

MATRIX | STRUCTURES

Bending Moments



MATRIX

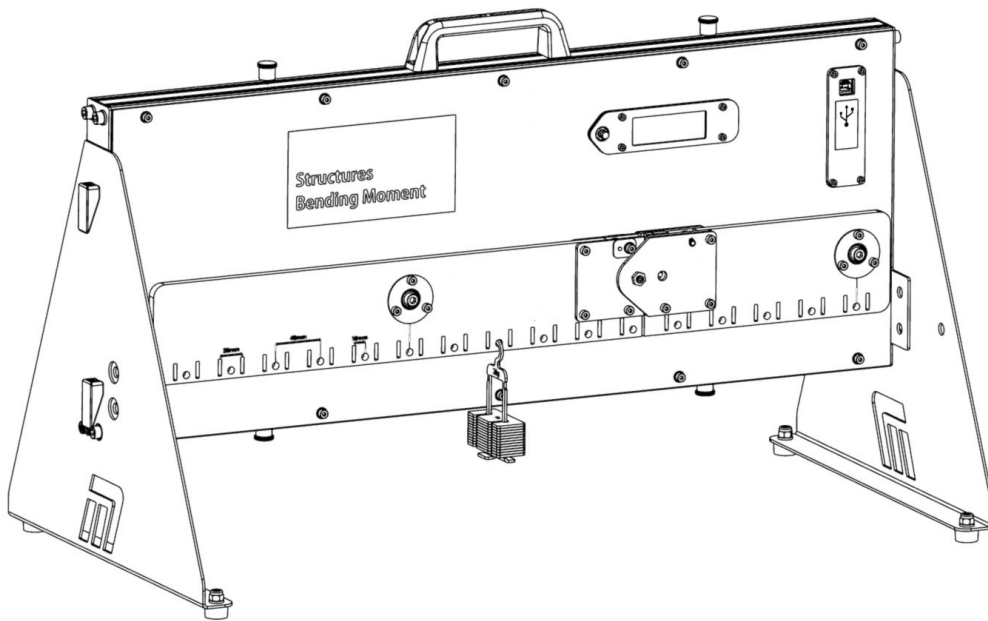
CP1843

www.matrixtsl.com

Copyright © 2021 Matrix Technology Solutions Limited

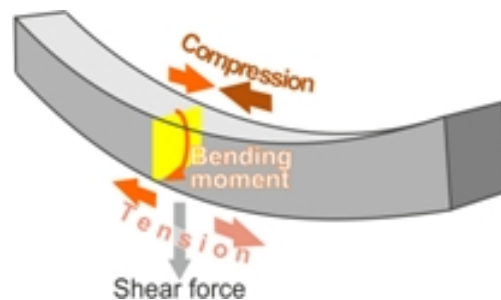
Moments de flexion

Fiche de travail 1 -	Modification de la charge	7
Fiche de travail 2 -	Déplacement de la charge	9
Feuille de travail 3 -	Charges multiples	11
Fiche de travail 4 -	Charge uniformément répartie	12
Document de l'élève		13
Notes pour l'instructeur		23

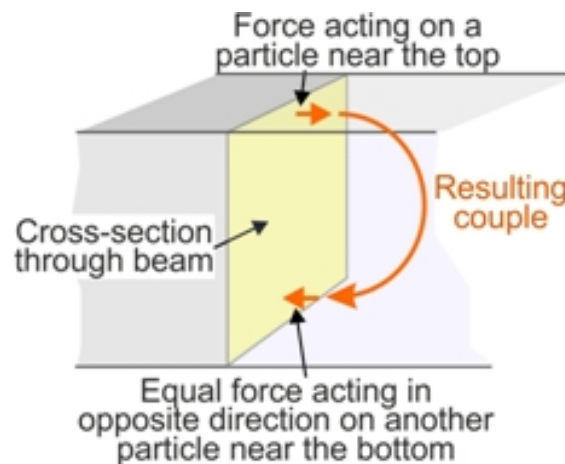


Contexte :

Lorsqu'une force, même son propre poids, agit sur une structure telle qu'une poutre, elle peut la faire plier. Les particules qui composent la poutre sont alors plus rapprochées les unes des autres près de la surface supérieure et plus éloignées les unes des autres près du bord inférieur.



Au niveau interne, les forces d'attraction entre ces particules, vues en coupe transversale, peuvent être considérées comme une combinaison d'une force résultante et d'un couple résultant. Ce couple interne résultant est appelé **moment de flexion**. La force interne résultante est appelée **force de cisaillement**.



Le deuxième diagramme illustre l'idée d'un moment de flexion. En observant une coupe transversale de la poutre, on constate que la force de compression exercée sur une particule située près du sommet est identique mais opposée à la force de traction exercée sur une particule située près de la base. Ensemble, elles forment un couple qui tente de déformer la poutre. En additionnant les effets de toutes ces particules, on obtient un moment de flexion.

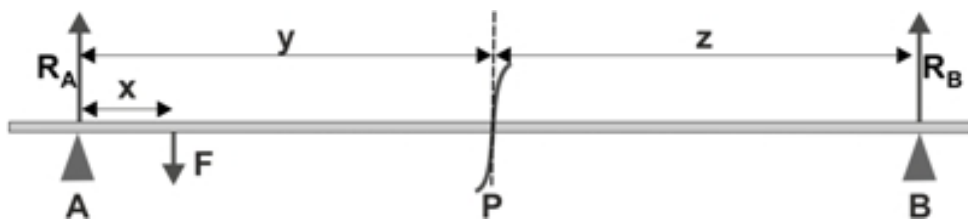
Contexte

Le diagramme ci-dessous illustre les forces agissant sur une poutre reposant sur des supports simples, **A** et

B, avec une charge ponctuelle **F** agissant sur elle. Les supports exercent des forces de réaction **R_A** et **R_B**.

La section étiquetée **AP** est en équilibre et donc :

- les forces qui agissent sur lui doivent s'annuler ;
- et les moments qui tentent de le faire tourner doivent s'annuler.



Vu de la tranche **P**, la somme des moments dans le sens des aiguilles d'une montre est donc :

$$R_A \times y - F \times (y-x)$$

Comme **AP** est en équilibre, il doit y avoir un moment opposé égal dans le sens inverse des aiguilles d'une montre au niveau de la tranche. Il s'agit du moment de flexion en **P**.

Par conséquent, le moment de flexion à **P** = $(R_A \times y) - (F \times (y-x))$

Le même argument pourrait être appliqué du point de vue du moment de la force **R_B** au support **B**.

Il donnerait l'équation :

$$\text{Moment de flexion à } P = (R_B \times z)$$

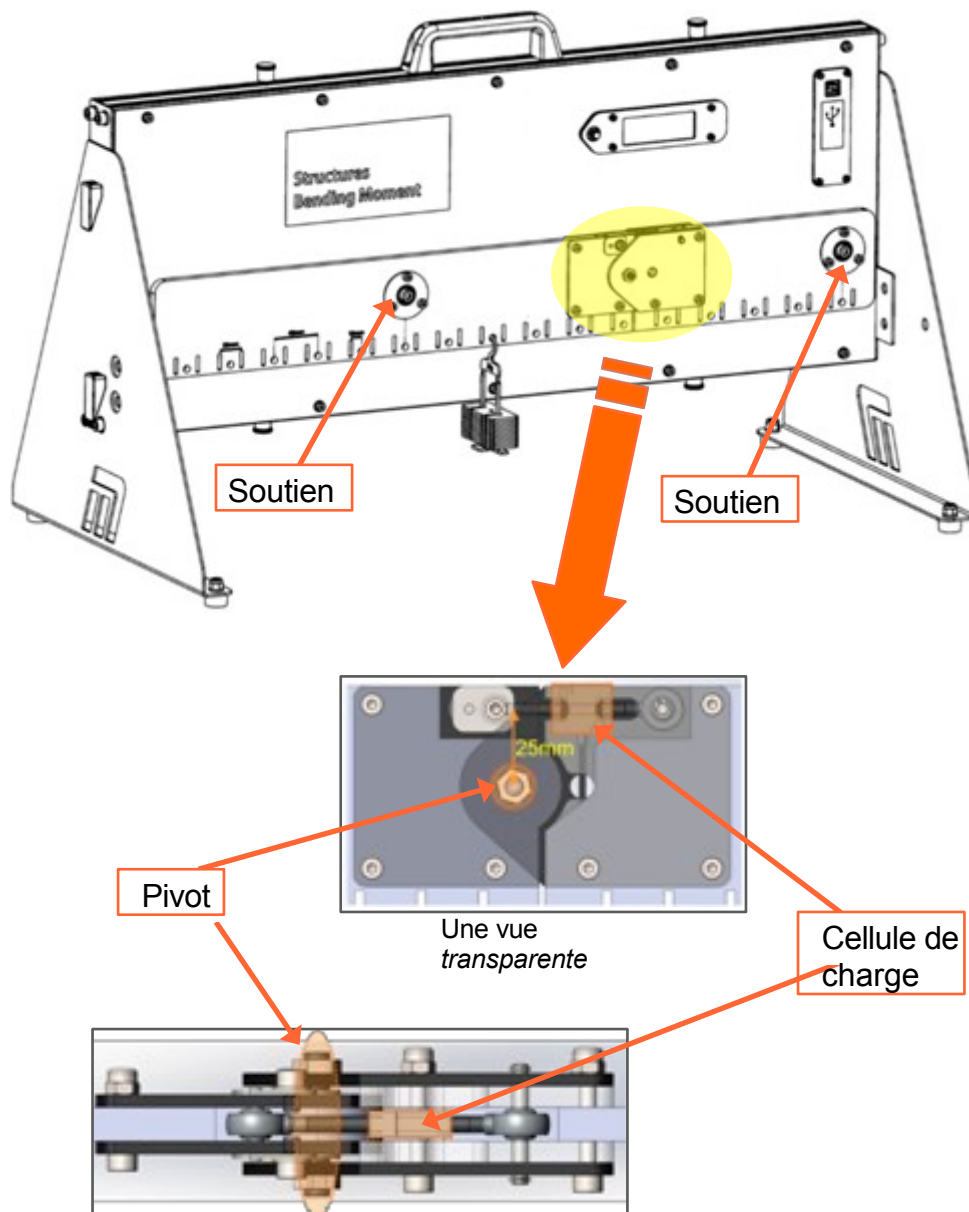
L'appareil :

L'appareil "Structures - Moment de flexion" permet d'étudier ce moment de flexion. Il se compose d'une poutre, soutenue en deux points, divisée en deux sections reliées par un pivot.

Une cellule de charge, qui traverse l'espace entre les sections, mesure la force qui tente de plier la poutre. Cette force est appliquée à une distance perpendiculaire de 25 mm du pivot. Le moment de flexion au niveau de cette tranche peut alors être calculé.

L'appareil est conçu pour fonctionner avec une alimentation de 5 V. Cela signifie qu'un câble USB branché sur un ordinateur ou une prise suffit. Cela signifie qu'un câble USB branché sur un ordinateur ou une prise de courant suffit. Le logiciel d'acquisition de données ne fonctionne que par l'intermédiaire de l'ordinateur. Il est donc recommandé de brancher le câble USB sur l'ordinateur qui exécute le logiciel. Toutefois, si vous souhaitez réaliser l'expérience sans le logiciel, vous devrez vous procurer une prise USB correspondant au style de prise local.

Détail de l'assemblage de la cellule de charge :



Fiche de travail 1

Modification de la charge

La conception d'une structure détermine les charges qu'elle peut supporter. Il peut être dangereux de dépasser la charge maximale.

Pour un pont à poutres simples, le point le plus faible se situe généralement au centre de la travée.

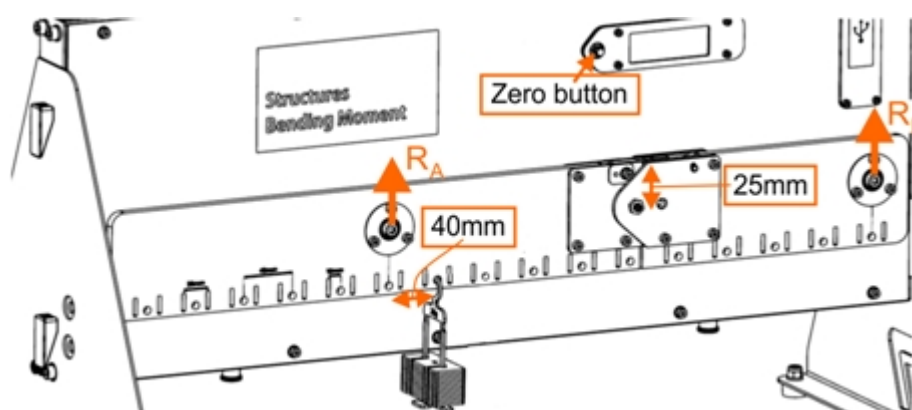
L'ingénieur structurel doit être en mesure de prévoir les effets des différentes charges sur la structure.

Cette expérience explore l'effet d'une modification de la charge sur un sur le moment de flexion.



À vous de jouer :

- Assurez-vous que l'appareil est de niveau.
- Appuyez sur le bouton de l'écran LCD pour mettre l'équipement à zéro. Ceci élimine le poids de la poutre et du capteur.
- Placer un cintre vide à 40 mm (un trou) du support gauche, comme indiqué dans le diagramme ci-dessous.
- Enregistrez la charge mesurée par la cellule de charge, soit dans une feuille de calcul, soit dans le tableau de l'annexe.
Document de l'élève.
- Augmenter la masse sur le cintre par étapes de 40g, jusqu'à un maximum de 300g et enregistrer la charge mesurée à chaque fois.



Fiche de travail 1

Modification de la charge

À vous de jouer

- Calculez les valeurs mesurées et théoriques du moment de flexion, en utilisant les formules données dans le document de l'élève.
- Utilisez les axes fournis pour tracer les graphiques du moment de flexion mesuré en fonction de la charge suspendue et du moment de flexion théorique en fonction de la charge suspendue.

Défi :

Utilisez le modèle fourni dans le manuel de l'étudiant pour compléter le diagramme de force de cisaillement et le diagramme de moment de flexion pour ce montage lorsque la charge appliquée était maximale (2,94 N).

Et alors ?

Les moments de flexion théoriques et mesurés expérimentalement produisent des traces très similaires sur les graphiques, ce qui montre que les équations théoriques pour la flexion des poutres sont robustes et peuvent être utilisées pour prédire le comportement des poutres.

Fiche de travail 2

Déplacement de la charge

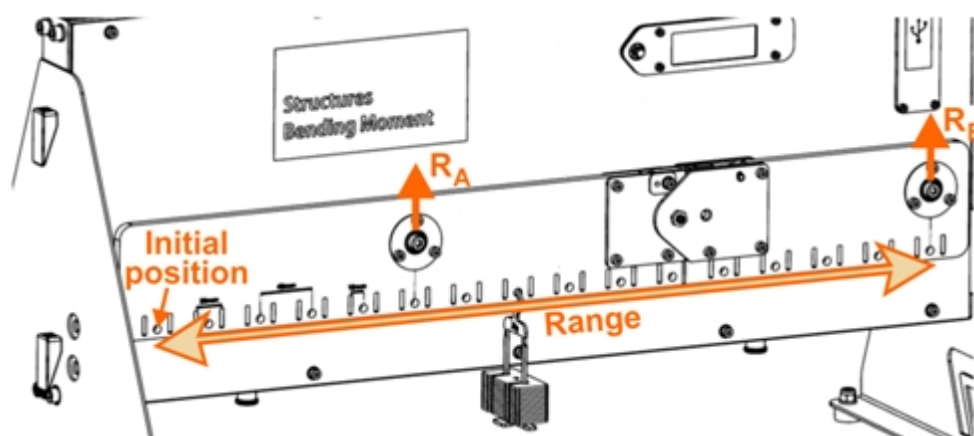
Lorsqu'une lourde charge se déplace sur un pont, les effets de son poids sur le pont changent. L'ingénieur doit prévoir ces effets et concevoir la structure en conséquence.

Cette expérience explore l'effet sur le moment de flexion du déplacement d'une charge fixe le long de la poutre.



À vous de jouer :

- Assurez-vous que l'appareil est de niveau.
- Appuyez sur le bouton de l'écran LCD pour mettre l'équipement à zéro et éliminer le poids de la poutre et du capteur.
- L'expérience utilise une charge fixe de 300g (2,94N). Placez initialement une masse de 300g à l'extrémité gauche de la poutre, comme indiqué dans le diagramme ci-dessous.
- Enregistrez la charge mesurée par la cellule de charge dans une feuille de calcul ou dans le tableau de la fiche de l'élève.
- Déplacer le cintre de 300 g jusqu'au prochain trou à droite (c'est-à-dire à 40 mm du trou initial).
) et enregistrez le nouveau relevé du capteur de charge.



Fiche de travail 2

Déplacement de la charge

A vous de jouer.....

- Continuez ainsi, en déplaçant la charge de 300 g le long de la poutre, trou par trou, et en enregistrant les relevés du capteur de charge.
- Utilisez ces relevés pour calculer la force de réaction sur le support A pour chaque position. Calculez ensuite les valeurs mesurées et théoriques du moment de flexion, de la même manière que dans l'étude précédente.
- Tracez les graphiques du moment de flexion mesuré en fonction de la distance et du moment de flexion théorique en fonction de la distance en utilisant les axes fournis.

Et alors ?

Le moment de flexion varie sur toute la longueur de la poutre. À certains endroits, sa polarité s'inverse.

Il en résulte des effets connus sous le nom d'*affaissement* et de *bousculade*. La *bosse* décrit un faisceau qui s'incurve vers le haut au milieu, et l'*affaissement* décrit un faisceau qui s'incurve vers le bas.



Ces effets sont importants dans le domaine de l'ingénierie structurelle. Dans les navires, par exemple, la bosse et l'affaissement peuvent être causés par l'effet des vagues lorsque la section centrale de la coque se trouve dans le creux ou la crête entre deux vagues, ou par la répartition de la cargaison à l'intérieur de la coque.

Dans les cas extrêmes, ils peuvent endommager la coque.

Dans la construction de bâtiments, l'affaissement des poutres peut se produire dans les poutres soutenues aux deux extrémités. L'affaissement peut se produire dans les structures en porte-à-faux.

Fiche de travail 3

Charges multiples

La première étude a porté sur le résultat de la modification de la taille de la charge.

Le second a examiné le déplacement de cette charge à travers la structure.

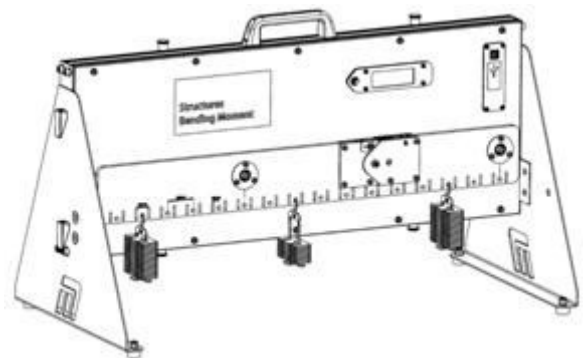
Dans la réalité, les structures doivent constamment résister à ces deux éléments.

Cette enquête explore cette situation.



Schéma :

Étudier l'effet global sur le moment de flexion de trois charges différentes placées à trois endroits différents de la poutre.



À vous de jouer :

Défi :

- Placez trois charges différentes dans des positions différentes sur la poutre.
- Enregistrez leurs poids, leurs positions et la lecture du capteur de charge qui en résulte.
- Calculer le moment de flexion au niveau de la tranche en utilisant la force mesurée par le capteur de charge.
- Dans le document de l'élève, dessinez le diagramme de corps libre de ce système.
- Appliquer le principe des moments pour calculer les forces de réaction générées par les supports.
- Calculez le moment de flexion théorique au niveau de la tranche en utilisant l'une de ces forces de réaction.
- Vérifiez cette valeur en la calculant à nouveau, en utilisant l'autre force de réaction.
- À l'aide des tableaux figurant dans le document de l'élève ou d'une feuille de calcul, enregistrez les résultats et vos calculs.
- Répétez le même processus pour trois dispositions de chargement différentes.

Fiche de travail 4

Charge uniformément répartie

Jusqu'à présent, nous n'avons considéré que les charges ponctuelles (également appelées charges concentrées), qui n'agissent qu'en un point spécifique de la structure.

Les charges réparties, en revanche, ont des effets qui s'étendent sur une région. La plupart des charges réelles sont réparties, par exemple le poids des matériaux de construction, la force du vent ou de l'eau poussant sur une surface ou le poids des livres sur l'étagère opposée.

Une charge uniformément répartie (UDL) a la même ampleur dans toute sa zone d'influence.

C'est comme si tous les livres sur l'étagère avaient la même taille et le même poids.

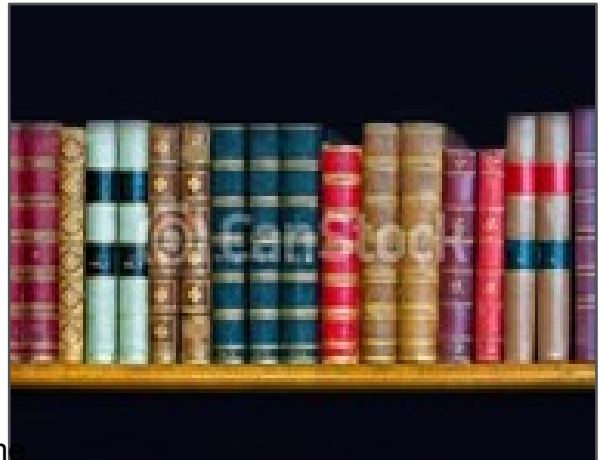
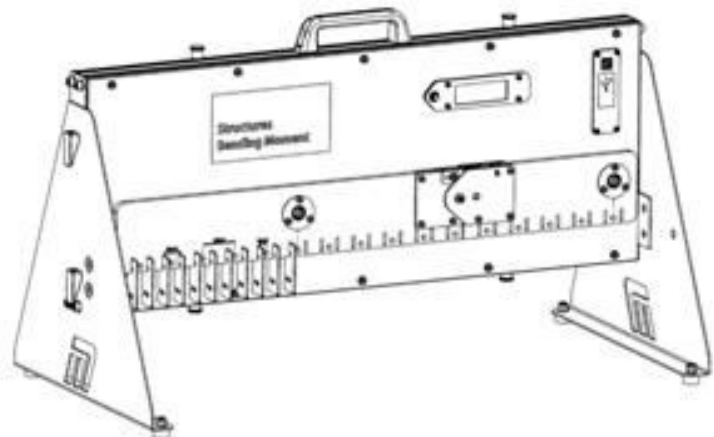


Schéma :

Étudier l'effet sur le moment de flexion d'une charge uniformément répartie située à l'extrémité gauche de la poutre.



À vous de jouer :

Défi :

- Préparez la charge uniformément répartie en plaçant onze masses de 20 g dans des trous adjacents à l'extrémité gauche de la poutre, comme indiqué dans le diagramme, créant ainsi une charge de 2,16 N.
- Enregistrez le relevé du capteur de charge qui en résulte.
- Calculez le moment de flexion au niveau de la tranche en utilisant la force mesurée par le capteur.
- Dans le document de l'élève, dessinez le diagramme de corps libre de ce système.
- Utilisez le principe des moments pour calculer les forces de réaction générées par les supports.
- Calculez donc le moment de flexion théorique au niveau de la tranche.
- Vérifiez cette valeur en la calculant à nouveau, en utilisant l'autre force de réaction.
- À l'aide des tableaux figurant dans le document de l'élève ou d'une feuille de calcul, enregistrez les résultats et vos calculs.

Document de l'élève

Feuille de travail 1 - Modification de la charge

Masse en suspension m en g	Charge F en N	Lecture de la cellule de charge c in g	Lecture du capteur de charge L en N	Mo- ment de flexion mesuré en Nm	Mo- ment de flexion théorique en Nm
20					
60					
100					
140					
180					
220					
260					
300					

Complétez le tableau à l'aide des formules suivantes :

Poids = masse x intensité du champ

gravitationnel.

où l'intensité du champ gravitationnel = $9,81 \text{N.kg}^{-1}$.

(Remarquez que toutes les masses doivent être exprimées en kg).

D'où :

$$F = m / 1000 \times 9,81$$

$$L = c / 1000 \times 9,81$$

Moment de flexion **mesuré** = $L \times 0,025$

(Attention, toutes les distances doivent être exprimées en m.)

Application du principe des moments aux forces **externes** exerçant des moments sur

$$\text{le support B : } R_A \times 0,4 = F \times 0,36$$

Calculer donc la valeur de R_A pour chaque valeur de la force F et, à l'aide de la formule donnée en p5, calculer :

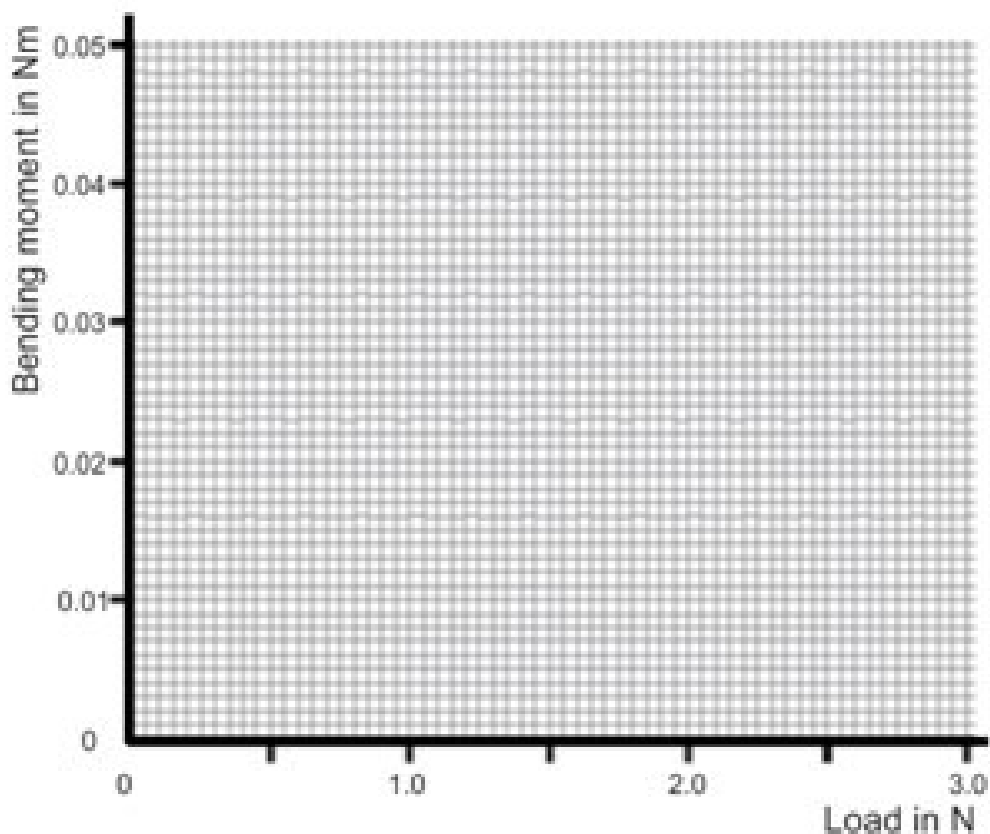
$$\text{Moment de flexion théorique} = (R_A \times 0,2) - (F \times 0,16)$$

Feuille de travail 1

Sur les mêmes axes, tracez les graphiques du moment de flexion **mesuré** en fonction de la charge appliquée et du moment de flexion **théorique** en fonction de la charge appliquée.
le moment de flexion en fonction de la charge appliquée.

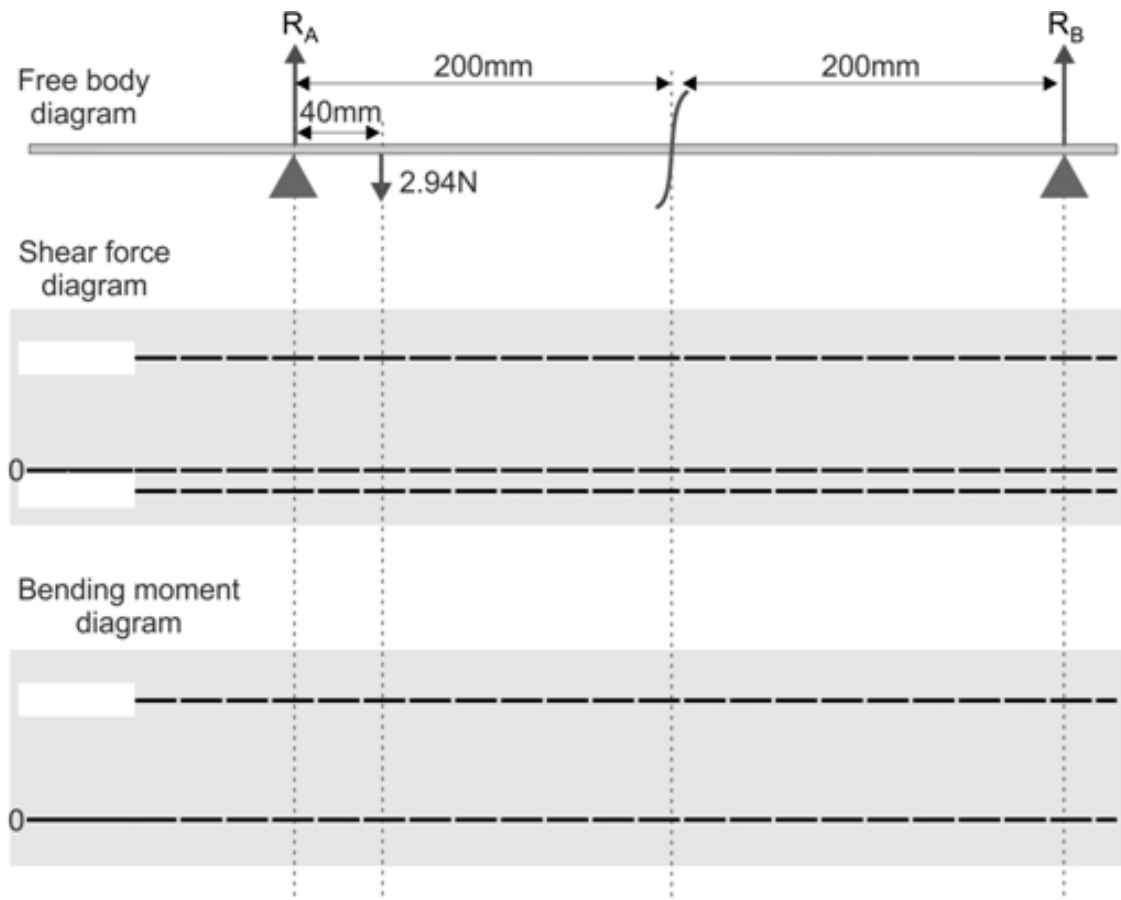
Graphique de la déflexion en fonction de la charge :

Faites apparaître vos mesures sous forme de petites croix.
Utilisez des couleurs différentes pour les deux traces afin de pouvoir les distinguer facilement.



Feuille de travail 1

Le diagramme montre le diagramme du corps libre pour cette disposition lorsque la charge est de 300g. Complétez les diagrammes de force de cisaillement et de moment de flexion correspondants.
Indiquez les valeurs significatives de l'effort de cisaillement et du moment de flexion.



Feuille de travail 2 - Déplacer la charge

Distance x par rapport à la gauche en m	Lecture de la cellule de charge c in g	Lecture du capteur de charge L en N	Réaction sur support dans N R_A	Mo- ment de flexion mesuré en Nm	Mo- ment de flexion théorique en Nm
0					
0.04					
0.08					
0.12					
0.16					
0.20					
0.24					
0.28					
0.32					
0.36					
0.40					
0.44					
0.48					
0.52					
0.56					
0.60					

Complétez le tableau à l'aide des formules suivantes :

Poids = masse x force du champ gravitationnel où force du champ gravitationnel = $9,8\text{N.kg}^{-1}$.

(Attention, toutes les masses doivent être exprimées en kg).

La charge suspendue de 300 g pèse $0,3 \times 9,81 = 2,94$ N.

Moment de flexion **mesuré** = $L \times 0,025$

Pour calculer la réaction R_A :

Appliquer le principe des moments aux forces **externes** exerçant des moments sur

le support **B** : $R_A \times 0,4 = 2,94 \times (0,6 - x)$

Ensuite, en utilisant la formule donnée à la page 5 :

Moment de flexion **théorique** = $(R_A \times 0,2) - [2,94 \times (0,4 - x)]$.

Feuille de travail 2

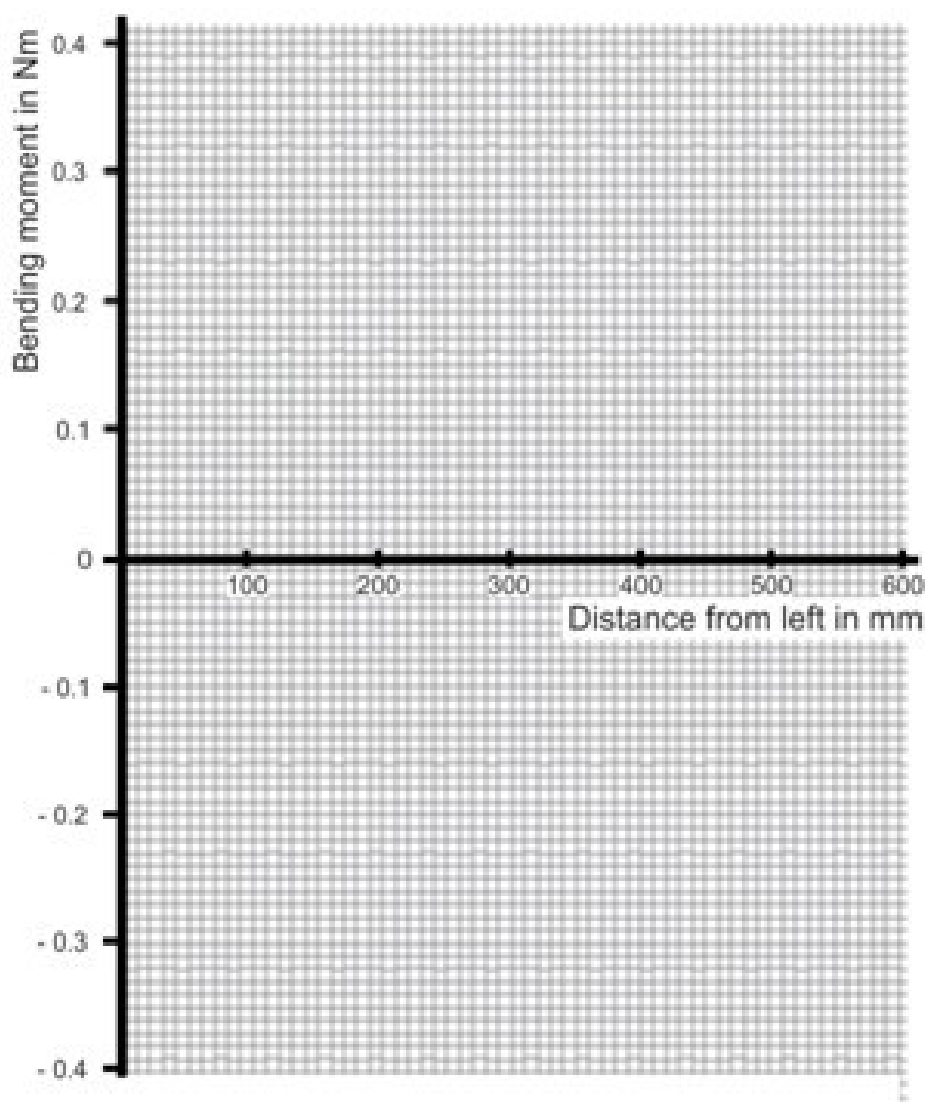
Sur les mêmes axes, tracez les graphiques du moment de flexion **mesuré** en fonction de la charge appliquée et du moment de flexion **théorique** en fonction de la charge appliquée.

le moment de flexion en fonction de la charge appliquée.

Graphique de la déflexion en fonction de la charge :

Faites apparaître vos mesures sous forme de petites croix.

Utilisez des couleurs différentes pour les deux traces afin de pouvoir les distinguer facilement.



Document de l'élève

Feuille de travail 3 - Charges multiples

Utilisez l'espace suivant pour dessiner les tableaux de vos résultats si vous le souhaitez.

Document de l'élève

Feuille de travail 4 - Charge uniformément répartie

Utilisez l'espace suivant pour dessiner les tableaux de vos résultats si vous le souhaitez.

Feuille de travail 4 - Charge uniformément répartie

- Montrez tous vos calculs et décrivez ce qu'ils montrent
- Donnez les valeurs mesurées et théoriques du moment de flexion au niveau de la tranche.

Notes pour le Instructeur

A propos de ce cours

Introduction

Le module "Structures - Moments de flexion" introduit les étudiants aux concepts de moment de flexion et de force de cisaillement, résultats de l'application d'une charge à une poutre.

À l'aide du kit, les élèves remplissent une série de fiches de travail portant sur un certain nombre de sujets abordés dans les cours BTEC Higher National et équivalents. Au départ, ces fiches de travail fournissent tous les détails des recherches. Par la suite, cet "échafaudage" est réduit, encourageant les élèves à démontrer leurs connaissances et leur compréhension dans de nouvelles situations.

Objectif

Le cours enseigne aux étudiants les relations entre les charges appliquées et la distorsion de flexion qui en résulte.

Connaissances préalables

Les étudiants sont censés avoir suivi un cours d'introduction aux sciences, leur permettant de prendre, d'enregistrer et d'analyser des observations scientifiques. Une certaine capacité mathématique est requise - capacité à prendre des mesures sur une balance analogique, capacité à comprendre la transposition des formules, capacité à utiliser une calculatrice pour effectuer des calculs et capacité à tracer un graphique.

Utiliser ce cours :

Les feuilles de travail et le document de l'élève doivent être imprimés ou photocopiés, de préférence en couleur, pour l'usage des élèves.

Le document de l'élève est un enregistrement des mesures prises dans chaque feuille de travail et des questions relatives à l'évaluation de la qualité de l'eau et de l'air. Les élèves n'ont pas besoin d'une copie permanente des feuilles de travail, mais ils ont besoin de leur propre copie du document de l'élève.

Ce format encourage l'auto-apprentissage, les étudiants travaillant à un rythme adapté à leurs capacités. C'est à l'instructeur de s'assurer que la compréhension de l'élève progresse au même rythme que les fiches de travail. Une façon de procéder consiste à "signer" chaque feuille de travail au fur et à mesure que l'élève la remplit et, ce faisant, à avoir une brève discussion afin d'évaluer la compréhension par l'élève des idées impliquées dans les exercices qu'elle contient.

Nous sommes conscients qu'en tant que praticien d'une discipline, c'est vous qui déterminez comment et ce que les élèves apprennent. Les fiches de travail ne sont pas destinées à remplacer ces connaissances ou toute autre connaissance sous-jacente que vous choisissez d'enseigner.

Pour les experts en la matière, les "Notes pour les instructeurs" sont fournies simplement pour révéler le raisonnement qui sous-tend l'approche adoptée. Pour le personnel dont les connaissances de base ne se situent pas dans le domaine couvert par le cours, ces notes peuvent à la fois éclairer et guider.

Le temps :

Il faut compter entre trois et cinq heures pour remplir les feuilles de travail.

Une durée similaire sera nécessaire pour soutenir l'apprentissage qui en découle.

Objectifs d'apprentissage

A l'issue de ce cours, l'étudiant sera capable de :

- décrire comment les forces de compression et de traction dans une poutre chargée donnent lieu à un moment de flexion ;
- calculer le moment d'une force donnée autour d'un point spécifié ;
- appliquer le principe des moments à une poutre en équilibre ;
- utiliser les données relatives aux forces agissant sur une poutre en équilibre et à leurs positions pour calculer le moment de flexion généré à une tranche particulière de la poutre ;
- décrire la fonction d'une cellule de charge ;
- mettre à zéro un capteur de pesage ;
- utiliser une cellule de charge pour obtenir une valeur mesurée du moment de flexion ;
- à partir de données concernant les forces agissant sur une poutre et leurs positions, dessinez :
 - un diagramme de corps libre ;
 - diagramme de force de cisaillement ;
 - et le diagramme du moment de flexion ; pour représenter l'arrangement ;
- étudier comment le moment de flexion produit par une force ponctuelle change lorsque le point d'application de la force se déplace le long de la poutre ;
- faire la distinction entre les termes "hogging" et "sagging" appliqués à la flexion d'une poutre ;
- concevoir une expérience pour étudier le principe de superposition des forces sur une poutre soumise à plusieurs forces simultanées ;
- appliquer le principe de superposition des forces pour obtenir l'effet global de plusieurs forces ponctuelles agissant simultanément sur une poutre ;
- concevoir une expérience pour étudier l'effet d'une charge uniformément répartie sur le moment de flexion résultant dans une poutre.

Feuille de travail	Notes
<p>Introduction</p> <p>Calendrier 15 - 20 minutes</p>	<p>Concepts concernés :</p> <p>force de compression force de traction force de cisaillement moment moment de flexion couple cellule de charge d'équilibre</p> <p>L'introduction vise à montrer comment le processus à l'origine de la flexion d'une poutre peut être décrit comme le résultat d'un moment de flexion et d'une force de cisaillement. L'instructeur peut choisir de développer davantage les idées exposées ici.</p> <p>En particulier, en fonction de l'expérience antérieure des étudiants, il peut être jugé avantageux d'explorer les implications de "l'équilibre" pour un corps soumis à un système de forces et de moments. De cette façon, les formules pour le moment de flexion données à la page 5 peuvent être justifiées.</p>
<p>1</p> <p>Modification de la charge</p> <p>Calendrier 30 - 45 minutes</p>	<p>Concepts concernés :</p> <p>masse poids force du champ gravitationnel diagrammes du corps libre diagramme de la force de cisaillement diagramme du moment de flexion</p> <p>Comme c'est la première fois que les élèves utilisent ce matériel, certains auront peut-être besoin d'être rassurés sur son utilisation.</p> <p>En fonction de leurs compétences et de leur expérience en mathématiques, les élèves peuvent avoir besoin d'aide pour comprendre l'argument donné à la page 5, qui conduit à une formule pour la valeur théorique du moment de flexion.</p> <p>Les mesures sont utilisées pour tracer des graphiques qui devraient justifier la validité des formules utilisées pour calculer la valeur théorique du moment de flexion.</p> <p>Si les étudiants ne sont pas familiarisés avec la procédure de dessin des diagrammes de corps libre, de force de cisaillement et de moment de flexion, l'instructeur devra les aider à réaliser un certain nombre d'exercices avant qu'ils ne s'attaquent à ce défi.</p>
<p>2</p> <p>Déplacement de la charge</p> <p>Calendrier 30 - 45 minutes</p>	<p>Il n'y a pas de nouveaux concepts.</p> <p>Les techniques utilisées ici reflètent celles de l'étude précédente. Ensuite, une charge variable a été appliquée à un endroit fixe. Cette fois-ci, une charge constante est déplacée à différents endroits. Les étudiants doivent être conscients de cette comparaison afin de les aider dans la conception des recherches ultérieures.</p> <p>Les mesures sont traitées de la même manière que précédemment.</p> <p>La signification du signe utilisé pour le moment de flexion est soulignée, en introduisant les termes "affaissement" et "déformation".</p>

Notes pour l'instructeur

Feuille de travail	Notes
3 Charge multiples Calendrier 40 - 60 minutes	<p>Il n'y a pas de nouveaux concepts.</p> <p>Les élèves conçoivent leur propre étude sur l'effet de charges multiples sur le moment de flexion. Une discussion initiale sur les facteurs à prendre en compte pour concevoir une expérience "équitable" peut s'avérer nécessaire. Ils peuvent être invités à justifier leur approche auprès des autres groupes dans le cadre d'une discussion en classe.</p> <p>Les techniques qu'ils requièrent sont celles pratiquées dans les enquêtes précédentes.</p>
4 Charge uniformément répartie Calendrier 40 - 60 minutes	<p>Concepts concernés : charge uniformément répartie</p> <p>Une fois de plus, les élèves conçoivent leur propre étude. Cette fois, ils étudient l'effet d'une charge uniformément répartie sur le moment de flexion.</p> <p>L'instructeur pourrait donner un aperçu des types de charges réparties afin d'éviter l'idée fausse que toutes les charges réparties sont uniformément réparties. Les étudiants pourraient explorer les effets d'autres formes de répartition des charges.</p> <p>Les résultats des enquêtes pourraient être partagés par le biais de présentations de groupe.</p>