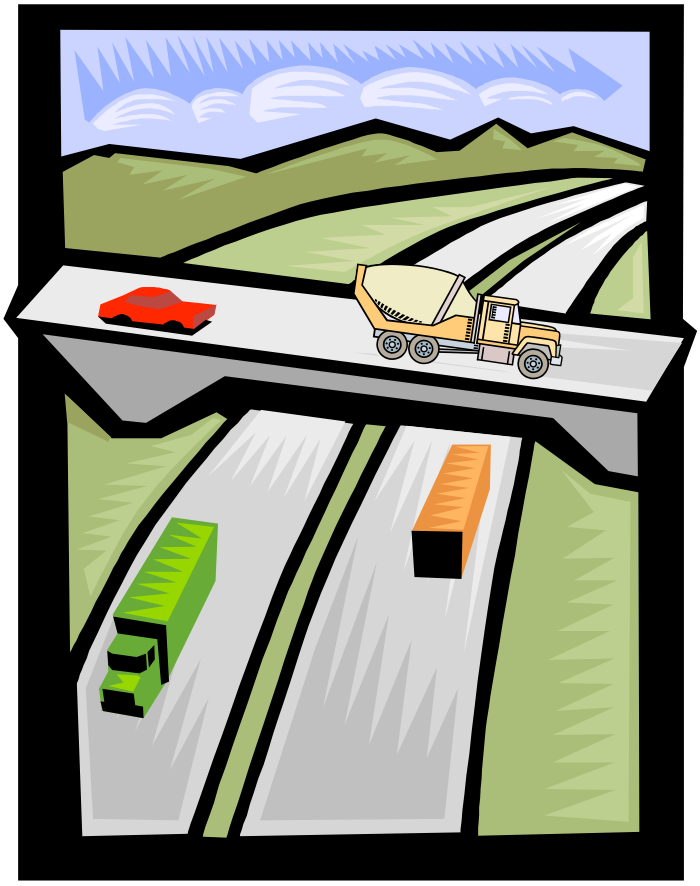
centre de développement pédagogique
pour la formation générale en science et technologie

Document de travail



LE BÉTON

GUIDE DU MAÎTRE

Juin 2008

Table des matières

Capsules de sécurité 3

Introduction 4

Mandat de l'élève proposé au personnel enseignant 5

Ia- Laboratoire sur le durcissement du ciment 6

Ib- Questionnaire sur le durcissement du ciment 6

II- La composition du béton 8

III- Le mûrissement du béton 12

IV- Le béton comme matériau 14

V- La mécanique du béton 16

VI- La mécanique de la poutre 19

Conception de la poutre 24

Fabrication de la poutre 26

Mise à l'essai de la poutre (test destructif de résistance) 27

Commission d'enquête sur l'effondrement de votre poutre 28

Fournisseurs suggérés 28

Matériel suggéré pour chaque équipe 29

Webographie 32

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 avec la douche oculaire installée dans la classe.
4. Porter un masque antipoussière si des particules de ciment sont 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.

Introduction

1. Comme préalable à la lecture du présent guide, nous vous invitons à lire le canevas de cette tâche *« beton_canevas_ATS.pdf »* et le cahier de l'élève *« beton_eleve_ATS.pdf ».* Le canevas permettra de mieux situer cette activité à l'intérieur du programme.
2. La poutre qui est au cœur de cette SAE est facile à fabriquer et donne l'occasion de toucher une quantité surprenante de concepts. En effet, l'élève sera amené, entre autres, à équilibrer des équations chimiques, à étudier différentes contraintes mécaniques ainsi qu'à calculer des forces et des avantages mécaniques.
3. Huit périodes sont prévues pour cette activité :
    - Période 1 : Mise en situation et mandat
    - Période 2 : Activités d'apprentissage I et II
    - Période 3 : Activités d'apprentissage III et IV
    - Période 4 : Activités d'apprentissage V et VI
    - Période 5 : Activité d'apprentissage VII et conception de la poutre
    - Période 6 : Fabrication des coffrages et coulée du béton
    - Période 7 : Mise à l'essai des poutres
    - Période 8 : Commission d'enquête et améliorations
4. Cette SAE pourrait être abordée en équipe de deux élèves.

Vidéo intéressante

La vidéo suivante peut être utilisée pour présenter plusieurs emplois touchant les structures en béton armé. Elle montre aussi des techniques de pointe utilisées pour l'inspection et la réfection d'ouvrages existants.

http://www.radio-canada.ca/audio-video/pop.shtml#urlMedia%3D/Medianet/2007/CBFT/Decouverte200710141830_1.asx

Mandat de l'élève proposé au personnel enseignant



Les élèves devraient :

- **cerner le problème en fonction du cahier des charges;**
- **s'approprier les concepts touchés par la fabrication d'un ouvrage en béton;**
  (Les élèves doivent former des équipes de deux personnes et se réunir pour compléter les activités d'apprentissage).
- **préciser leur mandat à la suite des activités d'apprentissage;**
- **concevoir et fabriquer une poutre en respectant le cahier des charges relativement :**
  a) à sa conception (dessins de la poutre avec ses armatures);
  b) à la fabrication des coffrages à l'aide d'une gamme de fabrication;
  c) à l'installation des armatures;
  d) à la coulée de béton;
  e) à la supervision du mûrissement;
- **procéder à la mise à l'essai des poutres (test destructif de résistance);**
- **instituer une commission d'enquête sur l'effondrement (analyse des résultats et améliorations suggérées).**

Ia- Laboratoire sur le durcissement du ciment



Au cours de cette manipulation simple, l'élève devrait découvrir qu'il y a dégagement de chaleur durant le mûrissement du ciment et du béton. Le mûrissement du béton est donc une réaction chimique.
Un calorimètre jetable en polystyrène expansé peut être utilisé (voir les photos ci-jointes). Une éprouvette jetable en plastique, partiellement remplie d'eau peut être enfouie dans le béton. Un thermomètre plongé dans cette eau détectera les variations de température et sera protégé de la compression du béton due à son retrait.



On doit, pour cette manipulation, utiliser un ciment de nivellement à prise rapide (15 à 45 minutes). L'élévation de température sera donc plus évidente qu'avec un ciment conventionnel de type 10.
Le graphique de la question 4 de la section suivante a été tracé à partir de cette expérimentation (voir le cahier de l'élève).

Ib- Questionnaire sur le durcissement du ciment

Question 1 *Une transformation chimique puisqu'il y a dégagement de chaleur.*

Question 2
Comme c'est l'eau qui a amorcé la réaction chimique, il est très probable qu'elle joue un rôle jusqu'à la fin du durcissement du ciment. Il serait donc préférable de garder le ciment humide.

Question 3
La chaleur est une énergie thermique.
La température est une mesure du degré d'agitation des particules.
Si l'on donne la même quantité de chaleur à deux objets, leur température ne s'élèvera probablement pas de la même façon. La masse et la chaleur massique des objets doivent être prises en considération.

Question 4

(La réaction libère moins de chaleur que de chaleur perdue dans l'environnement.) (D)

(La réaction libère de la chaleur à un rythme constant.) (B)

(La réaction libère autant de chaleur que de chaleur perdue dans l'environnement.) (C)

(La réaction commence à libérer de la chaleur.) (A)

Question 5

Le ciment se déshydrate et la réaction chimique de mûrissement s'arrête. Sa résistance en sera grandement affectée.

Question 6

Le durcissement sera accéléré si les grains sont petits. La réaction chimique s'effectue lorsque les réactifs entrent en contact. Par exemple, en cassant un grain en deux, on crée deux nouvelles surfaces par lesquelles la réaction chimique pourra s'opérer. Plus on fractionne les grains plus la réaction sera explosive. Ce n'est pas pour rien qu'on fabrique de la ***poudre*** *à canon.*

En augmentant la température on peut aussi accélérer la prise. Il ne faut cependant pas l'élever au point de provoquer la déshydratation du ciment. Finalement, l'ajout d'un accélérateur (catalyseur) comme de chlorure de calcium ($CaCl_2$) peut aussi accélérer le processus.

Question 7 *Le ciment atteint 75 % de sa résistance après sept jours.*

II- La composition du béton

Question 1
Le sel est le soluté.

Question 2
L'eau est le solvant.

Question 3
Le sel va se loger entre les particules d'eau, dans les interstices.

Question 4
On peut parler d'une solution saturée lorsque les interstices sont complètement remplis par le soluté.

Question 5
On peut dissoudre une masse de 360 g de sel de table pour chaque litre d'eau à 20 °C.

Question 6
La solubilité du sel de table à 80 °C est d'environ 397 g/L. Il sera impossible de dissoudre entièrement le sel. Le sel en trop restera visible et solide.

Question 7
Le ciment est une poudre qui peut réagir avec l'eau pour former une substance solide.
Le ciment est l'une des substances présentes dans le béton.
Le béton est composé de ciment, de granulat[1] et d'eau.

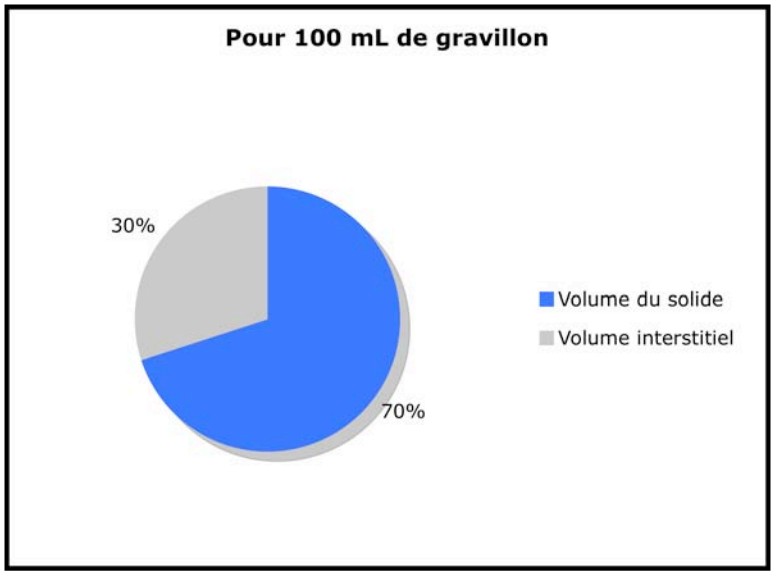
1. GRANULAT : *Ensemble de matériaux inertes qui composent le béton, le mortier.*

Question 8

Exemple d'un volume interstitiel pour 100 mL d'un gravillon[1] particulier.

Volume interstitiel :
30 mL/100 mL de gravillon

Pourcentage d'air dans ce gravillon : 30 % v/v

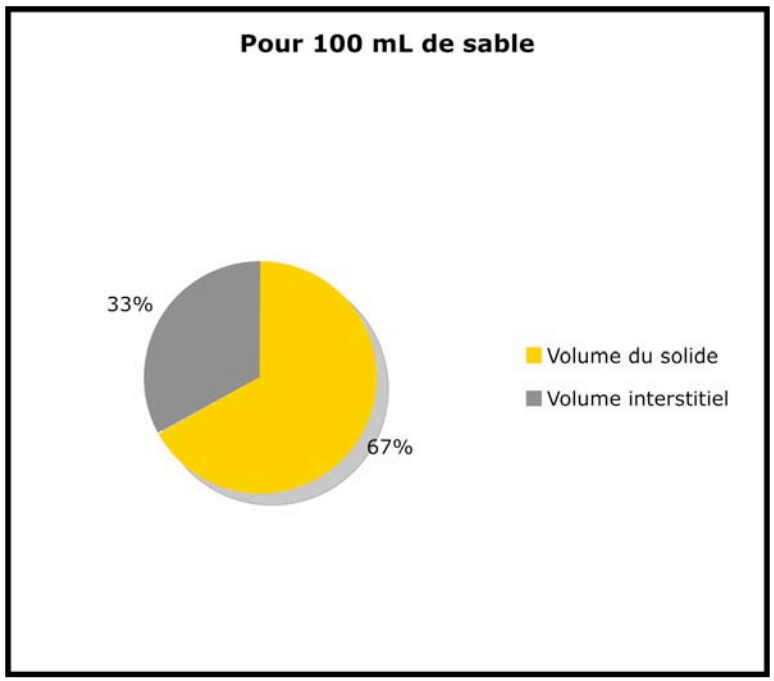


Question 9

Exemple d'un volume interstitiel pour 100 mL d'un sable particulier.

Volume interstitiel :
33 mL/100 mL de sable

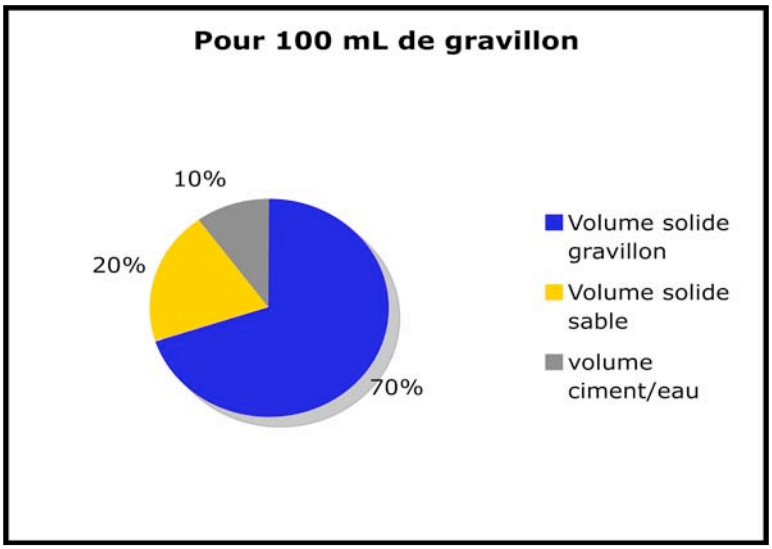
Pourcentage d'air dans ce sable : 33 % v/v



1. **GRAVILLON:** Fin gravier obtenu par concassage.

Question 10

Voici ce que l'on pourrait obtenir comme recette en considérant les questions précédentes.



Recette pour 100 mL de gravillon	*Solide du gravillon*	*Solide du sable*	*Ciment*	*Eau*
Rapports trouvés expérimentalement (%)	*70*	*20*	*10*	*≈5 ?*

Réflexion pour 100 mL de gravillon	*Gravillon*	*Sable*	*Ciment*	*Eau*
Volumes réellement mesurés (mL)	*100*	*30*	*10*	*≈5 ?*
Volumes incluant un facteur de sécurité 100 % plus de sable (mL)	*100*	*60*	*20*	*≈10 ?*
Volumes incluant un facteur de sécurité 50 % plus de ciment (mL)	*100*	*60*	*30*	*≈15 ?*

Exemple de recette secrète	*Gravillon*	*Sable*	*Ciment*	*Eau*
Volumes approximatifs simplifiés (mL)	*90*	*60*	*30*	*≈15 ?*
Rapport	***3***	***2***	***1***	*≈0,5 ?*

En résumé	*Gravillon*	*Sable*	*Ciment*	*Eau*
Rapport trouvé expérimentalement	***10***	***3***	***1***	*≈0,5 ?*
Rapport sécuritaire habituellement accepté	***3***	***2***	***1***	*≈0,5 ?*
La recette secrète devrait se trouver entre ces deux rapports !				

Notes

- *La quantité d'eau ajoutée est très variable. On trouve des recettes recommandant un rapport ciment/eau de 1 pour 0,5. En pratique, une telle recette donne un béton beaucoup trop pâteux. Le rapport ciment/eau que vous utiliserez sera probablement autour de 1 pour 1. L'absorption d'eau par les différents types de granulats[1] est probablement en cause. La quantité d'eau devrait donc être ajustée empiriquement.*
- *Les gravillons devraient être solides, sans quoi le béton sera affaibli. En effet, le béton ne peut être plus solide que l'un de ses composants. Les granulats utilisés ne devraient être rayés que par l'acier ou une substance plus dure.*
- *La propreté des granulats est aussi importante. Les substances d'origine organique n'ont pas une très grande résistance mécanique. De plus, ces substances peuvent nuire à l'adhérence entre les composants du béton.*

III- Le mûrissement du béton

Question 1 (À vérifier expérimentalement.)

Non, la masse du béton ne change pas, il y a conservation de la masse (s'il n'y a pas eu d'évaporation).

Question 2

Non, il y a le même nombre d'atomes avant et qu'après la réaction chimique. Si le nombre d'atomes avait changé, la masse aurait aussi changé.

Question 3

Nom	Formule	Calcium	Oxygène	Silicium	Fer	Aluminium
L'aluminate tricalcique	$(CaO)_3Al_2O_3$ {simplifiée} ou $3CaO{\cdot}Al_2O_3$	3	6	0	0	2
Le silicate dicalcique	$(CaO)_2SiO_2$ {simplifiée} ou $2CaO{\cdot}SiO_2$	2	4	1	0	0
Le silicate tricalcique	$(CaO)_3SiO_2$ {simplifiée} ou $3CaO{\cdot}SiO_2$	3	5	1	0	0
L'aluminoferrite tétracalcique	$(CaO)_4Al_2O_3Fe_2O_3$ {simplifiée} $4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}\ Fe_2O_3$	4	10	0	2	2

Question 4

	Réactifs	Produits
	$(CaO)_3Al_2O_3$ + **6** H_2O ⟶	$Ca_3Al_2O_6(H_2O)_6$
O	7 → **12**	**12**
H	2 → **12**	**12**
Ca	**3**	**3**
Al	**2**	**2**

Question 5

	Réactifs	Produits
	2 $(CaO)_2SiO_2$ + **4** H_2O ⟶	$Ca_3Si_2O_7(H_2O)_3$ + $Ca(OH)_2$
O	*5 → 8 →* ***12***	***12***
H	*2 →* ***8***	***8***
Ca	*2 →* ***4***	***4***
Si	*1 →* ***2***	***2***

Question 6

	Réactifs	Produits
	2 $(CaO)_3SiO_2$ + **6** H_2O ⟶	$Ca_3Si_2O_7(H_2O)_3$ + **3** $Ca(OH)_2$
O	*6 → 12 → 14 → 15 →* ***16***	*12 → 14 →* ***16***
H	*2 → 4 → 8 → 10 →* ***12***	*8 → 10 →* ***12***
Ca	*3 →* ***6***	*4 → 5 →* ***6***
Si	*1 →* ***2***	***2***

Question 7

Il est préférable de le garder humide durant le mûrissement, car l'eau participe à la réaction chimique et s'intègre à une plus grosse molécule.

IV- Le béton comme matériau

Question 1 (À vérifier expérimentalement.)
Le béton est basique.

Question 2 (À vérifier expérimentalement.)
Le pH du béton est variable. Un pH de 13 pourrait être atteint par un béton sain.

Question 3
Les équations chimiques précédentes nous indiquent que de l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$ est formé durant l'hydratation du béton. La présence d'une telle base augmente le pH du béton.

Question 4

a) *Les métaux réagissent avec l'oxygène (O_2).*
b) *Les produits formés sont les oxydes (CuO, Al_2O_3, Fe_2O_3).*
c) *Les métaux perdent des électrons.*
d) *Les précipitations atmosphériques, qui contiennent des sels minéraux, peuvent favoriser la mobilité des électrons.*

Question 5
Comme les acides réagissent avec les métaux, un pH bas devrait favoriser la corrosion.
Exemple : $2HCl + Mg \rightarrow H_2 + MgCl_2$

Question 6
Non, il n'est pas nécessaire de protéger les armatures. Comme le pH du béton est nettement supérieur à 7, le béton constitue un milieu protecteur pour les armatures. Il n'y a que les armatures présentes en surface, exposées à l'air et aux intempéries, qui rouillent.

Question 7

- *Le fer doux contient très peu de carbone ≈(- de 0,025%).*
- *L'acier en contient nettement plus ≈(0,025 à 2,1%).*
- *La fonte en contient encore plus ≈ (+ de 2,1%).*

Question 8

En utilisant cette technique on peut augmenter la dureté et la rigidité de l'alliage. Cette technique permet de contrôler la précipitation du carbone lors de la fabrication de l'acier. Un refroidissement assez rapide piège les atomes de carbone dans la matrice de fer, ce qui provoque le durcissement.

Question 9

L'acier est moins ductile et plus rigide que le fer. Des armatures en fer s'étireraient trop et provoqueraient l'effritement du béton.

Question 10

Le volume de l'acier qui s'oxyde augmente puisqu'il y a ajout d'atomes d'oxygène.

Question 11

Si les armatures ne sont pas convenablement enfouies dans le béton, elles s'oxyderont, leur volume augmentera, ce qui brisera la surface du béton. Ce processus se répétera avec la nouvelle surface mise à nue, et ainsi de suite.

Question 12

Ces substances augmentent de volume en réagissant avec le béton et provoquent sa désintégration.

V- La mécanique du béton

Question 1 (À vérifier expérimentalement.)
La distance entre les points du haut diminue.

Question 2
La distance entre les points du bas augmente.

Question 3
Une force de compression apparaît dans la section supérieure de la poutre.

Question 4
Une force de traction apparaît dans la section inférieure de la poutre.

Question 5
Comme le béton est huit fois moins performant en traction qu'en compression, nous devons le ménager dans les zones de traction. C'est pour cette raison qu'il faut ajouter des armatures d'acier dans le bas de la poutre.

Question 6 (À vérifier expérimentalement.)
Le trou du bas laisse échapper une plus grande quantité d'eau.

Question 7
La pression semble plus importante dans le bas.

Question 8
La pression est plus importante dans le bas du carton, car il y a plus de particules d'eau au-dessus de ce trou. Pour la même raison, la pression atmosphérique est plus grande au sol qu'au sommet d'une montagne.

Question 9
Les coffrages doivent être plus robustes dans le bas.

Question 10
Il faut simplement laisser se solidifier le mur inférieur avant de couler le mur supérieur. De cette façon, on peut limiter la pression dans le bas des coffrages.

Question 11
Pour augmenter l'adhérence entre le béton et les armatures.

Question 12
On laisse les armatures rouiller pour les rendre plus rugueuses. De cette façon, on augmente l'adhérence entre le béton et l'acier. Une fois protégées par le béton, les armatures d'acier cesseront de s'oxyder.

Question 13
Une façon simple de diminuer la charge organique est utiliser une décantation en présence d'eau. En effet, les résidus devraient avoir une masse volumique plus faible que les granulats et l'eau.

Question 14
Principe d'Archimède :
Tout corps plongé dans un fluide reçoit, de la part de celui-ci, une poussée verticale dirigée de bas en haut égale au poids du volume de fluide déplacé.

Question 15
Les granulats auront tendance à s'élever et à flotter sur le béton.

Question 16
Les bulles d'air auront tendance à s'élever et à sortir du béton.

Question 17
Si des bulles d'air restent sous les armatures, le béton sera mal accroché et l'adhérence sera réduite.

Question 18
Un bateau s'enfoncera jusqu'à ce qu'il ait déplacé l'équivalent de sa masse en eau.

Question 19
Les armatures couleront au fond.

Question 20
Les armatures devront être supportées et attachées à des supports.

Question 21

Pour que le béton enrobe parfaitement les armatures, il faut le brasser à l'aide d'un vibrateur. On dit souvent « vibrer » le béton. Dans le cas de notre poutre, une agitation rapide du coffrage fera l'affaire.

Question 22

La masse du lingot est :

$\rho = m/V \rightarrow m = \rho \bullet V \rightarrow m = 19{,}3\ g/cm^3 \bullet 1000\ cm^3 \rightarrow m = 19\,300\ g = 19{,}3\ kg$

La masse du lingot dans l'eau est : (masse volumique de l'eau = 1 g/cm³)

$Masse_{\text{de l'eau déplacée}} = 1000\ cm^3 = 1000\ g = 1\ kg$

$Masse_{\text{dans l'eau}} = Masse_{\text{dans l'air}} - Masse_{\text{de l'eau déplacée}}$

$Masse_{\text{dans l'eau}} = 19{,}3\ kg - 1\ kg = 18{,}3\ kg$

VI- La mécanique de la poutre

Question 1

La masse mesure la quantité de matière et devrait être mesurée en gramme.
Le poids est la force d'attraction d'un astre sur un objet et devrait être mesuré en newtons.
Par exemple, dans le vide intersidéral, un objet a une masse, mais son poids est nul. Il est fréquent, dans la vie de tous les jours, de confondre les deux concepts.

Question 2

La deuxième loi de Newton :
La force résultante appliquée sur un objet est égale au produit de sa masse par son accélération. $\Sigma F = m \cdot a \rightarrow F = m \cdot a$ *(En simplifiant)* $\rightarrow F = m \cdot g$ *(En considérant une poutre)*
La force s'exprime en newton (N) ou $(kg \cdot m/s^2)$*, la masse en kilogramme (kg) et l'accélération en mètre par seconde au carré* (m/s^2)*.*

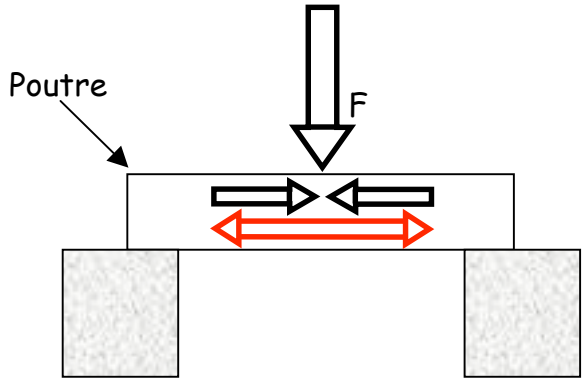
Question 3

La force subie par une pomme est : $F = m \cdot g \rightarrow F = 0{,}2\ kg \cdot 9{,}8\ m/s^2 \rightarrow F = 1{,}96\ N.$

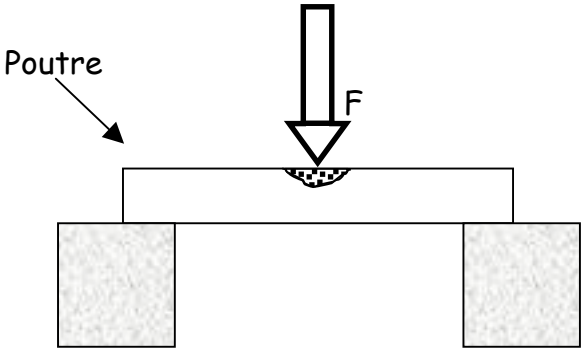
Question 4

Comme la poutre est immobile, la sommation de toutes les forces appliquées sur elle devrait être nulle. Voici le calcul de la force manquante :
$\Sigma F = 0 \rightarrow F_1 + F_2 + F_3 = 0 \rightarrow F_2 = -(F_1 + F_3) \rightarrow F_2 = -F_1 - F_3 \rightarrow F_2 = -(-10\ N) - 5\ N \rightarrow F_2 = 5\ N$

Question 5

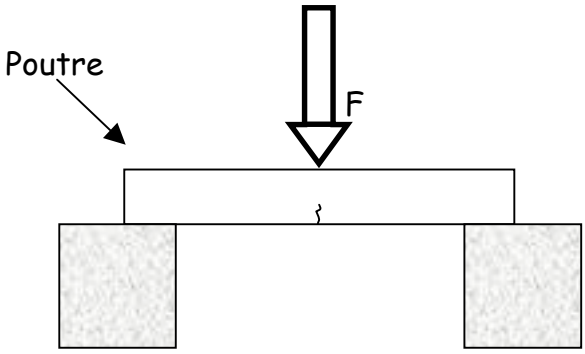


Question 6



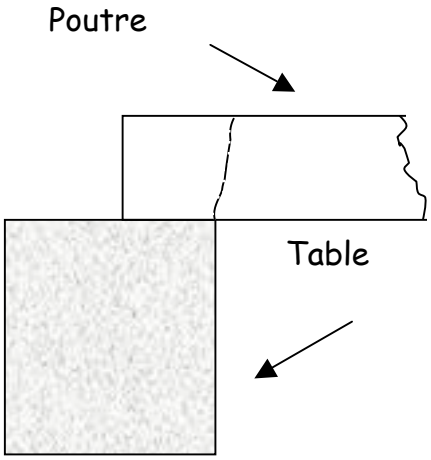
Une trop grande force de compression apparaîtrait dans le haut de la poutre. On devrait voir une zone où le béton est simplement broyé. Le plus souvent, cette zone est située au centre de la portée de la poutre.

Question 7



Cette trop grande contrainte de traction apparaîtrait dans le bas de la poutre. On devrait voir une fissure, le plus souvent au centre de la portée de la poutre.

Question 8



Cette trop grande contrainte de cisaillement apparaîtrait dans le bout de la poutre. On devrait voir une fissure vis-à-vis le coin de la table. L'orientation ainsi que la forme de la fissure peuvent changer en fonction des armatures présentes dans le bout de la poutre.

Question 9

a) *L'avantage mécanique du marteau est : $A_m = L_m / L_r \rightarrow A_m = 30\ cm/10\ cm = 3$*

b) *La force subie par le clou est trois fois plus grande que la force appliquée sur le manche.*

c) *La force nécessaire pour arracher le clou est :*
$A_m = F_r/F_m \rightarrow F_r = A_m \bullet F_m \rightarrow F_r = 3 \bullet 50\ N \rightarrow F_r = 150\ N$

Question 10 (Cette question peut être abordée qualitativement: voir à la page suivante)

a) *L'avantage mécanique de la poutre est :* *$A_m = L_m / L_r \rightarrow A_m = 30\ cm/5\ cm = 6$* b) *La force motrice nécessaire est :* *$A_m = F_r / F_m \rightarrow F_m = F_r / A_m$* *$F_m = 120\ N / 6 \rightarrow F_m = 20\ N$* c) *La masse est :* *$F = m \bullet g \rightarrow m = F/g$* *$m = 20\ N / 9{,}8\ m/s^2 \rightarrow m = 2{,}04\ kg$*	d) *L'avantage mécanique de la poutre est :* *$A_m = L_m / L_r \rightarrow A_m = 30\ cm/3\ cm = 10$* e) *La force motrice nécessaire est :* *$A_m = F_r / F_m \rightarrow F_m = F_r / A_m$* *$F_m = 120\ N / 10 \rightarrow F_m = 12\ N$* f) *La masse est :* *$F = m \bullet g \rightarrow m = F/g$* *$m = 12\ N / 9{,}8\ m/s^2 \rightarrow m = 1{,}22\ kg$*

d) *La plus haute poutre, soit celle dont la hauteur est de 5 cm, permet de supporter la plus grande masse.*

e) *L'avantage mécanique d'un marteau doit être le plus grand possible. De cette façon la force de l'utilisateur sera décuplée.*

f) *L'avantage mécanique d'une poutre doit être le plus petit possible, de cette façon, il faudra une plus grande force motrice pour briser l'armature.*

g) *Le plus bas possible dans la poutre pour augmenter la longueur de résistance (L_r), ce qui a pour effet de rendre l'avantage mécanique (A_m) plus petit.*

Question 10 (qualitativement)

Description :

Les deux montages ci-dessous permettent de découvrir, qualitativement, l'avantage d'utiliser une poutre plus haute. Ces deux montages ne diffèrent que par la hauteur des poutres. Les bandes élastiques de chaque montage se doivent être identiques.

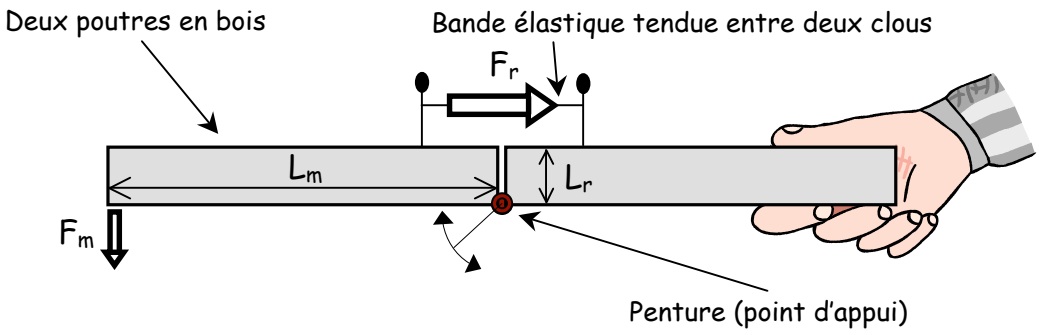
Manipulations :

Il suffit de tenir le montage dans la main comme sur le dessin. Puis, il faut le faire pivoter vers le bas puis de l'arrêter brusquement. La force (F_m) générée par l'inertie de la partie non maintenue de la poutre fera en sorte d'étirer l'élastique. **Vous trouverez, aux pages suivantes, des photos d'un montage qui illustrent le tout d'une manière différente.**

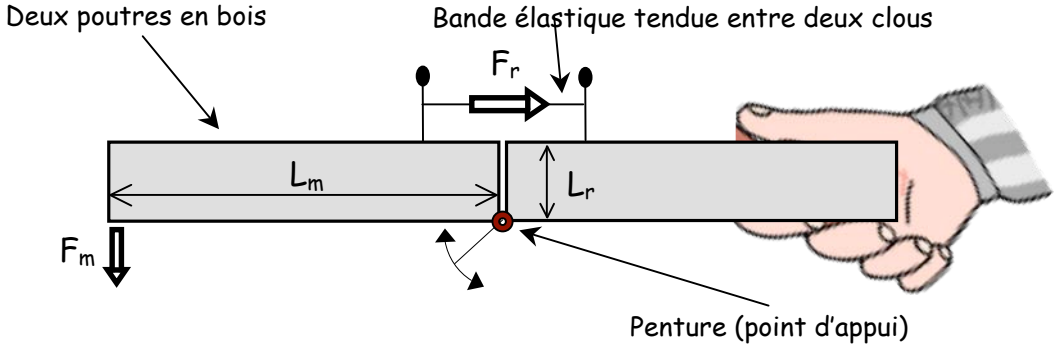
Résultats attendus :

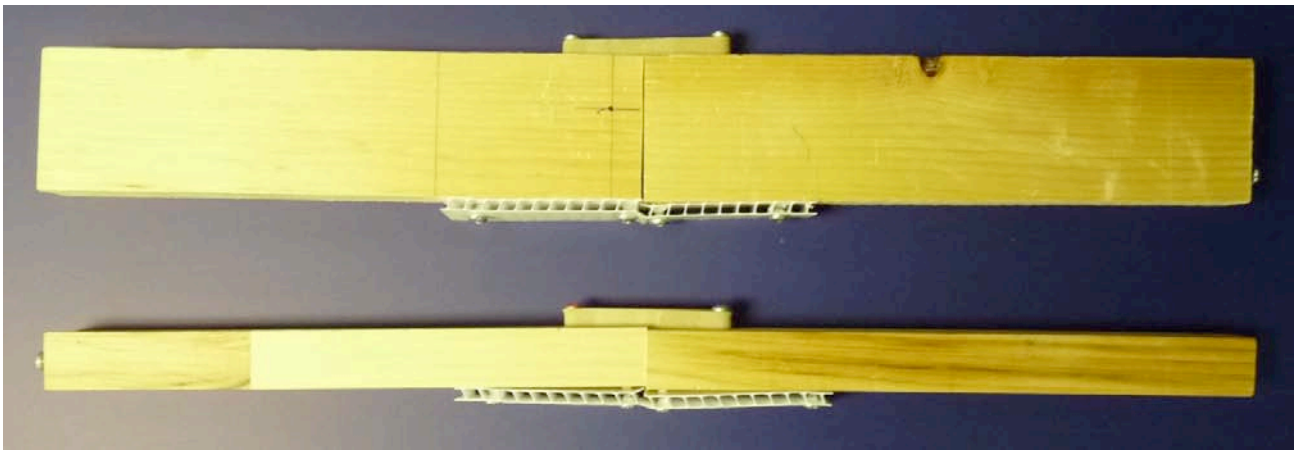
Il sera plus difficile d'étirer l'élastique avec la poutre qui est plus haute (celle du bas). Cette démonstration illustre qu'il faudra, dans le cas de notre poutre en béton, une plus grande charge pour briser l'armature si la poutre est plus haute.

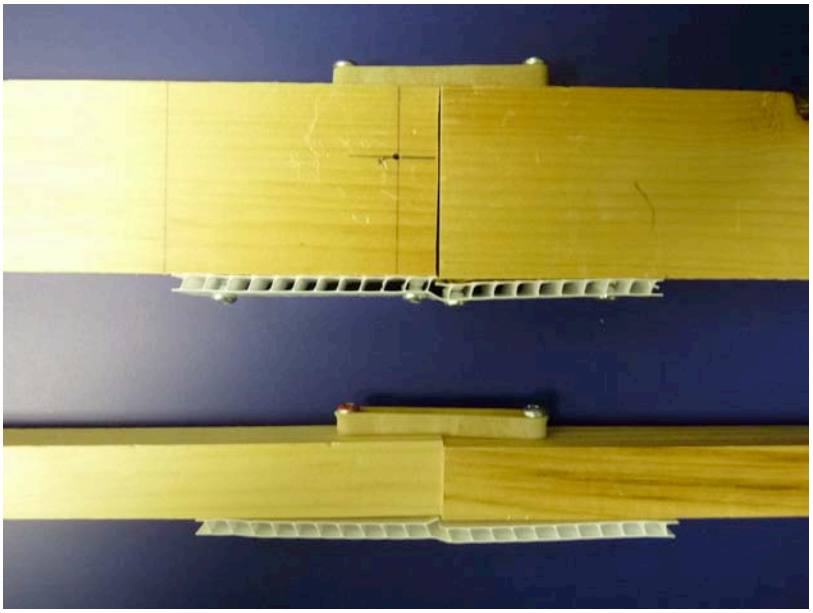
Poutre plus basse

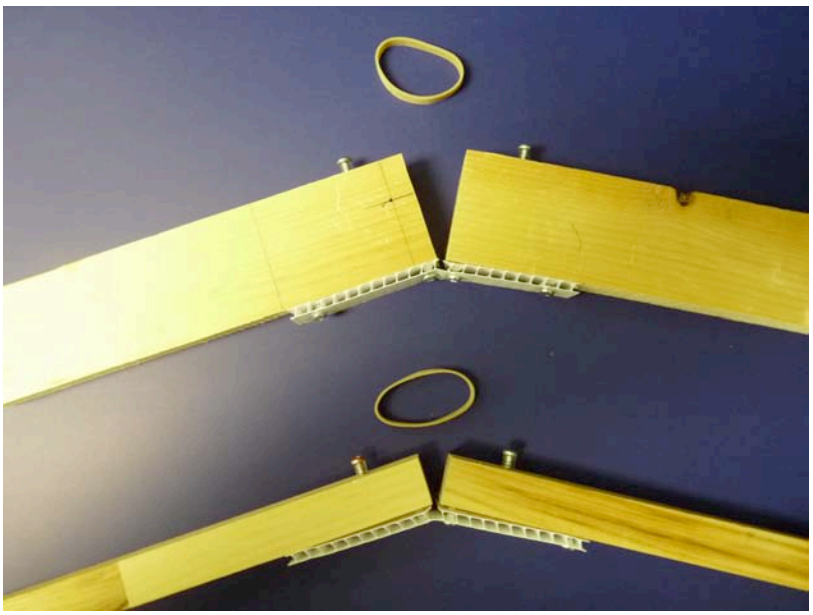


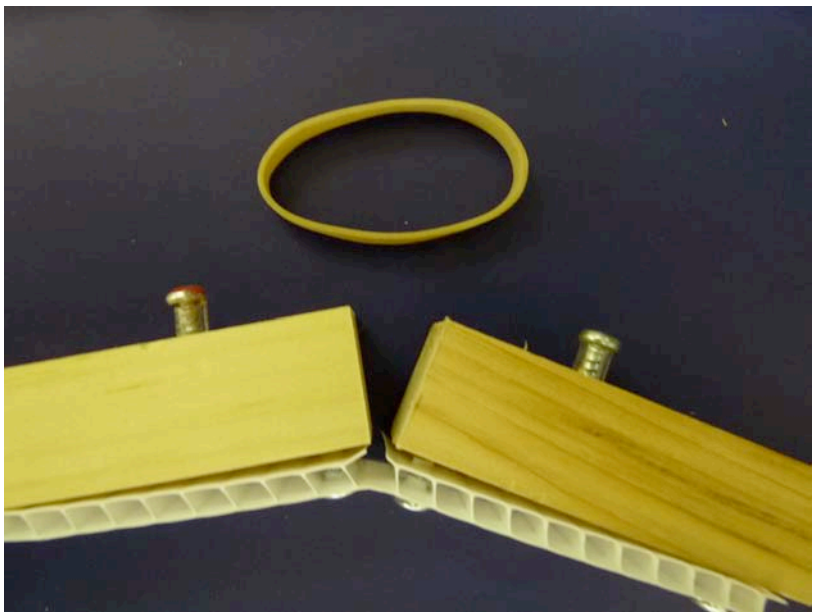
Poutre plus haute

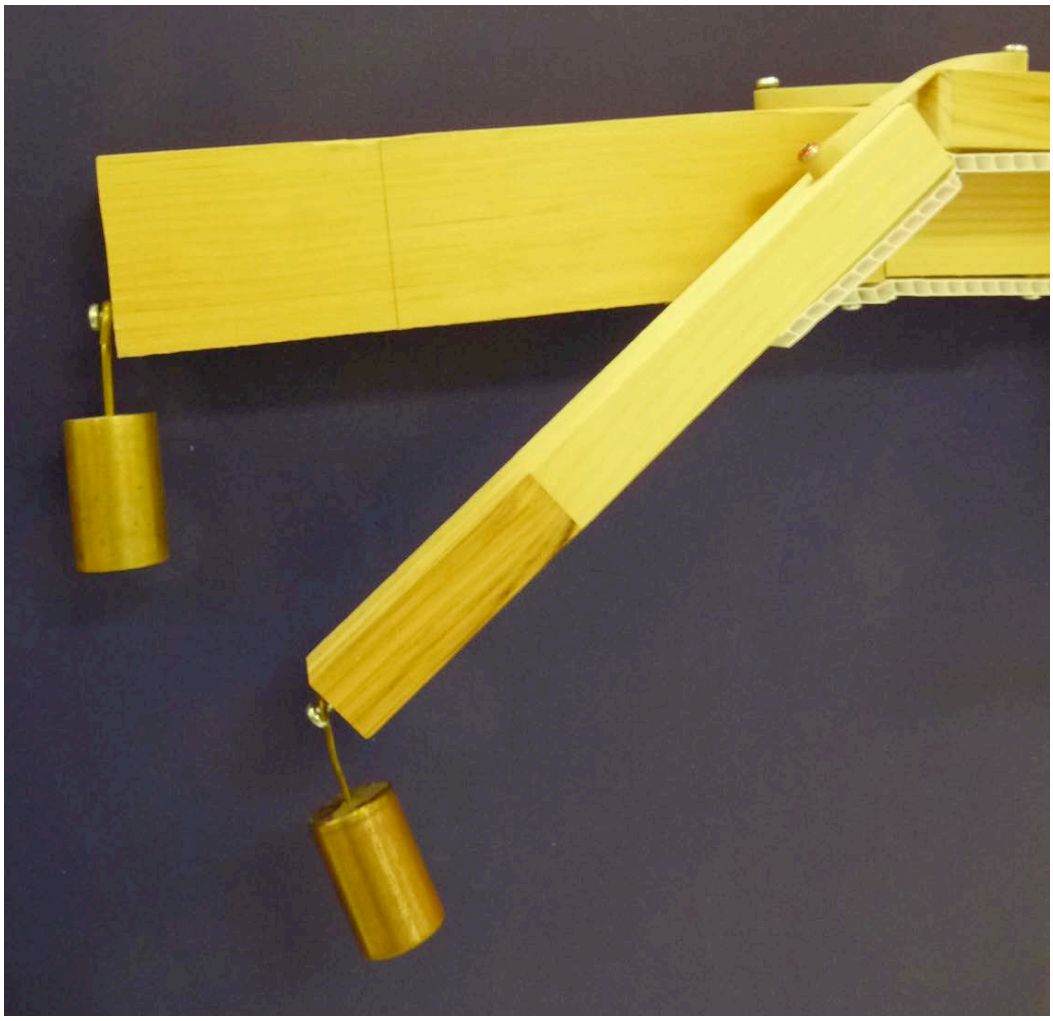








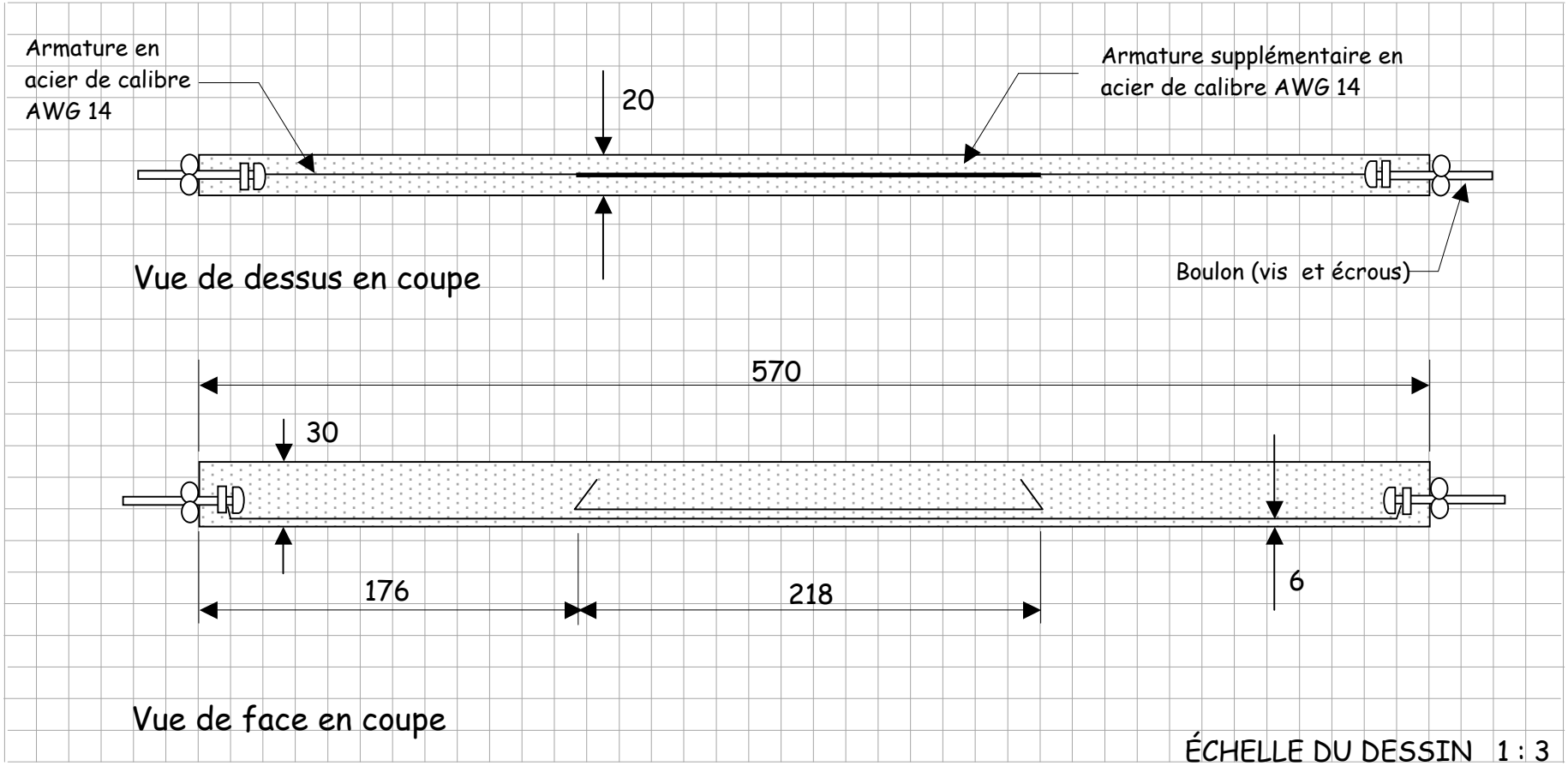




Conception de la poutre

(voir la page suivante)

Exemple de dessins d'une poutre avec ses armatures



Données sur la poutre

Noms des coéquipiers : *Martine Curie et Luc Einstein* **No. du groupe :** *08*

Recette du béton Volume ciment (mL) : *150* Volume gravillon (mL) : *300*

Volume sable (mL) : *300* Volume eau (mL) : *100*

Date de coulée : *14 / 05 / 08* Temps de mûrissement : *7 jours* Humidité ambiante : 95 %

Masse de la poutre : *700 g* Masse supportée par la poutre : *18700 g* Facteur de résistance : *26,7*

Fabrication de la poutre

Fabrication des coffrages et installation des armatures
Voir le document intitulé « beton_gammes_ATS.pdf».

Notes sur la coulée de béton

- *Il serait bon de relire la capsule de sécurité sur le béton fournie dans le présent guide et dans le cahier de l'élève.*
- *Il faudrait couvrir adéquatement les tables à l'aide de papier journal, de plastique ou de carton.*
- *Une truelle, ou une cuillère à soupe, peut être utilisée pour remplir le coffrage.*
- *Une fois le coffrage rempli, brasser le béton pour faire sortir les bulles d'air du mélange. Pour ce faire, agiter simplement le coffrage en le faisant glisser sur la table.*
- *Les surplus de béton doivent être jetés à la poubelle.*



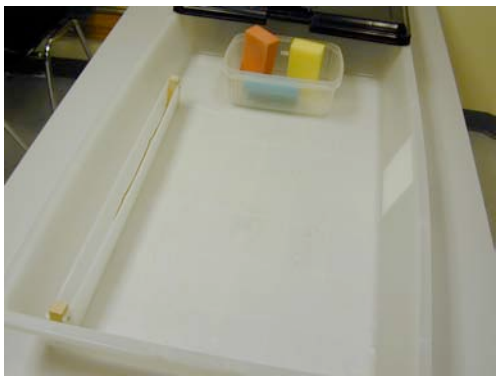
Matériel

- 1 bécher de 500 mL
- 1 bécher de 150 mL
- 1 truelle (ou cuillère à soupe)
- 1 baguette de bois pour mélanger
- 1 bol de plastique pour faire le mélange (capacité d'environ 3 litres)
- 150 mL de poudre de ciment
- Sable et gravillons en quantité suffisante
- Eau à la température ambiante.

Notes sur le mûrissement du béton

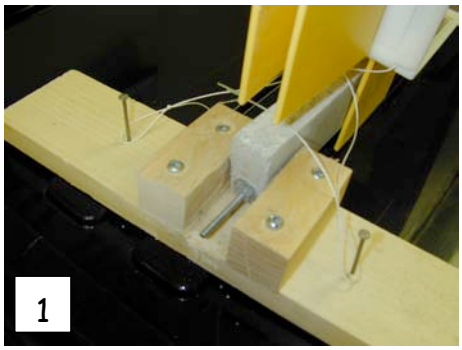
- Le mûrissement du béton doit avoir lieu à la température ambiante et à un degré élevé d'humidité.
- Un bac de rangement en plastique conçu pour être glissé sous un lit convient parfaitement au mûrissement. Ce genre de bac permet de ranger toutes les poutres d'une même classe. Un récipient rempli d'eau ou des éponges mouillées, placés à l'intérieur, pourront assurer la présence d'une humidité très élevée. Finalement, ces bacs peuvent être empilés les uns sur les autres (très pratique lorsqu'on a plusieurs classes).



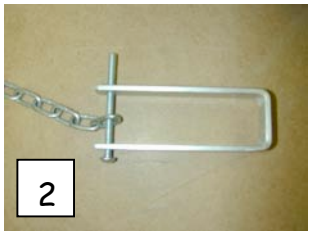


Mise à l'essai de la poutre (test destructif de résistance)

Notes sur l'installation de la poutre


1

- *Chaque équipe devrait installer sa poutre sous la supervision de l'enseignant ou du technicien.*
- *Chaque extrémité de la poutre doit reposer sur un support en bois. De cette façon, la poutre reste en position verticale (voir la photo 1).*
- *Une ferrure profilée en « U » permet d'accrocher le seau que l'on remplira de sable (voir les photos 2 et 3).*


2

Notes sur le système de mesure de la flexion

- *Le miroir placé sur la poutre peut être fixé à l'aide d'une bande de polystyrène pliée en forme de « U ». Le miroir doit être attaché au support en bois à l'aide de petites cordes (voir la photo 5). Il sera ainsi protégé lors de la chute de la poutre.*

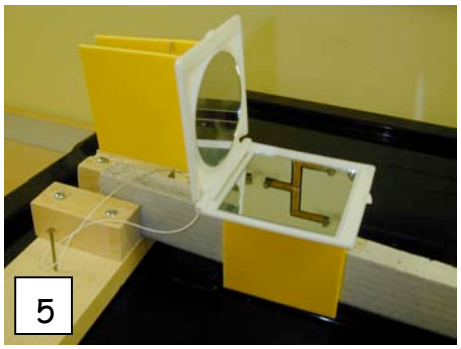

3

- *Un rayon laser peu coûteux peut être utilisé pour le test. Celui de la photo 4 a coûté 3 $.*
- *Une feuille de papier de 11 x 17 pouces, fixée au mur, peut servir d'écran.*


4

Notes sur l'exécution du test

- *Du sable propre devrait être utilisé, sinon la poussière dégagée dans la classe rendra vite l'air irrespirable. Le sable pour filtre de piscine pourrait faire l'affaire.*


5

- *Un récipient, dont on connaît la masse lorsqu'il est rempli de sable, devrait être utilisé. Ceci permet, en comptant le nombre de récipients, de mieux suivre l'évolution du test. Un point peut même être dessiné, périodiquement, à l'endroit où le rayon laser touche l'écran. Par exemple, on pourrait tracer un point tous les cinq récipients. Un graphique de la déformation en fonction de la masse peut être produit à partir du patron formé. On doit cependant tenir compte de plusieurs considérations géométriques.*
- *Si l'on veut accélérer le processus, une masse minimum (par exemple 10 kg) peut servir à maintenir les poutres les plus performantes dans la course. Cette façon de faire peut cependant diminuer la motivation des équipes éliminées avant les séries finales.*

Commission d'enquête sur l'effondrement de votre poutre

Notes

- Il est important que les élèves aient accès au « cadavre » de leur poutre pour mener à bien cette analyse.
- Pour clore la SAE, l'enseignante ou enseignant pourrait présenter au reste de la classe les résultats de l'équipe gagnante. À cette occasion, la recette utilisée, la façon dont la coulée a été faite ainsi que le plan de la poutre pourraient être abordés.
- En plénière, il serait bon de citer tous les principes que cette SAE a permis d'aborder ou d'approfondir.

Fournisseurs suggérés

- **Pour les gravillons**
  Chez Réno-Dépôt
  Gravillons pour améliorer la traction sur la glace « *GET A GRIP* »

- **Pour le plastique gaufré « Coroplast »**
  Chez Plastique Alto
  http://www.plastiquealto.com
  1-800-463-4710

- **Pour le ciment à prise rapide**
  Chez MAPEI INC.
  http://www.mapei.com
  1-800 361-9309
  Composé de ragréage cimentaire modifié aux polymères « Planipatch »
  http://www.mapei.it/Referenze/Multimedia/Planipatch_TD_FC.pdf
  Fiche signalétique
  http://www.mapei.it/Referenze/Multimedia/Planipatch_MSDS.pdf

Matériel suggéré pour chaque équipe

1- Le durcissement du ciment

- 100 ml ciment prise rapide
- 2 verres de polystyrène expansé (1 gros et 1 petit)
- 1 thermomètre à l'alcool
- 1 cuillère à soupe (à acheter)
- 1 tasse à mesure 200 mL (magasin 1$)
- 1 éprouvette de plastique jetable (à trouver)
- 50 ml d'eau (et plus)

2- La composition du béton

- 2 tasses à mesurer de 200 ml
- 100 ml de gravillon (la marque get a grip – à acheter en quincaillerie Réno-dépôt)
- 100 ml de sable (sable de piscine de préférence, il doit être propre)

3- Le mûrissement du béton

- plat de plastique d'au moins 150 ml
- 30 ml de ciment portland de type 10
- sable et gravillon disponible (l'élève en prend selon sa recette)
- Balance (celle utilisée dans le labo de science)
- Cuillère à soupe (pour brasser)
- 1 tasse à mesurer 200 ml
- 1 tasse à mesurer 500 ml

4- le béton comme matériau

- plat de plastique d'au moins 150 ml
- 30 ml de ciment portland de type 10
- sable et gravillon disponible (l'élève en prend selon sa recette)
- Balance (celle utilisée dans le labo de science)
- Cuillère à soupe pour brasser
- 1 tasse à mesurer 200 ml

- 1 tasse à mesurer 500 ml
- papier indicateur tournesol
- papier indicateur universel

5- La mécanique du béton

- 1 morceau d'éponge 22 cm x 4 cm x 2 cm
- 1 crayon feutre indélébile
- « duck tape »
- 1 x 1 litre ou 2 litres de liqueurs vides avec 3 trous diamètre 1/8"
- 1 bac de plastique
- eau pour remplir la bouteille

6- Mécanique de la poutre

- Les 2 démonstrateurs (avec fil à ressort)
- 2 petites chaudières du sable
- 1 pèse-personne électronique

7- Conception de la poutre de béton

- Choroplast
- Baguette $\frac{3}{4}$ x $\frac{3}{4}$ (entretoises) 7 cm de longueur
- 2 vis 1 $\frac{1}{2}$ #6 x 32 , 4 écrous et 2 rondelles
- 1 mètre de fil d'acier à forme (à coffrage) de calibre 14 (AWG 14 ≈ 1,63 mm)
- 6 petites vis à bois fraisées 3/8"
- perceuse
- petit bac à vaisselle rose
- 150 ml de ciment portland
- 1 tasse de 500 ml
- cuillère à soupe
- sable et gravillon selon la recette de l'élève
- baguette ou goujon pour mélanger
- papier brun pour nettoyer
- acide chlorhydrique pour nettoyer (acide muriatique en vente chez Rona ou Cdn Tire)
- 1 grand bac pour entreposer et faire sécher les coffrages et poutre (bac pour ranger sous le lit)
- éponges humides pour saturer l'atmosphère du contenant d'eau

8- Mise à l'essai de la poutre

- 2 feuilles 11 x 17
- ruban adhésif
- crayon marqueur
- niveau laser
- miroir double avec support 1" et ¾ pouce
- 3 grosses chaudière 20 gallons
- lunettes de sécurité
- 2 x 20 kg sable de piscine
- support
- montage pour supporter les chaudières de sable (chaîne, crochet)
- plat de plastique de 7 cm de hauteur pour supporter chaudière

Matériel à acheter

24 tasses à mesurer 200 ml
12 tasses à mesurer 500 ml
12 contenants plastiques 150 ml
12 petits bacs à vaisselle
12 cuillères à soupe
petites éprouvettes
2 sceaux en métal
éponges
verres de polystyrène (gros et petit)
plat de plastique de 7 cm haut
crayon marqueur

Webographie

Le dosage du béton et du mortier
http://www.ideesmaison.com/Le-dosage-du-beton-et-du-mortier.html

Le béton à la ferme
http://www.mapaq.gouv.qc.ca/cgi-bin/MsmGo.exe?grab_id=232&page_id=2301440&query=b%C3%A9ton&hiword=B%C3%A9TONN%C3%89+B%C3%A9TONS+b%C3%A9ton+

Béton Lafarge (Recherche et innovation)
http://www.lafarge.fr/wps/portal/3_2_5-Sciences_et_materiaux

Béton sans poussière
http://www.lafarge.fr/lafarge/CONTENT_SHEET/20061020/10202006-press_cement_product-sensium-fr.wmv

Danger pour la santé du ciment
http://www.invs.sante.fr/surveillance/matgene/guide_matrice.pdf

Superplastifiant (adjuvant pour béton)
http://www.lafarge.fr/12152006-group-superplastifiant-fr.wmv

Empilement granulaire (formation du béton)
http://www.lafarge.fr/lafarge/CONTENT_SHEET/20061215/12152006-group-empilement_granulaire-fr.wmv

Granulat « Super Traction » (granulométrie passant à la maille comprise entre 1-3 mm)
http://www.icemelter.ca/products/getagrip_super_f.php

Fournisseurs de polypropylène alvéolaire (Coroplast) pour les coffrages
http://www.coroplast.com/
http://www.plastiquealto.com/francais/produits/produits.htm

Institut Géopolymère (Chimie du ciment portland)
http://www.geopolymer.org/fr/science/chimie-ciment-portland-opposee-a-chimie-geopolymere