

Fiche pédagogique

Activité : Château de sable

Objectifs pédagogiques :

Découvrir la physique des châteaux de sable.

Notions abordées :

Mathématique: hasard, probabilités.

Physique : capillarité, adhésion, gravité.

Matériel nécessaire : Le matériel nécessaire pour l'atelier est :

1. 1 grand sachet de boules en plastique multicolores
2. 1 grand bac (pour les boules en plastique)
3. 1 grand récipient rempli de sable fin
4. 1 grand récipient rempli de graviers
5. 1 petit bac (pour récupérer le sable)
6. 3 petits récipients cylindriques et transparents remplis de sable de différentes tailles (1 avec du sable fin, 1 avec des gravillons et 1 avec du gros gravier).
7. 1 bande de scotch double face
8. 1 bouteille d'eau
9. 1 coupelle (à remplir d'eau)

Niveau : Niveau CE1 jusqu'au lycée.

Durée : 15 à 25 minutes.

Mise en place : L'atelier nécessite une grande table de 2m de longueur. L'atelier s'organise en 3 zones décrites ci-dessous (voir aussi un rendu possible sur la figure 1a) :

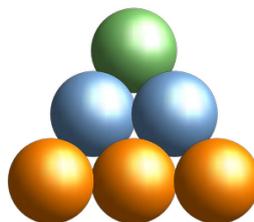
Zone 1 : Cette zone comporte les boules en plastique (placées de préférence dans un grand bac ou, à défaut, dans leur sachet pour éviter qu'elles ne glissent partout). Derrière ce bac (à proximité de l'animateur), une pyramide de 9 boules (cf. figure 1b) ainsi qu'une tour de 6 boules empilées (en deux étages de 3 boules chacun, cf. figure 1c) sont à préparer avec du scotch double face et des boules en plastiques.

Zone 2 : Cette zone contient les trois petits récipients fermés remplis de sable/graviers de différentes tailles.

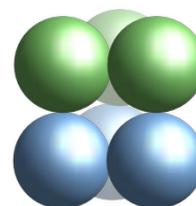
Zone 3 : Cette zone est composée des deux grands récipients ouverts (l'un est rempli de sable, l'autre de graviers). Il est préférable de les mettre dans un petit bac pour ne pas mettre du sable partout. Derrière ces bacs, près de l'animateur se trouve une coupelle remplie d'eau.



(a) Photo d'un atelier mis en place.



(b) Construction en pyramide.



(c) Construction en tour.

FIGURE 1 – Illustration de la mise en place de l'atelier.

Déroulement : L'atelier se déroule en cinq étapes, décrites ci-dessous.

Etape 1 : Introduction.

Objectif : Capter l'attention de votre auditoire et les inviter à réfléchir au sujet de l'atelier.

Méthode : Commencez par poser les questions suivantes

- “*Qui a déjà fait un château de sable ?*” (à main levée)
- “*Pour réaliser votre château de sable, qu'avez-vous utilisé ?*”.

Réponses attendues (si besoin, vous pouvez les aiguiller en demandant s'ils emploient des outils ou s'ils décoorent leur château de sable) : du sable, de l'eau, une pelle, un râteau, un seau, des coquillages, des algues, des pierres, des drapeaux, etc...

Explications : A ce stade, il est important de conclure que, bien que la liste paraisse longue, il y a au moins deux ingrédients essentiels auquel tout le monde pense : le sable et l'eau.

Et l'objectif de cet atelier est justement de comprendre pourquoi il est nécessaire d'avoir ces deux ingrédients, et quelle est la recette pour faire des châteaux de sable.

Pour répondre à ces questions, l'atelier se décompose en plusieurs étapes où nous allons explorer ensemble chacun des ingrédients puis les mélanger.

Etape 2 : Le rôle du sable sec.

Méthode : Invitez les participants à construire une pyramide (un peu comme celle que vous avez déjà réalisé avec du scotch double face). Pour ce faire, les participants doivent simplement disposer les boules dans le bac devant eux sans aucun autre matériel (s'ils remarquent que vous avez mis du scotch, il suffit de leur dire que c'est pour la démonstration).

Pour les plus débrouillards (qui arrivent rapidement à construire une pyramide en faisant en sorte que la base ne glisse pas), vous pouvez même les inviter à construire une tour de 3x3 boules empilées (normalement, ce n'est pas possible sans tenir les boules).

Après les avoir laissés manipuler quelques minutes, invitez les participants à faire part de ce qu'ils ont constatés et de la difficulté rencontrée. “*Qu'en concluent-ils ?*”

Explications : Ajoutez des explications en faisant un parallèle avec le sable sec, qui produit naturellement des tas de sable dans la nature. Ces tas ont une forme de cône, avec un certain angle par rapport à l'horizontale (typiquement entre 20 et 35 degrés). Cet angle s'appelle l'angle de repos, qui est légèrement inférieur à l'angle d'avalanche qui est la pente à laquelle le tas s'effondre sous son poids. Pour l'illustrer, prenez les trois petits récipients remplis et les mettez les uns sur les autres de manière à pouvoir les faire pivoter facilement. Il suffit alors de les faire pivoter comme un tambour de machine à laver jusqu'à voir ces avalanches se déclencher, constater que l'on peut tourner un peu avant qu'une nouvelle avalanche

se déclenche. Vous pouvez inviter les participants à manipuler les récipients (attention, délicatement) s'ils veulent le constater d'eux-même. S'ils demandent si cet angle varie, vous pouvez préciser qu'il dépend de plusieurs facteurs : la taille des grains, leur forme, leur densité, etc. Mais, il n'y a normalement pas beaucoup de différences entre les angles d'avalanche des sables contenus dans les trois récipients (car il s'agit de mélanges très hétérogènes).

Cette étape permet de conclure que, avec du sable sec, on peut difficilement créer des tours de sable. Car il manque un ingrédient : l'eau.

Étape 3 : Le rôle de l'eau.

Méthode : Demandez aux participants *“quel est le rôle de l'eau dans un château de sable ?”* Ils répondent souvent, à juste titre, que l'eau joue le rôle de “colle”. Et c'est ce que vous allez leur expliquer.

Invitez les participants à faire l'expérience (que vous leur montrez d'abord). Trempez votre index dans la coupelle d'eau devant vous, puis réunissez votre index mouillé avec votre pouce et séparez tout doucement et légèrement vos deux doigts pour voir apparaître un film liquide entre vos doigts (vous pouvez donner toutes ces explications pendant que vous faites l'expérience devant les participants).

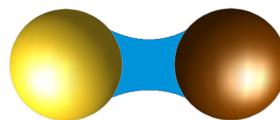


Illustration d'un film d'eau entre deux objets (sphères ou doigts).

Suite à cette démonstration, invitez chaque participant à faire l'expérience et vérifiez que les plus jeunes y arrivent bien (ils ont tendance à aller trop vite ou à séparer leur doigt trop loin, ce qui a pour effet de rompre le petit film liquide).

Explications : Une fois que tout le monde a réussi, demandez-leur s'ils savent comment s'appelle ce film d'eau entre leur doigt (surtout s'il y a des adultes qui connaissent peut-être la réponse). Il s'agit d'un pont capillaire.

Continuez en leur expliquant que nous en rencontrons fréquemment dans la vie quotidienne dès que l'on sort de la douche (en tout cas pour celles et ceux qui ont des cheveux un peu long), car on constate que les cheveux mouillés restent collés ensemble. C'est justement à cause de petits ponts capillaires qui se forment entre les cheveux. Et puisque les cheveux sont légers, cela les fait coller les uns aux autres. D'où le besoin de se sécher les cheveux si nous voulons les démêler ou les coiffer plus facilement.

Ensuite, demandez aux participants s'ils ont senti une force entre leur doigt quand ils ont réalisé l'expérience (certains diront que oui, même si c'est discutable). En réalité, cette force est très faible. Elle permet de faire “coller” les cheveux car ils sont très petits et très légers (un cheveu a un diamètre de quelques micromètres et pèse quelques microgrammes seulement).

Pour s'en rendre compte, invitez les participants à se mouiller à nouveau le doigt puis à le tremper dans chacun des deux grands récipients (l'un contenant le sable fin, l'autre les graviers). Mais juste avant de le faire, demandez leur ce qu'il devrait se passer selon leur propre intuition. En général, les participants ont une bonne intuition et devinent que le sable fin restera accroché à leur doigt (les inviter à se rincer les doigts au dessus du petit bac pour ne pas mettre du sable partout) alors que le gravier tombera sans s'accrocher à leur doigt (sauf s'ils trouvent des très petits graviers légers). Profitez-en pour leur dire que c'est une super astuce pour savoir s'il est possible de réaliser un château de sable sur une plage inconnue : si le sable “colle” au doigt, il est possible de faire un château de sable (dans le cas contraire, le sable est trop lourd et le château de sable risque de s'effondrer sous son poids).



FIGURE 2 – Astuce pour savoir si le sable est suffisamment fin et léger pour réaliser un château de sable (le sable doit “coller” au doigt mouillé).

Demandez aux participants pourquoi certains grains restent collés et d’autres non. S’ils vous répondent que c’est la taille, prenez un bout de plastique (par exemple en découpant l’enveloppe du scotch double face en petit morceaux de 1 à 2 cm environ) et faites le coller à leur doigt mouillé (pour cela, il suffit de rapprocher le morceau de leur doigt tendu devant eux pour qu’il reste accroché à leur doigt, en prenant garde à ne pas avoir les doigts mouillés vous-même, sinon le morceau de plastique pourrait rester accroché à vos doigts). Faites leur alors constater que c’est beaucoup plus gros qu’un caillou alors que, pourtant, l’objet reste accroché à leur doigt. Car la réponse se trouve ailleurs : c’est le poids qui compte, car pour que le gravier reste collé au doigt, il faut que le pont capillaire donne lieu à une force d’adhésion plus grande que le poids de l’objet (qui a tendance à le faire sédimenter, c’est-à-dire tomber vers le bas).

Etape 4 : Quelle est la bonne proportion d’eau ?

Méthode : A ce stade de l’atelier, les participants ont vu qu’il faut nécessairement du sable et de l’eau pour réaliser un château de sable. Néanmoins, une question délicate est de savoir “*quelle proportion d’eau mettre dans le sable ?*”

Invitez les participants à répondre (n’hésitez pas à vous munir d’un des récipients remplis de sable fin pour leur demander, par rapport à cette quantité de sable, combien ils mettraient d’eau, et si jamais ils sont timides, vous pouvez leur suggérer des pistes : la même quantité, la moitié, 1/4, 1/8, etc.).

Explications : Une fois que tout le monde a donné son avis, commencez par les inviter à réfléchir. Si l’on ne met pas d’eau du tout, ils ont bien vu que l’on obtient un tas de sable. Que se passe-t-il si l’on met trop d’eau ? Si les plus jeunes ne savent pas, demandez-leur ce qu’il se passe lorsqu’ils prennent une poignée de sable dans la main et qu’ils plongent ensuite leur main dans l’eau. Normalement, ils ont déjà fait l’expérience et ils vous expliquent que le sable “coule” ou bien “tombe” au fond de l’eau. Vous pouvez compléter alors en expliquant que le sable sédimente parce qu’il est plus lourd que l’eau. Et que comme l’eau est partout autour des grains de sable, il n’y a plus de film liquide assurant leur cohésion. Donc le sable s’écoule un peu comme dans un sablier, de manière similaire à un fluide.

A ce stade, concluez en faisant comprendre que, pour réaliser un château de sable, il y a donc **trois ingrédients nécessaires : du sable, de l’eau et de l’air.**

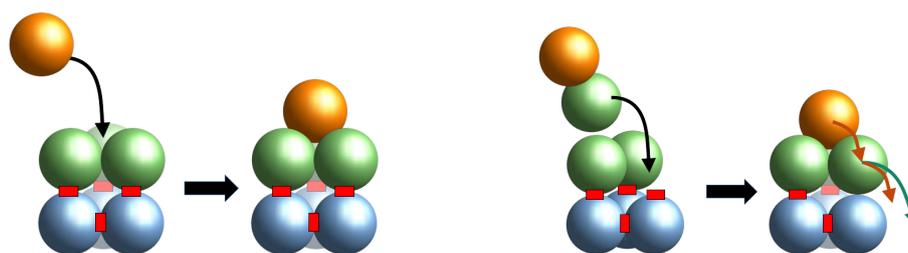
Ensuite, pour les proportions à respecter, vous pouvez expliquer que des scientifiques ont découvert que la quantité optimale d’eau à mettre se situe entre 2.5 % et 15 % du volume total. Autrement dit, pour un volume d’eau, il faut rajouter entre 5 et 15 volumes de sable. Avec les plus jeunes, le mieux est de leur indiquer simplement la règle de 1 pour 10 (1 volume d’eau pour 10 volumes de sable).

Etape 5 : L'ingrédient mystère : la chance

Objectifs : Faire réaliser aux participants que la recette fonctionne en théorie, mais qu'en pratique, elle est loin de fonctionner à tous les coups. Car il reste un dernier ingrédient mystère : la chance.

Explications : Expliquez aux participants que, lorsqu'ils mettent dans un seau le sable et l'eau (en respectant la bonne quantité), ils mélangent le tout. L'objectif de ce mélange est de faire en sorte que l'eau se répartisse le plus possible entre chaque grain. Un peu comme dans la construction pyramidale que vous avez en face de vous (montrez leur qu'il y a du scotch presque entre toutes les boules qui se touchent). Mais en réalité, comme les grains de sable sont très petits, il est impossible de vérifier que l'eau s'est bien mise entre tous les grains adjacents. Et ils auront beau mélanger le sable et l'eau pendant 30 secondes, 5 minutes ou 1h, le mélange sera toujours à peu près homogène. Ce "à peu près" signifie qu'il y a des régions où il y a plus d'eau, et d'autres où il n'y en a pas.

La conséquence de ce mélange imparfait, c'est qu'il y a des zones fragiles dans la construction. Mais ces zones fragiles ne sont pas forcément dommageable pour la stabilité de l'édifice. Pour ce faire, prenez maintenant la tour devant vous (cf. figure 1c). Montrez-leur que vous pouvez ajouter une boule supplémentaire par dessus sans que l'édifice ne s'effondre et sans ajouter de scotch (cf. figure 3a). C'est grâce au fait que le poids de la boule se répartit sur les trois autres en dessous, et que le scotch entre la 1ère et la 2nde couche permet d'absorber ce poids supplémentaire.



(a) Construction stable, même en ajoutant une boule (sans pour autant mettre du scotch).

(b) Construction instable en ajoutant une boule.

FIGURE 3 – Illustration de la mise en place de l'atelier.

Par contre, si vous renouvelez l'expérience en faisant exprès de fragiliser l'un des liens entre la 1ère couche et la 2nde couche, une partie de l'édifice s'effondre. Pour ce faire, comme indiqué sur la figure 3b, il suffit de décoller l'une des boules de la 2nde couche et de la replacer avec la boule supplémentaire sans laisser le temps au scotch d'agir (voire si besoin de décaler un peu la boule verte pour la déséquilibrer). Cette expérience illustre bien le fait que quand, par malchance, la zone fragile se trouve près d'un côté de l'édifice, il peut rapidement y avoir effondrement le long d'une pente plus ou moins grande (selon là où sont présents les zones fragiles).

Etape 6 : Conclusion.

Concluez en insistant que cela ne sert à rien de s'énerver, car c'est uniquement une question de chance. La recette est la bonne. Mais il faut faire preuve de patience, et recommencer avec la même recette. Et chacun pourra ainsi réaliser de beaux châteaux de sable.

Questions - réponses : Voici quelques indications pour les questions les plus usuelles.

1. Question : “Est-ce que l’on peut faire un château avec du gravier ?”

Réponse : En utilisant de l’eau, il n’est pas possible de faire des châteaux de gravier. Au mieux, on peut empiler les graviers ou les cailloux pour faire des cairns.

Par contre, il est possible de remplacer l’eau par un liquide plus visqueux (qui sera donc plus “collant” que l’eau), comme par exemple du miel (mais si vous mentionnez cette idée, dites de suite que le miel est fait par les abeilles pour être mangé, et qu’il est trop précieux pour être gâché dans un château de gravier).

2. Question : “Est-ce que le pont capillaire fait intervenir la tension de surface ?”

Réponse : Oui, le pont capillaire résulte de la tension de surface à la surface de la goutte. Pour expliquer simplement l’origine microscopique de la tension de surface, le mieux est de reproduire le dessin ci-contre, qui montre que les molécules d’eau présentes près de la surface d’une goutte sont attirées vers le centre de la goutte (puisque’il n’y a pas ou très peu d’autres molécules d’eau dans l’air au dessus d’elle). A l’inverse, les molécules d’eau situées au cœur de la goutte ont des “voisines” dans toutes les directions, et elles ont donc une position stable (sans force résultante qui les attire dans une direction). Cela explique aussi pourquoi les gouttes d’eau ont tendance à adopter une forme la plus sphérique possible (surtout dans les expériences en l’absence de gravité).

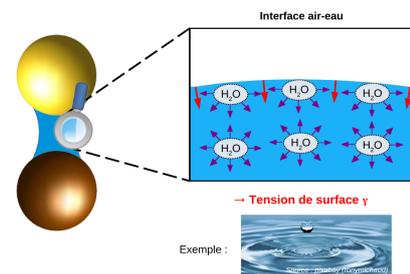


Illustration de l’origine microscopique de la tension de surface.

3. Question : “Pourquoi est-ce que le pont capillaire joue le rôle de liant ?”

Réponse : Si des participants plus adultes vous posent la question, vous pouvez leur faire remarquer que l’eau dans le pont capillaire a toujours la forme d’un sablier. Cette forme permet de minimiser la surface d’échange entre l’air et l’eau (pour un volume d’eau donné). Si l’on écarte alors les deux grains (ou les doigts), le film d’eau va s’étirer (ce qui est moins intéressant énergétiquement parlant). Il y a donc une “force” qui vient rappeler les deux grains vers la position d’équilibre précédente. Cette force est donc proportionnelle au rayon de courbure du film d’eau dans le pont capillaire (et aussi à la tension de surface).

4. Question : “Est-ce que l’on doit prendre de l’eau salée ou de l’eau douce ?”

Réponse : La tension de surface dépend très légèrement de la composition de l’eau (salinité, pH, température, etc). Par contre, l’effet sur les châteaux est très ténu, et par rapport aux autres sources d’incertitudes qui impactent la stabilité (notamment la présence des défauts), cet aspect est plutôt minime. Il est donc difficile de conclure s’il vaut mieux utiliser de l’eau salée ou de l’eau douce.

5. Question : “Comment font les experts en châteaux de sable pour créer des constructions impressionnantes ?”

Réponse : Joker... la question est à creuser. Faites leur simplement remarquer que cela reste des constructions éphémères (dès que l’eau s’évapore, en commençant par les bords, des parties s’effondrent).