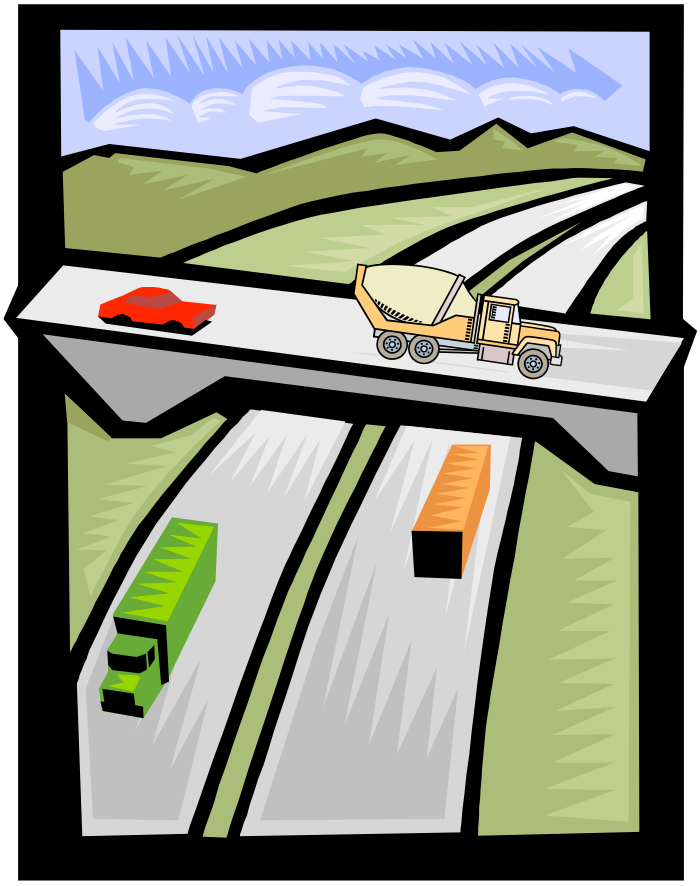
centre de développement pédagogique
pour la formation générale en science et technologie

Document de travail



LE BÉTON

CAHIER DE L'ÉLÈVE

Mai 2008

Table des matières

Mise en situation et mandat 3

Cahier des charges 4

Réchauffons-nous un peu 5

Capsules de sécurité 6

Ia- Laboratoire sur le durcissement du ciment 7

Ib- Questionnaire sur le durcissement du ciment 10

II- La composition du béton 12

III- Le mûrissement du béton 16

IV- Le béton comme matériau 19

V- La mécanique du béton 22

VI- La mécanique de la poutre 29

Cerner le mandat à la suite des activités d'apprentissage 35

Conception de la poutre 36

Mise à l'essai et analyse de la poutre 38

Mise en situation et mandat

NOTE : Cette activité a été élaborée dans le cadre de sessions de formation. Elle nécessite des adaptations avant de l'utiliser auprès d'élèves.





Les ouvrages en béton sont nombreux dans notre environnement. Une photo d'un centre-ville nous en convainc aisément. Le béton est aussi utilisé pour les barrages hydro-électriques, les piscines et, bien sûr, les routes. Les ponts et les viaducs en béton sont des ouvrages très impressionnants. Plusieurs facteurs doivent être pris en considération pour assurer leur solidité. Concevoir et construire un viaduc est un travail complexe qui ne doit pas être pris à la légère. L'effondrement du viaduc de la Concorde, à Laval, le 30 septembre 2006, est un triste exemple de travail entaché de négligence.

http://www.radio-canada.ca/audio-video/pop.shtml#urlMedia%3D/Medianet/2006/CBFT/Decouverte200610221830_2.asx

http://www.radio-canada.ca/audio-video/pop.shtml#urlMedia%3D/Medianet/2007/CBFT/Decouverte200709161830_5.asx

Tâche complexe

Nous vous proposons d'agir comme une firme de génie-conseil oeuvrant dans le domaine de la construction de viaducs. Vous devez concevoir et fabriquer une poutre en béton dans le but de mieux comprendre l'effondrement d'un viaduc. On vous remet donc le cahier des charges que vous devrez respecter. À la fin de l'exercice, chaque équipe devra soumettre sa poutre à un test destructif au cours duquel on déterminera combien de fois la poutre supporte son propre poids. Ce test est l'occasion d'organiser une compétition amicale entre les équipes. Finalement, l'analyse des bris visibles sur votre poutre vous permettra de mieux comprendre ce qui a causé sa chute.



Allez, ingénieurs en herbe, à vos crayons, scies et truelles : il y a une compétition à gagner!

Cahier des charges

Chaque équipe doit concevoir une poutre en béton en respectant les paramètres suivants.

a) Au regard du *milieu physique (éléments de la nature)* :

- S'assurer que les armatures sont positionnées de manière à résister à la corrosion en milieu humide.

b) Au regard du *milieu technique (fonctionnement et entretien)* :

- largeur de 19 mm (3/4 pouce) ou de 27 mm (1 pouce);
- longueur de 570 mm ± 10 mm;
- portée utile de 500 mm;
- armature constituée d'acier de calibre AWG 14;
- flexion inférieure à 60 mm;
- capacité de supporter la plus grande masse possible;
- masse la plus faible possible.



c) Au regard du *milieu humain (sécurité)* :

- ne présenter aucune arête tranchante;
- ne présenter, en surface, aucun élément d'armature piquant.

d) Au regard du *milieu industriel (production)* :

- utilisation du matériel fourni par le personnel enseignant;
- utilisation des outils disponibles en classe (laboratoire ou atelier);
- fabrication en équipe de deux élèves;
- fabrication couvrant deux périodes, soit une pour le coffrage et une pour la coulée.

e) Au regard du milieu économique *(coût de revient)* :

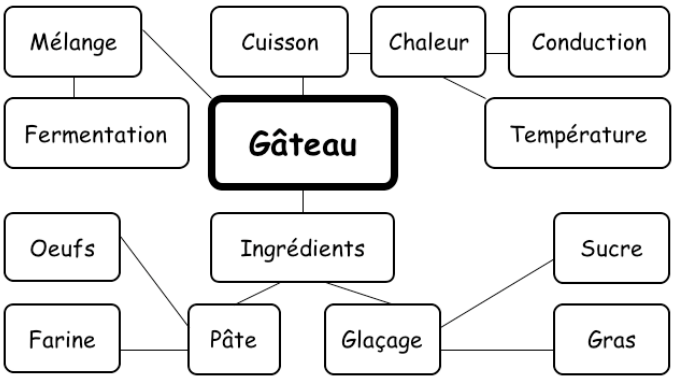
- utilisation d'au plus 1000 mm de broche d'acier de calibre AWG 14;
- utilisation d'au plus 150 mL de poudre de ciment portland;
- utilisation d'une quantité variable de gravillons, de sable et d'eau.

Réchauffons-nous un peu

(En plénière) Que connaissez-vous du béton?

Construisez maintenant un réseau des concepts reliés à l'étude du béton. Bâtir ce réseau vous permettra d'organiser vos connaissances sous forme d'une carte visuelle. Cette carte donnera une bonne idée des stratégies qui vous permettront de concevoir et fabriquer votre poutre

Exemple d'un réseau de concepts



Réseau de concepts

Le béton

centre de développement pédagogique

Capsules de sécurité

Ciment et béton






1. Attention! Le ciment et le béton préparé sont corrosifs.
2. Se laver la peau avec de l'eau en cas de contact et se laver les mains à la fin des manipulations.
3. Porter des lunettes de sécurité pour se protéger des éclaboussures. En cas de contact avec les yeux, rincer immédiatement à l'aide de la douche oculaire installée en classe.
4. Porter un masque antipoussière si des particules de ciment sont est en suspension dans l'air. Lorsque le ciment est manipulé délicatement, le masque n'est pas nécessaire.
5. Porter des vêtements de protection afin de se protéger des projections accidentelles.
6. Nettoyer la surface de travail après les manipulations pour bien enlever de possibles éclaboussures. Une solution d'acide chlorhydrique pourrait être utilisée pour les dépôts récalcitrants.
7. Les restes de ciment ou de béton pourraient obstruer l'égout. Déposer le tout dans un sac de plastique et jeter à la poubelle. L'eau du rinçage final peut être évacuée par l'égout, à la condition d'utiliser un bon débit d'eau.





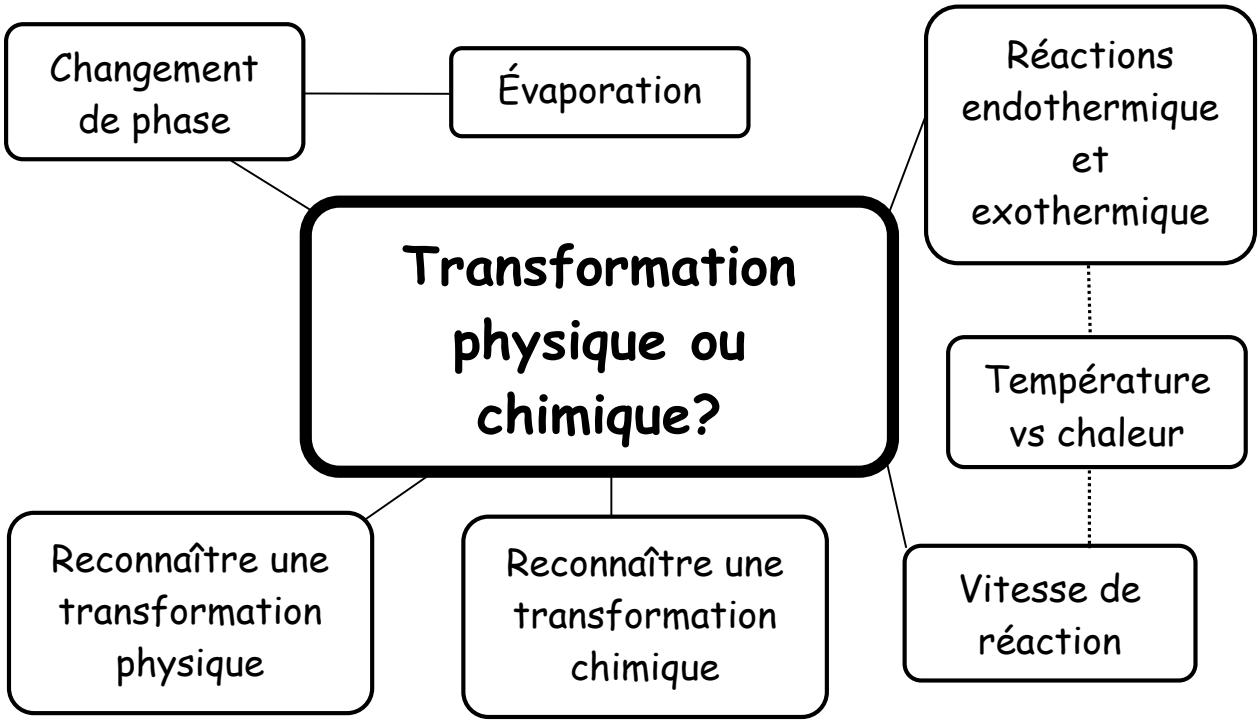

N. B. On doit s'assurer que les modifications à cette capsule ne compromettent pas la sécurité des élèves. La personne fautive devra répondre de ses choix.

Ia- Laboratoire sur le durcissement du ciment

Question : Est-ce que le durcissement du ciment est dû à une simple déshydratation ou à une réaction chimique?

Prouvez-le expérimentalement.

Carte d'exploration



But et hypothèse justifiée

Élaborer le plan d'action (protocole)

Matériel

- 100 mL de ciment à prise rapide
- 2 verres en polystyrène expansé
- 1 thermomètre à l'alcool
- 50 mL d'eau
- 1 spatule métallique
- 1 éprouvette de plastique jetable

Schéma

Manipulations

Exécuter le protocole, recueillir les données ou les observations.

Analyser les résultats (Traitement des données (calculs et graphiques), conclusion et discussion)

Ib- Questionnaire sur le durcissement du ciment

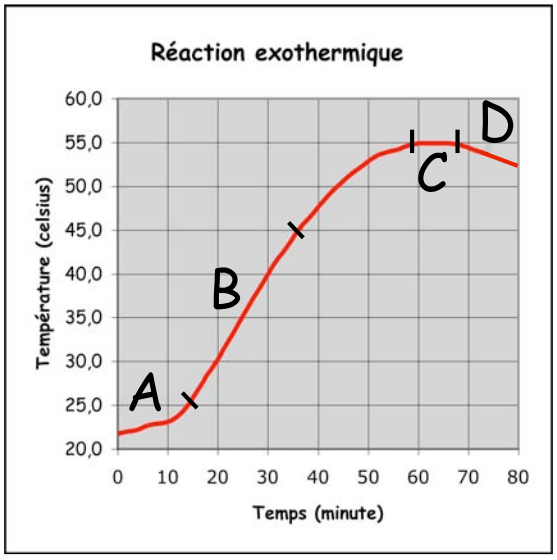
Question 1
Le durcissement du ciment est-il une transformation physique ou chimique? Pourquoi?

Question 2
Puisque la réaction est amorcée par l'ajout d'eau au ciment, selon vous, est-il préférable de garder le ciment humide durant la transformation ou de favoriser sa déshydratation? Pourquoi?

Question 3
Quelle distinction pouvez-vous faire entre chaleur et température?

Question 4
Le graphique ci-contre illustre la variation de température durant une réaction chimique exothermique. **Quelles parties de la courbe correspondent aux situations suivantes (associations)?**

(La réaction libère moins de chaleur que de chaleur perdue dans l'environnement.) ( )
(La réaction libère de la chaleur à un rythme constant.) ( )
(La réaction libère autant de chaleur que de chaleur perdue dans l'environnement.) ( )
(La réaction commence à libérer de la chaleur.) ( )



Question 5

Quel peut être l'effet d'une trop haute température sur le durcissement du ciment? (Indice : Que se passera-t-il par rapport à l'eau du mélange?)

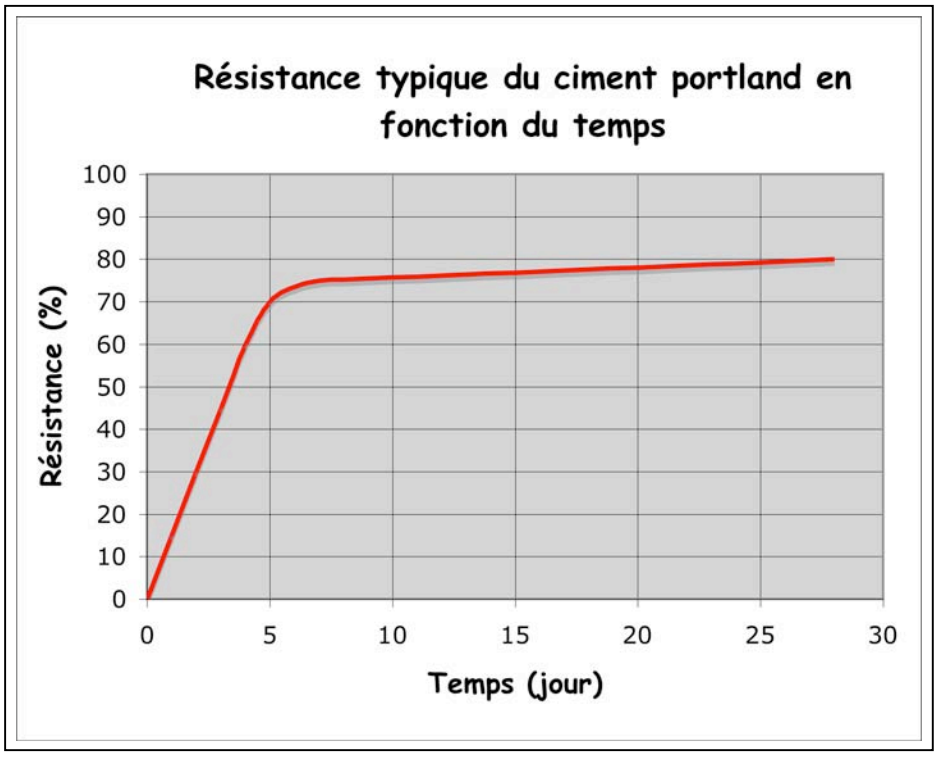
Question 6

La poudre de ciment peut être broyée plus ou moins finement. Plus les grains sont petits, plus la surface totale de tous les grains est grande. En chimie, on parle alors de surface efficace ou de surface de contact.

D'après toi, les grains de ciment doivent-ils être petits ou gros pour que la vitesse de durcissement soit rapide?

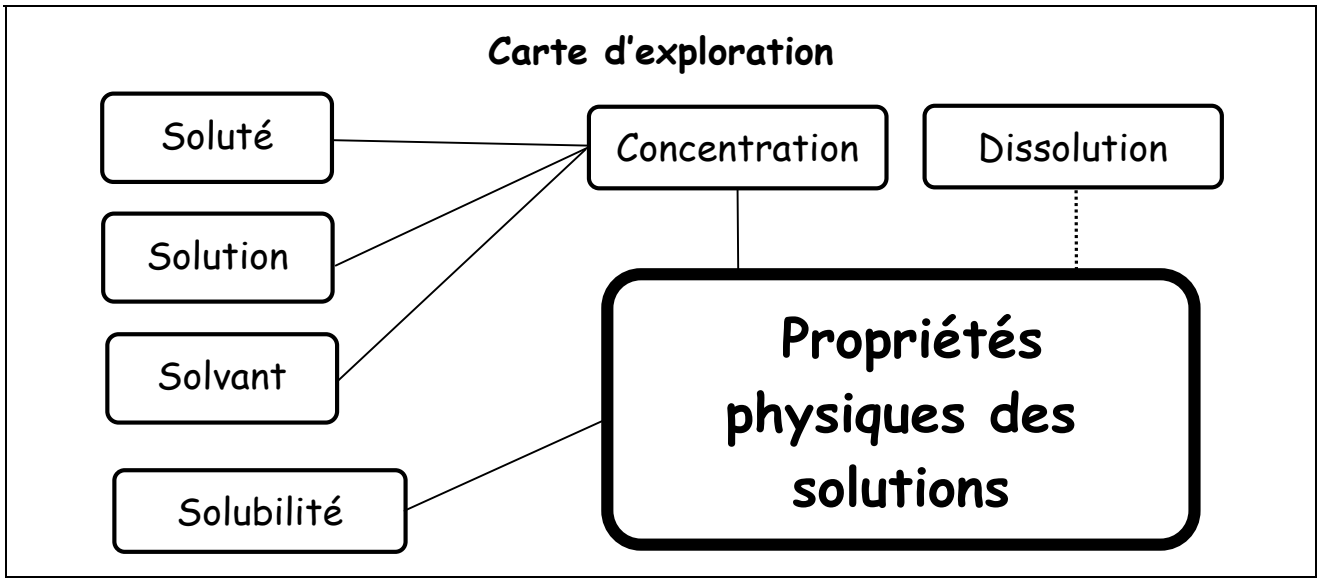
Question 7

À l'aide du graphique ci-dessous, détermine le nombre de jours nécessaires au ciment pour atteindre 75 % de sa résistance finale.



II- La composition du béton

Questions : Quelle est la différence entre ciment et béton? Quelle est la composition d'un béton à la fois solide et peu coûteux?



Pour mieux comprendre la composition du béton, nous étudierons maintenant certaines notions qui s'y rapportent.

Question 1
Dans le cas d'une solution d'eau salée, quel est le soluté?

Question 2
Dans le cas d'une solution d'eau salée, quel est le solvant?

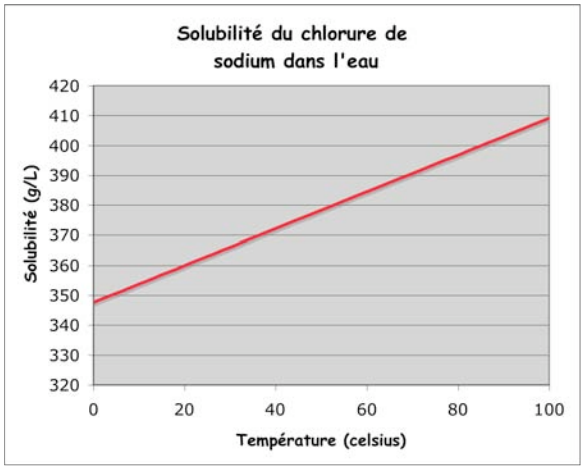
Question 3
Imaginez que les billes que contient le bécher ci-contre représentent des molécules d'eau. **Durant la dissolution du sel, où peuvent bien se loger ces nouvelles molécules?**



Question 4
À quel moment peut-on parler d'une solution saturée?

Question 5

La solubilité est la quantité maximale de soluté que l'on peut dissoudre dans un litre de solvant, à une température donnée. **À partir du graphique ci-contre, déterminer quelle est la plus grande quantité de NaCl que l'on peut dissoudre dans un litre d'eau à 20 °C?**



Question 6

Si l'on essaie de dissoudre 420 g de chlorure de sodium dans un litre d'eau à 80 °C, que se passe-t-il? Où se loge le sel?

Question 7

La réflexion associée aux six questions précédentes permettra de mieux comprendre la composition du béton. **Trouve dans le dictionnaire la différence entre ciment et béton.**

Question 8 (À vérifier expérimentalement.)

Le gravillon utilisé pour la fabrication du béton peut se comparer aux molécules d'eau dans le bécher (question 3). Des interstices séparent les morceaux de gravillon comme c'était le cas pour les molécules d'eau. Durant la fabrication du béton, tous ces interstices doivent être remplis de sable. Tu dois donc déterminer ce volume total à remplir, qu'on appelle volume interstitiel, afin d'avoir une indication sur la quantité de sable à utiliser. (Attention, le gravillon peut absorber l'eau!)

Quel est le volume interstitiel de 100 mL de gravillon?

(Pour cette mesure, l'eau peut être fort utile.)

Volume interstitiel : _____ /100 mL de gravillon

Pourcentage d'air dans ce gravillon : _____ % v/v

N. B. Le pourcentage v/v est une unité de concentration.

Question 9 (À vérifier expérimentalement.)
Le sable est aussi utilisé pour la fabrication du béton. Il peut se comparer aux molécules d'eau dans le bécher (question 3). On peut faire le même raisonnement qu'à la question précédente. Le volume interstitiel du sable doit donc être déterminé afin d'avoir une indication sur la quantité de ciment à utiliser. En effet, c'est le ciment qui devra combler tous les interstices du sable.

Quel est le volume interstitiel de 100 mL de sable?
(Pour déterminer ce volume, l'eau peut encore être fort utile.)

Volume interstitiel : _____ /100 mL de sable

Pourcentage d'air dans ce sable : _____ % v/v

Question 10
Compte tenu des deux manipulations précédentes, tu dois maintenant déterminer quelle sera la composition de ton béton. **Quelle quantité de gravillon, de sable, de ciment et d'eau utiliseras-tu pour fabriquer ton béton?** Voici quelques remarques qui t'aideront à préparer un béton très résistant :

- **les interstices du gravillon doivent être complètement remplis** de sable, de ciment et d'eau, sinon le béton sera plus faible;
- **les interstices du sable doivent être complètement remplis** de ciment et d'eau, sinon le béton sera plus faible ;
- la quantité de poudre de ciment est limitée, car son coût est relativement élevé. Il faut donc en mettre le moins possible tout en visant deux objectifs :
  - maximiser le volume de béton;
  - ne pas sacrifier la qualité du béton par un manque de liant entre les granulats;
- **le béton doit contenir le moins d'eau possible.** Une trop grande quantité d'eau éloigne les composés impliqués dans la réaction chimique de mûrissement. Au-delà d'un certain point, plus il y a d'eau, moins le béton est résistant.

Question 10 *(suite)*
Quelle quantité de gravillon, de sable, de ciment et d'eau utiliseras-tu pour fabriquer ton béton?

Utilise l'espace ci-dessous pour réfléchir à la question. Un dessin peut être fort éclairant.

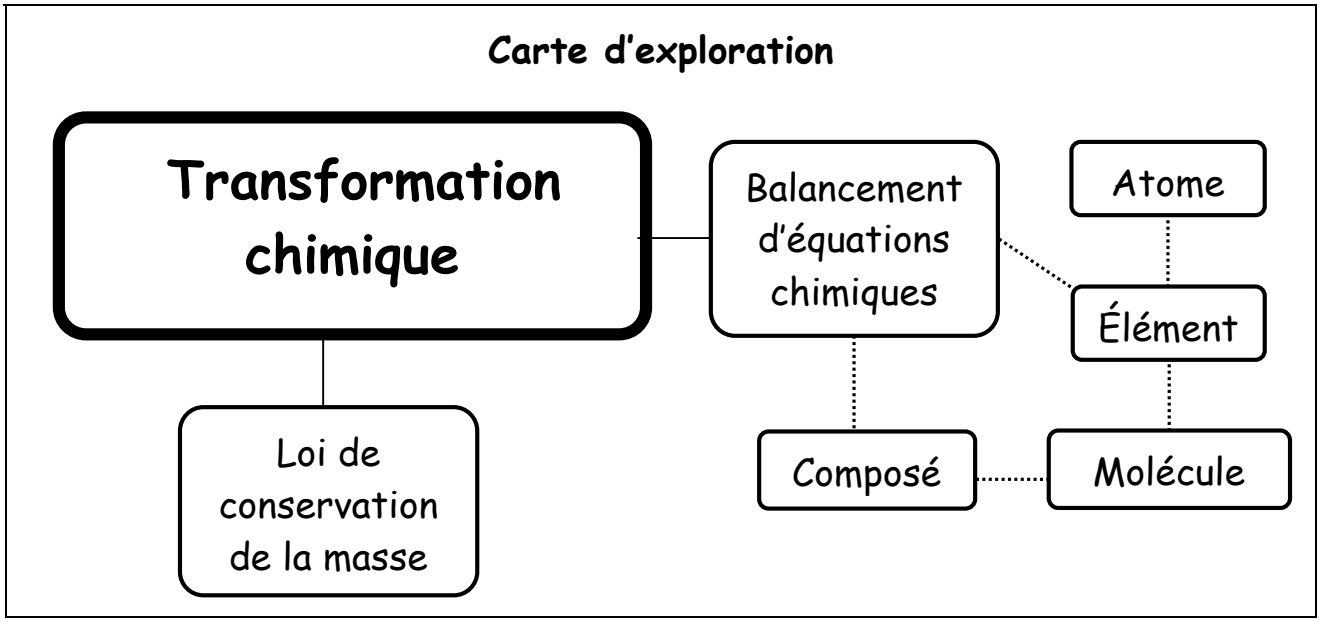
Garde en tête que :

- les interstices du gravillon doivent être complètement remplis;
- les interstices du sable doivent être complètement remplis;
- le volume du béton dit être maximisé par rapport à une quantité donnée de poudre de ciment;
- la qualité du béton ne doit pas être sacrifiée en raison d'un manque de liant entre les granulats.
- la quantité d'eau ajoutée au béton doit être minimale.

Ta recette secrète (hypothèse)	Gravillon	Sable	Ciment	Eau
Volume (mL)			150	
Rapport			1	

III- Le mûrissement du béton

Questions : Est-ce qu'il y a conservation de la masse durant le mûrissement du béton? Comment exprimer cette réalité, sur le plan atomique?



Question 1 (À vérifier expérimentalement.)
Tu dois maintenant préparer le béton pour la première fois en suivant ta recette secrète. Les quantités utilisées doivent être très petites. Le volume total de béton préparé devrait être d'environ 30 mL. (Place le béton préparé dans un contenant hermétique pour ne pas perdre d'eau par évaporation.)

Est-ce que la masse du béton change au cours du durcissement?

N. B. Observe bien la texture du béton formé : si elle n'est pas satisfaisante, tu dois ajuster ta recette.

Question 2
D'après toi, est-ce que le nombre d'atomes présents dans le béton a changé au cours du mûrissement? Pourquoi?

Question 3

Voici les principaux constituants du ciment portland. **Combien y a-t-il d'atomes de chaque sorte dans les composés suivants?**

Nom	Formule	Calcium	Oxygène	Silicium	Fer	Aluminium
L'aluminate tricalcique	$(CaO)_3Al_2O_3$ *{simplifiée}* ou $3CaO{\cdot}Al_2O_3$					
Le silicate dicalcique	$(CaO)_2SiO_2$ *{simplifiée}* ou $2CaO{\cdot}SiO_2$					
Le silicate tricalcique	$(CaO)_3SiO_2$ *{simplifiée}* ou $3CaO{\cdot}SiO_2$					
L'aluminoferrite tétracalcique	$(CaO)_4Al_2O_3Fe_2O_3$*{simplifiée}* ou $4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}\ Fe_2O_3$					

Question 4

La réaction chimique présentée ci-dessous est importante et elle se produit durant la solidification du ciment portland normal (de type 10). Cette réaction entraîne la formation de cristaux qui donneront au béton sa résistance mécanique. Le nombre d'atomes de chaque sorte est cependant différent de part et d'autre de l'équation. L'expression bien connue « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » n'est donc pas vérifiée. **Trouve les coefficients devant chacun des termes de façon à balancer l'équation.**

	Réactifs	Produits
	☐ $(CaO)_3Al_2O_3$ + ☐ H_2O ⟶	☐ $Ca_3Al_2O_6(H_2O)_6$
O		
H		
Ca		
Al		

Question 5

Voici une deuxième réaction chimique qui entraîne la formation de cristaux responsables de la solidité du béton. Le nombre d'atomes de chaque sorte est cependant différent de part et d'autre de l'équation. **Trouve les coefficients devant chacun des termes de façon à balancer l'équation.**

	Réactifs	Produits
	☐ $(CaO)_2SiO_2$ + ☐ H_2O ⟶	☐ $Ca_3Si_2O_7(H_2O)_3$ + ☐ $Ca(OH)_2$
O		
H		
Ca		
Si		

Question 6

Cette troisième réaction chimique se produit aussi durant la solidification du béton. Elle entraîne également la formation de cristaux. **Balance cette équation.**

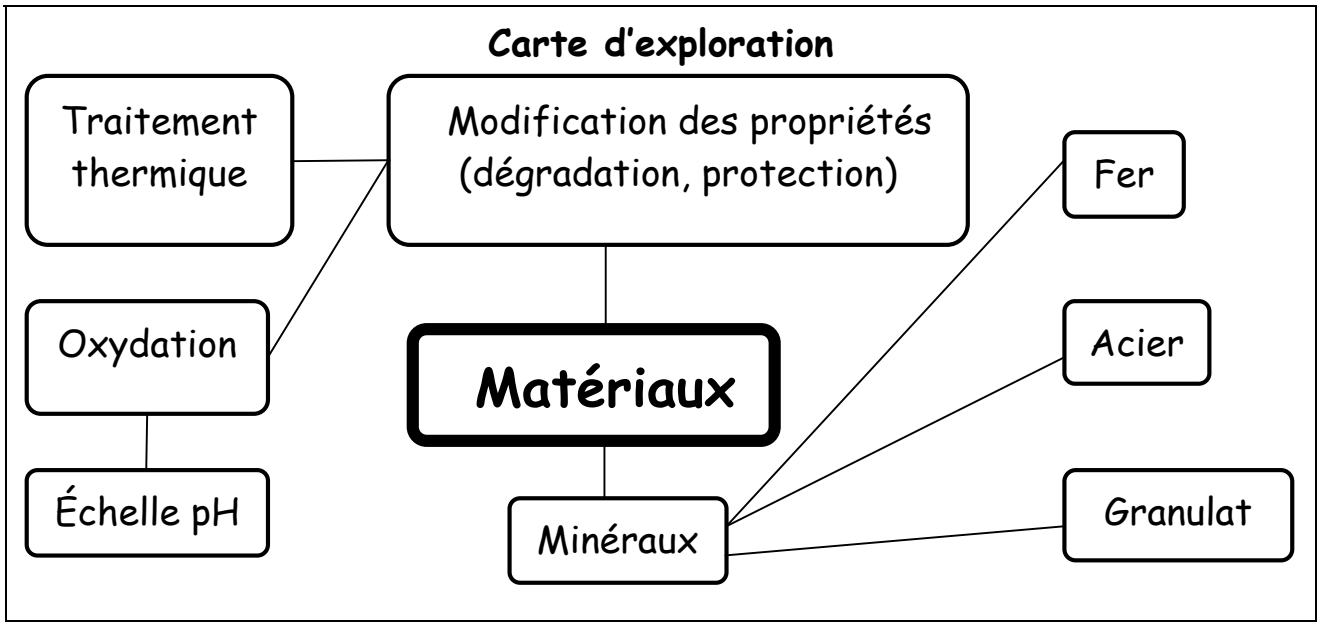
	Réactifs	Produits
	☐ $(CaO)_3SiO_2$ + ☐ H_2O ⟶	☐ $Ca_3Si_2O_7(H_2O)_3$ + ☐ $Ca(OH)_2$
O		
H		
Ca		
Si		

Question 7

En observant les trois réactions précédentes, est-il préférable de garder le béton humide durant le mûrissement? Pourquoi?

IV- Le béton comme matériau

Questions : Quel est le pH du béton? Quel est l'effet chimique du béton sur les armatures d'acier? Quel type de granulat faut-il éviter?



Question 1 (À vérifier expérimentalement.)
Prépare de nouveau une petite quantité de béton en suivant ta recette, celle-ci pouvant être ajustée en fonction des résultats obtenus la première fois. Le volume total du béton préparé devrait être d'environ 30 mL. Verse le béton dans un contenant hermétique pour ne pas perdre d'eau par évaporation. (Utilise le papier tournesol afin de déterminer le caractère acide, basique ou neutre du béton.)
Le béton est-il acide, basique ou neutre?

Question 2 (À vérifier expérimentalement.)
Détermine le pH approximatif du même échantillon de béton, à l'aide du papier indicateur universel?

Question 3
Observe, dans la section précédente, les équations chimiques des principales réactions qui se produisent durant la solidification du béton.
Quelle substance pourrait être responsable d'un tel pH? Pourquoi?

Question 4

L'oxydation des métaux est un phénomène important. Voici trois équations chimiques qui représentent cette réaction.

$$2Cu + O_2 \rightarrow 2CuO$$
$$4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3$$
$$4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$$

a) **Avec quelle substance ces métaux réagissent-ils?** _____

b) **Comment se nomment les produits formés?** _____

c) **Est-ce que les métaux gagnent ou perdent des électrons?** _____

d) **Quelle substance atmosphérique peut favoriser la mobilité des électrons?**

Question 5

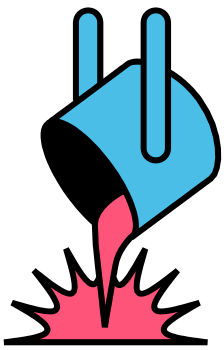
Comme les armatures d'acier enfouies dans le béton contiennent énormément de fer, elles peuvent aussi s'oxyder. Certains facteurs peuvent accélérer le processus de formation de la rouille. **D'après toi, de quelle façon le pH influence-t-il la vitesse de corrosion?**

Question 6

Compte tenu du pH que tu as mesuré dans le béton, crois-tu nécessaire de protéger les armatures avant de les enrober de béton? Pourquoi?

Question 7

Quelle est la différence entre le fer et l'acier du point de vue de leur composition?



Question 8

Un traitement thermique est utilisé, dans l'industrie, lors de la préparation de l'acier. Autrefois, les forgerons utilisaient aussi la «**trempe**» pour traiter le fer des lames des épées. **À quoi peut bien servir un tel traitement thermique ?**

Question 9

Pourquoi utilise-t-on l'acier plutôt que le fer comme armature dans le béton?

Question 10

Vous savez reconnaître l'oxyde de fer sur la surface d'une automobile. En raison de sa couleur brun rouge, il ne passe pas inaperçu.

Qu'arrive-t-il au volume d'une pièce d'acier lorsqu'elle s'oxyde? Pourquoi?



Question 11

Si l'on tient compte des constats précédents, que se passera-t-il si les armatures ne sont pas convenablement enfouies dans le béton?

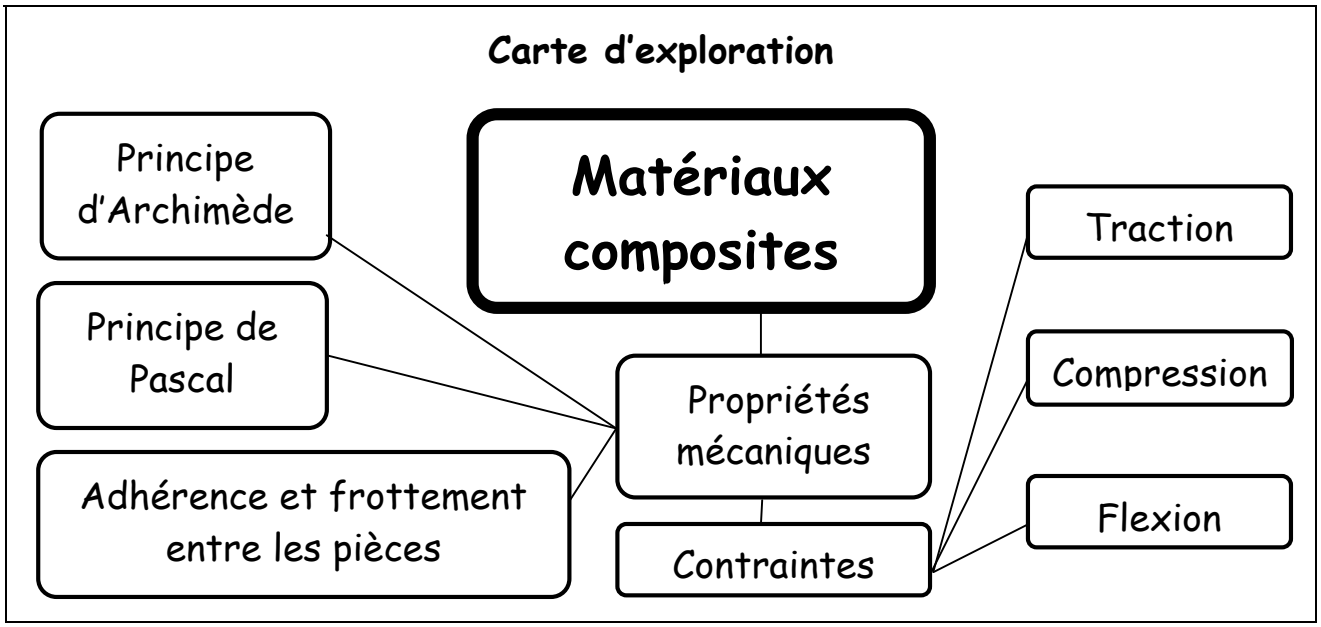
Question 12

Le choix du sable et du gravillon contenus dans le béton est aussi important. En effet, des réactions chimiques peuvent se produire entre le ciment portland et les granulats si ceux-ci contiennent, entre autres, des sulfates ou des alcalis. À titre d'information, la présence de pyrite (FeS_2) dans le sol a fait les manchettes ces dernières années dans la grande région de Montréal.

Quel est l'effet néfaste de telles substances dans le béton?

V- La mécanique du béton

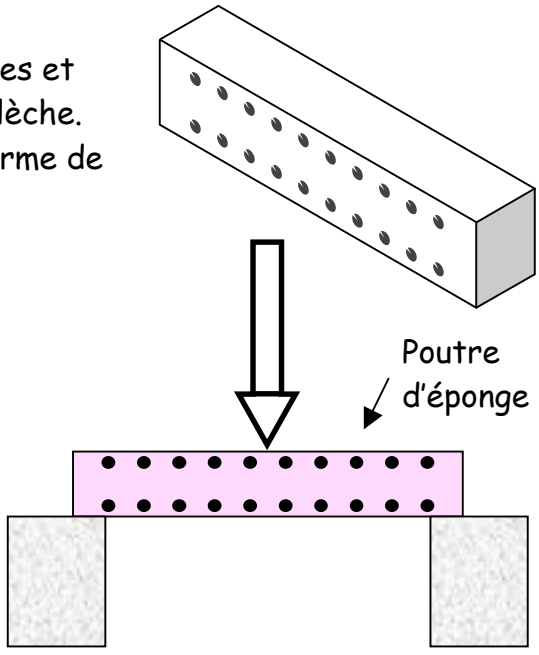
Questions : Comment doit-on bâtir les coffrages? Quelles configurations doit-on donner aux armatures dans une poutre? Où doit-on armer le béton?



Question 1 (À vérifier expérimentalement.)

La simulation suivante nous permettra d'observer ce qui se passe à l'intérieur des poutres d'un viaduc. Nous découvrirons ainsi les forces en présence à l'intérieur d'une poutre sur laquelle on dépose un poids. Pour ce faire, nous utiliserons une éponge taillée en forme de poutre et sur laquelle plusieurs points sont marqués. Plaçons maintenant cette poutre de mousse entre deux tables et appuyons en son centre dans le sens indiqué par la flèche. Cette force provoque une **flexion** de la poutre en forme de « U ».





Que remarques-tu dans le haut de la poutre?

_____

Question 2

Que remarques-tu dans le bas de la poutre?

_____

Question 3



Un objet est en compression lorsqu'il est écrasé, par exemple un ballon d'exercice sur lequel on s'assoit.

La force de compression se manifeste-t-elle dans la section supérieure ou inférieure de la poutre?

Question 4



Un objet est en traction lorsqu'il est étiré, par exemple l'élastique d'un lance-pierre juste avant de le relâcher.

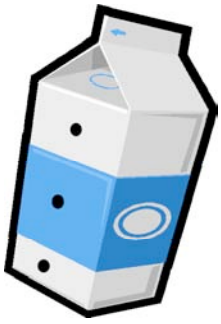
La force de traction se manifeste-t-elle dans la section supérieure ou inférieure de la poutre?

Question 5

Le béton résiste très bien aux forces de compression. Elles s'exercent par exemple à l'intérieur des colonnes d'un stationnement à étages. Cependant, le béton résiste très mal aux forces de traction. En effet, la résistance du béton en compression est au moins huit fois plus grande qu'en traction. Le béton soumis à des forces de traction doit être renforcé d'armatures d'acier.

Dans quelle section de la poutre devait-on ajouter une armature d'acier? Pourquoi?

Question 6 (À vérifier expérimentalement.)



Le béton doit être coulé dans des moules appelés « coffrages ». Lors de la fabrication de coffrages, il faut tenir compte du principe de Pascal[1]. En effet, le béton étant un fluide, il se comporte comme l'eau. Pour découvrir ce principe, prends un carton de lait et perce trois petits trous à différentes hauteurs (voir les petits points sur l'illustration ci-contre). Remplis le carton d'eau et observe ce qui se passe. Attention aux dégâts!

Quel trou laisse échapper le plus d'eau?

---

[1] Dans un liquide en équilibre et de masse volumique uniforme, la pression est la même en tout point du liquide et cela aussi longtemps que ces points sont à la même profondeur.

Question 7
À quelle hauteur la pression semble-t-elle la plus importante?

Question 8
Quelle est la cause de cette forte pression?

Question 9
À quel endroit les coffrages remplis de béton doivent-ils être les plus robustes?

Question 10
Comment peut-on contourner le problème associé au principe de Pascal lors de la construction de murs de plusieurs étages en béton?

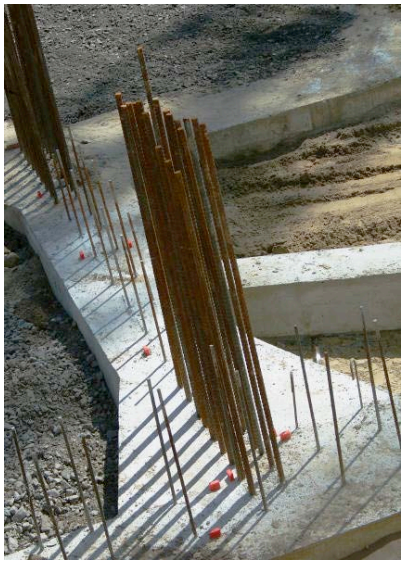
Question 11



Maintenant que nous avons réfléchi sur la fabrication des coffrages, attardons-nous quelque peu sur les armatures. Le matériau le plus couramment utilisé pour armer le béton est l'acier. Certains plastiques comme le polypropylène peuvent, à certaines conditions, entrer dans la composition du béton. Mais l'acier est sans contredit un champion dans ce domaine. **D'après vous, pourquoi trouve-t-on de petites stries à la surface des tiges d'acier?**

Question 12

Tout comme le fer, l'acier a tendance à s'oxyder lorsqu'il est soumis aux intempéries. Sur le chantier, des armatures laissées à la pluie rouillent très rapidement.
À votre avis, pourquoi les travailleurs laissent-ils souvent les armatures rouiller sur place avant de les utiliser?



Question 13

La qualité d'un béton est aussi liée à l'adhérence entre les granulats qui le composent. Le sable ou les gravillons peuvent être contaminés par des résidus organiques (végétaux ou animaux) de toutes sortes. La « charge organique » indique la quantité de substances organiques entre les granulats. Comme la solidité de ces substances est très faible, il faut viser la plus petite charge possible entre chacun des grains de sable et des gravillons.
Que peut-on faire pour diminuer le plus possible la charge organique entre les granulats?

Question 14

Finalement, le principe d'Archimède doit être pris en compte pour la fabrication d'ouvrages en béton. En effet, la masse volumique de certains granulats peut être fort différente de celle du béton. Des plastiques comme le polystyrène et le polypropylène peuvent entrer dans la composition du béton. Même lorsqu'il est temps de positionner les armatures dans les coffrages, il faut tenir compte de ce fameux principe.
Énoncer le principe d'Archimède (voir la définition dans le dictionnaire).

Question 15

Supposons un béton dont la masse volumique est de 2,6 g/cm^3. Que se passera-t-il si l'on y ajoute des granulats dont la masse volumique est de 2,1 g/cm^3?

Question 16

Quelle sera la réaction des bulles d'air emprisonnées dans le mélange?

Question 17

Quel sera l'effet des bulles d'air emprisonnées juste sous les barres d'armature d'acier? Comment l'adhérence entre le béton et la barre en sera-t-elle affectée?

Question 18

***À* quelle profondeur un bateau s'enfoncera-t-il dans l'eau?**



Question 19

La masse volumique d'un béton est de 2,6 g/cm^3. Que se passera-t-il si l'on y insère des armatures d'acier dont la masse volumique est de 7,8 g/cm^3?

Question 20

Que peut-on faire pour s'assurer que les armatures restent positionnées aux endroits voulus, c'est-à-dire là où les forces de traction se font sentir?

Question 21

Que peut-on faire pour s'assurer que le béton enrobe parfaitement les armatures et le coffrage et qu'aucune bulle d'air n'est emprisonnée sous les armatures?

Question 22 (Petits calculs pour bien comprendre.)
Tu dois transporter un lingot d'or dont les dimensions sont les suivantes : 20 cm x 10 cm x 5 cm.
La masse volumique de l'or est de 19,3 g/cm^3.



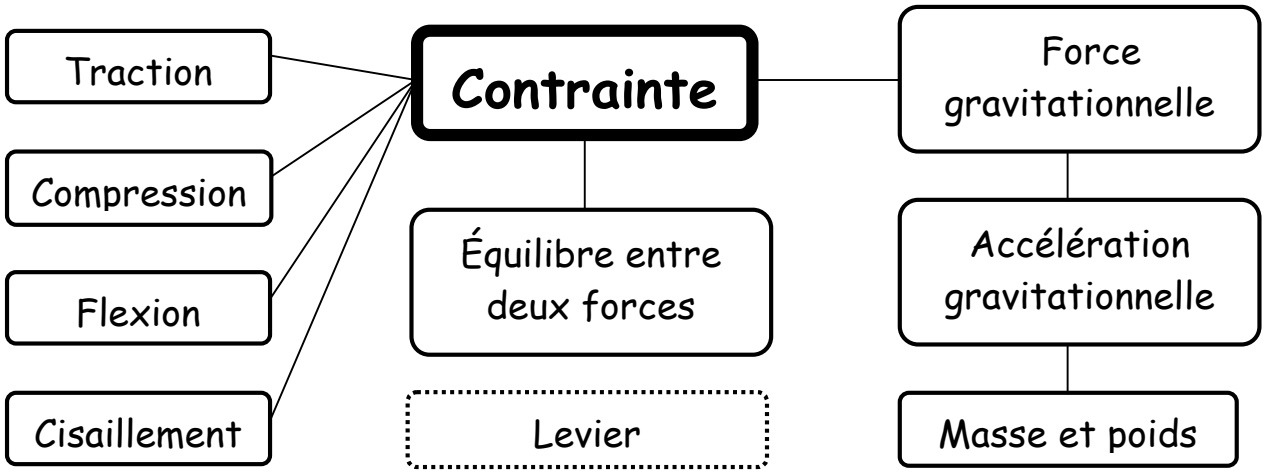
Quelle est la masse de ce lingot?

Quelle est la masse de ce lingot dans l'eau? (Masse volumique de l'eau = 1 g/cm^3)

VI- La mécanique de la poutre

Questions : Comment agissent les forces lorsque la poutre est soumise à l'attraction gravitationnelle? De quelle façon la poutre se brisera-t-elle lorsqu'elle sera soumise à une charge importante en son centre?

Carte d'exploration



Question 1
Quelle distinction peux-tu faire entre la masse et le poids?

Question 2
Quelle est la deuxième loi de Newton? Par quelle équation peut-on l'exprimer? Quelles unités de mesure doivent être utilisées?

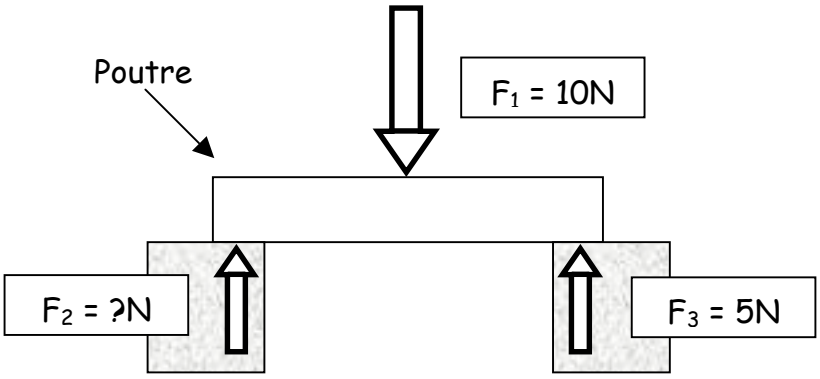
Question 3

Quelle est la grandeur de la force gravitationnelle subie par une pomme de 200 grammes?

N. B. La pomme est ici, sur Terre. Ta réponse doit être donnée en Newton (N).

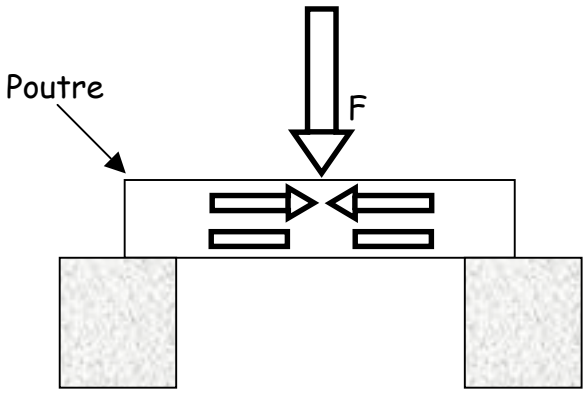
Question 4

Les extrémités de la poutre ci-contre sont déposées sur deux tables, la poutre étant immobile. Les forces agissant sur elle devraient toutes s'annuler puisqu'il n'y a pas de mouvement. **Si la force de 10 N est appliquée en son centre, quelle est la grandeur de la force manquante? Prouve-le à l'aide d'un calcul.**



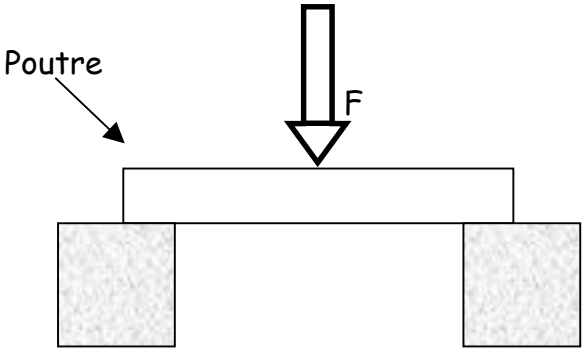
Question 5

Lorsqu'on appuie sur la poutre, une flexion imperceptible à l'œil se produit. Des contraintes de compression et de traction apparaissent alors dans la poutre. Ces contraintes devraient s'annuler tant que celle-ci tient le coup. **Complète la double flèche de façon à bien décrire la force de traction qui s'exerce au bas de la poutre.**



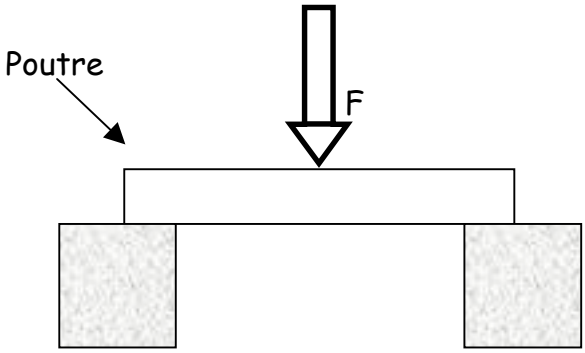
Question 6

Quelle forme prendrait le bris si une trop grande contrainte de compression agissait à l'intérieur de la poutre? Illustre et décris ce bris.



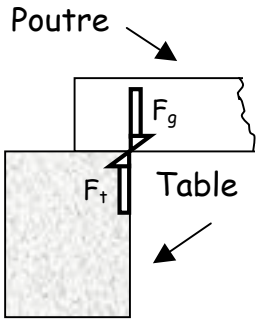
Question 7

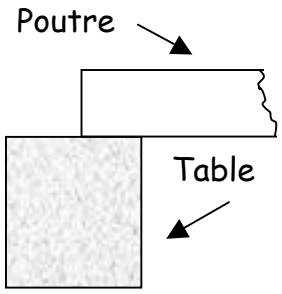
Quelle forme prendrait le bris si une trop grande contrainte de traction agissait à l'intérieur de la poutre? Illustre et décris ce bris.



Question 8

Lors de l'effondrement du viaduc de la Concorde, à Laval, le 30 septembre 2006, un autre type de contrainte a été pointé du doigt : le cisaillement. Il apparaît dans les bouts de la poutre (voir le dessin ci-contre). Dans le cas de notre poutre maison, cette contrainte fait son apparition vis-à-vis le coin de la table. Elle est le résultat de deux forces qui s'opposent, la force de gravité (F_g) et la force de réaction de la table (F_t). Ceci est en accord avec la troisième loi de Newton. Ces deux forces sont très semblables à celles qui se trouvent entre les deux lames d'une paire de ciseaux. C'est pour cette raison que l'on utilise le mot « cisaillement » pour décrire cette contrainte.





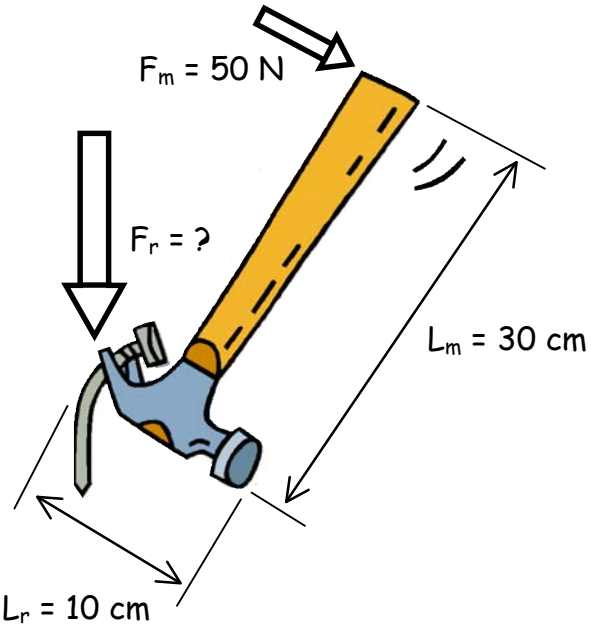
Quelle forme prendrait le bris si une trop grande contrainte de cisaillement régnait à une extrémité de la poutre? Illustre le bris sur le dessin de gauche.

Question 9

Pour bien comprendre ce qui se passe à l'intérieur d'une poutre, il faut utiliser un dernier concept. Au premier cycle du secondaire, lors de l'étude des machines simples, tu as probablement vu le principe du levier, soit :

a) F_m, la force motrice;
b) F_r, la force de résistance;
c) L_m, la longueur motrice;
d) L_r, la longueur de résistance.

L'avantage mécanique (A_m) indique de quelle façon la force appliquée est augmentée par le levier (marteau). Les deux équations suivantes permettent de calculer l'avantage mécanique d'un levier :



$A_m = L_m / L_r$ $\quad$ $A_m = F_r / F_m$

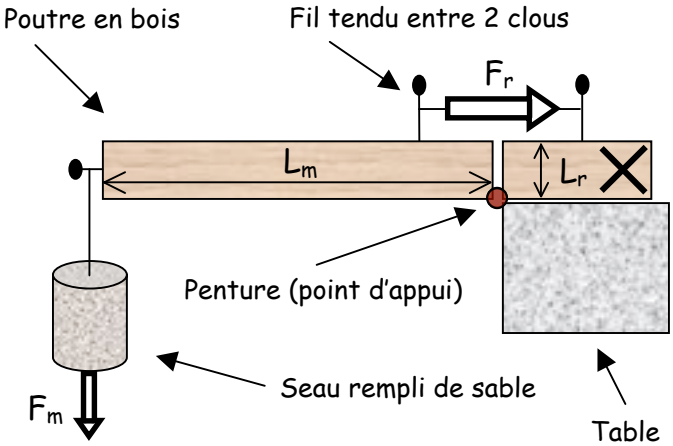
a) **Calculer l'avantage mécanique de ce marteau à l'aide des longueurs données.**

b) **Expliquer ce que signifie la réponse précédente.**

c) **Isoler F_r dans la deuxième équation et trouver la force nécessaire pour arracher le clou (F_r).**

Question 10

Appliquons maintenant le principe du levier à l'étude de notre poutre. En laboratoire, le montage suivant permet de valider l'influence de la hauteur de la poutre sur la résistance des armatures. Imaginons deux demi-poutres de bois unies par une penture. La demi-poutre de droite est fixée à la table à l'aide d'un étau. On suspend un seau rempli de sable à l'extrémité libre de façon à engendrer une force assez grande pour briser le fil tendu entre les deux clous. Ce fil tendu représente une broche d'armature habituellement utilisée pour renforcer le béton. Comparons maintenant deux poutres de hauteurs différentes.



Soit : L_m = 30 cm L_r = 5 cm F_m = ? N F_r = 120 N	Soit : L_m = 30 cm L_r = 3 cm F_m = ? N F_r = 120 N
a) Trouver l'avantage mécanique à l'aide des longueurs du levier.	**d) Trouver l'avantage mécanique à l'aide des longueurs du levier.**
b) Quelle sera la force motrice (F_m) nécessaire pour briser le fil, sachant que ce fil d'acier peut supporter une force de 120 N?	**e) Quelle sera la force motrice (F_m) nécessaire pour briser le fil, sachant que ce fil d'acier peut supporter une force de 120 N?**
c) *À* quelle masse correspond la force motrice trouvée précédemment?	**f) *À* quelle masse correspond la force motrice trouvée précédemment?**

Question 10 *(suite)*

d) Quelle poutre permet de supporter la plus grande masse?



e) Il est possible de changer l'avantage mécanique d'un marteau en modifiant la longueur de son manche. **Dans ce contexte, quel devrait être l'avantage mécanique d'un marteau performant (grand ou petit)?**

f) Quel devrait être l'avantage mécanique d'une poutre performante (grand ou petit)?

g) À quelle hauteur devrait se situer l'armature pour que ta poutre soit la plus solide possible?

N. B. Dans le cas de notre poutre, la masse qu'elle peut supporter est plus grande. En effet, comme elle est soutenue des deux côtés, la charge qu'elle peut porter est deux fois plus importante. Les masses trouvées en réponse à la question 10 devraient donc être multipliées par un facteur 2.



Cerner le mandat à la suite des activités d'apprentissage

Que devez-vous faire pour répondre à ce mandat?
(Voir le cahier des charges en page 4)



Conception de la poutre

Cette section doit mentionner tous les détails de la poutre et de ses armatures.

1. Les dessins techniques à l'échelle 1 :3 et deux vues (de face et de dessus). Toutes les cotes de formes et de positions.
2. La recette de béton utilisée (quantités de ciment, de sable, de granulat et d'eau).
3. La date de coulée et le temps de mûrissement.
4. L'environnement durant le mûrissement (température, humidité etc.).
5. La masse de la poutre sans les coffrages.
6. La masse supportée par la poutre et le facteur de résistance révélés par le test.

Complètez la page suivante en prenant soin de donner les informations demandées ci-dessus.

Dessins de la poutre avec ses armatures

Vue de dessus en coupe

Vue de face en coupe

ÉCHELLE DU DESSIN 1 : 3

Données sur la poutre

Noms des coéquipiers : **N° du groupe :**

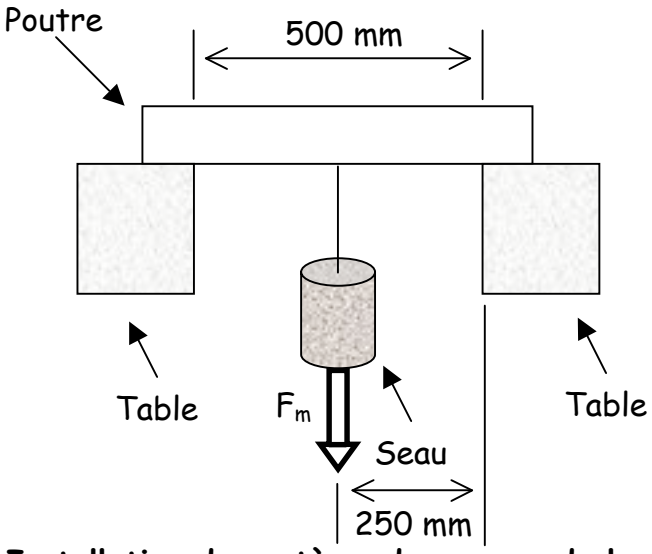
Recette du béton Volume ciment (mL) : Volume gravillon :

Volume sable (mL) : Volume eau (mL) :

Date de coulée : / / Temps de mûrissement : Humidité ambiante :

Masse de la poutre : Masse supportée par la poutre : Facteur de résistance :

Mise à l'essai et analyse de la poutre

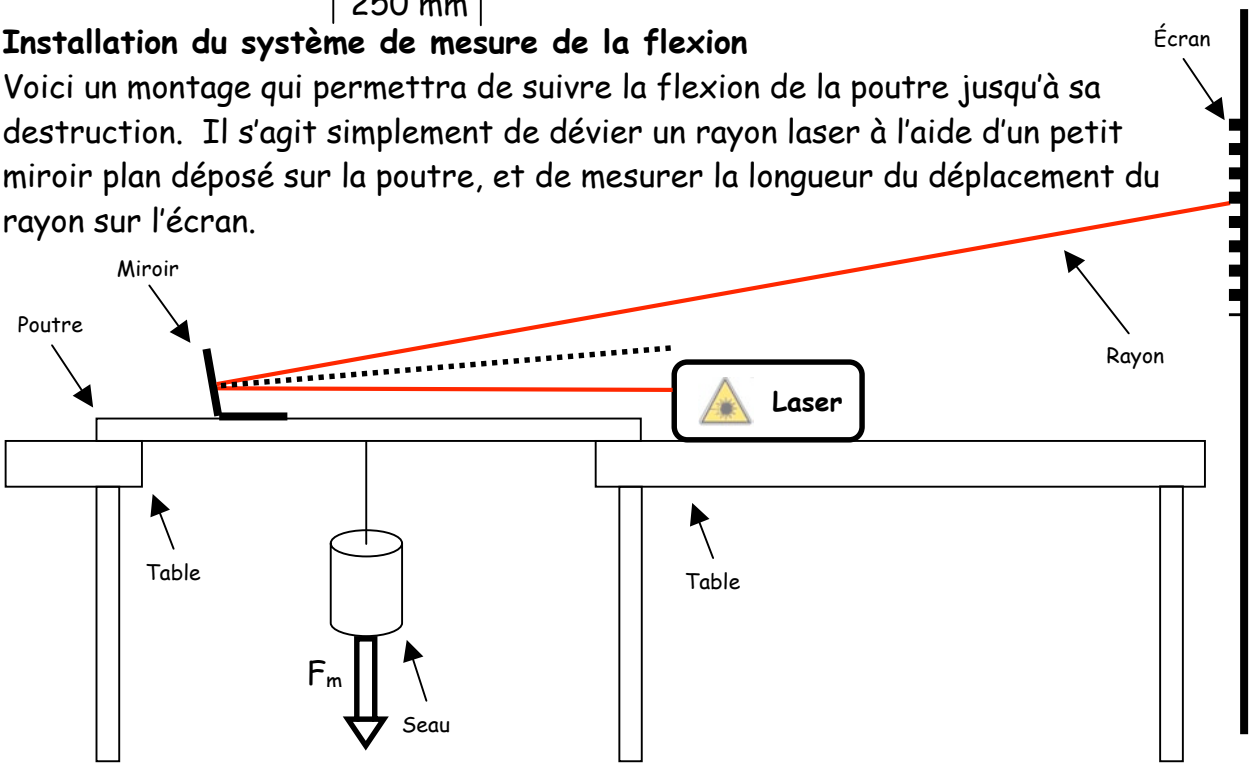


Installation de la poutre

Voici le déroulement du test destructif. La poutre devra être déposée entre deux tables de façon que sa portée libre soit de 500 mm (voir le dessin ci-contre). Il faut s'assurer que celle-ci reste bien en position verticale et qu'elle ne pivote pas au cours du test. Un seau vide est suspendu à la poutre, juste en son centre, à l'aide d'une chaîne (à 250 mm de l'une des tables).

Installation du système de mesure de la flexion

Voici un montage qui permettra de suivre la flexion de la poutre jusqu'à sa destruction. Il s'agit simplement de dévier un rayon laser à l'aide d'un petit miroir plan déposé sur la poutre, et de mesurer la longueur du déplacement du rayon sur l'écran.



Puisque le mouvement de flexion est essentiellement vertical, au centre de la poutre, le miroir doit être placé au quart de la portée.

Exécution du test

Il s'agit maintenant d'ajouter du sable dans le seau jusqu'à ce que la poutre cède. Il faut ensuite trouver la masse du sable et du seau pour calculer le facteur de résistance en divisant la masse supportée par la masse de la poutre. **Il faut noter qu'une flexion au centre plus grande que 60 mm entraîne une disqualification.**



Commission d'enquête sur l'effondrement de votre poutre
(Analyse des résultats et améliorations de la poutre)

Explique, de la façon la plus détaillée possible, les causes de l'effondrement. Pour ce faire, tu dois t'appuyer sur des principes scientifiques et technologiques. Finalement, quelles améliorations pourrais-tu apporter à ta poutre pour la rendre plus performante?

Ton explication pourrait faire appel aux termes suivants : contrainte, flexion, traction, compression, cisaillement, adhérence, force, mûrissement, charge, résistance, composition, durcissement, hydratation, armature, granulat et levier.