

# BTS ÉTUDES ET ÉCONOMIE DE LA CONSTRUCTION

## SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2021

---

Durée : 2 heures  
Coefficient : 2

---

### DOCUMENTS ET MATÉRIELS AUTORISÉS

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.  
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue », est autorisé.

Tout autre matériel est interdit.  
Aucun document autorisé.

### **Documents à rendre avec la copie :**

- Annexes 1 et 2.....page 10/10

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 10 pages, numérotées de 10/10 à 10/10.

# Étude d'un gymnase

Les gymnases sont des salles polyvalentes aux usages multiples : sports et événements réguliers.

Les gymnases sont utilisés par des établissements scolaires, des clubs sportifs et des mairies. Différents aspects, comme l'acoustique du gymnase et son confort thermique, contribuent à inciter à la pratique du sport et à l'utilisation de la structure.

L'objectif du sujet est d'étudier l'acoustique, les transferts thermiques et le chauffage de l'eau des sanitaires d'un gymnase.

Ce sujet est composé de trois parties indépendantes :

**Partie A : Confort acoustique (7 points)**

**Partie B : Échanges thermiques au niveau du plancher chauffant (7 points)**

**Partie C : Protection contre la corrosion de la cuve du chauffe-eau des sanitaires (6 points)**

Les parties peuvent être traitées dans l'ordre de votre choix. Le nombre de chiffres significatifs des résultats doit être cohérent avec celui des données. Une attention particulière sera apportée aux unités.

## A. Confort acoustique (7 points)

### Document 1: Problèmes acoustiques d'un gymnase

Il faut réduire les temps de réverbération d'un gymnase le plus possible. Le grand volume de la salle de sport, le manque de matériaux absorbants au niveau du sol, des murs et des plafonds, et le niveau sonore élevé généré par les utilisateurs du gymnase (élèves et enseignants, sportifs et entraîneurs, ...), exigent l'adoption de mesures correctives qui permettent de contrôler les niveaux de bruit de fond, en réduisant les niveaux de bruit générés par la réflexion du son sur les surfaces de la salle de sport.

La mise en place des traitements à appliquer, doit permettre le déroulement de l'activité, sans que les matériaux absorbants qui sont installés ne soient une gêne. Les superficies à traiter choisies sont les murs et le plafond de la salle.

Source: <http://www.acusticaintegral.fr/200003995/ilots-acoustiques-dans-un-gymnase-scolaire/>

### Données :

Le gymnase étudié sera modélisé par un parallélépipède rectangle de longueur  $L = 44,0$  m, de largeur  $l = 24,0$  m et de hauteur  $H = 10,0$  m.

Dans une salle de sport, on recommande une durée de réverbération comprise entre 0,8 s et 1,6 s.

A.1. À partir du **document 1**, citer deux problèmes acoustiques présents dans un gymnase.

A.2. Expliquer en quoi consiste le phénomène de réverbération et en quoi ce phénomène peut être gênant dans un gymnase.

A.3. On admet que le temps de réverbération  $T_R$  dans un local est donné par la loi de Sabine, avec  $A$  l'aire d'absorption équivalente et  $V$  le volume du local étudié.

$$T_R = k \cdot \frac{V}{A} \quad \text{avec } k = 0,16 \text{ (SI)}, T_R(\text{s}), V(\text{m}^3) \text{ et } A(\text{m}^2)$$

On donne l'expression de l'aire d'absorption équivalente (qui est égale à la somme des aires équivalentes des surfaces) :

$$A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots$$

avec  $\alpha_i$  les coefficients d'absorption des surfaces et  $S_i$  les surfaces correspondantes.

A.3.1. Donner, en la justifiant, l'unité de  $k$  dans le système international.

A.3.2. Compléter le tableau de l'annexe 1, page 10/10, à rendre avec la copie pour calculer l'aire d'absorption équivalente totale  $A$  de la salle de sport du gymnase.

A.3.3. Calculer le temps de réverbération  $T_R$  correspondant. Commenter la valeur obtenue.

A.4. Après un mois d'utilisation, la réverbération a été jugée trop importante. La solution acoustique choisie est de suspendre des plaques revêtues de matériau absorbant comme le montre la photo ci-dessous.



Figure 1 - Photo intérieure du gymnase

Source: <http://www.acusticaintegral.fr/200003995/ilots-acoustiques-dans-un-gymnase-scolaire/>

A.4.1. Les temps de réverbération ont été mesurés avant et après le traitement acoustique comme le montre les courbes ci-dessous.

Déterminer la valeur  $T_R'$  du temps de réverbération mesuré avec les dalles acoustiques, à 1000 Hz à l'aide du document ci-dessous.

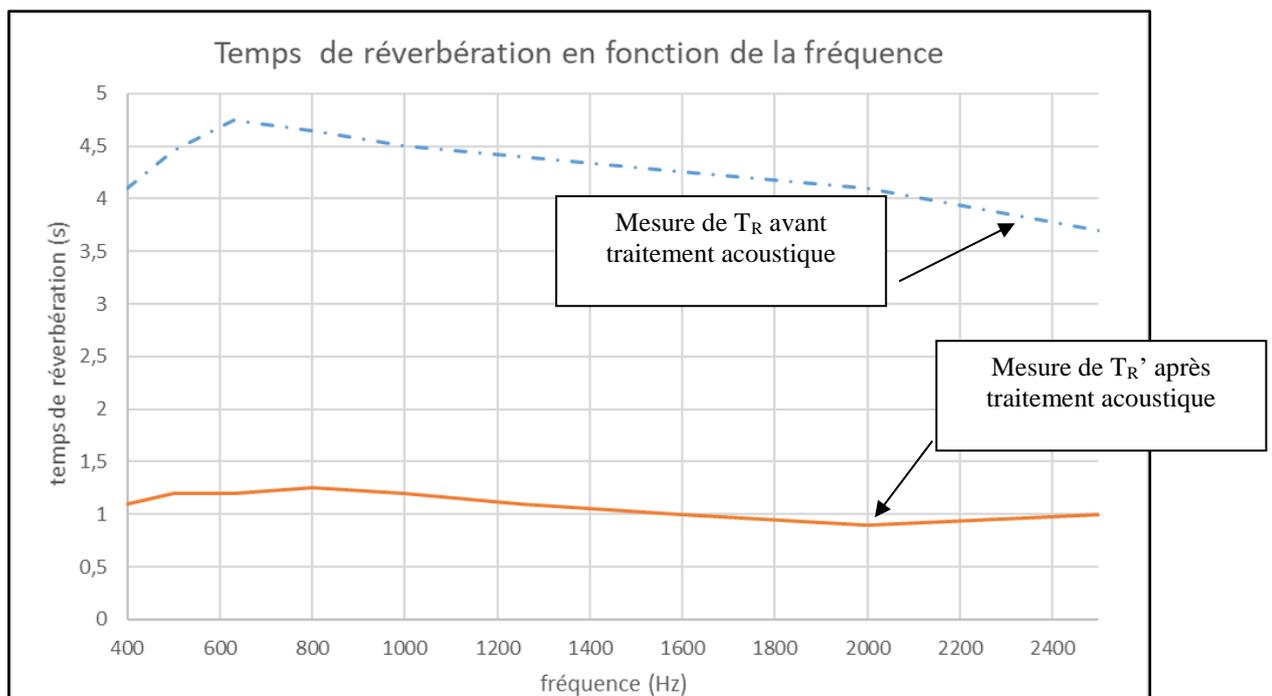


Figure 2 - Temps de réverbération

Source: <http://www.acusticaintegral.fr/200003995/ilots-acoustiques-dans-un-gymnase-scolaire/>

A.4.2. Calculer alors la nouvelle aire d'absorption équivalente  $A'$  correspondante de la salle du gymnase après traitement acoustique.

A.4.3. Sachant que chaque dalle a une aire d'absorption équivalente de  $24,0 \text{ m}^2$ , qu'elles ne sont pas collées au plafond mais suspendues, leur absorption se rajoute à celle du plafond existant.

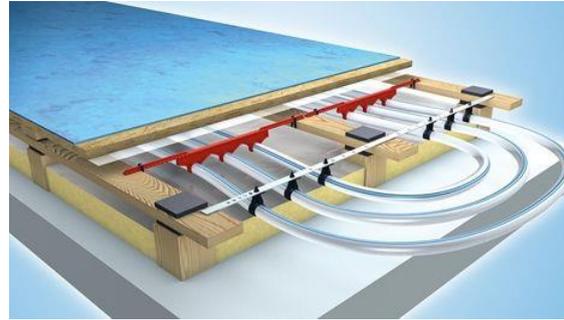
Calculer le nombre de dalles à installer au plafond. Commenter la valeur obtenue.

## B. Échanges thermiques au niveau du plancher chauffant (7 points)

Certains gymnases sont chauffés grâce à un plancher chauffant basse température.

### Document 2 : Système de chauffage au sol

Uponor vous propose un système de chauffage pour le sol idéal pour les salles omnisports, qui est supérieur sous bien des aspects aux systèmes de chauffage classiques. Posé de façon invisible dans le sol, il offre un confort thermique optimal sans composants de chauffage gênants, qui réduisent la surface utile ou qui pourraient représenter un risque potentiel de blessure pour les sportifs. Comme les éléments de chauffage ne sont pas visibles, ils ne peuvent pas non plus être endommagés (par un ballon par exemple). Même les coûts restent au ras du sol - le chauffage par le sol des salles omnisports Uponor est un chauffage basse température efficace sur le plan énergétique et il est particulièrement adapté aux sources d'énergies renouvelables. En outre, les composants système, qui se trouvent dans le sol, sont sans entretien, ce qui diminue considérablement les coûts de fonctionnement.



Source : <https://www.uponor.fr/>

B.1. À partir du **document 2**, citer deux avantages d'un plancher chauffant.

B.2. La figure ci-contre représente la coupe verticale d'un sol sportif dans lequel on a incorporé ce système de chauffage.

Celui-ci est constitué d'un tube dans lequel circule de l'eau à température moyenne supposée constante  $\theta_e = 40\text{ °C}$ .

La température intérieure à maintenir dans le gymnase est de  $\theta_i = 18\text{ °C}$ .

On assimilera le système de chauffage à un plan horizontal de  $1\,056\text{ m}^2$  de surface.

On note  $\theta_F = 2\text{ °C}$  la température du sol de fondation.

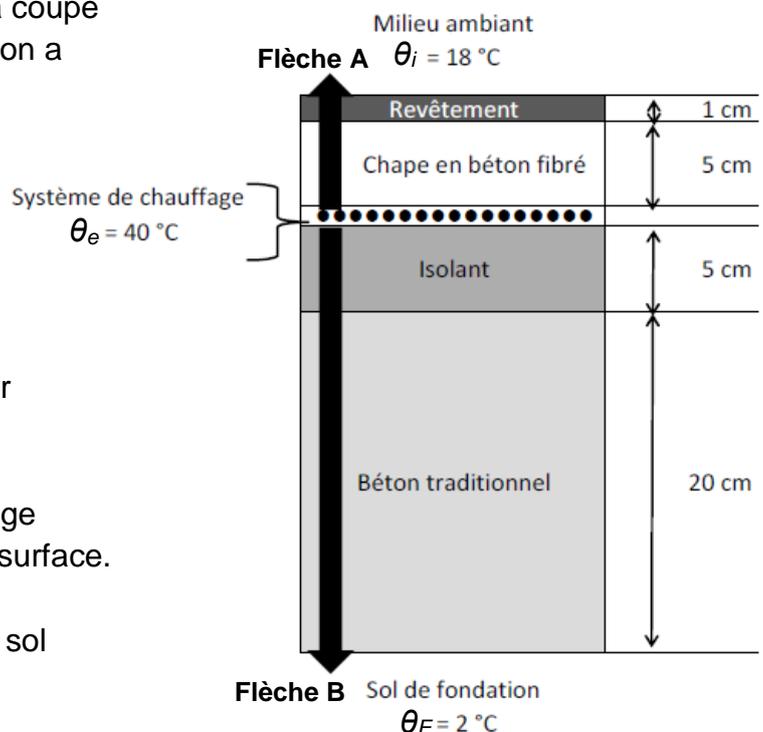


Figure 3-Profil du sol

Désignation	Conductivités thermiques $\lambda$ ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )	Épaisseurs $e$ (cm)
Revêtement sportif	2,5	1,0
Chape en béton fibré	1,8	5,0
Isolant	0,020	5,0
Béton traditionnel	1,4	20,0

La résistance thermique d'échange superficiel au niveau du revêtement sportif est  $r_s = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

B.2.1. Exprimer et calculer  $r_{SUP}$  la résistance thermique surfacique comprise entre le système de chauffage et l'intérieur de la pièce à chauffer.

B.2.2. Vérifier que le flux thermique correspondant a pour valeur  $\Phi_{SUP} = 176 \text{ kW}$ .

B.2.3. Montrer que le flux thermique  $\Phi_{INF}$  transmis du système de chauffage au sol de fondation est proche de 15 kW.

B.2.4. Indiquer quelle flèche noire A ou B de la **figure 3** correspond aux pertes thermiques et quelle flèche noire correspond au flux thermique utile.

B.2.5. On désire limiter les pertes vers le sol de fondation à 5 % de la puissance totale fournie par le système de chauffage.

Indiquer si c'est le cas pour le système étudié. Sinon, proposer une solution technique.

## C. Protection contre la corrosion de la cuve du chauffe-eau des sanitaires (6 points)

Dans les sanitaires de ce gymnase se trouve un chauffe-eau électrique constitué d'une cuve en acier. On supposera que l'acier se comporte comme son principal constituant : le fer.

Afin de prolonger la durée de vie de la cuve et donc du chauffe-eau, une anode métallique est placée à proximité de la résistance électrique.

### Données :

- potentiels standard de quelques couples redox :

$$E^\circ(\text{O}_2 / \text{HO}^-) = 1,23 \text{ V} \quad E^\circ(\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}) = - 0,44 \text{ V} \quad E^\circ(\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}) = - 2,37 \text{ V} ;$$

- 1 année = 365 jours ;
- masse molaire du magnésium :  $M(\text{Mg}) = 24,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- charge d'une mole d'électrons :  $F = 96\,500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;

### C.1. Étude de la corrosion sans anode métallique

L'acier, principalement constitué de fer, est un matériau qui s'oxyde en ions  $\text{Fe}^{2+}$  au contact du dioxygène dissout dans l'eau.

C.1.1. Écrire la demi-équation électronique qui modélise l'oxydation du fer.

C.1.2. Compléter la demi-équation électronique du couple redox  $\text{O}_2 / \text{HO}^-$  :



C.1.3. À l'aide des 2 demi-équations électroniques précédentes, écrire l'équation de la réaction de corrosion du fer.

C.1.4. Indiquer les risques pour la cuve du chauffe-eau si celle-ci n'est pas protégée contre la corrosion.

## C.2. Étude de la corrosion avec une anode métallique

### Document 4 : Anode sacrificielle

Le calcaire et la corrosion menacent la durée de vie des chauffe-eaux électriques. Ils ont aussi un lourd impact sur la consommation énergétique. Ces deux raisons majeures expliquent l'utilisation d'anodes pour limiter la corrosion de la cuve des appareils et d'adoucisseurs d'eau pour lutter contre le tartre.

#### À quoi sert l'anode sacrificielle ?

Elle a pour fonction première de se dégrader à la place du système de chauffage. Elle va protéger le chauffe-eau en s'oxydant petit à petit à la place du métal à protéger. L'anode se nettoie lors de la vidange annuelle de la cuve. Elle se remplace lorsque son taux d'usure est de 75 % (comme pour les plaquettes de freins en quelque sorte). La durée de vie de cette pièce est difficile à estimer. Elle dépend en effet de la qualité de l'eau. En moyenne son espérance de vie est comprise entre quelques mois et 10 ans maximum.

#### Anode de magnésium

L'anode en magnésium est une anode sacrificielle. Elle s'oxyde et les ions  $Mg^{2+}$  formés vont précipiter avec des anions contenus dans l'eau de la cuve. Ce composé ionique, ainsi formé, renforce l'émail de cette dernière en ajoutant une « épaisseur » supplémentaire. Elle a pour mission de boucher les trous qui se creusent dans les parois. Voilà pourquoi elle se nomme anode « sacrificielle ». L'anode en magnésium est sensible à l'électrolyse. Sa durée de vie est courte, de quelques mois à 3 ans environ.

Sources : <https://www.mychauffage.com/blog/difference-anode-magnesium-et-anode-titane>

<http://www.jacquet-dechaume.fr/fr/les-equipements-de-protection-cathodique-pour-la-protection-de-vos-metaux.htm>

C.2.1. À partir des valeurs de potentiels standard, expliquer pourquoi une anode en magnésium empêche l'oxydation de la cuve en acier et pourquoi elle est dite « sacrificielle ».

C.2.2. Écrire la demi-équation électronique qui a lieu au niveau de l'anode en magnésium.

C.2.3. Compléter le schéma de l'annexe 2, page 10/10, à rendre avec la copie en indiquant le sens de circulation des électrons entre l'anode et la cuve.

C.3. Initialement, l'anode de magnésium est un cylindre de masse  $m = 830$  g. En moyenne, la vitesse de corrosion du magnésium est de  $v = 3,86 \times 10^3$  C par jour. Déterminer le temps au bout duquel il faudra remplacer cette pièce en respectant le taux d'usure. Exprimer le résultat en années.

*Le candidat est invité à présenter sa stratégie de résolution même si elle n'a pas complètement abouti.*

## ANNEXE à rendre avec la copie

### Annexe 1 - Partie A, question A.3.2

Le tableau ci-dessous précise, entre autres, la valeur des coefficients d'absorption de différents matériaux à la fréquence de 1000 Hz ou 1 kHz :

Paroi étudiée	Matériau	Coefficient d'absorption $\alpha_i$	Surface $S_i$ m <sup>2</sup>	Aire d'absorption $A_i$ équivalente de la surface $S_i$
Parois verticales intérieures non vitrées	Bois	0,175	1 260	.....
Parois vitrées et portes	Plexiglas haute performance et bois	0,120	100	.....
Sol	Sol sportif PVC	0,0500	.....	.....
Plafond	Bois et métal	0,0800	.....	.....
Mobilier	Bois et PVC			5,00 m <sup>2</sup>
Aire d'absorption équivalente				A = .....

### Annexe 2 - Partie C, question C.2.3

