Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

TRAVAUX PUBLICS

E3 – U3.2

Sciences physiques appliquées

SESSION 2017

_____

Durée : 2 heures
Coefficient : 2

_____

Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique sous réserve que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186 du 16/11/1999).

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 11 pages, numérotées de 1/11 à 11/11.

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

Autour des ponts…

Il existe plusieurs variétés de ponts, les ponts à haubans et les ponts suspendus.

Le viaduc de Millau est un pont qui fait la jonction entre le Causse Rouge et le Causse du Larzac. C'est le pont à haubans le plus haut du monde.

Source image : http://www.leviaducdemillau.com/

Le pont de Tacoma est un pont suspendu qui relie les villes de Tacoma et Gig Harbor dans l'État de Washington. Il a été inauguré le 1er juillet 1940 avant de s'effondrer le 7 novembre suivant. Cet accident a engendré la reconstruction du pont. C'est l'un des plus grands cas d'école d'entrée en résonance des ponts.

Source image : archives LabHyx

En prenant appui sur ces deux ponts, on s'intéresse dans trois exercices indépendants à différentes problématiques de génie civil.

L'exercice I traite du problème des oscillations de ponts.
L'exercice II porte sur la dilatation thermique des tabliers de ponts.
L'exercice III s'intéresse à la corrosion des structures métalliques de ponts.

Pour répondre à certaines questions, le candidat se réfèrera à la banque de données page 3/11 qui constitue un point de référence pour l'ensemble du sujet. Une attention particulière sera portée sur les unités et le nombre de chiffres significatifs pour présenter les résultats numériques.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Banque de données utiles à tout le sujet

Pendule simple :
Un pendule simple est constitué d'un objet ponctuel suspendu à un point fixe par un fil inextensible et de masse négligeable. Le système est capable d'effectuer des oscillations dont la période propre (durée d'un aller-retour) est donnée par la relation :

$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$, L étant la longueur du fil et g l'intensité de la pesanteur ($g = 9{,}81\ m.s^{-2}$).

Loi de dilatation thermique :
Pour tous les matériaux isotropes, l'allongement thermique est donné par la relation :

$$\Delta L = L_0 . \alpha . \Delta T$$

ΔL = variation de longueur (en m)
L_0 = longueur initiale (en m)
α = coefficient de dilatation linéaire (en K^{-1} ou $℃^{-1}$)
$\Delta T = T - T_0$ = variation de température en kelvin (K) ou en degré celsius (℃)

Densités :
Eau : $d_{eau} = 1{,}00$ Huile : $d_{huile} = 0{,}92$

L'eau et l'huile sont deux liquides non miscibles.

Composition de l'acier :
C'est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone (dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse pour le carbone). Des éléments d'additions comme le manganèse, le chrome, le nickel ou le molybdène peuvent être rajoutés à sa composition en plus du carbone.

Potentiels d'oxydoréduction dans les conditions des expériences présentées

Couple	Demi-équation	Potentiel (en V)
O_2/H_2O	$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2\ H_2O$	0,87
H_2O/H_2	$2H^+ + 2e^- = H_2$	- 0,36
Pb_3O_4/PbO	$Pb_3O_4 + 2H^+ + 2e^- = 3PbO + H_2O$	0,25
FeO/Fe	$FeO + 2H^+ + 2e^- = Fe + H_2O$	- 0,50
$Fe(OH)_3/Fe^{2+}$	$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- = Fe^{2+} + 3H_2O$	0,65
Fe^{2+}/Fe		- 0,44

Equation de formation de l'oxyde de fer Fe_2O_3 : $2\ Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3\ H_2O$

Dissolution du dioxygène dans l'eau :
Le dioxygène contenu dans l'air peut se dissoudre dans l'eau.

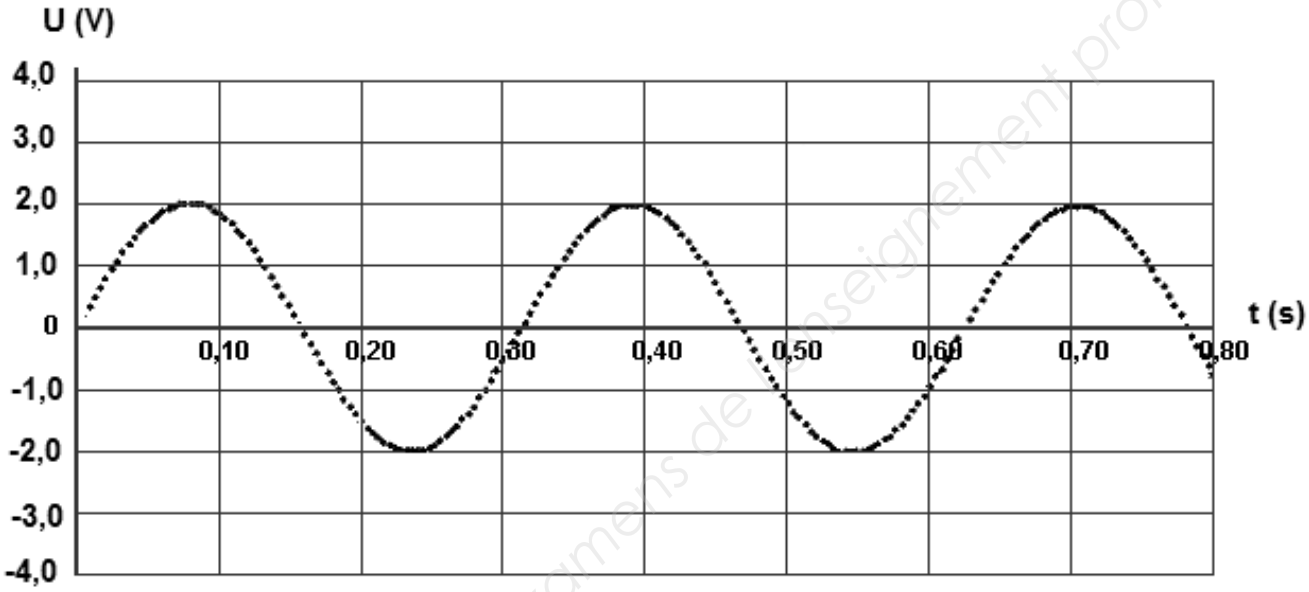
Base Nationale des Sujets d'examen de l'enseignement professionnel

Exercice I - Les oscillations d'un pont (8 points)

Un pont dont le tablier est maintenu par des câbles, peut effectuer des oscillations verticales, des oscillations transversales ou des oscillations de torsions. À chacun de ces types d'oscillations correspond une période propre.

Partie A : **étude du comportement d'un système oscillant.**

Lorsqu'on met en oscillation un système solide-ressort horizontal à l'aide d'un banc à coussin d'air et qu'on enregistre l'amplitude du mouvement, à l'aide d'un système informatisé, on constate que l'amplitude ne semble pas varier sur une durée de 0,80 s :



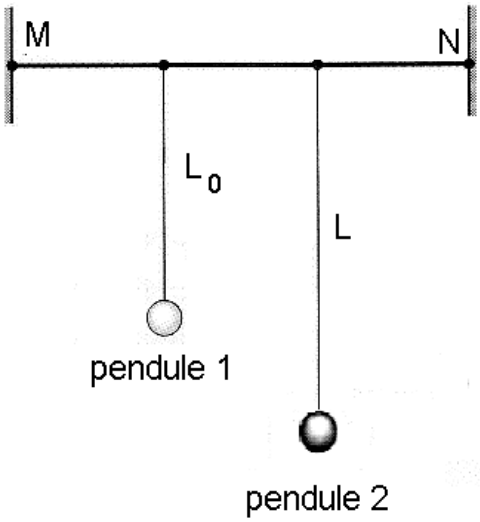
Q1. Qualifier le type de régime oscillatoire associé à cet enregistrement. Donner l'allure, directement sur votre copie, de l'évolution de l'amplitude sur une durée nettement plus longue.

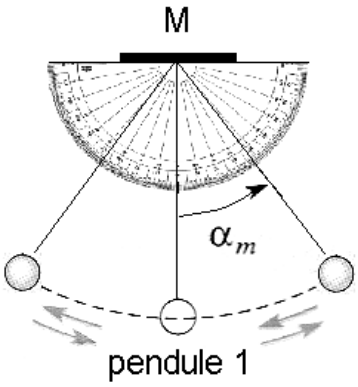
Q2. Expliquer, en justifiant la réponse, sur quel paramètre le banc à coussin d'air agit pour conduire à cet enregistrement.

Q3. A partir de l'enregistrement 2, déterminer la valeur de la période propre T_0 associée au système solide-ressort étudié.

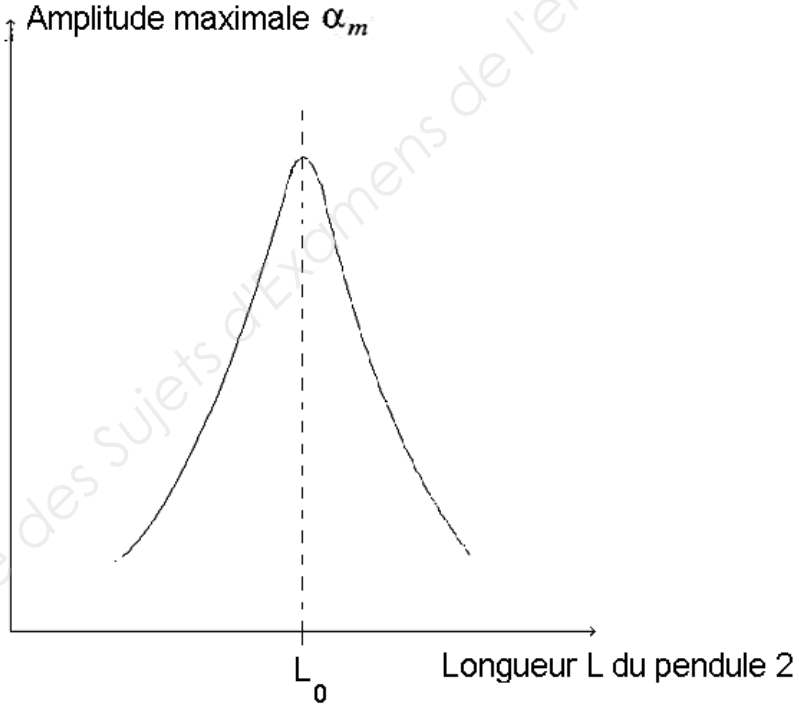
On réalise maintenant l'expérience suivante : on accroche deux pendules simples de longueurs différentes à un fil tendu horizontalement entre deux points fixes M et N. Le pendule 1 a la longueur fixe L_0 = 20 cm et la longueur L du pendule 2 est variable.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel





On met en oscillation le pendule 2 et on constate que le pendule 1 se met à osciller. On répète l'expérience en modifiant la longueur L du pendule 2 et on mesure à l'aide d'un rapporteur fixé au point M, l'amplitude angulaire maximale α_m du pendule 1. Le graphe ci-dessous reproduit l'allure de l'évolution de l'amplitude du pendule 1 lorsque l'on fait varier la longueur L du pendule 2.



Q4. Une montre battant les secondes serait-elle adaptée pour vérifier la période propre du pendule 1 ? Si oui, détailler le protocole à suivre, sinon expliquer pourquoi.

Q5. Dans l'expérience précédente identifier, parmi les deux pendules 1 et 2, l'excitateur et le résonateur.

Q6. Expliquer en quoi cette expérience illustre le phénomène de résonance mécanique.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

<u>Partie B</u> : **les oscillations du pont de Tacoma**

Les photographies suivantes sont extraites d'un film réalisé le jour de la destruction du pont de Tacoma. Ce film permet de voir que le tablier effectuait des oscillations de torsions avec une période de l'ordre de 5 s.

Une des hypothèses émises pour expliquer la destruction du pont a été qu'un phénomène de résonance s'est établi entre le pont et des tourbillons d'air créés dans le sillage du tablier. Pour confirmer ou non cette hypothèse, le LadHyx, laboratoire de l'école polytechnique de Paris a reconstitué une expérience à partir d'une maquette. Le document en ***annexe 1 page 10/11*** *présente l'étude correspondante.*

Des données relatives au pont de Tacoma et à la maquette utilisée sont répertoriées dans le tableau ci-dessous. Une étude des conditions météorologiques le jour de l'accident a permis de remonter à la vitesse du vent. La période propre des oscillations de la maquette a été déterminée par une étude mécanique préalable.

Paramètres	Pont de Tacoma	Maquette
Vitesse du vent U	19 $m.s^{-1}$	A définir
Largeur du pont	12,2 m	6,1 cm
Période d'oscillation du pont	5,0 s	0, 094 s

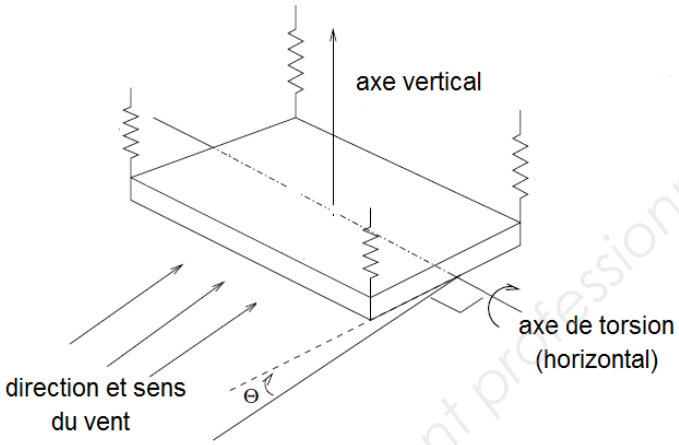
Q7. Calculer la vitesse réduite dans le cas du pont de Tacoma puis montrer que pour respecter les règles de similitudes, il faut régler la soufflerie de manière à obtenir un vent de vitesse 5 $m.s^{-1}$ pour que la maquette simule la destruction du pont de Tacoma.

Les tourbillons qui se forment dans le sillage du tablier ont une période donnée par le nombre de Strouhal noté S_t et qui dépend de la forme du tablier. Le nombre de Strouhal est donné par la relation $S_t = \frac{D}{U\,T}$ *où D est l'épaisseur du pont en m, U la vitesse du vent en* $m.s^{-1}$ *et T la période d'oscillation en s. Pour un tablier en forme de H aplati comme celui de la maquette utilisée, le nombre de Strouhal vaut $S_t = 0,11$.*

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

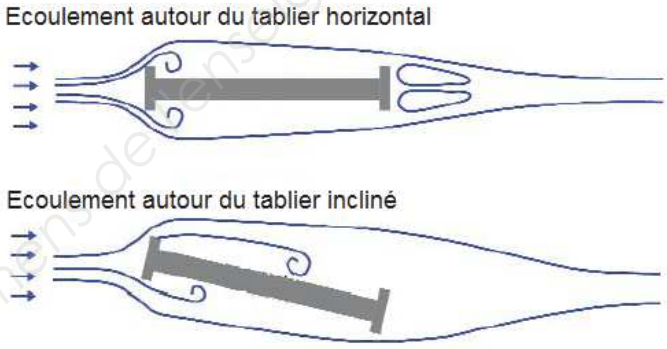
Q8. Sachant que la maquette a une épaisseur de 1,2 cm, montrer que la période des tourbillons d'air ne permet pas l'entrée en résonance de la maquette, ne confirmant pas ainsi l'hypothèse émise pour expliquer la destruction du pont de Tacoma.

On peut modéliser le pont comme un système oscillant constitué d'une plaque soutenue par quatre ressorts verticaux identiques.



Le document ci-contre présente l'écoulement de l'air autour du tablier dans le cas où celui-ci est horizontal ou légèrement incliné.

***source** : magasine découverte juillet-août 2008*

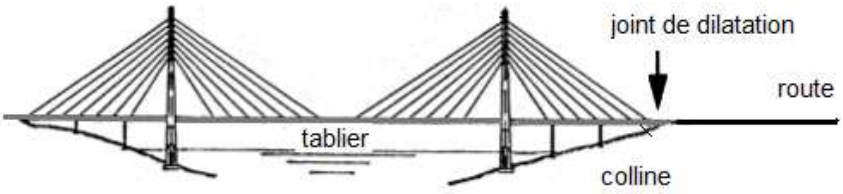


Q9. Une autre hypothèse explicative de l'accident propose une mise en résonance du tablier liée au changement d'inclinaison du vent. A l'aide des documents ci-dessus, expliquer pourquoi cette hypothèse semble cohérente.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Exercice II – La dilatation thermique des tabliers (5 points)

Le viaduc de Millau mesure 2460 m de long. Il est constitué de béton armé (béton+armatures en acier) et pour qu'il s'adapte aux variations de température, chaque côté du viaduc a été relié aux collines par un joint de dilatation qui s'adapte à la taille du viaduc. Des joints de dilatation sont également disposés au niveau des pylônes.



Le climat de l'Aveyron est influencé par le Massif central et la Méditerranée. A ce jour, la température la plus basse enregistrée est -17,5°C et la température la plus élevée +37,5°C. Ces écarts provoquent des phénomènes de dilatation-rétraction.

Q10. Expliquer le terme dilatation linéaire d'un matériau.

Le béton utilisé pour la construction du tablier est choisi de manière à avoir un coefficient de dilatation thermique très proche de celui de l'acier.

Q11. Que pourrait-il se passer pour le béton, armé d'armatures en acier, si les coefficients de dilatation du béton et de l'acier étaient très différents ?

Q12. Dans quelles conditions de températures le tablier du pont va-t-il se rétracter ou se dilater ?

Q13. En supposant le tablier du pont comme constitué d'un matériau uniforme, calculer la variation de sa longueur pour les conditions extrêmes de températures dans le cas du viaduc de Millau (on prendra comme valeur commune du coefficient de dilatation du béton et de l'acier $\alpha = 1{,}2.10^{-5}$ °C $^{-1}$).

Q14. Justifier l'intérêt de la pose de joints de dilatation entre la route sur les collines et le tablier du pont.

Parmi les deux modèles de joints suivants, c'est le modèle B qui a été choisi.

modèle A

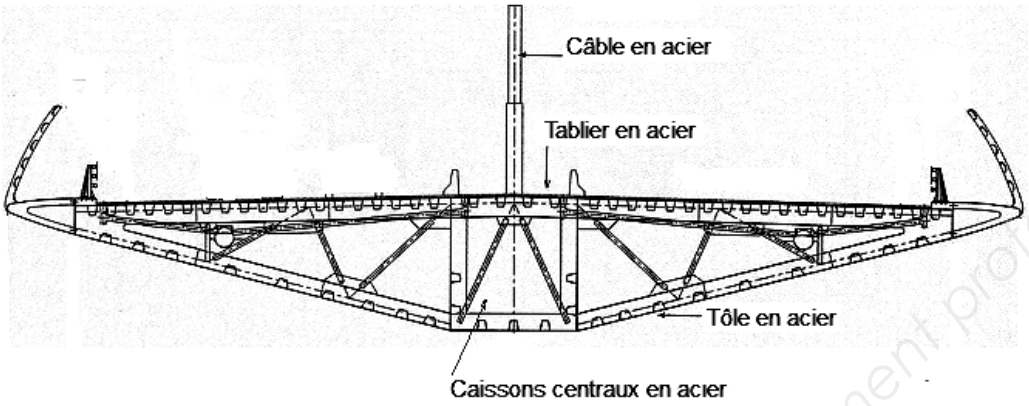
modèle B

Q15. Donner un argument possible pour justifier ce choix.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Exercice III – Le phénomène de corrosion des structures métalliques (7 points)

Les viaducs sont tous creux. Il y a des vides dans les piliers et dans les grands espaces horizontaux, qui sont les caissons. Le Viaduc de Millau comporte 173 caissons centraux en acier qui constituent la colonne vertébrale de l'ouvrage.



Sous certaines conditions, l'acier se corrode et se recouvre d'une couche poreuse de couleur rouge-brun conduisant progressivement à sa destruction. Pour lutter contre la corrosion, la structure du caisson est peinte et est muni d'un système de ventilation d'air sec et d'un système de récupération des eaux de ruissellement. Pour étudier qualitativement certains aspects de la corrosion du fer, on réalise les expériences décrites dans ***l'annexe 2 page 11/11****.*

Q16. Pourquoi l'huile se dispose-t-elle au-dessus de l'eau dans la boite 2 ?

Q17. Au vu des expériences proposées, quels sont les facteurs qui ont une influence sur la formation de la rouille ?

Q18. Quels sont les dispositions prises sur le viaduc qui permettent de limiter la formation de la rouille ?

L'oxydation du fer met en jeu trois réactions. D'abord la formation d'ions fer II avec dégagement de dihydrogène, puis l'oxydation par le dioxygène de l'air des ions fer II formés en hydroxyde de fer III, $Fe(OH)_3$ et enfin la transformation de l'hydroxyde de fer III en oxyde Fe_2O_3.

Q19. Ecrire la demi-équation électronique du couple Fe^{2+}/Fe. Préciser, en justifiant, quelle est l'espèce oxydante et l'espèce réductrice dans ce couple.

Q20. En vous aidant de la question précédente, indiquer, dans l'ordre, les équations bilans des trois réactions mises en jeu dans la corrosion du fer.

Certaines peintures anti-corrosion contiennent du minium de plomb (Pb_3O_4).

Q21. Sachant que dans les conditions de pH de la peinture, les couples mis en jeu sont Pb_3O_4/PbO et FeO/Fe, expliquer la formation d'une couche protectrice constituée d'oxyde de plomb II (PbO) et d'oxyde de fer II (FeO).

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

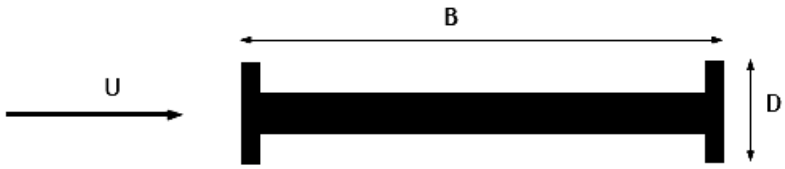
ANNEXE 1 (Exercice I)
Etude du LadHyx
(source : *www.ladhyx.polytechnique.fr)*

La chute du pont de Tacoma

Pour étudier ce phénomène, rien de mieux qu'une maquette à échelle réduite et une soufflerie, à condition de respecter les règles de similitude. Car le calcul de l'écoulement autour d'une structure flexible aussi compliquée reste toujours très incertain.

Les règles de similitudes s'appuient sur une théorie rigoureuse. Elles servent en particulier à traduire l'effet d'échelle lorsque l'on travaille avec une maquette à échelle réduite, afin de reproduire le phénomène en laboratoire et de permettre l'extrapolation des résultats de mesure au cas réel. L'expérience doit donc être conçue de sorte que le rapport entre certaines grandeurs caractéristiques soit respecté entre la maquette et le pont.

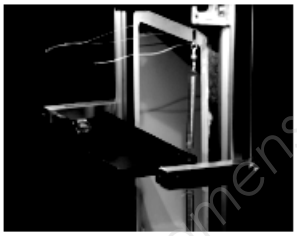
Pour le problème du pont de Tacoma, le paramètre important s'appelle la vitesse réduite, notée Ur . Il traduit le rapport entre le temps caractéristique des oscillations avec celui de l'écoulement. L'expérience de laboratoire doit donc avoir la même vitesse réduite que le pont réel dans les conditions de l'accident.



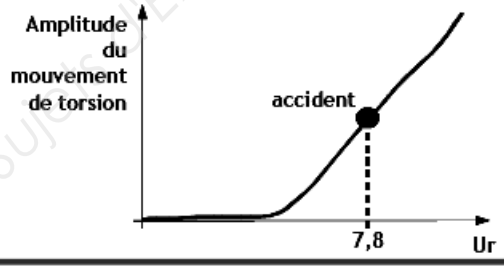
$$Ur = \frac{\text{temps structure}}{\text{temps écoulement}} = \frac{T}{\frac{B}{U}} = \frac{TU}{B}$$

T est la période des oscillations du pont

U est la vitesse du vent.



La forme de la maquette à l'échelle 1/200 est simplifiée. Elle se réduit à un H aplati de rapport B/D égal à 5.

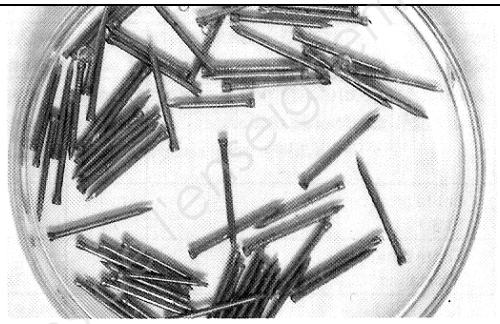
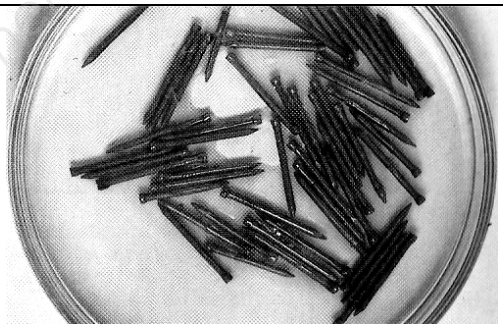
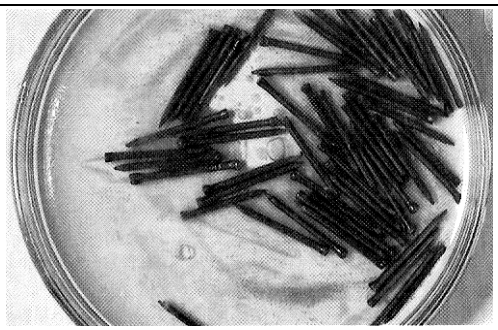


Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

ANNEXE 2 (exercice III)
Expériences sur la corrosion du fer

Des clous en acier sont dégraissés avec du dichlorométhane et sont placés dans différentes boites de Petri. On ajoute dans la première boite (boite 1) quelques cristaux de chlorure de calcium anhydre qui ont la propriété d'absorber la vapeur d'eau. Dans la deuxième boite (boite 2) on recouvre les clous avec de l'eau bouillie (pour la désaérer) et de l'huile qui forme une couche au-dessus de l'eau empêchant ainsi son contact avec l'air. Dans la troisième boite (boite 3) on recouvre les clous avec de l'eau déminéralisée.

Le tableau suivant répertorie les photographies des boites au bout de 24 h. Chaque ligne du tableau correspond au contenu d'une boite particulière. On ne constate aucun changement dans la boite 1. Dans les boites 2 et 3 des traces brunes de rouille sont visibles, et plus visibles dans la boite 3 que dans la boite 2.

	Résultat au bout de 24 h
Boite 1	
Boite 2	
Boite 3	

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel