?* En renversant les cubes ou les morceaux de sucre sur le sol. On obtient alors effectivement des tas désordonnés.

Peut-on faire un tas de cailloux ? Les élèves en ont déjà vu ou se doutent que c'est possible. Il faut par contre suffisamment de cailloux : un tas est constitué de *plein* de cailloux en contact les uns avec les autres, comme un tas de sable est constitué de plein de grains de sable en contact. On appellera *solides en grains* les matériaux ainsi capables de se mettre en tas. *Les élèves en connaissent-ils d'autres ?* Le sel, le sucre, des graines... Il en existe une grande variété. Dans la suite du travail, il s'agira d'observer le comportement de ces différents solides en grains et plus particulièrement la façon dont ils se mettent en tas.

On ne peut pas faire un tas avec des objets sphériques. Un tas est constitué d'éléments désordonnés, non rangés. Il faut qu'il y ait suffisamment d'objets en contact les uns avec les autres pour pouvoir parler de tas.

2/L'aspect du tas dépend-il de la façon dont on l'a construit ?

Listons tout d'abord les différentes façons de faire un tas avec le matériel à disposition :

- verser les grains à l'aide d'un entonnoir,
- les verser doucement à l'aide d'un verre,
- les poser avec une cuillère,
- remplir un verre, poser dessus un morceau de carton pour empêcher le solide en grains de s'échapper, poser le verre sur la table, faire glisser le morceau de carton puis soulever le verre,
- modeler le tas à la main.

Comment savoir si la façon de créer le tas a de l'importance ? Il faut faire différents tas et les comparer. *Que va-t-on comparer et comment ?* Les élèves proposent assez facilement de comparer la hauteur des tas et leur forme. Utiliser un même volume de grains pour pouvoir comparer les différents tas réalisés semble souvent naturel. Sinon, que penseraient-ils d'un groupe qui comparerait la hauteur d'un tas fait en versant un verre du riz à celle d'un tas fait en utilisant le contenu de deux verres ?

Il s'agit maintenant de comparer la hauteur et la forme de différents tas réalisés avec du riz sur du papier journal. Vous pouvez aussi tracer (ou faire tracer) sur le journal des cercles concentriques de couleurs différentes et de diamètre croissant. Avec un même volume de matière, plus le tas s'étale, moins il est haut. On peut alors indiquer le cercle dans lequel se trouve le tas. Chaque binôme se met au travail et constate rapidement que les tas ne sont pas semblables, même si certains se ressemblent beaucoup.



Matériel :
du riz et du papier journal



Pour comparer les tas réalisés sans les cercles, les élèves doivent se mettre à la même distance des tas et les regarder sous le même angle, en ayant les yeux au niveau du support par exemple (cf. Annexe A-1).

Lors de la mise en commun, une observation attentive des différents tas révèle que ceux réalisés à la main sont souvent les plus hauts, mais aussi les seuls à ne pas être de forme conique. Le tas le plus bas est presque toujours celui réalisé en soulevant un verre rempli de grains posé sur le journal. Le tas conique le plus haut est celui réalisé en versant *doucement* à l'aide d'un verre, ou en posant à la cuillère.

La façon de construire un tas de grains a donc une influence sur sa hauteur. Les élèves sont souvent surpris de ne pas pouvoir monter le tas aussi haut qu'ils le souhaitent : on va essayer dans la suite du travail d'identifier des paramètres influant sur sa hauteur.

3/ Peut-on réaliser à volonté des tas semblables ?

Si, à chaque fois que l'on faisait un tas, sa forme et sa hauteur variaient aléatoirement, on ne pourrait rien déduire d'une comparaison, puisqu'on ne pourrait pas savoir vraiment ce qui modifie l'aspect du tas. Les tas obtenus *selon la même procédure* par des groupes différents semblent heureusement très proches. Pour s'en assurer, il suffit de réaliser plusieurs tas avec la même méthode, puis de les comparer. On compare également les tas obtenus par les différents groupes employant la même façon de faire. *C'est en versant à l'aide de l'entonnoir ou en soulevant lentement un verre retourné rempli de grains que l'on observe la plus faible dispersion des résultats* (c'est-à-dire les tas les plus ressemblants). Il suffit alors de se mettre d'accord avec les élèves sur la méthode qui sera employée pour le reste du travail.



La reproductibilité des expériences est un élément méthodologique important. Nous conseillons ici l'utilisation de l'entonnoir.

4/ Comment réaliser le plus haut tas possible avec le solide en grains à notre disposition ?

Matériel par binôme : un verre plein d'un solide en grains (coquillettes, lentilles, riz, pois cassés, quinoa) et des supports différents sur lesquels le poser (papier de verre, microfibre, pochette en plastique transparente...)



Le même solide en grains doit systématiquement être utilisé par au moins 2 binômes distincts.

Indiquez aux élèves qu'ils vont devoir réaliser le plus haut tas possible avec le solide en grains mis à leur disposition. Ce tas doit reposer sur l'un des supports proposés. Tous les binômes doivent utiliser la même méthode de construction des tas. Quelle quantité de matière utiliser ? Il en faut suffisamment pour faire des tas ; les élèves s'accordent souvent sur le fait que chaque binôme doit utiliser le même volume de grains. La contenance d'un verre suffit avec les matières proposées.



Avec des verres de formes différentes, il peut être utile de vérifier qu'ils ont bien la même contenance. Transvaser le contenu d'un verre dans l'autre est une solution facile.



Un solide en grains se tasse. Les élèves le constatent facilement au cours de leurs manipulations. C'est une remarque à conserver pour des discussions futures.



Vous pouvez demander à chaque binôme, avant l'expérimentation, d'anticiper ce qui va se passer suivant le support choisi : pensent-ils que la texture du support a une influence sur le tas et si oui, pourquoi ?

Lors de la mise en commun, les élèves font part de plusieurs observations : certains binômes ont des tas beaucoup plus haut que d'autres ; suivant le support le tas s'étale plus ou moins. Avec une même quantité de grains, il est également possible de comparer les diamètres des différents tas obtenus sur des supports différents.

Commencez par regarder les supports choisis préférentiellement par les élèves : ils sont rugueux. Les élèves ont constaté que plus le support est lisse, plus les grains s'étalent et moins il est facile de monter un tas. *Peut-on déterminer le support le plus efficace ? Comment ont-ils fait pour choisir ?* Beaucoup ont procédé par comparaison des tas d'un même solide en grains mais sont incapables d'explicitier leur méthode. Peut-on procéder de façon plus rigoureuse ? En versant la même quantité d'un même solide en grains sur les différents supports et en regardant la hauteur ou la largeur du tas. Les élèves des différents binômes peuvent s'organiser pour réaliser les manipulations avec l'ensemble des supports. *Les résultats sont-ils similaires d'un solide en grains à l'autre ?* Il semble que, dans tous les cas, c'est sur les supports les moins lisses que le tas monte le plus haut. Il est par contre difficile de comparer finement les différents supports : on s'en contentera.

Les résultats obtenus semblent donc assez généraux : *quel que soit le solide en grains utilisé, le tas s'étale sur un support lisse, et monte plus haut sur un support rugueux.*

Pour la suite on utilisera de préférence un set de table en bambou (qui permet de reverser facilement les grains dans le récipient), du papier journal ou un tissu microfibrés (de ménage).

5/ Quelles questions pouvons-nous nous poser ?

La question des supports étant réglée, il est temps de faire la liste des autres questions. Les élèves ont constaté que, pour un même support, la hauteur du tas variait selon la nature du solide en grains utilisé. Et si l'on essayait de déterminer ce qui peut faire changer l'aspect d'un tas ? Parmi les paramètres souvent identifiés par les élèves : la quantité de grains, leur forme, leur taille, leur texture, leur masse. La plupart des paramètres ont varié de façon indiscriminée suivant les binômes : il s'agit maintenant d'essayer de les faire varier un par un. Il est utile de rappeler que la nature du support et la façon de construire le tas ayant une influence, on choisit de travailler sur un support donné avec une méthode donnée. On pourra ensuite voir si ce que l'on a trouvé reste valable lorsqu'on change la nature du support ou la façon de construire les tas.

6/ Que se passe-t-il quand je fais des tas avec de plus en plus de grains ?

Les élèves répondent spontanément que plus il y a de matière, plus le tas est gros et haut. Indiquez-leur que les spécialistes du domaine ont trouvé un moyen de caractériser les tas qui ne dépend pas de sa taille. Peuvent-ils trouver de quoi il s'agit ?

En travaillant avec des lentilles, du riz, de la semoule moyenne et des pois cassés, les élèves constatent rapidement que quelle que soit la quantité de solide en grains utilisée, l'aspect général du tas d'un même solide en grains reste le même. Ils font souvent un geste de la main pour exprimer ce qu'ils comparent : il s'agit de la *pente*. Les tas sont peu pentus pour certains matériaux comme les pois cassés et les lentilles ; pour d'autres, ils le sont fortement. La distance entre la base et le sommet du tas varie avec la hauteur du tas mais la pente reste constante pour une même matière. C'est ce que les spécialistes mesurent et que l'on regardera par la suite.



Ce travail peut-être exploité pour travailler la notion d'angle.



Exprimée en %, la pente est le rapport entre la hauteur du tas et son rayon.

7/La taille des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?

Proposez aux différents binômes de travailler sur des solides en grains disponibles dans des tailles différentes. Par exemple les pâtes « papillon » (*farfalle* et *mini-farfalle*), les pâtes *pipe rigate* qui existent en plusieurs dimensions et la semoule (fine et moyenne).



Utiliser des solides pour lesquels la proportionnalité des dimensions est conservée (l'épaisseur double quand la longueur est doublée).

Les élèves constatent que plus l'élément constitutif du tas (le grain individuel) est gros, plus il en faut un volume important pour réaliser un tas. L'observation de la pente plutôt que de la hauteur ou de la largeur peut s'avérer utile. Tous les binômes constatent facilement que la taille des grains ne modifie pas (ou peu) l'aspect du tas.

8/La taille des grains suffit-elle à prévoir l'aspect du tas ?

Demandez alors aux élèves ce qui va à leur avis se passer avec du gros sel et du sel fin, des *torti* et des *fusilli*, des pâtes en forme de petites et grandes roues. D'après ce qu'ils ont vu précédemment, toutes choses égales par ailleurs, la pente des tas devrait être la même pour les deux tailles de grains. L'expérience montre que ce n'est pas le cas : le tas de gros sel (resp. de petites roues et de *fusilli*) a une pente plus prononcée que celui de sel fin (resp. de grandes roues et de *torti*).

Comment pourrait-on expliquer le phénomène ? Différents paramètres sont en cause. Considérons d'abord le cas du sel. Lorsque l'on regarde les grains attentivement, on constate que les grains de gros sel sont non seulement plus gros, mais aussi plus anguleux que ceux de sel fin. On peut supposer qu'ils « accrochent » mieux les uns aux autres et peuvent rester au repos sur une pente plus pentue.

La même explication vaut-elle pour les pâtes ? Non, les angles restent les mêmes. En revanche, les grandes roues tendent à se disposer à plat alors que ce n'est pas le cas des petites qui prennent toutes les orientations. *Qu'est-ce qui les différencie ?* Le rapport diamètre sur épaisseur n'est pas le même entre les petites et les grandes roues. Quand l'épaisseur est doublée, le diamètre triple : cela peut avoir une influence. Pour les *torti* et les *fusilli*, c'est la même chose : la longueur est à peu près la même mais la profondeur de l'hélice est très différente. Quand les proportions ou la forme des grains ne sont pas conservées, la forme du tas peut dépendre de la taille des matériaux (ou plutôt : on ne peut pas vraiment dire que les grains ont la même forme quelle que soit leur taille).

9/ La forme des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?

Ce paramètre a déjà été largement exploré tout au long du travail. Pour mettre en évidence l'influence de la forme, vous pouvez proposer aux élèves de classer avant expérimentation la pente des tas réalisés avec du quinoa (grains plutôt ronds), de la semoule moyenne (grains bicornus) et du gros sel (grains plutôt cubiques). La comparaison des pentes confirme l'influence de la forme sur l'aspect du tas. Les élèves en déduisent souvent que la façon dont les grains s'accrochent les uns aux autres, que les zones de contact entre les différents grains influent sur la pente du tas. Les billes roulent : cela augmente la difficulté à réaliser un tas. Pour le sable ou la semoule, chaque grain est tout bosselé, avec de nombreux endroits où ils peuvent frotter les uns contre les autres.

10/ La masse des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?

C'est une question que se posent souvent les élèves et à laquelle il est difficile d'apporter une réponse argumentée. Il faudrait avoir des grains identiques en tous points sauf la masse (et éventuellement la taille si les proportions sont conservées) et ce n'est pas simple. Il est possible de se procurer du gravier (cailloux concassés) et de la litière pour chat (bentonite) voire de petits morceaux de pierre ponce dont la forme et la taille des grains sont similaires. On constate alors que la masse ne semble pas avoir d'influence déterminante sur l'aspect du tas.

11/ Comment les chercheurs font-ils ?

Le travail réalisé en classe a permis d'identifier de très nombreux paramètres influençant l'aspect du tas : nature du support, forme des grains, proportions des grains quand on change la taille. On peut imaginer qu'il y en a d'autres qui sont restés imperceptibles, considérant la grossièreté des observations réalisées. Comment les chercheurs font-ils dans ces conditions ? Ils utilisent des grains calibrés, tous identiques entre eux, pour s'assurer de ne faire varier qu'un seul paramètre à la fois.

12/ Que se passe-t-il quand on pousse des billes dans un tube ?

Insérez le piston dans le tube en plexiglas et versez quelques perles facettées (elles ne doivent pas pouvoir se faufiler sous le piston). Quand on bouge le piston, elles montent et descendent, rien d'étonnant à cela. Ajoutez-en de plus en plus : au bout d'un moment il devient très difficile de pousser sur le piston, qui se coince. Tout le monde a soulevé un sac de perles, sans difficulté majeure.

Ce n'est donc pas un problème de poids. *Qu'est-ce qui change dans notre expérience ?* La présence de parois. Les perles frottent contre les parois au point, quand il y en a suffisamment, d'être capables d'empêcher le mouvement du piston.

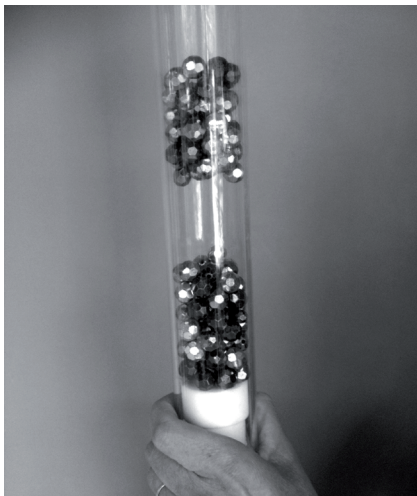
13/ **Que se passe-t-il quand des grains se tassent dans un tube ?**

En poussant le piston, on a tassé les perles dans le tube. En le redescendant doucement, on constate la formation d'une *arche* : quelques perles descendent avec le piston et les autres restent suspendues et reposent sur une voûte de perles. Ce sont les parois qui supportent alors tout le poids des perles. On peut faire la même expérience avec des billes en verre.



Il faut prévoir une hauteur de perles ou de billes typiquement 3 fois supérieure au diamètre du tube pour parvenir à observer le phénomène. Ne pas hésiter à s'entraîner : pousser sur le piston jusqu'à ne plus pouvoir le déplacer puis descendez-le doucement sans taper sur le tube. C'est un coup de main à prendre.

Quel est l'intérêt de ces observations ? Les agriculteurs ont souvent des problèmes pour faire tomber les grains de leurs silos (on voit parfois des silos à grains tout cabossés à force d'avoir été frappés du poing ou avec une barre métallique pour faciliter l'écoulement). Des arches peuvent se former et empêcher la chute des grains. Cette explication du phénomène fournit également des indications précieuses sur la résistance minimale des parois, qui doit être importante car les grains poussent latéralement sur elles (il arrive que des silos éclatent).



Pour aller plus loin :

Un site proposant de nombreuses informations sur les solides en grains :

<http://www.granuloscience.com/MatiereEnGrains/index.htm>

Un ouvrage proposant de nombreuses expériences de « coin de table », en particulier avec du sable mouillé :

Sables émouvants : la physique du sable au quotidien,
de Jacques DURAN, éd. Belin – Pour la Science, 2003.

Un regard de physicien pour élargir sa culture :

Les Objets fragiles,
de Pierre-Gilles de GENNES et Jacques BADOZ, éd. Plon, 1994.

Proposition d'animation

- Peut-on faire des tas avec n'importe quel matériau en grains ?
- L'aspect du tas dépend-il de la façon dont on le construit ?
- Peut-on réaliser des tas identiques ?
- Comment réaliser le tas le plus haut avec le solide en grains à notre disposition ?
(chaque élève visiteur a un solide différent à disposition)
- La taille des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?
- La forme des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?
- La masse des grains modifie-t-elle l'aspect du tas ?



S'orienter à la boussole

E-20

Objectif général :

Un aimant possède deux pôles. Les pôles opposés de deux aimants s'attirent, les mêmes polarités se repoussent. La Terre agit comme un aimant dont les pôles sont presque alignés sur son axe de rotation. Une boussole permet de repérer la direction du nord magnétique. Si l'on sait où l'on se trouve, elle permet de se diriger à l'aide d'une carte orientée Nord-Sud.

Matériel



Par atelier : un verre bas (ou pot à bébé) ; de l'eau ; un barreau aimanté ; un plan de l'école ; différentes matières à tester (fer, nickel ou pièce de monnaie, cuivre, aluminium...) ; une tige de 5 cm de longueur découpée dans un cintre en ferraille ou un clou en fer ; un morceau de polystyrène plat ; une boussole ; plusieurs plots utilisés en E.P.S. ; aimants apportés par les élèves ; limaille de fer.
Pour l'enseignant : pinces coupantes ; un globe terrestre ou une grosse boule en polystyrène et un barreau aimanté.

Budget



Aimant droit (barreau aimanté) : 4 €.

Préparation : 20 minutes



Découpe des morceaux de cintre, fabrication d'1 boussole et d'1 globe aimanté.
Fabrication d'une boussole : Frotter plusieurs fois le morceau de cintre avec le même côté de l'aimant droit, toujours dans le même sens (pas d'aller-retours) pour l'aimanter. Remplir un verre d'eau à ras bord. Poser le morceau de polystyrène à la surface et y déposer (ou insérer) la tige aimantée. L'ensemble doit pouvoir se déplacer librement. Il indique rapidement la direction nord-sud. En comparant au nord indiqué par une boussole, colorer l'extrémité indiquant le nord. Percer le globe terrestre ou la boule de polystyrène de façon à pouvoir y insérer le barreau aimanté. Fixer le barreau dans l'alignement de l'axe de rotation du globe terrestre, le pôle sud de l'aimant étant au niveau du pôle nord du globe. Placer une boussole sur le globe pour vérifier que son aiguille indique bien le nord.

Conditions spécifiques



Les boussoles comportent une aiguille aimantée. Elles sont perturbées par la présence d'autres aimants ou de ferraille à proximité. Posées sur une table aux pieds métalliques, elles perdent littéralement le nord : il est préférable de travailler dans la cour, en éloignant les boussoles les unes des autres.



Lien avec le programme :
se repérer dans l'espace



Cycles 2 & 3



4 heures



Difficultés travaillées :

Apprendre à se repérer sur une carte et à utiliser la boussole. Comprendre que les directions sont relatives à la position d'un lieu ou d'une personne.

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment les aimants se comportent-ils?	S'approprier un problème. Découvrir quelques propriétés des aimants.	<i>Travail collectif et en groupe</i>
Comment fabriquer un aimant ?	Suivre un protocole et tester son aimant.	<i>Travail en groupe et mise en commun</i>
Qu'indique une boussole ?	Une boussole indique toujours la même direction si l'on permet à l'aiguille de se déplacer librement.	<i>idem</i>
Comment utiliser une boussole ?	Apprendre à lire une carte et à utiliser la boussole pour se diriger.	<i>idem</i>
Où se trouve le trésor ?	En lien avec l'E.P.S., initiation à la course d'orientation.	<i>idem</i>

Descriptif **1/ Comment se comportent les aimants ?**

Commencez par demander aux élèves ce qu'ils connaissent des aimants. Ils savent souvent qu'ils peuvent s'attirer ou se repousser, et se « coller » sur certains métaux. Il est facile de le vérifier à l'aide du matériel et d'introduire du vocabulaire. Les aimants ont toujours deux *pôles*, que l'on a l'habitude d'appeler respectivement pôles *Nord* et *Sud*. Deux pôles de même nom se repoussent, deux pôles opposés s'attirent. Un aimant attire le fer et le nickel, mais pas la plupart des autres matériaux. Avec un aimant, il est possible de déplacer un objet sans le toucher.

Posez une feuille de papier par dessus un (puis deux) aimant(s) et versez délicatement un peu de limaille de fer. Attirée par les aimants, elle ne se répartit pas partout de la même façon. Il y en a plus au niveau des pôles. On voit apparaître des lignes là où elle s'accumule. Lorsqu'on déplace un aimant, la répartition de la limaille sur la feuille de papier change.



On peut aider la limaille à s'accumuler selon les « lignes de champ » en tapotant très légèrement la feuille.



Il existe des aimants plus ou moins « forts ». Un aimant génère un champ magnétique que l'on mesure en tesla : plus la valeur donnée est grande plus l'aimant exercera une force importante sur un objet en fer placé à proximité.



Les aimants sont souvent fragiles. Si un barreau aimanté se casse, les élèves peuvent constater que les deux morceaux ont à nouveau deux pôles (on dit que ce sont des « *dipôles* »). On ne connaît pas de « monopôle magnétique ».



Éviter de mettre en contact la limaille et un aimant : il reste souvent chevelu après ce genre d'aventure.



Dans les centres de tri, un aimant sépare les canettes en aluminium (soda) de celles en ferraille (bière essentiellement).

2/ Comment fabriquer un aimant ?

Avec un aimant suffisamment puissant, il est possible d'aimanter une tige de fer. Proposez aux élèves de frotter toujours dans le même sens une tige en fer (morceau de cintre) avec l'aimant, puis d'observer son comportement. Elle peut attirer des trombones, elle est attirée ou repoussée par l'extrémité d'un aimant, elle peut se « coller » au pied métallique d'une table : le morceau de cintre est lui-même devenu un petit aimant.



La compréhension du phénomène d'aimantation est hors de portée d'un jeune élève. On se contente d'observer son apparition.

3/ Qu'indique une boussole ?

Les élèves savent le plus souvent que la boussole indique la direction du nord (en fait l'axe nord-sud magnétique). On observe facilement la stabilité de la direction indiquée par l'aiguille de la boussole lorsque l'on déplace le boîtier (en le maintenant horizontal) loin de tout aimant ou matière en fer ou nickel. Par contre, elle « perd le nord » en présence d'un morceau de fer et s'oriente vivement vers le pôle sud d'un aimant amené à proximité. L'aiguille de la boussole réagit de la même façon qu'un aimant : c'est de fait une aiguille aimantée.

Comment expliquer qu'elle indique la direction du nord dans ces conditions ? Certains élèves savent déjà que la Terre agit comme un aimant droit dont les pôles seraient situés presque dans l'axe de rotation de la Terre. L'aiguille aimantée de la boussole interagit alors avec la Terre, comme un aimant placé à proximité d'un autre aimant : leurs pôles opposés s'attirent. Tant qu'il n'y a pas d'aimant plus puissant à proximité ou de matière susceptible de la perturber, l'aiguille aimantée s'aligne dans la direction nord-sud magnétique de la Terre.

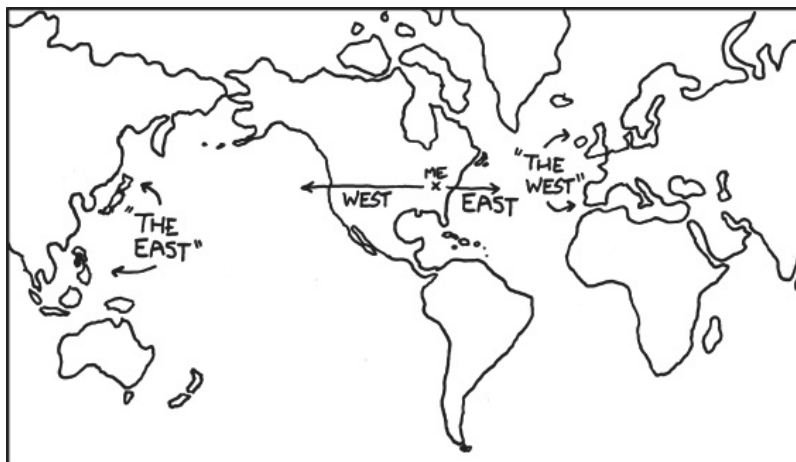
Les élèves peuvent aussi observer le comportement d'une boussole que l'on déplace sur un globe terrestre dans lequel on a inséré un aimant droit. Où qu'on la place, l'aiguille indique toujours la direction du nord.



La « boussole » intégrée dans certains téléphones portables n'utilise pas le magnétisme de la Terre, mais échange des informations avec des satellites (G.P.S.) pour en déduire la direction du nord. Elle a besoin de batteries.

4/ Comment utiliser une boussole ?

En lien avec la géographie, il est possible d'apprendre à lire une carte et à utiliser une boussole.



THIS ALWAYS BUGGED ME.

«Ça m'a toujours turlupiné.»

© xkcd

C'est l'occasion de discuter du caractère relatif des orientations Nord /Sud/Est/Ouest.

En France, c'est Paris qui sert de référence.

Pour un Italien, notre «Sud-Est» est au nord-ouest.

Pour un Lillois, Paris, c'est déjà le Sud – quant à Nice, n'en parlons pas.

Sur le globe, l'équateur pour la latitude et le méridien de Greenwich pour la longitude servent de références pour indiquer la position de n'importe quelle ville.

La plupart des boussoles d'orientation des écoles comportent une plaque en plastique transparent avec une flèche gravée. La boussole en elle-même se trouve dans un boîtier collé sur cette plaque. Le boîtier gradué en degrés peut tourner, et une flèche y est également gravée (ou deux lignes colorées parallèles). Une boussole comporte donc deux flèches plus une aiguille aimantée.

Classiquement, on utilise la flèche sur la plaque en plastique pour indiquer la direction de la marche. Pour maintenir cette direction constante, on s'arrange pour avancer en maintenant l'aiguille de la boussole superposée avec la flèche du boîtier (entre les lignes colorées).

Pour se rendre d'un point A à un point B en utilisant une carte, il est conseillé d'orienter la carte en superposant le nord qu'elle indique au nord indiqué par l'aiguille aimantée.



Une boussole indique la direction du nord magnétique. Elle est légèrement décalée par rapport à la direction du nord géographique (axe de rotation de la Terre) et varie au fil des siècles. Sur des petites distances, l'erreur induite reste négligeable.

On place alors la boussole sur la carte de façon à ce que la direction de la flèche de la plaque en plastique soit confondue avec la droite (AB). En pratique, on place le bord de la boussole sur la droite (AB) (la flèche est parallèle à cette

direction). On tourne ensuite le boîtier de façon à aligner sa flèche avec le nord indiqué sur la carte (cette flèche doit être alors parallèle à une longitude portée sur la carte). Si l'on a préalablement orienté la carte vers le nord à l'aide de la boussole, l'aiguille aimantée se superpose à la flèche. On se dirige ensuite dans la direction de la flèche de la plaque en plastique en gardant l'aiguille aimantée superposée à la flèche du boîtier.



L'angle entre la flèche gravée sur le boîtier et celle de la plaque en plastique s'appelle l'azimut.



À partir du moment où l'on sait où l'on est et où l'on va, la boussole permet de maintenir constante la direction dans laquelle on marche. Si l'on dévie pour éviter un obstacle, on marche ensuite dans une direction parallèle à celle d'origine mais décalée : on peut ainsi s'éloigner rapidement du point visé. Pour l'éviter, il est nécessaire de faire régulièrement des visées en utilisant des points de repères proches les uns des autres.

5/Où se trouve le trésor ?

Dans le cadre d'une initiation à la course d'orientation, les élèves peuvent proposer à leurs camarades de trouver un trésor. À partir du point de départ donné, se déplacer de *tant de pas* vers l'est puis de *tant d'autres* vers le sud, etc.

Avec les plus âgés, le message peut fournir directement les azimuts à suivre.

Il faut alors prendre la boussole bien à plat, aligner la flèche du boîtier, celle de la plaque et l'aiguille. On tourne ensuite le boîtier afin de placer l'azimut donné en face de la flèche de la plaque en plastique. Il suffit ensuite de tourner la boussole pour superposer de nouveau l'aiguille et la flèche du boîtier. La flèche sur la plaque en plastique indique alors la direction à suivre.

Propositions d'animations

Première animation :

- Comment se comportent les aimants ?
- Comment fabriquer un aimant ?
- Qu'indique une boussole ?

Deuxième animation :

(à la suite de la précédente, attention à l'organisation des rotations dans ce cas)

- Comment utiliser une boussole ?
- Où se trouve le trésor ?



Chauffer au Soleil

E-21

Objectif général :

Savoir que le Soleil permet de chauffer un liquide et mettre en évidence expérimentalement l'influence de quelques paramètres.



Matériel



Par groupe : une boîte à chaussures ; du papier aluminium ; 4 petits pots bébé ou petites bouteilles en plastique ; un thermomètre ; un miroir (ou du carton recouvert d'aluminium) ; une vitre ou un morceau de plastique épais transparent (boîte à tarte) de la taille de la boîte à chaussures ; des plaques (ou boîte) en polystyrène ; du coton ; des loupes (facultatif) ; un thermomètre ; un cure-dents ou un pic en bois pour amuse-gueule ; un verre doseur ou une éprouvette graduée ; un entonnoir ; de l'eau.

Pour l'enseignant : une bombe de peinture blanche et une de peinture noire ; des loupes ; 2 lampes de bureau inclinables identiques ; une tablette de chocolat ; 2 assiettes ; une boîte à chaussures ; un morceau de carton épais format A3 ; un manche à balai ; un saladier transparent.

Budget



Thermomètre : 4 € ; cure-dents : 2 € les 50 ; miroir incassable : 2 €.

Préparation : 5 minutes



Découper un petit côté d'une boîte à chaussures et déposer un objet au fond de la boîte.

Conditions spécifiques



Savoir lire la température d'un thermomètre (cf. Annexe A-1). Les expériences peuvent être menées aussi bien en hiver qu'en été, à condition que le ciel soit bien dégagé. Les réaliser avant les élèves afin d'évaluer les temps d'exposition nécessaires pour des résultats probants dans les conditions de la classe.

Difficultés travaillées :

Ne faire varier qu'un paramètre à la fois. Un isolant limite les échanges de chaleur entre deux milieux à des températures différentes. Il peut être utilisé aussi bien pour empêcher la chaleur d'entrer que de sortir. Les matériaux qui contiennent de l'air sont de très bons isolants thermiques.

Lien avec le programme :
réaliser certains gestes techniques, les déchets : réduire, réutiliser, recycler



Cycles 2 & 3



6 à 8 heures



Séquences E-02

Sur les traces d'Ératosthène

Séquence E-04

Solide, liquide : deux états d'une même matière ?

Séquence M-09

Miroirs (maternelle)

Déroulement
succinct

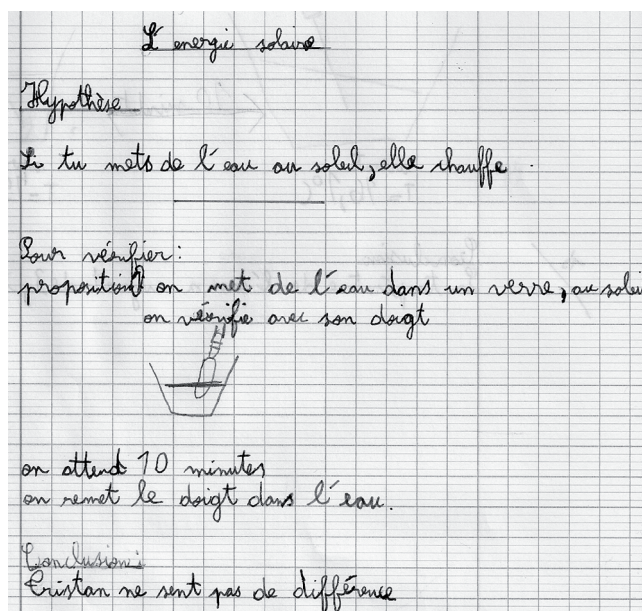
Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment chauffer de l'eau au Soleil ?	S'approprier un problème. Proposer un protocole expérimental.	<i>Travail collectif, en groupe et mise en commun</i>
La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau ?	Concevoir un protocole expérimental et ne faire varier qu'un paramètre à la fois.	<i>Travail en groupe et mise en commun</i>
Les miroirs permettent-ils à l'eau de chauffer plus ?	Découvrir qu'il faut orienter correctement les miroirs pour qu'ils renvoient la lumière vers le récipient. Découvrir que le Soleil se déplace dans le ciel.	<i>idem</i>
L'orientation a-t-elle une influence ?	La lumière du Soleil arrive dans une direction donnée. Comprendre qu'un objet placé dans un plan perpendiculaire à cette direction reçoit le plus de chaleur.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand on place le récipient dans un espace clos ?	Découvrir qu'empêcher l'air de s'échapper favorise l'augmentation de température à l'intérieur du dispositif.	<i>idem</i>
Entourer le dispositif de polystyrène a-t-il une influence sur la température de l'eau ?	En empêchant la chaleur de s'échapper du dispositif, un isolant évite de perdre de la chaleur et favorise le chauffage de l'eau.	<i>idem</i>

1/ Comment chauffer de l'eau au Soleil ?

La plupart des élèves savent que le Soleil chauffe. Il peut brûler la peau. *Peut-on l'utiliser pour chauffer de l'eau ?* Les élèves pensent en général que c'est possible. *Comment procéder ?* La plupart du temps, ils proposent simplement de mettre de l'eau au Soleil et d'attendre. Ils estiment souvent que son échauffement sera suffisant pour être ressenti avec le doigt. L'expérience s'avère rarement concluante : le doigt n'est pas assez sensible.



On admet que la température de l'échantillon de référence (e.g. eau du robinet) ne varie pas.



Les élèves proposent alors d'utiliser un thermomètre : on mesure la température de l'eau avant exposition, puis après l'avoir laissée au Soleil. La différence est faible mais mesurable (quelques degrés).

Les élèves sont souvent déçus : ils savent que l'on peut obtenir de l'eau vraiment très chaude au Soleil. Si ce n'est pas le cas, vous pouvez indiquer que certaines douches solaires sont si efficaces qu'il est nécessaire de mélanger leur eau à de l'eau froide.

Peut-on améliorer le dispositif ? Laissez les groupes réfléchir à la question et proposer leurs idées. Les élèves pensent spontanément aux miroirs (parfois aux loupes). Si vous leur présentez l'image d'une douche solaire, ils imagineront sans doute de peindre le récipient en noir, pensant de façon erronée que le noir « attire » la chaleur. Si personne n'en parle, évoquez des exemples comme les

sièges brûlants d'une voiture restée au soleil, ou une serre dans laquelle le sol reste chaud : cela devrait les conduire à proposer d'enfermer le récipient dans un espace vitré.

On peut alors vérifier si ces propositions favorisent l'échauffement de l'eau. Précisez bien que, pour éviter de gaspiller du matériel et de perdre du temps, la classe va essayer de déterminer la meilleure façon de s'y prendre *avant* de construire un dispositif et tester chaque idée. Demandez ensuite aux élèves de présenter leurs protocoles sur une affiche pour faciliter le débat. Sur chacune doit apparaître le test proposé et la procédure envisagée.

La comparaison des affiches montre la diversité des solutions et la difficulté qu'il va y avoir à comparer les résultats des différents groupes.



Certains groupes font varier plusieurs paramètres à la fois. Il est alors utile d'indiquer au tableau *Ce que l'on peut faire varier* (récipient, quantité d'eau, couleur du récipient, durée d'exposition, moment de l'exposition, présence d'un environnement clos ou non, utilisation de miroirs ou de loupes ; les élèves peuvent également penser à la présence d'une isolation ou à l'orientation relative du récipient et du dispositif) et ce que l'on choisit de changer.

Une première discussion permet de se mettre d'accord sur le choix des récipients et de leur contenu : ils doivent être tous pareils, dans la même matière, contenir la même quantité d'eau. Des petits pots ou des bouteilles en plastique identiques conviennent. Les élèves s'accordent aussi sur la nécessité de contrôler la température de l'eau *avant* de commencer les expériences. Différentes expériences peuvent alors être mises en place en parallèle : tester l'influence de la couleur du récipient, des miroirs, des loupes.



Par souci de robustesse, deux groupes au moins doivent réaliser chaque expérience.

2/ La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau ?

Les élèves exposent simultanément au Soleil, pendant une vingtaine de minutes, divers récipients contenant de l'eau, certains transparents, d'autres de couleur blanche, noire, ou recouverts d'aluminium.



Il est préférable de peindre les récipients plutôt que de les couvrir de papier blanc ou noir. L'explication en est complexe (échauffements parasites, déplacements d'air autour des bouteilles...).

Suivant la durée d'exposition, la disparité des températures sera plus ou moins prononcée. L'eau de la bouteille noire est la plus chaude, celle de la bouteille recouverte d'aluminium la moins chaude.

21 août, Nice, 33 cl d'eau	Papier aluminium	Papier blanc fin	Bouteille transparent	Papier noir épais
14h	26°C	26°C	26°C	26°C
14h30	29°C	30°C	32°C	33°C
15h	31°C	34°C	37°C	39°C

Exemple de relevé de températures

On peut tout à fait en rester à ce constat. Néanmoins beaucoup d'élèves sont alors convaincus que « le noir attire la lumière », ce qui est incorrect. Dans les mêmes conditions, un objet noir reçoit autant de lumière qu'un autre, mais en absorbe plus. C'est cette lumière absorbée qui est transformée en chaleur.

Comment dépasser cette difficulté ? Il est possible de montrer aux élèves qu'un objet de couleur blanche renvoie la lumière, contrairement à un objet noir (sombre). Prévoir un environnement obscur pour l'expérience. Découper un petit côté d'une boîte à chaussures et y placer un objet puis positionner une lampe parallèlement au grand côté de la boîte. L'objet est dans l'obscurité. Comment l'éclairer sans toucher à la lampe ? On peut utiliser un miroir. Et si on n'a pas de miroir ? Une simple feuille de papier blanc suffit. Si l'obscurité est suffisante et la lampe suffisamment puissante, la diffusion de la lumière sur des feuilles colorées suffit également à éclairer l'objet (cf. M-09). Plus la feuille est sombre, moins elle est efficace pour éclairer l'objet. Avec une feuille noire, l'objet n'est pas éclairé (ou presque).

On a constaté que l'eau de la bouteille noire était plus chaude que celle des autres bouteilles. Un objet noir, qui absorbe la lumière, chauffe plus qu'un objet qui la renvoie. Proposez alors aux élèves de réaliser deux pochettes en papier identiques en tout point sauf la couleur, de glisser un thermomètre à l'intérieur de chacune et de les placer de la même façon au Soleil. Que pensent-ils qu'il va se passer ? La pochette noire va voir sa température monter beaucoup plus rapidement que la blanche. Dix à vingt minutes d'exposition suffisent à confirmer l'hypothèse.



Que se passe-t-il si l'on expose deux récipients transparents contenant un même volume de café (d'eau colorée sombre) et d'eau au Soleil dans des conditions identiques ? La température de l'eau colorée est supérieure à celle de l'eau transparente.



Une bonne partie de la lumière traverse une bouteille transparente sans y être absorbée : autant de lumière de perdue pour chauffer l'eau.



Sur un miroir, la lumière est essentiellement réfléchi : on peut dire qu'elle est « renvoyée » dans une direction privilégiée. Sur une feuille de papier, une partie en est absorbée et une autre renvoyée dans toutes les directions : le physicien dira que la lumière est partiellement diffusée. Une feuille blanche renvoie une bonne partie de la lumière qu'elle reçoit, alors qu'une feuille noire l'absorbe.



L'ombre d'une bouteille d'eau est très intrigante : elle est extrêmement lumineuse à certains endroits et beaucoup moins à d'autres.

L'ensemble bouteille/eau forme en fait un dispositif optique complexe qui modifie la direction des rayons lumineux et concentre la lumière comme une loupe. Ces zones de surintensité lumineuse portent le doux nom de *caustique*.



3/ Les miroirs permettent-ils de chauffer plus ?



Le four solaire d'Odeillo, dans les Pyrénées, utilise à la fois un miroir parabolique fixe et des miroirs plans inclinables. Ces derniers renvoient la lumière du Soleil vers le miroir parabolique à mesure que le Soleil suit sa course.

D'autres dispositifs optiques comme la loupe concentrent la lumière du Soleil en une petite zone. Une loupe bien utilisée peut brûler du papier noir (qui absorbe plus de lumière et donc chauffe plus que du papier blanc).



Des miroirs plans ne *concentrent* pas la lumière, ils la *renvoient* dans une autre direction. Concentrer la lumière, en ce qui nous concerne, consiste à modifier la directions des rayons lumineux pour les faire converger sur une zone donnée. Si l'on envoie de la lumière parallèle (celle du soleil) sur un miroir parabolique (on en trouve dans les phares de voiture), celle-ci se concentre en revanche en un point, le *foyer* du miroir : il y fait alors très chaud.

Les élèves imaginent la plupart du temps qu'il suffit de placer des miroirs à proximité des récipients, sans se préoccuper de leur orientation. À la suite du travail précédent, ils doivent pourtant pouvoir expliquer la nécessité de les orienter correctement. Les miroirs réfléchissent alors la lumière vers la bouteille et permettent à plus de lumière d'arriver sur elle : cela devrait permettre de chauffer plus. Seuls la présence et le nombre de miroirs doivent changer d'un dispositif à l'autre. On constate facilement que des miroirs qui dirigent la lumière vers la bouteille en élèvent notablement la température.

Ceux qui ont laissé leur dispositif une trentaine de minutes au soleil sont souvent étonnés d'observer que leurs miroirs ne sont plus convenablement orientés. Dans l'intervalle, le Soleil s'est déplacé et le miroir ne renvoie plus la lumière dans la bonne direction. La lumière du soleil change de direction : la façon dont arrive la lumière sur le récipient pourrait-elle avoir une influence sur l'échauffement du liquide ? Cette observation permet d'introduire un paramètre souvent oublié par les élèves : l'inclinaison de la lumière incidente.

4/L'orientation a-t-elle une influence ?

Lors d'une journée ensoleillée, les élèves savent souvent que c'est en tout début d'après midi que le Soleil «tape» le plus. *Comment expliquer que le Soleil nous chauffe plus à certains moments qu'à d'autres ?* Il est possible que certains élèves associent ce phénomène à la variation de l'inclinaison de ses rayons, mais c'est rare.

Proposez une expérience. Découpez une tablette de chocolat en deux parties égales, déposez-les horizontalement sur deux assiettes plates. Une lampe doit se trouver au-dessus d'une assiette et l'éclairer d'en haut ; l'autre doit éclairer la seconde de côté, en lumière aussi rasante que possible. Les ampoules doivent avoir la même puissance et être à la même distance du chocolat. Demandez alors aux élèves ce qui change entre les deux dispositifs. Seule l'orientation des lampes diffère. *Que va-t-il se passer d'après eux ?* Ils peuvent ne pas encore en avoir d'idée très précise. Pendant la quinzaine de minutes nécessaires pour une observation, les élèves dessinent le dispositif et écrivent ce qu'ils pensent qu'il va se passer. Il est ensuite facile de constater que le chocolat sous éclairage vertical est devenu tout mou, alors qu'il est encore dur sous l'autre lampe. L'inclinaison de la lampe a donc une influence sur la quantité de chaleur reçue par le chocolat.



Avec les plus âgés, il est possible d'entourer l'ampoule d'un cylindre de papier et d'observer sur une table la taille de la zone ainsi éclairée. La superficie éclairée en incidence verticale est beaucoup plus petite qu'en lumière rasante. La lampe envoie dans les deux cas la même quantité de lumière, partagée entre un nombre plus ou moins grand de carrés de chocolat. La quantité de lumière absorbée par un carré est donc plus importante en incidence verticale qu'en lumière rasante.

Que se passe-t-il au soleil ?

Il est facile d'associer l'effet de la lampe à celui du Soleil. *Comment connaître l'inclinaison de la lumière ?* En aucun cas on ne regarde le Soleil directement (risque de dommage oculaire !). Les élèves peuvent proposer de planter un bâton verticalement dans le sol. La droite passant par l'extrémité du bâton et celle de l'ombre donne la direction de la lumière incidente. Une autre possibilité consiste à incliner un manche à balai posé sur le sol jusqu'à ce qu'il n'ait plus d'ombre. Sa direction indique alors celle du Soleil.



Si les élèves n'ont jamais travaillé sur les ombres, une mise au point s'avère nécessaire. Plantez un cure-dents verticalement dans un carton et faites-leur observer la taille de l'ombre obtenue en variant l'inclinaison d'une lampe torche. Plus l'éclairage est rasant, plus l'ombre est grande.



Il fait plus chaud en été qu'en hiver parce que les rayons du soleil arrivent plus verticalement sur le sol. La distance de la Terre au Soleil est un facteur bien moins important (dans l'hémisphère nord, la Terre est même plus proche du Soleil en hiver qu'en été).



Lorsque la lumière arrive perpendiculairement à une surface, les opticiens parlent d'*incidence normale*.

La taille de celle d'un piquet au soleil donne donc une indication sur la hauteur de l'astre dans le ciel. On pourra alors faire le lien entre l'expérience réalisée avec du chocolat et celle réalisée à la lumière du soleil.

Un élève en pleine explication. Quelle est la direction de la lumière du Soleil ?



Une fois déterminée la direction de la lumière, on peut vérifier si l'orientation de l'objet par rapport à celle-ci a une influence sur son échauffement. Les élèves conçoivent différents dispositifs.

Ils peuvent comparer l'évolution de la température indiquée par deux thermomètres inclinés différemment. Ils ont vu avec le chocolat qu'il fond plus vite lorsque la lampe est à la verticale de la surface éclairée. L'utilisation de pochettes en papier identiques (noires) dans lesquelles on glisse un thermomètre facilite le travail. On les expose en même temps en les inclinant plus ou moins par rapport à la direction des rayons du Soleil. Par exemple, l'une est posée sur un carton horizontal (pour l'isoler du sol qui peut-être très chaud) et l'autre inclinée de façon à ce que la lumière arrive perpendiculairement à sa surface. Pour cela, on plante un bâton perpendiculairement à la pochette, qu'on incline ensuite de façon à ce que le bâton n'ait plus d'ombre.

On observe alors l'évolution de la température dans les deux pochettes. Au bout d'une vingtaine de minutes, la différence de température permet de conclure. Exposer ce que l'on cherche à chauffer perpendiculairement à la lumière du Soleil permet un échauffement plus important. C'est ce qui s'était également passé avec le chocolat placé sous une lampe.

Les élèves peuvent également choisir d'exposer un même objet, pendant une même durée et dans la même position, à deux moments de la journée où l'inclinaison de la lumière est très différente, mais où la température extérieure est sensiblement la même. On obtient le même résultat : plus la lumière arrive verticalement sur l'objet, plus il s'échauffe.



L'inclinaison des pochettes est plus facile à ajuster que celle des rayons du soleil...



L'orientation des maisons « écologiques » est souvent choisie pour optimiser leur chauffage par le soleil.

5/ Que se passe-t-il quand on place le récipient dans un espace clos ?

Après ces questions d'optique, il est temps de revenir à l'idée initiale d'enfermer le récipient dans un espace vitré. Les élèves peuvent comparer l'évolution de la température de deux récipients identiques, soumis à la même exposition et contenant la même quantité d'eau, laissés pour l'un à l'air libre et pour l'autre recouvert d'un saladier transparent (ou placés dans des boîtes à chaussures, dont une seule recouverte d'une vitre). Dans les deux cas, l'eau enfermée voit sa température monter plus haut que celle restée à l'air libre. Lorsqu'on soulève la vitre ou le saladier, on sent une bouffée d'air chaud s'échapper, comme lorsque l'on ouvre les portes d'une voiture stationnée longtemps au Soleil. L'air est emprisonné et s'échauffe lui aussi sans possibilité de s'échapper. On peut supposer qu'en supprimant les mouvements d'air, on empêche le refroidissement du récipient par l'air qui l'entoure.



Prévoir une exposition assez longue (1 à 2 heures)

6/ Entourer le dispositif de polystyrène a-t-il une influence sur la température de l'eau dans le récipient ?

Les élèves viennent de constater qu'enfermer le récipient permettait d'augmenter la température de l'eau. On a supposé que c'est parce que le milieu entourant le récipient restait chaud. Peut-on encore améliorer le système ? Une possibilité serait d'empêcher la chaleur contenue dans le dispositif, dans la boîte à chaussures par exemple, de s'échapper. Il existe pour cela une technique : l'isolation. Les enfants connaissent peut-être quelques isolants (laine, laine de verre, polystyrène). *Que se passe-t-il si l'on entoure d'isolant les côtés non exposés au soleil de la boîte à chaussures ?* Il est préférable de travailler avec des pochettes noires contenant un thermomètre, la variation de température étant plus importante que si l'on utilise de l'eau. En observant l'évolution de la température dans deux boîtes en tous points identiques sauf l'isolation, on constate que la température monte plus dans la boîte isolée.

Il ne reste plus qu'à concevoir et à construire un dispositif prenant tous ces acquis en compte pour chauffer de l'eau, ou un œuf. N'hésitez pas à présenter aux élèves de la documentation sur les chauffe-eau ou fours solaires (trouvée dans les ouvrages scolaires ou des magazines). Ils devraient être en mesure de comprendre les choix techniques faits par les concepteurs.



Les échanges thermiques de notre corps avec son environnement se répartissent à parts plus ou moins égales entre ceux liés au rayonnement et ceux liés à la circulation de l'air.

Pour aller plus loin :

L'ouvrage *Vivre avec le Soleil* (Hatier, 2009) propose des démarches d'investigation pour inciter les élèves à se protéger du Soleil.

Propositions d'animations**Première animation :**

- Comment chauffer de l'eau au Soleil ?
- La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau ? (*prévoir, lancer l'expérience et la dessiner*)
- Les miroirs permettent-ils à l'eau de chauffer plus ? Comment les positionner ? (*expérience déjà en cours, faire lire les températures et déplacer les miroirs pour les orienter correctement*)
- Que se passe-t-il quand on place le récipient dans un espace clos ? (*les élèves visiteurs doivent concevoir le protocole ; leur proposer un tableau à remplir avec ce qui peut changer et ce que l'on change ; expérience déjà en cours : faire lire les températures*)

Ce qui peut changer	Boîte 1	Boîte 2
<i>Couleur et matière de la boîte</i>	Noire, en carton	La même
<i>Miroirs utilisés</i>	Aucun	Aucun
<i>Quantité d'eau utilisée</i>	La moitié d'un petit pot	La même
<i>Température initiale de l'eau</i>	18°C	La même
<i>Couverture de la boîte</i>	Aucune	Vitre
<i>(isolation de la boîte)</i>	Aucune	Aucune
<i>(orientation de la boîte)</i>	Posée sur la table	La même

Deuxième animation :

- Comment chauffer de l'eau au Soleil ?
- La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau qu'il contient ? (*prévoir, lancer l'expérience et la dessiner*)
- L'orientation a-t-elle une influence ?
- À quoi faut-il également être attentif pour un bon chauffage de l'eau ? (*présenter le dispositif optimisé et discuter des différents éléments*)

L'écrase-biscotte

E-22

Objectif général :

Découvrir une machine simple utilisant le principe du levier. De l'eau qui coule peut provoquer la mise en mouvement d'une machine basculante.



Lien avec le programme :
leviers et balances,
équilibres, objets
mécaniques, transmission
de mouvements

Matériel



Par groupe : 2 tiges de bambou (\varnothing 1 cm, longueurs 1 m & 30 cm) ; 4 bouteilles en plastique (2x2 litres & 2x75 cl) ; du gravier ; un gros galet ; ruban adhésif ; colle ; une scie ; ficelle ; une dizaine de biscottes ; un pichet ou une bouteille en plastique ; une bassine ; un poinçon et un marteau (*facultatif*) ; photos d'une machine à écraser le riz au Vietnam (suivant déroulement choisi).

Pour l'enseignant : un cutter ; un poinçon et un marteau.

Budget



Biscottes : 2 € ; tiges de bambou : 10 €.

Préparation : 10 à 15 minutes



Fabrication d'une machine à écraser les biscottes et découpe des petites bouteilles servant de godet.

Voir précisions pages suivantes.

Conditions spécifiques



Utilisation d'eau en grande quantité, travail recommandé dans la cour de l'école. Nous conseillons l'étude de cette machine après un travail préalable sur les équilibres (séquence E-13). Elle peut également servir d'introduction à un travail plus systématique sur les leviers.



Cycles 2 & 3



4 à 6 heures



Séquences E-13
Équilibres et déséquilibres

Séquence E-14
Les balances

Séquence M-15
L'écrase-biscotte
(maternelle)

Difficultés travaillées :

Réaliser un schéma ; construire un prototype et l'améliorer ; alors que l'on cherche souvent des situations d'équilibre statique à l'école, la machine repose sur des déplacements périodiques d'équilibre.

Préparation

Impressions des photos, qui peuvent être téléchargées sur le site de l'éditeur :
<http://somniaumeditations.free.fr> > Ouvrage > Compléments

Fabrication de la machine :

Réaliser un croisillon avec les tiges de bambou et le bloquer avec une ficelle. Lester les deux grandes bouteilles en plastique et les percer de deux trous opposés situés à la même hauteur ; enfiler la tige de bambou la moins longue dans les deux bouteilles ; elle servira d'axe et devra pouvoir tourner librement (faisant basculer l'autre tige qui servira de levier). Fixer un gros galet à une extrémité du levier (pilon). Découper une petite bouteille avec le cutter de façon à réaliser un godet. Insérer son goulot dans l'autre extrémité du levier et la fixer avec de l'adhésif.

Le godet est inséré dans la tige (levier).



Il est également possible d'encastrer le bouchon de la bouteille sur la tige et de le coller. Il n'y a plus alors qu'à visser la bouteille sur le bouchon (cela permet de changer de bouteille sans tout démonter).

Machine plus robuste :

Montage décrit dans la séquence M-15 *L'Écrase-biscotte* (maternelle).

Réglage :

Godet vide, le pilon doit reposer sur le sol. Remplir le godet d'eau. Lorsque celle-ci atteint un certain niveau, le levier bascule et entraîne le pilon vers le haut. Dans sa nouvelle position, l'eau déborde du godet incliné. Lorsque celui-ci s'allège en se vidant, le levier rebasculé et le pilon s'abaisse brutalement en écrasant la biscotte. Revenu à sa position initiale, le godet peut être rempli de nouveau. Le cycle remplissage/vidage du godet, montée/levée du pilon recommence.

Il arrive que le levier ne bascule pas une fois le godet rempli : il faut alors soit alléger le pilon, soit diminuer la distance du pilon à l'axe en faisant coulisser la tige. Le levier peut également ne pas basculer si l'eau s'écoule trop vite ; il faut alors changer de récipient. Si le levier ne rebasculé pas, une fois le godet au sol, c'est en général parce qu'il ne s'est pas assez vidé : percer le bas du récipient pour permettre à l'eau de s'évacuer.

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
À quoi sert la machine ? Comment fonctionne-t-elle ?	S'approprier un problème et proposer des pistes de fonctionnement. Schématiser le fonctionnement de la machine.	<i>Travail par groupe puis mise en commun</i>
Comment vérifier ? Comment en fabriquer d'autres ?	Concevoir un plan puis un prototype et le tester.	<i>idem</i>
Quelles modifications apporter pour faire fonctionner la machine ?	Tester différentes solutions et réaliser une machine qui bascule.	<i>idem</i>
Comment améliorer la machine ?	Identifier des paramètres permettant d'améliorer l'efficacité de la machine. Découvrir le principe du levier.	<i>idem</i>



La machine à piler le riz dans son environnement naturel : l'eau arrive de la droite par un tuyau en bambou et remplit le godet (Sapa, 2005).



Le godet se vide ; une pierre assure l'équilibrage.



Vue de l'axe du godet



Pilon en horizon haute

Descriptif

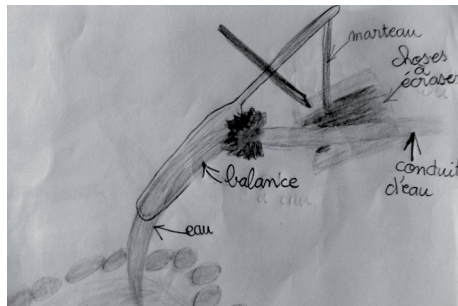
La « machine à écraser les biscottes » permet de travailler avec les élèves tant sur le « comment ça marche » que sur le « comment fabriquer une machine », dans une approche ludique. La manipulation et la découverte de son fonctionnement par essais/erreurs permettent aux élèves de prendre conscience du concept de levier : il faut qu'il y ait suffisamment d'eau dans le godet pour qu'il bascule et soulève le pilon puis, pour que le pilon descende, il faut que de l'eau « parte ».

1/ À quoi sert la machine ? Comment fonctionne-t-elle ?

Deux approches au moins sont possibles : présenter directement une machine réalisée par vos soins aux élèves ou leur proposer des photos à analyser.

Dans le premier cas, indiquez que la machine peut écraser des biscottes : *Comment fonctionne-t-elle ?* Il peut être nécessaire d'aider certains groupes à démarrer. *Quelle est la partie qui écrase ? Comment faire pour écraser ? Comment mettre en mouvement la tige ? À quoi sert le godet ?* Certains pensent à utiliser de l'eau et d'autres du gravier.

Dans le second, l'exercice consiste à classer chronologiquement les photos en demandant de comprendre le fonctionnement la machine. Les photos suggèrent deux types de réponses : la machine sert à écraser quelque chose ou à irriguer.



Premier dessin de la machine en fonctionnement (CM2)

La deuxième étape est la même : proposez à chaque élève de dessiner la machine et de schématiser son fonctionnement.

La mise en commun est l'occasion de discuter des différentes façons de représenter un objet à trois dimensions (vue de dessus, de côté...) et de préciser les différentes étapes (un schéma, plusieurs, organisation linéaire ou cyclique...).

2/ Comment vérifier les hypothèses sur le fonctionnement ?

Dans le cas où une machine est disponible, il suffit d'essayer, pour la plus grande joie des élèves. *Comment en construire d'autres ?*

Après un travail sur photos, faute de pouvoir se rendre sur place, on peut fabriquer une maquette. *Comment construire la machine ?*

Dans les deux situations, aux élèves de concevoir et de dessiner leur prototype à l'aide du matériel disponible : grandes bouteilles trouées pour y insérer une tige de bambou, petite bouteille découpée en forme de godet, petite bouteille

lestée et trouée de façon à pouvoir coulisser dans la tige de bambou. On peut bien entendu laisser aux élèves une plus grande liberté dans la construction en les laissant amener eux-mêmes le matériel qu'ils souhaitent utiliser.

Les plans étant faits, les groupes sont laissés libres de réaliser leurs machines. Il leur faut cependant noter toutes les modifications successives apportées à leur prototype de départ.

3/ Quelles modifications apporter pour faire fonctionner la machine ?

Si le montage est facile, la mise en fonctionnement nécessite des ajustements : choix du poids du pilon pour obtenir un mouvement de bascule, adaptation de sa distance au pivot ou déplacement de l'axe pour favoriser le mouvement de bascule, éventuellement ajout de cailloux du côté du déversoir. La présence du caillou dans le godet sur les photos de la machine d'origine s'explique au moment des ajustements : s'il n'est pas assez lourd, il ne bascule pas, même rempli d'eau.

La comparaison des différentes machines réalisées permet ensuite de confronter les différents choix : *les machines sont-elles toutes aussi efficaces ? Comment le vérifier ?* Un moyen possible pour tester les machines est de leur faire écraser quelque chose, des biscottes par exemple. On peut superposer plusieurs biscottes et voir lesquelles parviennent à les écraser du premier coup. *La façon dont on verse l'eau a-t-elle une importance ?* Il suffit d'essayer. On peut ensuite aller plus loin.

4/ Comment améliorer la machine ?

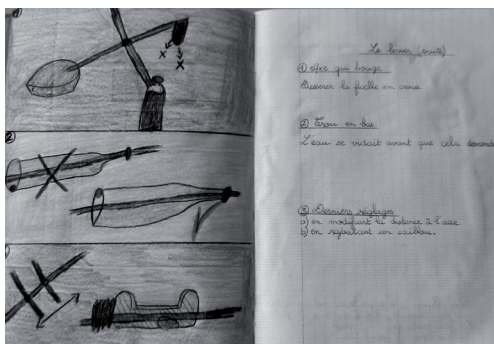
Peut-on les rendre plus efficaces ? Quelles modifications apporter à la machine pour qu'elle fonctionne encore en alourdissant le pilon, en déplaçant l'axe pour avoir une plus grande amplitude du mouvement, ou encore en favorisant le vidage rapide du déversoir ?

Il s'agit à chaque fois de prévoir et de dessiner les modifications que l'on pense apporter avant de les essayer. Distances à l'axe du pilon et du godet, masses respectives du pilon et du godet rempli d'eau semblent être les éléments dont il faut tenir compte. Pour que la machine continue de fonctionner sans modifier le godet avec un pilon plus lourd, on peut le rapprocher de l'axe. On peut également prendre un godet plus volumineux ou y ajouter des cailloux. Si l'on éloigne le pilon de l'axe pour une plus grande amplitude de mouvement, il faut alourdir le godet. En favorisant le vidage rapide du réservoir, il ne faut pas un pilon trop lourd, sous peine que le godet se vide avant que le pilon ne se soit

soulevé. Le point commun entre ces différentes améliorations est que distances à l'axe et masses des godet et pilon ne peuvent être modifiées indépendamment : il y a un lien entre ces éléments.



Si les élèves ont déjà travaillé sur les leviers, ils devraient être capables de faire le lien et de réinvestir leurs connaissances. Sinon, les élèves sont alors prêts à se lancer sur un travail plus précis sur les leviers avec du matériel mieux adapté à cette étude (cf. séquences E-13 & E-14).



Dessin d'améliorations proposées par les élèves de CM2 (resserrer la ficelle pour éviter que l'axe ne bouge, ne pas percer la bouteille godet trop bas, modifier la distance du godet à l'axe et rajouter un caillou dans le godet). La formulation est collective, les dessins individuels.

Prolongement :

Le *shadouf* est une machine traditionnelle utilisée pour déplacer de l'eau qui utilise le principe du levier. Il est possible d'en fabriquer et de comparer les deux types de machines. Pour l'écrase-biscotte, on cherche à maximiser l'effet de la chute du pilon ; pour le shadouf, à minimiser l'effort fourni pour soulever le godet.

Pour aller plus loin :

« Une machine venant d'ailleurs pour travailler les leviers, de la Maternelle à la formation d'adultes », *Grand N* n°85, 2010, pp. 83–101.

Le site de l'IUFM de Montpellier propose un travail sur le *shadouf* en complément : <http://www.montpellier.iufm.fr/technoprinaire>

Propositions d'animations

Première version : (C2)

- Comment assembler les différents éléments pour construire une machine qui écrase ? (présenter le matériel et la fonction des différents éléments : un godet que l'on peut remplir, un pilon pour écraser, un socle, deux tiges nouées croisées pour faire un pivot)
- Comment fonctionne la machine ? (laisser les élèves visiteurs faire leurs propositions et les tester)
- Quelles modifications apporter pour faire fonctionner la machine ?
- Comment dessiner la machine ? (après avoir confronté les premiers dessins, proposer différentes vues à compléter)

Deuxième version : (C3)

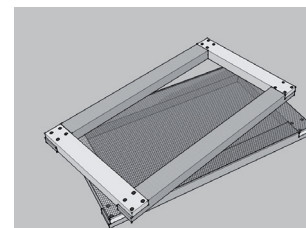
- À quoi sert la machine ? Comment fonctionne-t-elle ? (présenter les photos de la machine vietnamienne etc.)
- Comment vérifier ?
- Comment assembler les différents éléments pour construire une machine qui écrase ?
- Quelles modifications apporter pour faire fonctionner la machine ?
- Comment dessiner la machine ? (après avoir confronté les premiers dessins, proposer différentes vues à compléter)

Recyclage : comment fabriquer du papier ?

€-23

Objectif général :

Fabriquer une feuille de papier en récupérant et en recyclant du papier usagé. Identifier les ingrédients pour former la pâte à papier, découvrir les facteurs et les techniques pour créer cette feuille. Utiliser cette feuille de papier dans un projet technologique.



Matériel



Par atelier : 5 à 10 feuilles de papier usagées ; un jeu de cadres (cadre avec la moustiquaire + contre-cadre) ; 1 bac pour la pâte à papier ; 1 bassine ; 1 éponge ; des pochettes transparentes de type cristal ; pinces et corde à linge (ficelle) pour étendage ; chiffons ; peinture gouache ; fleurs, graines, etc. (*facultatif*).

Pour l'enseignant : différents exemples de feuilles en papier recyclé ; des objets ou réalisations (carte de Noël ou pour la fête des mères) ; un appareil photo numérique (souvent intégré dans les téléphones portables) ; différentes sortes de papier (papier journal, carton, carton plume, papier aluminium, papier de verre, papier bulle, papier bonbon, papier de soie, papier kraft, papier TMCanson, papier buvard, papier filtre, papier hygiénique, papier cigarettes, papier calque, verre en papier...) ; des tamis avec différentes tailles de trous (*facultatif*) ; de la colle à papier peint.

Budget



Jeu de cadres : 8 € ou fabrication artisanale (toile Moustiquaire à mailles fines : 10 € ; tasseur de 20 mm : 1 € le mètre ; agrafes ou punaises : 1 € ; colle à bois : 7 €) ; bac plus large que le jeu de cadres : 4 € l'unité ; reste du matériel empruntable.

Préparation : 30 minutes pour réaliser une base de pâte,



2 heures à 1 nuit de trempage, 20 minutes par jeu de cadres

Voir précisions page suivante.

Conditions spécifiques



Il est nécessaire de disposer d'un espace au sol qui ne craint pas les éclaboussures (la cour paraît indiquée), ou de protéger préalablement la salle.

Lien avec le programme :
réaliser certains gestes techniques, les déchets : réduire, réutiliser, recycler



Tous cycles



4 heures



Difficultés travaillées :

Trouver la bonne consistance pour la pâte et réaliser le bon geste technique pour fabriquer une feuille de papier. Les élèves les plus âgés peuvent se lancer dans la réalisation des cadres : il s'agit alors d'effectuer des mesures minutieuses et de respecter une fiche de montage.

Préparation

Fabrication de la pâte :

Déchirez des feuilles de papier usagées en petits morceaux de 2 cm de côté et laissez-les tremper de 2 heures à une nuit dans de l'eau.

Mixez ou pilez les morceaux détrempés avec un peu d'eau pour obtenir une pâte épaisse.

Placez quelques poignées de cette mixture dans un bac rempli d'eau, en ajoutant une cuillère à soupe environ de colle pour favoriser la tenue du papier. Homogénéisez le mélange avec les mains.

On obtient des feuilles colorées en ajoutant de la peinture dans l'eau.



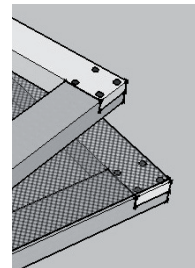
Sans colle, les feuilles absorberont trop l'encre pour qu'on puisse écrire dessus. Vous pouvez comparer l'absorption du papier suivant la quantité de colle mise dans le mélange, toutes choses égales par ailleurs.

Fabrication du cadre :

Vous pouvez fabriquer les jeux de cadres avec vos élèves ou les réaliser vous-mêmes (compter 20 minutes par jeu). Voici quelques suggestions de fabrication :

Pour un cadre basique de 30x20 cm. Sciez des tasseaux à bout carré de 20 mm de façon à obtenir des morceaux de 26 cm et 20 cm de long en même quantité. Clouez les tasseaux après les avoir encollés. Vous pouvez éventuellement effectuer des pré-trous à la perceuse pour faciliter le travail (veillez dans ce cas à bien aligner les trous des 2 morceaux que vous souhaitez assembler). Il est également possible de visser les différents éléments.

Une approche plus sophistiquée consiste à réaliser une découpe dans chaque morceau de tasseau pour ensuite les ajuster, les encoller puis les clouer. Le cadre est alors beaucoup plus solide, les éléments étant solidarisés et ne pouvant pas tourner. Le schéma ci-dessous propose un exemple de découpe possible. Il faut alors 2 morceaux de 30 cm de longueur et 2 de 20 cm par cadre.



Découpez ensuite la moustiquaire à la taille du cadre et agrafez ou punaisez-la dessus. Un deuxième servira de contre-cadre.



Recyclage : comment fabriquer du papier ?

€-23

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Du papier, pour quoi faire ?	Identifier différentes utilisations du papier et prendre conscience qu'il existe une grande variété de papiers différents avec des propriétés adaptées à leur usage.	<i>Travail collectif</i>
Quels papiers connaît-on ?	Observer des papiers différents et découvrir que le mot papier est parfois utilisé abusivement (papier aluminium). Derrière la diversité des papiers se cache une caractéristique commune : ils contiennent tous des fibres de cellulose.	<i>Travail par groupe puis en collectif</i>
Avec quoi fait-on du papier ? Comment fait-on le papier ?	Recherche documentaire pour parvenir à réaliser son propre papier.	<i>idem</i>
De quoi a-t-on besoin pour fabriquer son propre papier ?	Identifier les éléments nécessaires à la fabrication et fabriquer du papier.	<i>Travail par groupe</i>
Comment améliorer notre papier ?	Tester différents procédés pour améliorer une caractéristique du papier obtenu (tenue, épaisseur, résistance...).	<i>Travail collectif puis par groupe</i>

Descriptif

Il est tout à fait possible de ne conserver que l'étape « fabrication du papier ». N'hésitez pas à associer cette fabrication à la réalisation d'un projet technologique : conception d'un album, d'une carte pour la fête des mères... Elle peut être accompagnée d'une sensibilisation des élèves à la récupération de papier au sein de la classe ou de l'école.

1/ À quoi utilise-t-on le papier ?

Les élèves sont souvent étonnés de la diversité des utilisations du papier. Chaque groupe peut écrire sa liste sur une affiche. L'enseignant peut également noter directement toutes les idées des élèves au tableau. Qu'est-ce qui fait que tel papier est adapté à tel ou tel usage ? La perméabilité ou l'imperméabilité du papier peut être recherchée, ou bien la résistance à la déchirure, la rigidité, la capacité à plier sans casser, l'épaisseur ou la finesse, la légèreté, l'inflammabilité, etc. Proposez aux élèves de revenir à la séance suivante avec autant de papiers différents que possible.

2/ Quels papiers connaît-on ?

Par groupe tout d'abord, proposez aux élèves d'observer les papiers qu'ils ont trouvés. *Peut-on identifier, à l'œil, quelques éléments qui permettent de leur donner ces propriétés différentes ? Ont-ils quelque chose en commun ?* Selon leur moisson, cela peut durer plus ou moins longtemps. Déchirer les papiers permet de réaliser qu'ils contiennent des fils agglomérés, enchevêtrés : on parlera de fibres.

Comment parvient-on à donner tant de propriétés différentes au papier ? On peut constater que certains sont composites : recouverts d'une feuille de plastique ou plastifiés, recouverts de grains (papier de verre). Leur épaisseur et la façon dont les fibres sont tassées jouent un rôle dans leurs propriétés. Deux papiers peuvent se ressembler et avoir des propriétés différentes : une simple observation ne suffit pas, il faut aller plus loin.

Mais d'abord, qu'entend-on par « papier » ? Les élèves peuvent avoir ramené des papiers bonbon, aluminium, papier bulle. Si ce n'est pas le cas, proposez-en quelques exemples. Que la discussion intervienne spontanément ou parce que vous l'avez suscitée, leur statut fait rarement l'unanimité parmi les élèves. *Sur quel critère les élimine-t-on ?* Ils ont souvent du mal à formuler leur réponse mais avec un peu d'aide c'est une question de matière : c'est « du plastique », c'est « du métal », pas « du papier ». *Peut-on alors caractériser le papier par la matière qui le constitue ? Comment vérifier ?* Une recherche documentaire s'impose.

3/ Avec quoi fait-on du papier ? Comment ?

Vous pouvez mener une recherche sur Internet ou proposer des ouvrages aux élèves sur le sujet. La fabrication de papier à partir du crottin des éléphants d'une réserve africaine dans l'Aude ne manquera pas de les faire sourire.

Pour fabriquer le papier, il faut des fibres de cellulose. Leur provenance est variée : du crottin au chiffon en passant par les arbres et le papier recyclé.

On obtient du papier en récupérant les fibres de cellulose et en les séparant les unes des autres pour obtenir une pâte épaisse. Cette pâte est ensuite diluée dans de l'eau.

On plonge alors un tamis dans la pâte. Les fibres qui s'y déposent constituent la future feuille de papier. On récupère ce dépôt sur un support et l'on fait sécher pour éliminer l'eau. Il ne reste plus qu'à décoller la feuille.

Des adjuvants permettent de donner au papier les propriétés voulues. C'est par exemple l'absence de colle dans la pâte qui rend le papier buvard si poreux.

4/ Comment faire son propre papier ? De quoi a-t-on besoin ?

Cela semble simple. Si les élèves n'ont pas déjà lu une procédure pour fabriquer de papier maison, lancez la discussion. Il faut de la pâte à papier. Pour la fabriquer on peut utiliser du papier usagé. Comment en faire de la pâte ? En le mettant dans l'eau et en le broyant. Le mixer est sans doute la technique la plus rapide.

Comment récupérer la pâte sur un tamis ? La taille des trous doit être bien choisie : trop gros, ils ne retiennent rien ; trop petits, le tamis va se boucher et l'on aura un tas de pâte pas très utile pour réaliser une feuille en papier.

Comment réaliser des feuilles de même dimension ? La présence d'un contre-cadre sur le tamis permet de choisir la forme et la taille souhaitée et d'en faire autant qu'on le souhaite.

Sur quoi déposer la feuille réalisée ? Un torchon peut très bien faire l'affaire, mais il en faut beaucoup ! Nous proposons d'utiliser des pochettes transparentes qui n'adhèrent pas à la feuille et facilite son décollement.

Vous pouvez laisser les élèves essayer différentes textures de pâte et différentes tailles de tamis. La précision du geste est importante : il ne faut pas déposer trop de pâte et soulever le cadre et le contre cadre sans les pencher (sinon la feuille n'aura pas partout la même épaisseur).

Il faut ensuite enlever le contre-cadre sans mettre les mains dans la pâte fraîche, poser une pochette transparente dessus et retourner d'un seul coup.

Recyclage : comment fabriquer du papier ?

Avant de décoller le cadre qui a servi de tamis, absorber l'eau en excès avec une éponge légèrement humide. Il n'y a plus qu'à insérer les décorations éventuelles (graines, fleurs, paillettes) et à laisser sécher.

5/ Comment améliorer notre papier ?

Les élèves peuvent trouver leur papier trop cassant, trop poreux, trop épais. Il est alors possible de revenir à une démarche d'investigation pour tester différents paramètres : mixage fin ou grossier du papier, texture de la pâte, colle ajoutée en plus ou moins grande quantité, épaisseur du papier réalisé... Il s'agit de faire un travail systématique : un tableau peut faciliter l'organisation.



Pensez à faire suffisamment de feuilles de chaque sorte pour que la comparaison ait un sens (5 à 8 feuilles).

Pour aller plus loin :

De nombreux sites internet proposent de fabriquer du papier, nous vous indiquons le site funscience

http://www.funsci.com/fun3_fr/papier/papier.htm#3

qui propose un bref historique et des liens utiles

ainsi que le site du moulin à papier de Brousse et Villaret

<http://www.moulinapapier.com/fr>

où l'on découvre le surprenant papier pur crottin d'éléphant

Proposition d'animation

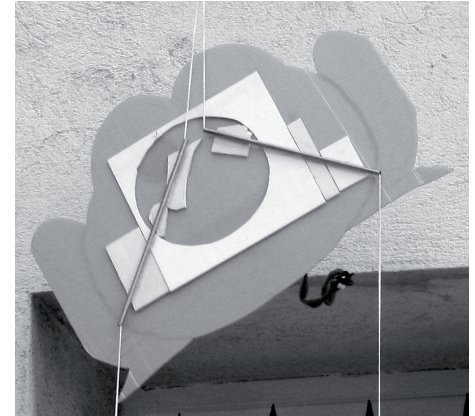
- Du papier, pour quoi faire ?
- Quels papiers connaît-on ?
- Comment fait-on le papier ?
- De quoi a-t-on besoin pour fabriquer son propre papier ?

La petite bête qui monte, qui monte

€-24

Objectif général :

Réaliser un objet technique et rédiger une fiche de fabrication.



Matériel



Par petite bête : une paille ; un disque de carton épais (Ø 20 cm environ) ; de la gouache ou des feutres ; du ruban adhésif ou de la colle liquide ; environ 2 mètres de ficelle ; 2 perles en bois ; matériaux de récupération divers pour la décoration ; ciseaux.

Pour l'enseignant : exemples de fiches de fabrication d'objets divers présentant des caractéristiques communes : titre, liste du matériel et des outils nécessaires, étapes de fabrication ou de montage (un dialogue entre le texte et des schémas ou dessins est également bienvenu, e.g. livres de bricolage pour enfants et fiches de montage de meubles et de jouets, de type TM Kinder surprise).

Budget



Pailles : 2,50 € les 100 ; perles en bois : 5 € les 100.

Préparation : 10 minutes



Fabrication d'une bête de démonstration : Découper un disque de carton épais. Y coller deux pailles (le cas échéant, les raccourcir pour qu'elles n'en dépassent pas). Faire passer la ficelle dans les deux pailles et nouer une perle à chaque extrémité. La suspendre à un crochet entre les deux pailles.

Lien avec le programme :
exercer des habiletés manuelles, réaliser certains gestes techniques



Tous cycles



1 heure



Difficultés travaillées :

Rédiger une fiche de fabrication.

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment fonctionne la grosse bête ?	Observer un objet et proposer un fonctionnement possible. Comprendre le rôle des frottements.	<i>Collective</i>
Comment construire sa propre petite bête ?	Faire la liste du matériel et rédiger une fiche de fabrication.	<i>Par groupe puis construction individuelle</i>
L'inclinaison des pailles a-t-elle une importance ?	Découvrir que si les pailles sont trop ou pas assez en biais, la bête monte ou descend difficilement.	<i>Par groupe puis collective</i>
Comment aider des camarades à fabriquer l'objet ?	Finaliser la fiche de fabrication.	<i>Rédaction collective</i>

Descriptif **I/ Comment fonctionne la grosse bête ?**

Sans en montrer le mécanisme au dos, présentez aux élèves la grosse bête que vous avez réalisée et demandez comment ils pensent qu'elle fonctionne. Chaque proposition peut être suivie de son essai.

Une fois que les élèves ont découvert empiriquement comment la faire monter et descendre, demandez-leur d'expliquer pourquoi elle monte. La ficelle doit pouvoir successivement glisser dans quelque chose pour monter, et rester coincée. L'alternance de ces deux étapes permet à l'objet de grimper « en crabe ».

Au repos, les deux tronçons sont bloqués. On libère celui du côté le plus bas en tirant sur la ficelle : ce côté remonte et dépasse l'autre, jusqu'à un nouveau blocage. On débloque alors l'autre côté en tirant sur l'autre extrémité de la ficelle, et on recommence.

Pour faire redescendre la bête, on écarte légèrement les deux bouts de ficelle et l'objet descend en couissant le long des fils.

Une nouvelle démonstration de la montée et de la descente de la grosse bête, le mécanisme étant cette fois visible, permet aux élèves d'observer le phénomène.



Quand la structure n'est pas horizontale, les deux pailles présentent une inclinaison différente : c'est cette dissymétrie qui permet à l'objet de monter.

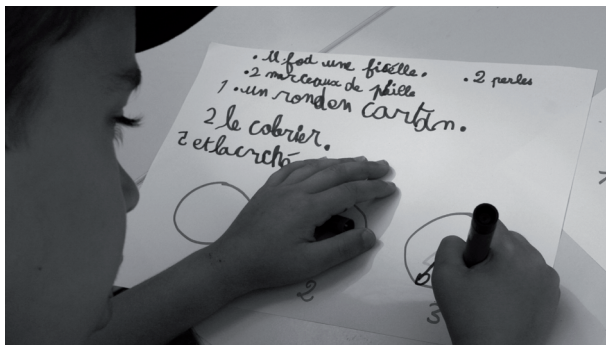
Le bout de ficelle que l'on tire coulisse librement dans la paille tandis que l'autre frotte sur les extrémités de la paille et reste immobile.

2/ Comment construire sa propre bête ?

Proposez alors aux élèves de construire leur propre bestiole.

De quoi ont-ils besoin ? Comment envisagent-ils de s'y prendre ? Après avoir montré le dos de votre bête de démonstration, cachez-le. Aux élèves de lister le matériel qu'ils souhaitent utiliser et les différentes étapes de la fabrication. Chaque groupe doit réaliser son affiche avant de construire son objet. Les affiches ayant été posées au tableau, laissez les élèves se lancer dans la construction.

Certains élèves ne donneront pas une inclinaison suffisante à leurs pailles et ne pourront pas faire monter leur bestiole. Ils constatent rapidement le dysfonctionnement et, en comparant avec celles de leurs camarades, trouvent rapidement ce qu'il faut modifier. Laissez alors les élèves décorer leurs bestioles.



3/ L'inclinaison des pailles a-t-elle une importance ?

L'excitation de la fabrication étant un peu retombée, demandez aux élèves quelles difficultés ils ont rencontrées. L'importance de l'inclinaison des pailles est rapidement identifiée.

Comment l'expliquer ? Il faut des frottements entre les pailles et la ficelle, sans cela l'objet glisse et ne monte pas.

Que se passe-t-il si l'on remplace la ficelle par de la laine ? Les élèves ont constaté que la bête montait sans problème mais descendait difficilement. Il y a trop de frottements.

Il faut donc trouver un juste milieu : des frottements, oui, mais pas trop.

4/ Comment aider des camarades à fabriquer l'objet à leur tour ?

Demandez aux élèves de lire les affiches réalisées : permettent-elles à des élèves qui n'ont pas vu l'objet de le réaliser ? Sont-elles assez claires et précises ou manque-t-il des choses ?

La discussion permet de se mettre d'accord sur les éléments constitutifs d'une bonne fiche de fabrication : le matériel, les outils et les étapes de fabrication avec éventuellement des conseils. La présentation de fiches de fabrication fournies dans des ouvrages donne des exemples d'articulation entre texte et dessins. Il est alors possible de construire une fiche de fabrication collective ou de demander à chaque groupe de réaliser une fiche pour une autre classe (de correspondants par exemple).

Proposition d'animation

- Comment fonctionne la grosse bête ?
- Comment construire sa propre petite bête ?
- L'inclinaison des pailles a-t-elle une importance ?

**III -
Quelques conseils
pour mener
une démarche
d'investigation**

1. Quelques règles simples	379
2. Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?	383
3. Réorganiser la classe pour une démarche d'investigation	389
4. Organisation des écrits	395
5. Définir et limiter le champ d'une investigation	401

Quelques règles simples

III-1

Mettre en œuvre une démarche d'investigation à partir d'une séquence bien charpentée s'avère assez facile, avec un peu de pratique. Les collègues plus expérimentés, qui auront souvent découvert par eux-mêmes les quelques règles simples qui s'imposent, peuvent sans doute sauter cette section. Nous les rappelons néanmoins brièvement, pour aider ceux qui seraient moins familiers de cette méthode d'enseignement à éviter des erreurs « classiques ».

1/ Tester le matériel et réaliser toutes les expériences avant la classe

C'est une précaution élémentaire, mais trop rarement effectivement suivie. C'est pourtant particulièrement utile en sciences, les séquences favorisant les résultats anti-intuitifs, même pour des adultes : elles sont souvent conçues pour intriguer. Pour avoir animé des ateliers auxquels participaient, dans un cadre ludique, des professeurs d'université et des chercheurs chevronnés (quoique non scientifiques), nous pouvons assurer que leurs premières réactions sont souvent très proches de celles des enfants – même si, l'observation faite, son analyse et son appropriation sont bien plus rapides.

Les expériences sont simples, souvent rapides. En les réalisant vous-même, vous vous assurez une réelle compréhension des phénomènes, identifiez les éventuelles difficultés liées au fonctionnement du matériel (qui ne s'est jamais aperçu au pire moment qu'il manquait une rallonge pour brancher un appareil ?) et pouvez y remédier tranquillement.

Votre propre observation des phénomènes vous évitera également d'être dérouté par les réactions des élèves. Pour autant, des résultats ou des remarques inattendus ne manqueront pas de survenir. Ne les dédaignez pas : c'est en soi une leçon capitale. Donnez-en acte aux élèves et, le cas échéant, remettez à plus tard la suite du travail pour vous laisser le temps de comprendre et de réagir.

2/ Prévoir tout le matériel et les documents nécessaires, anticiper l'organisation de la classe

3/ Soigner le questionnement

Cet élément-clé de toute démarche d'investigation est discuté en détail dans la section III-2 : Quelles questions pour une démarche efficace ?

Un autre élément fondamental est **d'écouter et de laisser parler les élèves**, sans leur donner les réponses en phase de recherche. Il est toujours tentant de répondre à leur place, il faut pourtant y résister et les aider à trouver eux-mêmes une formulation satisfaisante.

4/ Soigner la précision du langage

« La science commence là où les mots ont un sens bien défini », s'il faut en croire le physicien Léon Brillouin. Cette exigence de précision devrait être au cœur de toute démarche d'investigation : c'est certes une contrainte, mais qui évite bien des confusions.

Le sens des mots doit aussi être constant, au moins dans le cadre du cours de sciences, même lorsqu'il s'agit de termes empruntés au vocabulaire courant. Les contradictions internes, au sein d'une séquence donnée, voire d'un cours à l'autre, peuvent non seulement perturber la compréhension du concept travaillé, mais remettre en cause des concepts déjà acquis. Ainsi, si la vapeur d'eau a été définie comme étant invisible, ce que l'on voit s'échapper de la casserole d'eau qui bout ne saurait en être (cf. E-05).

Cela exige une grande vigilance de votre part. Les élèves auront bien souvent besoin de votre aide pour formuler correctement leurs découvertes. Par ailleurs, il faut se garder de recourir au jargon comme à autant de formules magiques : ce qui se conçoit bien s'énonce clairement et il n'est pas acceptable de se réfugier derrière un mot pour esquiver le débat.

Quelques exemples classiques de mauvais usages :

- Ne dites pas « *le sel fond* », mais « *le sel se dissout* ». (cf. E-09)
- Ne vous contentez pas de dire « *équilibre* » si vous voulez en fait parler d'un « *équilibre horizontal* ». Lorsqu'une balance de Roberval bascule sous le poids d'un objet et ne bouge plus, elle est à l'équilibre (peut-être pas celui que l'on souhaite, mais un équilibre tout de même). (cf. E-13).
- Ne laissez pas dire simplement « *on rapproche l'objet* », « *il faut que l'objet soit près* » : on rapproche un objet d'un autre objet, un objet est près d'un autre objet. (cf. E-14)
- Ne confondez pas « *c'est gros* » et « *c'est lourd* ». S'agit-il d'un volume ou d'une masse ? (cf. E-15)
- Ne laissez pas dire en guise d'explication « *l'air attire* », « *l'air fait ventouse* ». Comment savoir si l'air « attire » ? Qu'est-ce qui fait qu'il agit parfois comme une ventouse, et d'autres fois non ? Ce sont des questions difficiles. Il faut alors s'appuyer sur les observations des élèves pour faire évoluer les formulations. Que dire de l'espace/ du volume occupé par l'air ? (cf. E-07 : L'air, ce n'est pas rien !)

5/ Mettre en doute toute affirmation non étayée

En démarche d'investigation, on s'interdit d'affirmer sans preuve : réfrénez votre envie de décréter, ou d'acquiescer à ce que disent les élèves sans vérification. Seuls les tests réalisés permettront de valider une idée ; seule l'hypothèse qui aura résisté aux expériences de la classe pourra être retenue (provisoirement au moins).

Cela vaut aussi pour les dessins d'observation : on ne vote pas pour savoir quel dessin est correct, on les compare à ce que l'on voit et on argumente. Bref : on vérifie.

6/ Prévoir du temps pour la manipulation libre et l'expérimentation

On laisse rarement assez de temps aux élèves pour tâtonner et faire leurs propres observations. C'est frustrant pour eux. Au final, faute de les avoir laissés s'approprier la question et le matériel, on se prive de nombreuses exploitations possibles des expériences.

7/ Encourager l'utilisation du cahier d'expériences

Pendant les moments de découverte, il faudra être aux aguets : au début, les enfants noteront bien peu de ce qu'ils ont observé et interprété ; ils oublieront les questions qui ont émergé. Il faudra le faire pour eux : avec votre aide, ils prendront progressivement conscience de l'importance de documenter leurs observations, leurs interprétations, leurs questions.

8/ Laisser vivre l'expérience

Ne vous laissez pas obnubiler par votre fiche de préparation, *a fortiori* par les séquences proposées dans cet ouvrage. On est souvent tenté de se concentrer sur l'observation particulière qui nous intéresse, au détriment de toutes les autres : c'est une erreur qui risque d'enlever toute sa richesse à la démarche d'investigation voire de la dénaturer. Il y a souvent beaucoup à extraire d'une expérience, de nombreuses questions sur lesquelles enquêter : les enfants sont très doués pour cela, laissez-les faire mais... anticipez !

9/ Veiller au rythme

Le risque est toujours présent de voir l'ennui succéder à la motivation et à l'excitation du départ, même dans des séquences relativement courtes. C'est bien souvent parce que trop de temps est passé à faire répéter en classe entière ce qui a été discuté dans le groupe et écrit par chacun. L'alternance des modalités de travail est essentielle : travail individuel, en groupe, présentation d'affiches, discussion collective sont autant de moments qui se succèdent au cours de la démarche et évitent que la monotonie ne s'installe.



Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?

III-2

La bonne formulation des questions est l'une des clefs d'une démarche d'investigation bien menée. Dans une investigation idéale, ce sont les élèves qui questionnent et l'enseignant les accompagne dans la recherche, en s'effaçant autant que possible. Lors de leurs premiers contacts avec la démarche d'investigation, les élèves sont toutefois rarement capables de se poser les bonnes questions ; il appartient alors à l'enseignant d'aider les élèves à formuler leurs interrogations et de proposer des recherches souvent plus ciblées.

Toutefois, trouver la bonne question au bon moment pour faire avancer les élèves, sans donner la réponse, demande de l'entraînement.

D'une façon générale, **si vous ne pouvez pas répondre vous-même précisément à la question que vous posez, c'est une mauvaise question**. Pas d'inquiétude, l'intuition des bonnes formulations vient rapidement avec l'expérience et il est toujours possible de modifier une question au cours d'une démarche d'investigation. Avec des élèves aguerris on peut se lancer dans des recherches auxquelles on n'a pas forcément de réponse... mais nous le déconseillons aux débutants.

Très généralement aussi, après avoir posé une question invitant à une expérience (« *Comment vérifier ?* »), procédez effectivement à cette expérimentation que ce soit en groupe ou par l'enseignant. L'argument d'autorité est plus rapide, mais contre-productif.

Pour vous aider, les séquences proposent une question de départ adaptée à chaque situation et des questions intermédiaires spécifiques pour guider les élèves : ayez-les en tête quand vous lancez votre séance. Si vous les regardez de plus près, vous constaterez qu'elles conduisent les élèves à agir, à préciser leur pensée, à argumenter, à prévoir, qu'elles suggèrent des mesures. Si vous débutez, ne modifiez donc pas trop les questions proposées : elles ont été conçues (et testées) pour être « productives ».

Questions stériles : comment les transformer en questions productives ?

De nombreuses questions ne permettent pas de mener à bien une démarche d'investigation ; ce sont typiquement les questions en « pourquoi » ou « qu'est-ce que ». Ainsi *Pourquoi le sel se dissout-il ? Pourquoi l'eau se transforme-t-elle en glace ? Qu'est-ce que la lumière ? Qu'est-ce que l'ombre ?* sont des questions plus complexes qu'il n'y paraît et auxquelles on ne peut répondre par une démarche d'investigation avec des élèves de primaire. Elles appellent des définitions ou des affirmations théoriques invérifiables, voire un argument d'autorité. Mais il est relativement aisé de les reformuler pour les transformer en questions productives : *Quelle quantité de sel peut-on dissoudre dans une quantité d'eau donnée ? Y a-t-il d'autres composés qui se comportent comme le sel dans l'eau ? Comment faire pour changer l'eau liquide en glaçon ? Comment évolue la température de l'eau quand elle se change en glace ? Comment la lumière se déplace-t-elle ? De quoi ai-je besoin pour faire une ombre ? Comment faire varier sa taille ?*

Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?

Que choisit-on d'observer ?

Le questionnement contraint souvent le choix de ce que l'on va observer (ou mesurer). Ainsi « À votre avis, pour quel sablier la durée d'écoulement du sable est-elle la plus longue ? » et « À votre avis, dans quel sablier le sable coule-t-il le plus vite ? » conduisent à des démarches d'investigation très différentes.

La première appelle une comparaison de durées : c'est une variable accessible à l'école primaire. La deuxième question appelle une mesure de vitesse. Il est facile de mesurer une distance, une durée ; pour la vitesse c'est plus complexe et dans ce cas non adapté aux élèves de primaire.

Il faut être particulièrement vigilant sur la formulation de ces questions et sur leur précision.

Que fait-on varier ?

À l'école primaire, en physique, il est presque toujours possible de ne faire varier qu'un paramètre à la fois. C'est bien pratique et c'est un réflexe méthodologique qu'il est souhaitable de faire acquérir aux élèves. On en observe les effets et on peut être sûr que c'est la variation de ce paramètre particulier qui est responsable des changements. Si l'on fait varier deux paramètres à la fois, il est bien difficile d'attribuer les changements observés à l'un plutôt qu'à l'autre. Les résultats obtenus ne sont pas exploitables.

Des questions comme « *Qu'est-ce que je peux changer ? Qu'est-ce que je choisis de faire varier ? Qu'est-ce que je garde pareil ?* » aident les élèves à s'assurer qu'ils ne font varier qu'un paramètre à la fois. Lorsque cela n'a pas été le cas, confronter les résultats incompatibles de deux groupes censés avoir fait varier le même paramètre fait souvent émerger le paramètre négligé « *Qu'est-ce qui est pareil dans les deux expériences ? Qu'est-ce qui ne l'est pas ?* ». Sinon, c'est à l'enseignant de proposer une expérience qui met en évidence la difficulté à conclure en demandant « *Qu'en pensez-vous ?* ».

Par exemple, voulant s'assurer que la couleur d'un récipient placé au Soleil influe sur l'augmentation de température du liquide qu'il contient, deux groupes d'enfants n'ont pas mis la même quantité d'eau dans les différents récipients testés. Les résultats sont conformes aux prévisions : l'eau placée dans le récipient noir est plus chaude que celle dans le récipient blanc. L'enseignant propose toutefois de refaire l'expérience en utilisant deux volumes d'eau outrancièrement différents. Les enfants s'insurgent, arguant qu'il faut mettre la même quantité d'eau : il est facile de pointer le paramètre négligé dans l'expérience précédemment réalisée.

Des questions ambiguës

La précision est primordiale. Il faut toujours s'assurer que les questions n'amènent pas de confusion, qu'elles soient posées par l'enseignant ou proposées par les élèves. Par exemple, en électricité, après que les élèves ont monté deux ampoules identiques en série d'une part et en parallèle d'autre part, l'enseignant pose la question : « *Les ampoules brillent-elles "pareil" (de la même façon) dans les deux montages ?* ». Elle peut se comprendre de deux façons : « *Toutes les ampoules d'un*

Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?

III-2

même montage brillent-elles avec la même intensité ? ou bien «*Les ampoules brillent-elles de la même façon dans le montage en parallèle et dans le montage en série ?*». Ces dernières formulations lèvent l'ambiguïté. On peut aussi, plus simplement, demander aux élèves ce qui et pareil et ce qui ne l'est pas dans les deux montages.

Questions impossibles

La simplicité est aussi une vertu. Il faut veiller à ne pas poser trop de contraintes lorsque l'on pose une question. Ainsi «*Quel montage réaliser avec deux ampoules et une pile pour qu'elles brillent le plus fort et le plus longtemps possible ?*» est problématique. Il se trouve que des ampoules montées en parallèle brillent plus fort que les mêmes ampoules montées en série et que, pour une même durée d'utilisation, le montage en parallèle consomme plus d'énergie et use donc plus la pile que le montage série. Outre la difficulté expérimentale (cela prend du temps pour que les piles s'usent et beaucoup de patience pour voir les ampoules s'éteindre), les deux contraintes sont contradictoires. Avant de poser une question, il est bon de s'assurer de sa pertinence. Tout comme l'on apprend aux élèves à ne faire varier qu'un paramètre à la fois, mieux vaut ne leur imposer qu'une contrainte à la fois.

Quelques recettes

Les questions proposées sont indicatives : avec l'expérience, chaque enseignant se construit sa propre « boîte à questions ».



Pour inciter les élèves à **expliquer** :

- Comment peut-on expliquer que *ceci* soit comme/plus grand que *cela*, que l'on observe *cela* ?
- Qu'en pensez-vous ?
- Comment justifier vous *cela* ?



Pour inciter les élèves à **essayer** :

- Comment faire pour le vérifier ?
- Comment vérifier qu'il se passe *ceci* si je fais *cela* ?
- Comment savoir si *ceci* est valide ?
- Comment s'assurer que ce que dit Machin est possible ? Comment être sûr ?
- Comment faire pour valider, pour montrer que *ceci* varie comme *cela* quand je fais *ça* ?
- Est-ce que ce qui se passe dans l'histoire est possible ? Comment le vérifier ?
- Comment s'en assurer ? Comment savoir ?



Pour inciter les élèves à **prévoir puis tester** :

- À votre avis, que se passe-t-il si je change *cela* ? Comment s'en assurer ?
- Est-ce que *cela* change quelque chose si nous faisons/ajoutons/modifions *ceci* ou *cela* ?
- Qu'est-ce qui change ? Comment le savoir ?
- Si je fais varier *ceci* et que je ne change rien d'autre, que pensez-vous que je vais obtenir ?
- Comment vérifier ?

Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?



Pour inciter les élèves à **comparer** :

- Qu'est-ce qui est pareil ?
- Qu'est-ce qui est différent ?
- Quelle différence entre ce dessin et cet autre ? entre *ceci*/cette expérience et *cela* /cette autre ?
- Comment faire pour savoir lequel est le plus long/lourd/volumineux ?
- Les deux explications/interprétations peuvent-elles être correctes en même temps ?
- Comment savoir ?



Pour inciter les élèves à **identifier, modifier des paramètres** et essayer :

- Qu'est ce que je peux changer ? Qu'avez-vous changé ?
- Qu'avez-vous gardé pareil ?
- À votre avis, que se passe-t-il si je change *cela* ?
- Est-ce que cela change quelque chose si nous faisons *ceci* plutôt que *cela* ?
- Si je fais varier *ceci*, que pensez-vous que je vais obtenir ?
- Comment vérifier que c'est en changeant *ceci* que je fais varier *cela* ?
- À votre avis que se passe-t-il quand je fais *cela* ? Comment en être sûr ?
- Comment faire pour que *ceci* soit le plus/le moins *cela* ?
- Comment s'assurer que *ceci* est plus grand/lourd/long/chaud que *cela* ?
- Comment faire pour mesurer une distance, une durée, un volume /peser / repérer la température ?



Pour aider les élèves à **concevoir une expérience** :

- Quelle question vous posez-vous ?
- Qu'avez-vous changé/fait varier dans cette expérience ? Qu'avez-vous gardé pareil ?
- Vous me dites que vous avez juste changé *ceci*, mais n'avez-vous pas modifié aussi *cela* ?
- Qu'avez-vous mesuré ?
- Comment faire pour enregistrer une variation de température / volume / masse ?
- Quelle quantité / volume / masse de *ceci* voulez-vous utiliser ?
- Dans ce groupe ils veulent mesurer *ceci* ; et vous ?
- Comment voulez-vous procéder pour faire *cela* ?
- Quelle différence y a-t-il entre ces deux expériences ?
- Que prévoyez-vous qu'il se passera quand on changera *ceci* ?



Pour aider les élèves à **débattre** :

- Comment expliquer la différence entre les résultats ?
- Quelles sont les ressemblances et les différences ?
- Tu dis que tu as vu/fait *ceci* ; qu'en pensez-vous ? Est-ce que d'autres ont vu/fait la même chose ?
- Comment vérifier ? Que faudrait-il changer à l'expérience pour répondre à la question ?
- Qu'avez-vous observé ? Comment l'avez-vous interprété/expliqué ?
- Est-ce que ce qui est écrit est une observation ou une interprétation ?

Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?

III-2

Est-ce que vous l'avez constaté/vu/senti (observation) ? Est-ce que c'est votre idée, votre façon d'expliquer ce qu'il s'est passé (interprétation) ?
Peut-on conserver cette idée/hypothèse ? Est-elle valide ? Qu'est-ce qui vous permet de le dire ?
Si cette idée/hypothèse est valide, que peut-on prévoir si je change ceci ? Que faire si les résultats ne sont pas conformes aux prévisions ?
Quelles idées/hypothèses n'ont pas été mises en défaut ? Peut-on concevoir une expérience qui teste cette idée ? Que peut-on dire de cette idée si l'on obtient tel résultat pour telle expérience ?

Quand poser des questions ?

Doser ses interventions n'est pas aisé. Idéalement ce sont les élèves qui mènent la danse ; mais pour en arriver là, l'enseignant doit d'abord les aider à formuler leurs interrogations, proposer des recherches souvent plus ciblées. Il est alors souvent utile de les solliciter par des questions appelant une réponse sous forme d'action.

Valorisez les interventions des élèves et n'hésitez jamais à rebondir sur leurs affirmations : « Comment pourrait-on vérifier ce que tu dis ? Qu'en pensez-vous, les autres ? » Les élèves voient vite venir ce genre de questions, qui deviennent rituelles. Elles les incitent à argumenter, à expliciter leur propos, à imaginer des expériences. Il faudra bien souvent les aider à reformuler leurs idées dans des termes précis et compréhensibles par tous ; mais cela, c'est une autre histoire et un travail utile sur la langue.

Des questions après la démarche

Ces questions aident les élèves à apprendre à apprendre et à prendre conscience de la démarche suivie.

À terme, elles leur permettront de s'approprier le questionnement caractéristique de la démarche d'investigation à l'école.

Lorsque les élèves sont capables de formuler des questions productives et n'ont plus besoin qu'exceptionnellement des questions de guidage de l'enseignant pour avancer, c'est gagné !

*Quelle question nous posions-nous ?
Quelles idées aviez-vous émises ? Comment avons-nous fait pour cela ?
Lesquelles avons-nous testé ? Comment avons-nous fait ?
Laquelle(lesquelles) a(ont) résisté aux expériences ?
Quelle(s) hypothèse(s) avons-nous conservée(s) ?
Quelles questions ai-je posées ?*

III-2

Quelles questions pour une démarche d'investigation efficace ?

Comment en êtes-vous arrivés là ?

Qu'avons-nous appris ?

Bref : poser des questions productives en termes de démarche d'investigation est un exercice subtil et pas toujours très naturel. Mais il existe heureusement des « recettes » simples, et les enfants se les approprient très vite. Comme toujours : **lancez-vous !**

Réorganiser la classe pour une démarche d'investigation

III-3

Nous en sommes tous conscients : il n'existe pas deux classes identiques. Leur organisation spatiale procède d'une alchimie subtile et complexe. Elle influe sur l'atmosphère, sur les interactions entre l'enseignant et les élèves, sur leur maîtrise de l'environnement, sur la réalisation et l'exploitation d'écrits par les élèves. En démarche d'investigation, par surcroît, l'organisation de la classe n'est pas figée : travail individuel, en petits groupes, moments d'échanges appellent autant de configurations différentes.

Nous aborderons donc la question avec le grain de sel qui s'impose, et d'un point de vue résolument pratique. Les suggestions qui suivent ont pour seul objectif de vous aider à trouver le fonctionnement qui vous convient le mieux. Nous espérons que vous y trouverez, au-delà de quelques principes généraux, le petit rien qui facilitera le déroulement de vos activités.

1/Se sentir à l'aise

C'est une évidence que l'on oublie trop souvent. Vous devrez *vous-même* vous trouver à l'aise dans la disposition choisie. Cela passe souvent par une bonne visibilité des élèves et par la possibilité de vous déplacer facilement. Vos élèves doivent sentir que vous pouvez intervenir rapidement auprès d'eux et qu'ils sont sous votre regard bienveillant : cela les rassure.

Des élèves mal installés s'agitent et se désintéressent rapidement du sujet sur lequel ils sont censés se concentrer. Leur confort importe donc également.

Quand vous disposez les tables des élèves :

- prévoir assez de place entre elles pour pouvoir passer
- s'assurer qu'une fois installés, les élèves auront assez d'espace et ne se gêneront pas les uns les autres
- anticiper leurs déplacements et les lieux stratégiques où poser documents ou matériel (les mêmes critères s'appliquent à la disposition des ateliers d'un *Jardin de sciences*)
- vérifier qu'ils peuvent tous voir le tableau
- estimer la taille minimale des lettres inscrites sur une affiche ou au tableau lisible par l'élève le plus éloigné.

2/Rendre les élèves autonomes

La phase de recherche en autonomie par petits groupes devrait être un moment où l'enseignant peut consacrer son temps à assurer le guidage des groupes en difficulté. C'est pourtant souvent la phase de la démarche la plus stressante pour lui. Tous ont besoin de lui en même temps. Il convient donc d'anticiper et de limiter les motifs d'appel.

Les plus fréquents sont :

- matériels (manque de feuille, crayons à tailler ou qui ne fonctionnent pas, etc.)

Réorganiser la classe pour une démarche d'investigation

Prévoir un espace en libre accès avec du petit matériel (ciseaux, règles, crayons et taille-crayons, feutres, gommes, rouleaux de ruban adhésif...) en précisant qu'il doit y être redéposé après usage.

- organisationnels au sein des groupes (répartition inéquitable des tâches et élèves qui se sentent spoliés)

Attribuer à chaque élève d'un groupe un rôle, tournant d'une séance sur l'autre : l'un sera responsable du matériel, un autre de la prise de notes et des relevés de mesures, un troisième en charge de la rédaction de l'affiche, un quatrième de sa présentation orale, etc.

- décisionnels (les élèves demandent à l'enseignant de trancher entre eux)

Fournir aux élèves des phrases-type les aidant à poser des questions, à argumenter, à exprimer leur désaccord, à rebondir sur ce qui vient d'être dit et à solliciter une précision. Elles peuvent être affichées au tableau. Pour n'en citer que quelques unes : «Tu affirmes/tu dis ceci, je ne suis pas d'accord, je pense plutôt cela», «Je ne comprends pas ce que tu viens d'expliquer, pourrais-tu répéter ?», «Je pense que si nous faisons ceci alors il va se passer cela», «Tu dis que tu veux changer cela mais il faut faire attention à ceci», «Comment peut-on vérifier que... ?», «Tu as dit ceci, ai-je bien compris ?».

Préciser que la recherche d'une solution commune n'empêche pas les désaccords et qu'il faut alors conserver par écrit les solutions provisoirement rejetées. Elles peuvent être les bonnes !

- rédactionnels (comment écrire tel mot, comment organiser l'affiche, que faut-il écrire ?)

Proposer des aides à la structuration des affiches et des écrits. On peut prévoir une affiche-type réalisée avec les élèves, dessiner au tableau des logos utilisables pour indiquer les étapes de la démarche... (cf. *infra* III-4 : Organisation des écrits)

Écrire au tableau les mots susceptibles d'être mal orthographiés.

- des problèmes de compréhension (que faut-il faire ?)

S'assurer que les élèves ont bien compris les attentes : rédaction d'affiche, recherche de protocole expérimental...

- la volonté d'être rassuré (*Peut-on faire comme cela ?*)
- l'espoir d'obtenir la réponse sans avoir à chercher
- le plaisir de faire partager une découverte.

Les débuts sont souvent difficiles. Il faut toujours un peu de temps pour qu'une classe trouve ses marques. Pour y aider, on peut aussi :

- élaborer avec les élèves une liste de règles de bonne conduite en groupe et la rappeler régulièrement, voire l'afficher (écouter l'autre, ne pas monopoliser le matériel ou la parole, ne pas parler trop fort, justifier son désaccord lorsqu'on l'exprime...)

Réorganiser la classe pour une démarche d'investigation

III-3

- s'assurer, en leur demandant de le reformuler, que les élèves se sont approprié le questionnement (il vient d'eux, cela ne devrait donc pas poser de grosse difficulté).

Pensez également à convenir d'un signal sonore (assez puissant) pour arrêter instantanément l'activité des groupes. Vous conservez ainsi la maîtrise rapide de la classe (un accident peut toujours arriver et il en va de la sécurité des élèves).

3/ Travail en groupe : une organisation spécifique

Pour les classes où un déplacement des tables est nécessaire pour organiser le travail en groupe, expliquez précisément aux élèves ce que vous attendez d'eux. Il est horripilant de réaliser, après avoir déplacé une table, que le casier et son contenu indispensable sont devenus inaccessibles. C'est par ailleurs une activité qui suscite de l'excitation : il peut être judicieux de la programmer juste avant le départ en récréation ou la pause déjeuner.

Il vous revient de déterminer le nombre de groupes avec lequel vous vous sentez le plus confortable. Il peut varier suivant la taille de la classe, le nombre d'élèves, leur autonomie, votre capacité à tolérer un peu de bruit et votre talent à jongler entre plusieurs groupes. Beaucoup d'enseignants trouvent plus facile de gérer de nombreux petits groupes (8 nous semble cependant un maximum) que quelques gros groupes. Les élèves se sentent plus facilement impliqués dans une activité s'ils sont peu nombreux (3-4).

Comment constituer les groupes ?

Il n'y a pas de règle générale. Dans un premier temps, évitez cependant de mettre ensemble des élèves qui ne se supportent pas et d'associer un élève de tempérament meneur avec des élèves plus passifs.

Des élèves qui s'apprécient travaillent mieux ensemble. Vous pouvez les laisser choisir leurs camarades en indiquant que cette répartition est à l'essai et que leur capacité à travailler ensemble et à remplir les tâches demandées constituent les critères d'évaluation de leur choix. Il faut être précis sur vos attentes : il ne s'agit pas de réussir *les premiers*, mais *ensemble*, dans le temps imparti qui est largement suffisant avec une équipe qui tourne bien. Indiquez que vous serez amené à modifier les groupes si besoin.

Prévoyez une première démarche d'investigation simple pour pouvoir observer le comportement de vos élèves et identifier les groupes défaillants. Un groupe moins impliqué se formera parfois : à la première mise en commun des résultats, il sera dans l'incapacité de produire le moindre résultat. Confrontés à la dure réalité de l'échec, ces élèves accepteront alors plus facilement d'être répartis dans des groupes studieux (s'assurer qu'ils ne seront pas déséquilibrés par ailleurs) ou de travailler « sous contrat ».



Dans certains cas (heureusement rares), il peut être préférable d'assumer un unique groupe dysfonctionnel, à surveiller de près, que d'en laisser impacter plusieurs (certains élèves perturbateurs peuvent faire exploser le fonctionnement d'un groupe).

Réorganiser la classe pour une démarche d'investigation

Un groupe dans lequel un seul élève fait pendant que les autres regardent n'est pas plus satisfaisant : les « leaders » s'arrangent souvent pour s'associer à des camarades passifs. Repérez-les et observez la répartition des tâches au sein de ces groupes.

Fort de toutes ces observations, vous pourrez ensuite proposer un remaniement des groupes qui convient aux élèves tout en veillant à une nouvelle constitution équilibrée.

Vous pouvez bien sûr définir directement les groupes vous-même : les élèves en ont l'habitude. Vous choisirez alors des groupes hétérogènes ou homogènes, selon les objectifs visés. Les groupes hétérogènes peuvent être utiles en début d'année. Les meneurs répartis dans chaque groupe les dynamisent et peuvent facilement relayer vos consignes. Mais c'est un fonctionnement qui peut être très rapidement déviant : il n'est que trop facile de se reposer sur autrui. Les groupes homogènes, sous réserve que les élèves coopèrent, ont l'avantage de permettre à chacun de s'exprimer sans avoir l'impression d'être à la traîne et sont souvent très fructueux. Un groupe d'enfants meneurs est "sportif" à gérer : les conflits y sont fréquents et les discussions animées. Il faut les aider à trouver un équilibre (instable) et à s'associer plutôt qu'à se neutraliser : ils sont aussi à surveiller de près.

4/ Un moment difficile à animer : discussion collective et formulation de réponse

Les discussions collectives interviennent à de nombreux moments de la démarche d'investigation :

- au tout début, lors de la confrontation des conceptions initiales des élèves,
- au moment de l'émission d'hypothèses ou de la présentation de protocoles expérimentaux conçus par les différents groupes,
- lors de la présentation des résultats et de la formulation d'une réponse commune.

Elles peuvent facilement déraiser et devenir des moments où seul un petit nombre d'élèves s'investit.

Quelques conseils pour organiser une discussion riche :

- Imaginer une disposition permettant un échange entre élèves aussi bien qu'avec l'enseignant.
- Rappeler quelques règles de bonne conduite : l'élève qui s'exprime attend le silence pour commencer, parle fort, s'adresse à ses camarades (leur réflexe est plutôt de s'adresser au maître), ne sort pas du sujet, répond aux questions posées ; les autres écoutent, essaient de comprendre et de justifier leur réponse en cas de désaccord. L'enseignant est là pour faciliter les échanges entre élèves, relancer la discussion et poser des questions déroutantes.
- Demander aux élèves *d'écrire* individuellement ou par petits groupes ce qu'ils pensent avant de lancer la discussion. On peut même afficher ces idées au tableau (veiller alors à la taille des productions pour qu'elles soient lisibles). Des élèves qui ont écrit ou dessiné, seuls ou en groupe, participeront plus facilement : ce temps leur a permis de poser leurs idées sur

Réorganiser la classe pour une démarche d'investigation

III-3

la question, éventuellement d'en discuter et d'identifier points de désaccord et arguments mobilisables. Dans le cas de l'exposé de résultats, l'affiche sert de fil conducteur à l'élève qui présente devant ses camarades.

- Lorsqu'un groupe a présenté ses résultats, demander aux autres groupes de compléter plutôt que de répéter la même chose.
- Laisser un temps de réflexion aux élèves au cours de l'échange.
- S'effacer lorsque les échanges entre élèves apparaissent ; susciter de tels moments.
- Ne pas fournir de réponse mais relancer le questionnement, relever les affirmations infondées (*Comment le sais-tu ?*), demander des précisions supplémentaires, faire naître le doute.

La formulation de réponse émerge de la discussion de résultats. S'ils répondent à la question initialement posée, il s'agit de faire un bilan de ce que l'on a appris et de ce qu'il reste à découvrir. Les élèves ont souvent besoin d'aide pour formuler correctement leur réponse. Parmi les possibles : les différents groupes peuvent réfléchir chacun à une formulation, l'écrire sur une affiche et on en discute tous ensemble ou encore, l'enseignant peut proposer différentes formulations plus ou moins correctes et les soumettre à correction et discussion.

5/Limiter les modifications de la classe

On rechigne légitimement à modifier trop souvent la disposition de la classe pour faire des sciences. Une démarche d'investigation prend du temps et les élèves, très impliqués, ne se rendent pas forcément compte de celui qui passe. Pourquoi ne pas faire une séance un peu longue ? Vous pouvez aussi profiter de la disposition des tables pour lancer des activités en groupe dans d'autres disciplines.

Les discussions collectives nécessitent de dégager de l'espace : pourquoi ne pas en profiter pour vous lancer ensuite avec les élèves dans du chant choral ?



1/ Un exemple d'organisation des écrits

En classe, la démarche d'investigation requiert des traces écrites à trois niveaux :

- écrits personnels, sur feuille ou cahier,
- écrits de groupe, souvent sous forme d'affiche,
- écrits collectifs, pour la classe entière, sous forme de compte-rendus.

Les ardoises permettent quant à elles de repérer rapidement les conceptions dominantes dans la classe et d'en débattre entre élèves.

On peut imaginer que, dans le futur, la généralisation dans les classes des visionneuses et des tableaux blancs interactifs (et de logiciels adaptés) permettra une navigation rapide et aisée entre ces différents niveaux. D'ores et déjà, l'appareil photo numérique (intégré à bon nombre de téléphones récents), l'imprimante et la photocopieuse sont devenus des compléments précieux aux outils traditionnels, par exemple pour garder une trace des ardoises avant de les effacer.

En attendant, ré-écrire ou redessiner la même chose une première fois sur le cahier, une deuxième sur une affiche et une troisième dans le compte-rendu est non seulement une perte de temps à éviter autant que possible, mais aussi une source majeure de démotivation. Il est donc important de réfléchir à une méthode efficace d'articulation entre ces divers niveaux.

Affiches de groupe

Destinées la plupart du temps à être visualisées par l'ensemble de la classe, les affiches doivent impérativement respecter quelques règles simples de présentation. Elles doivent être visibles de loin (si le format A3 peut suffire, nous conseillons l'achat de recharges pour tableaux de conférence). Elles doivent comporter un titre (la question posée le plus souvent), être écrites en gros caractères épais (feutres de couleur), les traits sont de préférence tracés à la règle, etc.

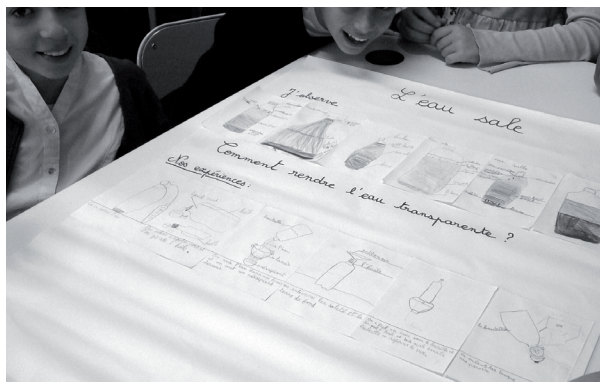
Suivant le moment de la démarche, l'autonomie des élèves et l'objectif visé, elles peuvent prendre des formes très différentes :

- Une affiche rédigée collectivement, en partant d'un brouillon élaboré en commun. On privilégie cette approche lors des phases d'expérimentation et d'exposition des résultats. Elle présente le protocole suivi, les tableaux de mesures réalisés, etc.
- La mise en commun des productions individuelles des élèves. Ce type d'affiche convient bien à la présentation des conceptions ou des différentes propositions imaginées par les élèves avant une expérimentation. Chacun dessine ou écrit ce qu'il pense, ou pense faire, sur une moitié ou un quart de feuille A4. Ces productions sont ensuite fixées sur une affiche, dont le titre est la question posée. Ce fonctionnement permet une mise en commun rapide et une récupération possible par chaque élève de ce qu'il a fait.
- Un mixte des deux techniques, certaines productions individuelles servant de support à un écrit collectif.

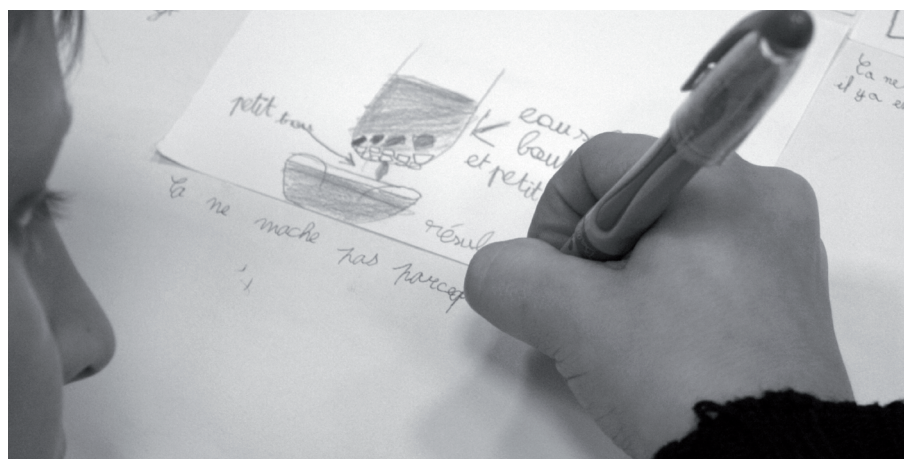
III-4

Organiser les écrits

Juxtaposition
des productions



Un élève inscrit le
résultat obtenu sous une
proposition d'expérience
rédigée par un camarade.



Dans tous les cas, l'utilisation de **logos** rappelant les différentes étapes de la démarche en facilite grandement la structuration et en améliore la lisibilité (des exemples sont donnés en M-10).

- *Un point d'interrogation* indique la question que l'on s'est posée. Son absence doit alerter les élèves. Comment le lecteur de l'affiche comprendrait-il l'objectif de la recherche ?
- *Une tête d'enfant en train de réfléchir* (resp. plusieurs) identifie les idées de chacun (resp. du groupe) sur la question. À côté de ce logo, on trouve ce que l'on prévoit qu'il va se passer, ce que l'on pense, ce que l'on pense faire, les explications proposées qui vont être mises à l'épreuve...

- *Une main, un œil* permettent de repérer ce qui est effectivement réalisé ou observé (par l'élève, le groupe). À côté, on trouve dessins d'expérience, tableaux de mesures, graphiques, observations, difficultés rencontrées, résultats...
- *Un livre ouvert* identifie ce qui a été validé par la classe (conclusion locale et provisoire qui peut être généralisée avec prudence).

Les élèves peuvent les dessiner eux-mêmes au cours de la réalisation de l'affiche. Nous conseillons toutefois, au début, de fournir aux élèves des affiches sur lesquelles les logos sont déjà placés et, pourquoi pas, quelques éléments déjà fournis (la question par exemple). Réaliser une affiche est un exercice qui s'apprend progressivement.

Veiller à ce que l'ensemble des élèves participent (à tour de rôle éventuellement) à leur réalisation. Pendant que l'un écrit, d'autres peuvent préparer sur d'autres feuilles les schémas, dessins, tableaux de mesures nécessaires. L'ensemble est ensuite agencé sur l'affiche pour obtenir la production finale du groupe, où chacun a mis la main à la pâte.

Cahier d'expériences

La tenue d'un cahier d'expériences est une bonne façon de conserver l'ensemble des écrits d'un élève. Constitué de deux parties distinctes, il garde la trace de sa réflexion personnelle, de ses observations, de ses idées d'expériences, des expériences réalisées par le groupe et de ses résultats (partie personnelle du cahier), mais aussi, d'autre part, de ce que la classe a validé et retenu (partie collective institutionnelle). Ces deux parties doivent être facilement identifiables par l'élève (encres de couleurs différentes, gommettes, encadrés, etc.).

Le cahier d'expériences, qui contient des ébauches de protocoles et les premières idées des élèves, ne saurait être aussi net qu'un cahier de cours. Pour autant, ce n'est pas un brouillon. Les élèves doivent en être conscients, comme leurs parents auxquels il est aussi utile d'en expliquer le fonctionnement un peu particulier.

Corriger ou non les fautes diverses et variées dans la partie personnelle du cahier reste une question ouverte. Nous insistons toujours sur la nécessité de faire progresser les élèves sur la maîtrise de la langue. Pour autant, en aucun cas la peur de faire des fautes de français ne doit paralyser un élève dans son apprentissage des sciences. L'enseignant doit donc en accepter les inévitables imperfections et aider à le structurer (propreté, soin porté à l'orthographe...). Il y a un juste équilibre à trouver, qui reposera sur la relation de confiance instaurée entre l'élève et vous.

D'un point de vue pratique, massicoter un cahier de TP 24x32 cm pour faire deux cahiers d'expérience (24x16) semble une solution intéressante. Sa taille réduite permet aux élèves de l'utiliser en même temps qu'ils manipulent ; il est facile de coller des feuilles A4 à l'intérieur, en les pliant éventuellement sans qu'elles ne dépassent ; ses pages grands carreaux sont pratiques pour organiser la trace écrite tout en permettant de disposer les dessins, tableaux et idées personnelles en vis-à-vis.

On y trouve les mêmes logos que dans les affiches pour faciliter l'identification des différentes étapes de la démarche.

Les compte-rendus sont inclus dans la partie collective du cahier d'expériences. Ils sont soit rédigés directement sur le cahier, soit photocopiés et collés dans le cahier, soit constitués à partir d'un collage-montage des écrits réalisés préalablement complété des parties manquantes.

Compte-rendu d'expériences

Le compte-rendu retrace la démarche suivie en éliminant les scories (i.e. les erreurs de manipulation, mais pas les impasses !) : du questionnement à la formulation de réponse en passant par les recherches effectuées, les étapes y sont clairement identifiées. Validé par la classe et l'enseignant – qui joue le rôle de représentant du savoir scientifique établi – il est intégralement rédigé au propre, ou constitué d'un patchwork des différents écrits réalisés précédemment, réorganisés de façon pertinente.

Il peut inclure à la fois des éléments personnels, des éléments réalisés en petit groupe, d'autres fournis par les autres groupes de la classe et une formulation de réponse élaborée collectivement. Dans le cahier de l'élève, il garde la mémoire du travail réalisé en classe et des conclusions validées (institutionnalisées).

Typiquement, un compte-rendu d'expérience doit comporter la question que l'on s'est posée, les hypothèses de la classe, la recherche menée, les résultats obtenus et enfin la (les) réponse(s) à laquelle la classe est parvenue (hypothèses non vérifiées, hypothèses ayant résisté aux tests).



Il n'a donc que rarement une structure linéaire, mais plutôt en boucles : question – essai/erreur – nouvel essai/erreur – nouvel essai/succès – conclusion.

Réalisé en classe entière la plupart du temps, il peut être rédigé directement au tableau ou prendre la forme d'une affiche. On le retrouve ensuite dans le cahier des élèves, écrit à la main ou sous forme de photocopie (après photographie et montage).



Les élèves peuvent à tour de rôle photographier les affiches (ou le tableau) et participer au traitement de l'image. C'est une excellente façon de valider les compétences du B2i.

Le compte-rendu peut être construit au fur et à mesure de la séance ; il est alors constitué d'une juxtaposition de "compte-rendus d'étape" : une question, l'idée testée, les expériences et leurs résultats non concluants. Pour limiter les réécritures pesantes, il faut anticiper sa constitution :

- Idées/hypothèses des élèves, propositions d'expériences : dans le cas où les élèves les ont émises sur des morceaux de feuille A4, on identifie les productions représentatives des idées de la classe et on les reproduit pour chaque élève (après modification si besoin).
- Résultats : comme la structure des tableaux ou graphes est souvent construite collectivement et que seules les manipulations, mesures et exploitations varient d'un groupe à l'autre, on peut coller des photocopies des données des autres groupes sur les cahiers à la suite de la proposition d'expérience testée.

- Sélection avec les élèves des éléments des différentes affiches réalisées rendant le mieux compte des différentes étapes de la démarche vécue. En découpant les morceaux choisis et en les organisant sur une nouvelle affiche, on réalise un compte-rendu à moindre frais. Il suffit ensuite de le photocopier.
- Réponse : les élèves recopient sur leur cahier la formulation élaborée collectivement (photocopie possible).

Des logos structurent aussi le compte-rendu et aident les élèves à identifier et à s'appropriier les différents éléments de la démarche. Essayez autant que possible de rendre compte du cheminement de la classe. La formulation de réponse vient souvent après le test de plusieurs hypothèses, certaines ne résistant pas à l'expérimentation : n'éliminez pas du compte rendu ces hypothèses invalidées.



On n'a pas toujours le temps de réaliser un compte-rendu détaillé : rien n'empêche d'avoir à la suite de la recherche personnelle de l'élève un descriptif rapide des recherches menées puis la formulation de réponse collective. Il faut par contre marquer très nettement la différence de statut entre l'écrit personnel et l'écrit collectif qui prend en compte les résultats obtenus et validés (et les confronter quand c'est possible au savoir établi).

2/Faire progresser les écrits

Pour beaucoup d'élèves, écrire n'est ni spontané, ni naturel. La démarche d'investigation contribue à cet apprentissage de longue haleine. Rédiger dans un premier temps des phrases puis des textes courts, sont des objectifs de l'enseignement du français. S'y ajoutent ici un apprentissage méthodologique spécifique à la démarche scientifique. Il leur faudra du temps et des encouragements pour réaliser la nécessité de garder des traces des questionnements et recherches menés.

La participation à un *Jardin des sciences* fournit aux élèves une motivation supplémentaire pour écrire. Pour concevoir le déroulement de l'animation, ils auront besoin de revenir sur les hypothèses émises et expériences proposées pour imaginer les réactions de leurs camarades.

Au cours de l'année, vous constaterez leur plaisir (et leur fierté) à mesurer le chemin parcouru, tant du point de vue du contenu que de celui de la forme, en feuilletant les traces du travail réalisé.

Structurer des affiches

Dans un premier temps, le plus simple est de fournir aux élèves une affiche pré-remplie où les étapes de la démarche sont précisées. Cela rassure ceux pour lesquels une grande feuille blanche est inquiétante.

Une autre façon de procéder, plus intéressante quand on commence à se sentir à l'aise avec le débat, consiste à proposer la réalisation d'une première affiche par les différents groupes, sans guidage. La juxtaposition des différentes productions au tableau fournit l'occasion de se mettre d'accord sur ce que doit contenir une affiche. Leur comparaison fait apparaître les éléments essentiels à leur compréhension par les camarades, voire par une personne extérieure à la classe.

On peut alors réaliser avec les élèves une affiche-type qui tient compte des remarques soulevées.

Qu'elle soit conçue avec les élèves ou proposée par l'enseignant, une telle affiche-type, exposée au mur, peut servir de modèle pendant le travail de groupe. Elle rappelle le sens des logos, la disposition des différents éléments, la façon de présenter un protocole expérimental ou des résultats, comment construire un tableau. Cette affiche méthodologique s'enrichit au fur et à mesure du travail de la classe de toutes les nouvelles techniques découvertes pour communiquer aux autres ce que l'on fait.

Tenir un cahier d'expériences

Quelques pistes pour travailler conjointement sciences et maîtrise de la langue :

- affiner le vocabulaire (e.g. substituer à *mettre* et *faire* des verbes d'action plus spécifiques),
- renforcer l'orthographe en proposant une liste de mots au tableau ou sur des affiches,
- enrichir la syntaxe en proposant différentes façons de poser une question, d'exprimer l'incertitude (« *Je pense que* », « *peut-être* »),
- travailler les « connecteurs logiques » et l'argumentation : *donc, parce que, si... alors...*,
- repérer ce qui, dans un texte, constitue une observation et ce qui relève de l'interprétation ; apprendre à distinguer ces éléments, à les rédiger, à les articuler dans la rédaction.

Pour structurer leurs écrits, les élèves peuvent utiliser les mêmes logos que précédemment. Tout le travail méthodologique réalisé sur la présentation des affiches (mise en forme de tableaux identifiant les paramètres que l'on fait varier, de schémas, de tableaux de mesures) est à réexploiter dans le cahier d'expériences.

Il ne faut pas hésiter à feuilleter le cahier et à regarder de plus près ses productions précédentes. Réinvestir une méthode de travail, la structure d'un tableau, la façon de construire un graphe, un schéma, est un moyen de donner du sens à ces écrits et d'améliorer leur présentation. Et de constater qu'il y manque des éléments pour permettre la compréhension de ce qui avait été fait : cette prise de conscience conduit à identifier ce qu'il faut écrire et conserver (les logos peuvent aider). Progressivement, la structure de la partie personnelle devrait se rapprocher de celle du compte-rendu, les élèves prenant conscience de sa pertinence pour s'y retrouver dans leur cahier.

La maîtrise des tableaux à double entrée, des relevés et des graphiques s'acquerra progressivement. Le rôle du maître est essentiel à cet égard.

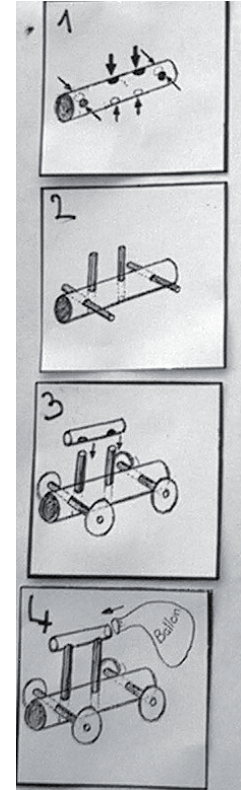
Et à l'école maternelle ou au CP ?

En maternelle, la production personnelle des élèves sera essentiellement composée de dessins, avec dictée à l'adulte lorsque c'est possible. Les cahiers regrouperont des photocopies et des photos d'affiches, que l'on associera à un bref descriptif des activités.

Vignettes ou phrases
à ordonner;
classe de CP



Au CP, le cahier d'expériences évolue au fil l'année. Dans un premier temps, il comporte essentiellement des dessins avec des « mots étiquettes » que les élèves placent à l'endroit adéquat pour réaliser une légende, des logos qui rappellent les étapes de la démarche et des textes à trous ou des schémas à compléter. Progressivement, ils écrivent de courtes phrases de formulation de réponse, proposent des légendes à leurs dessins. Le cahier d'expériences exploite l'outillage classique pour l'apprentissage de la langue.



3/Rédiger un protocole expérimental

C'est un exercice difficile. Il suppose :

- d'avoir identifié ce que l'on cherche à changer/modifier,
- d'avoir identifié les paramètres susceptibles de provoquer cette modification,
- de choisir le paramètre que l'on choisit de faire varier,
- de s'assurer que les autres paramètres ne varient pas,
- de trouver un moyen pour constater cette modification.

Pour les aider, vous pouvez demander systématiquement aux élèves d'écrire ce qui, d'après eux, peut être changé ; puis ce qu'ils vont décider de faire varier. Les autres paramètres seront alors conservés identiques dans toutes les expériences qu'ils réaliseront.

Ils peuvent dans un premier temps y réfléchir sur leur cahier d'expériences, avant d'en discuter au sein des groupes.

Certains enseignants utilisent des étiquettes sur lesquelles les élèves indiquent les paramètres qu'ils ont identifiés. Ils les trient ensuite en deux blocs : ce que je fais varier/ce que je ne fais pas varier. C'est très pratique.

Au sein d'un groupe, c'est un moyen de se mettre d'accord sur un protocole et de s'assurer qu'il est correct. Lors d'une mise en commun, on identifie facilement les paramètres que chaque groupe a identifié sur les affiches. Cela permet aussi de savoir ce que chacun veut tester, puis de vérifier que le protocole respecte bien les contraintes ainsi posées.

Un tableau à double entrée présentant les différentes expériences réalisées fournit un complément idéal et rassemble toutes les informations.

Groupe 1	Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3
Le paramètre que je fais varier (ceci)	1 ^{ère} valeur	2 ^e valeur	3 ^e valeur
Les paramètres que je ne fais pas varier	Valeur indiquée	<i>idem</i>	<i>idem</i>
Résultat obtenu (cela)			

Ces outils accélèrent l'analyse des résultats, les élèves pouvant facilement identifier un oubli, des problèmes dans un protocole.

4/ Formuler

Il est difficile pour les élèves de formuler clairement une question, une hypothèse, une réponse. Un travail spécifique en français peut être réalisé en lien avec ces difficultés. Quelles façons connaissons-nous de poser une question ? De douter ? D'émettre une hypothèse ? D'argumenter ? La démarche d'investigation permet d'utiliser ces outils langagiers en situation et de se les approprier au fil des séances.

Comme toujours, votre reformulation sera souvent nécessaire. Cela implique un travail sur les formulations orales des élèves avant qu'ils ne passent à des formulations écrites (cf. section III-2). Il est bon de les anticiper pour une conduite aisée des séances.

Au-delà des difficultés traditionnelles d'ordre linguistique, il importe en cours de sciences de travailler tout spécialement la distinction entre l'expression de ce qui relève du réel (les observations, les faits expérimentaux), et de ce qui relève de l'*interprétation*. Il convient donc d'insister sur l'intérêt des connecteurs logiques, aussi bien pour expliciter sa propre démarche que pour interpréter les formulations des autres. Ce sont autant d'indices faciles à repérer (et à semer). Ainsi, une fin de phrase en « *parce que* » :

« *Quand on pose un bouchon à la surface de l'eau d'un aquarium et que l'on enfonce une demi-bouteille fermée au-dessus du bouchon, celui-ci descend sous le niveau de l'eau dans l'aquarium (observation) parce que l'air ne peut s'échapper et pousse sur l'eau (interprétation).* »

Ou encore : « *Nous avons vu qu'en éclairant un objet avec une source de lumière verte et une source de lumière rouge, une ombre verte et une ombre rouge apparaissent sur l'écran jaune. Quand nous éteignons la source de lumière rouge et pas la source de lumière verte, l'ombre rouge devient sombre et l'écran vert (observation). C'est parce qu'il n'y a pas de lumière verte qui arrive sur l'écran à cet endroit (interprétation).* »

Définir et limiter le champ d'une investigation

III-5

Faire de la science, c'est bien sûr étudier le monde tel qu'il est. Mais c'est aussi décider de ce qu'on n'étudiera pas. Même pour le scientifique chevronné, le monde physique est bien trop complexe pour être étudié dans sa totalité, et sous tous ses aspects simultanément. Ce qu'il étudiera expérimentalement, c'est *un aspect d'un problème*. Ses représentations seront des modèles idéalisés, et surtout très simplifiés, du monde réel.

Toutes proportions gardées, c'est aussi ce qu'on devra faire en classe. Il importe d'en être conscient et de bien identifier ce que l'on décide d'étudier avec les élèves – les "paramètres" du problème qu'on pourra travailler.

Identifier les paramètres pertinents : un défi !

C'est un exercice difficile. Si l'on ne prend pas en compte tous les paramètres pertinents, les résultats ne seront pas fiables ou trop différents entre eux pour être comparables ; si l'on en prend trop, on n'est pas « économe » (et, souvent, on n'aura pas le temps de procéder à une étude systématique inutilement complexe). Il faut du temps et de nombreuses expériences pour être raisonnablement certain de n'avoir ni oublié de paramètre pertinent, ni conservé de paramètres redondants ou inutiles.

Les mêmes exigences, simplifiées, s'appliquent à l'école. Avec les enfants, on travaille sur de la science éprouvée (même si elle est neuve à leurs yeux) : le professeur, au moins, sait où il emmène ses élèves. Les paramètres pertinents dans un contexte donné en sont identifiés depuis bien longtemps, dans le cadre de *théories admises*.

Ce n'est pas pour autant une garantie de les identifier tous *a priori* pour une expérience particulière. On peut se laisser piéger aussi bien par le fait qu'elle peut faire appel à plusieurs spécialités distinctes que par des réflexes erronés. Qui n'a jamais répété péremptoirement que « l'eau bout à 100°C » – en oubliant que toutes les salles de classe ne sont pas au niveau de la mer ?

Construction d'une séquence : élargir ou restreindre une investigation

Les séquences proposées dans ce Guide sont conçues pour limiter le nombre de paramètres susceptibles d'affecter le résultat des expériences. Ceux qui seront étudiés avec les élèves sont explicites, d'autres restent implicites (quoique souvent aussi évoqués en marge).

Ainsi, pour reprendre l'exemple de l'eau qui bout, la pureté et la pression atmosphérique sont des paramètres dont il faudrait en toute rigueur tenir compte. Mais quel sens peuvent avoir le mot « *pression* » ou l'expression « *eau pure* » pour un élève de CE2 ?

À moins d'un travail spécifique autour de ces notions (non exigible à l'école), ils sont dans l'incapacité de les comprendre. Ce seront donc pour nous des paramètres « muets ». Ce n'est cependant pas pour autant qu'il faut cacher la perte de généralité des résultats ainsi obtenus, *a fortiori* énoncer des règles fausses. Mais il est parfaitement correct de constater que « *dans la classe*

l'eau bout *aux environs* de 100° C» – sauf bien sûr si l'investigation s'éloigne trop des conditions « normales », par exemple en haute montagne. La notion de *résultat approché* est même, en soi, une leçon essentielle dans l'apprentissage des sciences !

Rien n'empêche évidemment l'enseignant d'élargir le propos et, par exemple, de préciser dans ce cas que le résultat pourrait changer si l'on montait en altitude ou si l'on ajoutait du sel à l'eau (les enfants ont souvent entendu beaucoup de choses) : en grandissant ils en découvriront plus sur le phénomène. En dernière analyse, c'est à l'enseignant qu'il revient de décider des paramètres pertinents pour le travail en classe.

Concevoir ses propres séquences suppose donc, d'abord, de prendre du recul pour identifier les paramètres pertinents ; puis de déterminer ceux qui ne seraient pas accessibles à ses jeunes élèves ; enfin, de concevoir des expériences où leur influence est soit négligeable, soit toujours identique. Ainsi, par exemple, la délicate question de la pesée de l'air. Si l'on utilise un ballon dont on laisse varier à la fois la masse et le volume, on modifiera la poussée d'Archimède qui s'exerce sur lui. Or on ne peut pas attendre de jeunes élèves qu'ils devinent l'importance du volume, ni l'utilité de le maintenir constant pendant l'expérience. La dispersion des résultats sera considérable et leur interprétation très difficile. À l'enseignant d'anticiper le problème, de choisir du matériel (ballon de sport rigide, par exemple) susceptible de l'effacer, et de justifier que l'on garde le même ballon en lui faisant conserver la même forme.

Le choix des paramètres à considérer dépendra donc non seulement de leur pertinence, mais aussi de leur accessibilité en classe. Le paramètre apparemment « naturel » – souvent, en fait, celui privilégié par les théories courantes pour des raisons de simplicité formelle – peut céder la place à des grandeurs composites, mais plus faciles à mesurer.

Prenons un exemple classique : lorsque l'on lance de petites voitures propulsées par de l'air comprimé (séquence E-08), il est tentant de se demander laquelle ira « *le plus vite* ». C'est une erreur tactique ! En effet, les élèves seraient amenés à comparer des *vitesses*, ce qui est loin d'être simple. Que l'on se demande plutôt quelle petite voiture « *va le plus loin* » ou laquelle « *arrive la première* » et l'on se retrouve en territoire connu. De même, à propos de sabliers, mieux vaudra se demander lequel « *met le plus de temps à se vider* », plutôt que lequel « *coule le plus vite* » (E-18).

Avant de lancer un questionnement, demandez-vous toujours comment les élèves peuvent procéder pour caractériser ce qu'ils vont chercher à modifier. Si la réponse fait appel à des connaissances qu'ils n'ont pas ou à des dispositifs non disponibles en classe, c'est que le paramètre choisi est inadéquat (pour un travail en classe).

Pendant la démarche : aider les élèves à identifier un paramètre

Ce n'est qu'après avoir décidé des paramètres sur lesquels les élèves vont travailler que l'on peut choisir une situation de départ, conçue pour susciter la « bonne » question dont la formulation dépendra dudit paramètre.

Pour élaborer un protocole pertinent, les élèves doivent dans un premier temps identifier tous les paramètres susceptibles de modifier l'observation. Ils décident alors de ce qu'ils vont observer (*Que se passe-t-il quand je fais ceci*) ou essayer de faire varier (*Comment faire pour modifier cela*). Souvent, dans l'enthousiasme du lancement de la recherche, ils se méprennent pourtant sur son objet, ou même l'oublent. Demander *Que cherche-t-on ?* suffit souvent à les remettre sur les rails. Bien souvent, ce que l'on va observer au cours des expériences, c'est comment *quelque chose* change, quand on fait varier *autre chose* (le paramètre identifié).

Isoler un paramètre : pour quoi faire ?

Les séquences les plus simples reposent sur l'étude d'un seul paramètre. L'investigation est alors facile : on observe ce qui se passe quand on fait varier ce paramètre et l'on en déduit directement une relation entre la cause et l'effet. À l'école, il est presque toujours possible de se ramener à ce type de recherche : il suffit de contraindre suffisamment le matériel (tous les élèves disposant du même, à tous points de vue *sauf* le paramètre étudié).

Une approche plus ambitieuse consiste à ouvrir la recherche et à proposer des situations où plusieurs paramètres peuvent varier. C'est un apprentissage important pour les élèves, mais il nécessite un travail systématique auquel ils ne sont pas habitués. Ils comprennent rarement qu'il ne faut faire varier qu'un paramètre à la fois. Mais ceux de l'école élémentaire sont en général convaincus que si l'on fait plusieurs fois la même chose, on doit obtenir à chaque fois le même résultat : l'expérience doit être *reproductible*. Sinon, comme ils le disent eux-mêmes, «*Y'a un truc*». Il est possible de s'appuyer sur ce critère pour faire apparaître la nécessité d'isoler des paramètres pour une discussion des résultats en classe.

Une expérience différente, faisant varier autrement les paramètres, amènera en revanche, *a priori*, un résultat différent. En modifiant plusieurs paramètres à la fois, on multiplie les situations particulières sans nécessairement de lien clair avec les précédentes. Sans procédure de recherche réfléchie, les informations recueillies n'ont alors pas de lien entre elles et ne permettent pas d'anticiper facilement la variation d'un résultat si l'on change légèrement un paramètre donné, sauf à faire une quantité extravagante d'expériences.

Une procédure souvent efficace consiste alors à fixer tous les paramètres sauf un, et à observer la variation du résultat en fonction du paramètre choisi. En répétant le procédé avec chacun des autres paramètres, on peut souvent aboutir à une vision globale du problème et espérer trouver une relation entre la variation du paramètre et la variation du résultat.

D'une façon générale, on arrive plus facilement et rapidement à trouver une relation éventuelle entre un paramètre et ce que l'on décide d'observer en utilisant une approche systématique. Cette remarque est à la base de la démarche scientifique ; que les enfants la comprennent et ils seront déjà bien armés pour étudier de nombreux phénomènes.



Annexes

A/ Manuels, ouvrages et ressources sur l'enseignement

Wynne Harlen,

Enseigner les sciences : comment faire ? (Primary Science : Taking the Plunge, 1985),
le Pommier éd., 2004 (ISBN 978-2-7465-0147-8, 19,90 €).

Grande spécialiste écossaise de l'enseignement des sciences et de leur évaluation, Wynne Harlen explore tous les obstacles à la réussite d'une démarche d'investigation et propose des pistes de solution. Comment aider les élèves à se questionner, comment les aider à écrire, à présenter, à expérimenter... tous les sujets sont abordés sans langue de bois. Un ouvrage de référence d'une clarté impressionnante.

Raymond Tavernier, Bernard Calmettes, Jean-Loup Canal et Magali Margotin-Passat,

Enseigner les sciences expérimentales : À l'école élémentaire,
Bordas, 2009 (ISBN 978-2-04-731342-8, 24,40 €).

Très complet, cet ouvrage ouvre de nombreuses pistes pour lancer des démarches d'investigation et propose des rappels sur ce qu'il faut savoir (en terme de contenu) avant de se lancer.

Jean-Michel Rolando, Patrick Pommier, Pascal Boyries et Marie-Laure Simonin,

75 Enquêtes pour découvrir le monde : CP-CE1,
Magnard, 2005 (n^{le} éd. 2011 annoncée) (ISBN 978-2-210-52104-9, 13,30 €).

Jean-Michel Rolando, Marie-Laure et Guy Simonin, Patrick Pommier, Jocelyne Nomblot,
Jean-François Laslaz et Sylvain Combaluzier,

Sciences cycle 3 : 64 enquêtes pour comprendre le monde,
Magnard, 2010 (ISBN 978-2-210-54236-5, 14,90 €).

Jean-Michel Rolando, Marie-Laure et Guy Simonin, Patrick Pommier, Jocelyne Nomblot,
Jean-François Laslaz et Sylvain Combaluzier,

Sciences cycle 3 : Guide du maître,
Magnard, 2010 (ISBN 978-2-210-54237-2, 25 €).

Jean-Michel Rolando, Patrick Pommier, Marie-Laure Simonin et Martine Koné,

75 enquêtes pour découvrir le monde : Guide du maître,
Magnard, 2005 (n^{le} éd. 2011 annoncée) (ISBN 2-210-52105-X, 20 €).

Jean-Michel Rolando, Patrick Pommier, Jocelyne Nomblot, et Sylvain Combaluzier,

Sciences Cycle 3 : 130 situations pour évaluer et faire progresser les élèves,
Magnard, 2007 (ISBN 978-2-210-54235-8, 55 €).

Les ouvrages destinés aux élèves présentent de nombreuses enquêtes et proposent de nombreux documents iconographiques. Les guides du maître en sont le complément indispensable et fournissent de nombreuses informations tant pratiques que théoriques.

Les auteurs ont par ailleurs réalisé un ouvrage pour le cycle 3 proposant de multiples situations d'évaluation. Nous attendons son petit frère pour le cycle 2 !

Jean-Pierre Astolfi, Brigitte Peterfalvi et Anne Vérin,
Comment les enfants apprennent les sciences ?,
éd. Retz, 2006 (ISBN 978-2725625898, 20,10 €).

André Giordan et Gérard De Vecchi,
L'Enseignement scientifique : Comment faire pour que "ça marche" ? (Guide pédagogique),
Delagrave éd., 2002 (ISBN 978-2877201278, 12 €).

Maryline Coquidé-Cantor et André Giordan,
L'Enseignement scientifique et technique à l'école maternelle,
Delagrave éd., 2002 (ISBN 978-2206086194, 19,20 €).

Ces trois ouvrages proposent à la fois une réflexion didactique sur l'enseignement des sciences et des outils pratiques : pour réfléchir et se lancer.

Dominique Bense, Estelle Blanquet, Pierre Césarini, et David Wilgenbus,
Vivre avec le soleil,
Hatier, 2009 (ISBN 978-2218936470, 19,50 €).

Cet ouvrage vous propose des séquences clef en main associant éducation à la santé (prévention solaire) et travail sur les ombres.

*Le site **www.soleil.info** vous propose de participer à un projet d'éducation à la santé Vivre avec le Soleil : ce travail peut être mené en même temps qu'un travail sur les ombres par exemple. Il est possible de télécharger les séquences clef-en-main adaptées aux cycles 1, 2 et 3 sur le site de La Main à la Pâte (**www.lamap.fr** ; chemin : Accueil > Activités de classe > Ombres, lumière).*

Grand N

Une revue publiée par l'IREM de Grenoble, qui traite à la fois de didactique des mathématiques et des sciences expérimentales à l'école et propose de nombreuses idées de mises en œuvre.

Ressources disponibles sur Internet

Le site de *La Main à la Pâte* **www.lamap.fr** propose de nombreux conseils et de nombreuses idées de séquences.

Rédigé par Édith Saltiel, le guide méthodologique *La Démarche d'investigation, comment faire en classe ?* (Accueil > Documentation > Pédagogique > Comment faire ?) fournit aux enseignants qui débutent tout un panel d'idées pratiques et de conseils. Indispensable (et gratuit) !

Le site *Lamap Aube* **www.ac-reims.fr/ia10/lamap/** fournit lui aussi de nombreuses ressources pour la classe et des vidéos qui permettent de se rendre compte des réactions d'élèves aux situations proposées.

Le site technologie de l'IUFM de Montpellier

www.montpellier.iufm.fr/technoprimaire/index7.htm

regorge d'idées de séquences en technologie pour la classe : à visiter !

Le centre de développement pédagogique pour la formation générale en science et technologie de l'Université Laval, au Québec, **www2.cslaval.qc.ca/cdp/pages/** propose de nombreuses animations en ligne. Nos collègues canadiens ont de bien jolies idées.

Vous trouverez les programmes d'enseignement de l'école primaire sur le site

www.education.gouv.fr/bo/2008/hs3/default.htm

et des documents d'accompagnement sur le site ÉDUSCOL

eduscol.education.fr/cid46920/sciences-ecole.html.

Sur le site anglophone **xkcd.com**, vous trouverez de nombreux clins d'œil imaginatifs et pleins d'humour sur la science et ceux qui la font vivre. C'est toujours un régal que de s'y balader.

Quelques sites enfin, utilisés au fil des séquences :

www.granuloscience.com/MatiereEnGrains/index.htm

www.inrs.fr/htm/pictogrammes_pour_la_signalisation_sante_securite.html. <http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/labospc/spip.php?article238>

www.inspection.gc.ca/francais/fssa/labeti/decisions/colourf.shtml

fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_additifs_alimentaires

vulpestruments.blogspot.com/

chercheursdesons.hautetfort.com/

www.dijon.iufm.fr/spip.php?article265

A-5 Pour aller plus loin...

B/ Ouvrages de vulgarisation scientifique

Jacques Duran,
Sables émouvants. La Physique du sable au quotidien,
 Belin, 2003 (ISBN 978-2-701-135-26-7, 23 €).

Jacques Duran nous propose de mettre les mains dans le sable pour mieux comprendre ses propriétés assez inhabituelles.

Pierre-Gilles de Gennes et Jacques Badoz,
Les Objets fragiles,
 Pocket, 1999 (ISBN 978-2-266-068-13-0, 6,50 €).

Formidable conteur, le prix Nobel de physique Pierre-Gilles de Gennes nous fait découvrir quelques secrets des bulles de savon et autres objets fragiles.

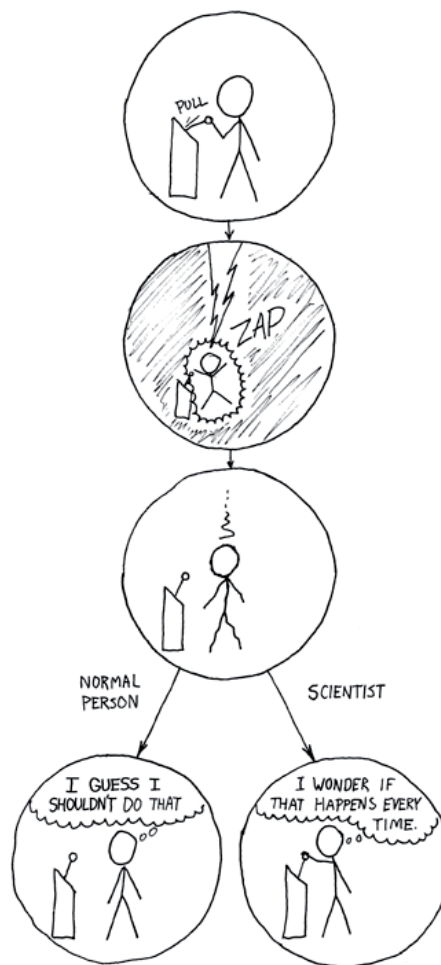
Richard Feynman,
Vous voulez rire, M. Feynman ! (*Surely You're Joking, Mr. Feynman ! Adventures of a Curious Character*, 1985)
 éd. Odile Jacob, 2000 (ISBN 978-2-738-107-71-8, 29 €).

Un regard séduisant et décalé sur la science, par l'un des grands physiciens du XX^e siècle, pour lequel la démarche d'investigation était plus qu'une méthode : un art de vivre !

Nicole Ostrowsky,
L'agenda de l'apprenti scientifique,
 éd. de La Martinière, 2009
 (ISBN 978-273-243-894-8, 17 €).

Cet ouvrage à mettre entre toutes les mains propose de réaliser une activité par jour : une merveilleuse balade à travers les sciences.

LA DIFFÉRENCE
 à gauche, une personne normale :
 « On dirait qu'il vaut mieux ne pas faire ça. »
 à droite, un scientifique :
 « Je me demande si cela se produit à chaque fois. »
 © xkcd.com



C/ Albums (maternelle)

Le Roman de Renart, illustré par Christian Poslaniec et François Crozat,
Milan, 1997 (ISBN 978-2841134113, 16,50 €) (nouvelle édition janvier 2011, 5,20 €).

Yuichi Kimura et Koshiro Hata,
Bascule,
Didier Jeunesse, 2003 (ISBN 978-2278054718, 11,90 €).

Jean-Pierre Kerlock'h,
Il ne faut pas faire pipi sur son ombre,
Milan, 2002 (ISBN 978-2745927576, 5,40 €).

Olga Lecaye,
L'Ombre de Pours,
L'École des loisirs, 1997 (ISBN 978-2211055963 5,50 €).

Raphaël Fejtö,
L'Ombre de Zoé,
L'École des loisirs, 2005 (ISBN 978-2211081900, 12,50 €).

Philippe Corentin,
Plouf !,
L'École des loisirs, 1990 (ISBN 978-2211026413, 12 €).

Emmanuelle Advenier et Antoine Guilloppé,
Petit glaçon,
Gautier Languereau, 2008 (ISBN 978-2013913690, 13 €).



Crédits

Cet ouvrage a bénéficié de la contribution directe ou indirecte d'un grand nombre de personnes. Il faudrait pouvoir les citer toutes, mais les formateurs puisent de nombreuses idées de séquences dans un fond commun, que chacun va décliner à sa façon pour l'utiliser dans un objectif parfois très différent de celui d'origine. Celui qui le premier a pensé à allumer le nez de l'ours (électricité) ou à mettre la queue du loup dans l'eau (solidification de l'eau) a fait de nombreux émules. Au fil du temps, il devient difficile de savoir exactement qui est à l'origine d'une expérience ou d'une idée.

Certains emprunts sont plus directs, et je suis heureuse de pouvoir mentionner les créateurs de quelques belles idées pédagogiques. La séquence *Ombres colorées* est ainsi librement inspirée d'une expérience de Cécile de Hosson. Celle *Sur les traces d'Ératosthène* d'un projet collaboratif *La Main à la Pâte*. La fabrication du papier et la petite bête qui monte sont à mettre au crédit de Patrick Russiano. C'est à Frédéric Kapala qu'on doit la belle expérience de dissolution des sucres colorés. Nathalie Fraysse est à l'origine de la séquence sur les solides en grains. C'est à Pascale Mirman et Valérie Gavory que l'on doit la fabrication des boules à neige, qui ravit les plus jeunes. Nathalie Charvy a attiré mon attention sur *Bascule* et enclenché une réflexion plus large sur l'utilisation d'albums jeunesse. Les ateliers maternelle sur les cinq sens ont vu le jour avec la complicité de Nathalie Pinsard, Sylvie Roche et Annick Desbizet. C'est à Olivier Pujols que revient l'idée de massicoter un cahier 24 x 32 pour en faire des cahiers d'expériences.

Certains ouvrages – et des auteurs qui marquent – sont aussi des sources inépuisables d'inspiration. Ceux de Jean-Michel Rolando et Raymond Tavernier en font partie. Il y a bien sûr les collègues formateurs dont on découvre au détour de la toile les idées et la démarche personnelles, mais aussi tout ce qu'on peut avoir en commun : je ne citerai qu'Élisabeth Plé, parmi tant d'autres !

Il y a surtout ceux qui sont en première ligne, tous les collègues enseignants, stagiaires ou titulaires. Les astuces de mise en œuvre proposées dans cet ouvrage, les alertes sur des points délicats sont le résultat de leurs essais, de nos observations communes des élèves et de mille discussions à bâtons rompus. Ils ont nourri les séquences de leur expérience.

Les conseils sur la mise en œuvre de la démarche d'investigation doivent beaucoup à Wynne Harlen, Édith Saltiel et Jean-Michel Rolando, dont je me sens très proche.

L'écrase-biscotte est né de l'observation d'une machine à piler le riz au nord Vietnam, la libellule en carton a ses grandes sœurs en bambou conçues par des artisans vietnamiens et une petite fille indonésienne de Flores serait très étonnée d'apprendre que des enfants français travaillent sur les leviers en la regardant transporter de l'eau !

Remerciements



Je remercie tout d'abord mes étudiants de Nevers et de Nice pour le plaisir que j'ai eu à travailler avec eux [*et tout particulièrement peut-être – mais il faut le dire tout bas – ceux d'entre eux qui vous auront, j'espère, évité quelques chasse-trappes... en nous les indiquant par l'exemple*]. Cet ouvrage n'aurait pas vu le jour sans leurs sollicitations répétées : j'espère qu'il répondra à leurs attentes.

Je remercie tous les collègues en poste dans les écoles qui ont éprouvé l'organisation proposée dans cet ouvrage et ont permis les ajustements nécessaires. Je pense en particulier à Christine Angéli et aux collègues de Saint-Barthélémy, les premiers à s'être lancés ; à Marie-Françoise Grimaldi et à son équipe de Ronchèse, toujours prête à tester de nouvelles idées ; à Gisèle Gallezot et aux collègues de Nice Flore qui ont dit *banco* ! Les marchés des sciences de la circonscription de Cagnes-sur-Mer ont testé la robustesse de la manifestation dans des conditions exceptionnelles (grève, vous avez dit grève ?). Je remercie Gisèle Gallezot, Laurence Pruneaux et Édith Lupi d'avoir bien voulu apporter leur témoignage sur leur mise en œuvre.

L'esprit de *La Main à la Pâte* souffle depuis l'origine sur les jardins niçois. Le souvenir des discussions passionnées avec Édith Saltiel, de la présence chaleureuse d'Yves Quéré et de Roger Maynard, parrains de la manifestation, m'a accompagnée pendant l'écriture.

J'ai également bénéficié des conseils avisés et de la relecture attentive de Gérard Laporte que je remercie pour sa disponibilité, le partage de son expérience et sa gentillesse.

Je remercie le Muséum national d'histoire naturelle qui tous les ans nous permet d'avoir Sophie Mathé avec nous le temps d'un jardin. Un grand merci à la Société Française de Physique, l'association Physique à Nice et aux chercheurs du LPMC qui ont bien voulu consacrer du temps à cette aventure, en particulier Laurent, François, Élisabeth, Nathalie, Wilfried, Jean-Pierre et Nicole.

Qu'ils soient tous assurés de mon amitié.

Enfin, écrire un ouvrage est une aventure éprouvante : Éric Picholle, par son soutien, ses conseils et les nombreuses relectures et améliorations apportées au texte l'a rendue possible. Cet ouvrage lui doit beaucoup, tout comme à mon éditrice Anouk Arnal qui, avec une angélique patience, a répondu favorablement à un nombre considérable de demandes de modifications en tous genres.

L'IUFM m'a accordé la confiance sans laquelle rien de cela n'aurait pu se réaliser. Service de communication, intendance, personnel technique, administratif et pédagogique du centre Stephen Liégeard, tous se sont mobilisés souvent bien au-delà de leurs attributions normales pour que chaque manifestation soit une réussite. C'est à Dominique de Lastens que je dois d'avoir pu bénéficier du soutien d'Émilie Caboche et d'Isabelle Smith qui ont accompagné les manifestations avec enthousiasme et sans compter leurs heures. Le soutien financier de l'IUFM a aussi permis la concrétisation de cet ouvrage : je remercie toutes les personnes qui ont rendu la chose possible, avec une pensée particulière pour Hubert Goudineau.

Enfin, toute cette aventure n'aurait pu être sans la bienveillance de l'Inspection Académique des Alpes-Maritimes. Je remercie une fois encore M. Philippe Jourdan pour sa présence fidèle sur la manifestation.

Crédits iconographiques

Photo de couverture : Patrick Leriget, © Municipalité de Nevers

Photographies : Préface 1 : © C. Taverna ; Préface 2 & 3, I-1-1, 2, 5 & 6, I-6-1, 2 & 3, I-10-2 & 3, Album 12 & 13, M-05-1 : © L. Nélis ; I-1-3 & 4 : © Ch. Angeli ; E-04-2 & 3, E-10-1 & 2, E-11-1 & 2, E-15-1 & 2, E-16-2 & 3, E-17-1, 4 à 6, E-19-1 & 2, E-23-3 à 7, E-24-2 à 4, M-01-1 à 3, M-02-1, M-03-2 à 7, M-04-1 à 10, M-06-1 & 2 : © V. Sorio ; Avant-propos, E-06-1 & 2, E-18-2 à 6, E-21-2, E-22-1, M-06-3, M-08-16, M-12-1 & 2, M-15-1, 5 & 6, M-16-3 : © IUFM de Nice ; E-03-1 & 2 : © F. C. Brunei ; E-04-1 & 3, M-13-3 & 4 : © P. Vernisse ; E-07-1, 3 à 5, E-16-6, E-20-1, M2-2, M-08-1, 5, 6, 17 & 18, M-10-1 à 6, M-12-3, M-16-1, III-4-1 : © É. Caboche ; E-22 : © O. Pujols ; E-23-1 & 2 : © P. Russo ; M-08-8 à 16 : © J.-F. Consigli ; E-07-2, E-08-1 à 3, 8 & 10, E-17-2 & 3, M-05-2, M-12-4, M-15-2 à 4, III-4-2 & 3 : © IUFM de Nevers ; E-08-4 à 7 & 9 : © Circonscription Cagnes-sur-mer ; M-10-7 : © I.A. Thonon-les-bains ; 4^e de couv. : 4C-1 : © É. Picholle ; 4C-3 : © Reccsam, avec leur aimable autorisation.

I-1-7 : © Nice Matin (cit.)

E-03-2 : © Quark67, 2006 (lic. *Creative commons*, source Wiki Commons)

E-13-8 : © Montrealais, 2004 (lic. *Creative commons*, source Wiki Commons)

Toutes les autres photographies sont © E. Blanquet.

Les planches humoristiques utilisées en E-21 et A-3 sont © xkcd.com 2009 (licence utilisation pédagogique).

Les trames de fond de la couverture sont conçues et distribuées par le site <http://backgrounds.mysitemyway.com/> ; les icônes sont issues du site : <http://icons.mysitemyway.com/>