

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

TRAVAUX PUBLICS

E3 – U3.2

Sciences physiques appliquées

SESSION 2022

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :

- L'usage de calculatrice, avec mode examen actif, est autorisé.
- L'usage de calculatrice sans mémoire, type « collègue », est autorisé.
- Tout autre matériel est interdit.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation de la copie.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 10 pages, numérotées de 1/10 à 10/10.

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 1 sur 10

Le métro ... d'une station à l'autre...



Station « Place de l'étoile », le 13 juillet 1900

Le 19 juillet 1900 était inaugurée la première ligne de métro à Paris, lors de l'exposition universelle.

De la porte de Vincennes à la porte Maillot, sur un tracé d'environ 14 km, en grande partie souterrain, la ligne 1 comportait dix-huit stations : dix de types voûtées (photo ci-contre), sept à plancher métallique et une à ciel ouvert.

La construction du métropolitain s'accompagne de très nombreux travaux, depuis les travaux préliminaires comme la consolidation des anciennes carrières, nombreuses sous Paris, la construction d'ouvrages d'art, permettant de franchir la Seine, jusqu'aux stations elles-mêmes qui sont des réalisations complexes.

Sources : d'après Gallica.fr et Le Génie civil, n°945 (21/07/1900)

Aujourd'hui, le réseau métropolitain comprend 16 lignes qui desservent 304 stations, pour une distance totale d'environ 220 km.

L'acoustique d'une station « voûtée » débute le sujet, suivie d'une étude de l'éclairage des quais. La stabilisation des soubassements de la station de métro et la préservation de la corrosion des matériaux ferreux qui en composent des éléments, clôturent le sujet.

Ces 3 parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.

7 annexes apportent des éléments d'information pour la résolution des questions posées.

Les résultats des calculs seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent.

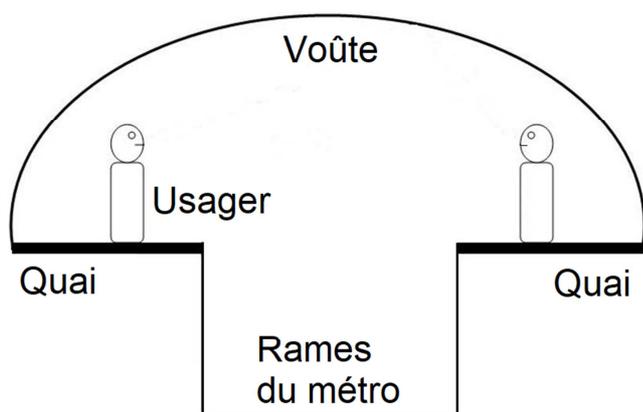
Partie 1 – Acoustique de la station de métro (6,5 points)

Partie 2 – Éclairage des quais de la station de métro (7 points)

Partie 3 – Soubassement et éléments métalliques de la station de métro (6,5 points)

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 2 sur 10

Partie 1 – Acoustique de la station de métro



L'absorption acoustique est souvent utilisée pour réduire le phénomène de réverbération ainsi que certaines réflexions ou échos dans une pièce. Ceci améliore l'intelligibilité de la parole et limite le niveau (de nuisance) sonore.

Trains et métros peuvent être une source importante de nuisances sonores qu'il convient ainsi d'atténuer.

Données :

- **Surface** de la voûte de la station de métro $S_{voûte} : 1,50 \times 10^3 \text{ m}^2$
- **Aire d'absorption équivalente** du sol des deux quais $A_{quais} : 30,0 \text{ m}^2$
- Exemples de **niveaux d'intensité acoustique Ni** :
 - mesuré à quai, dans une station peu fréquentée, en l'absence de rame de métro : 53,0 dB(A)
 - mesuré à quai, à l'arrivée d'une rame de métro : 93,0 dB(A)
 - mesuré dans la rame de métro, en circulation sur une ligne : 79,0 dB(A)

Source : ateliers.cfjlab.fr

- 1.1** Nommer l'appareil de mesure permettant d'accéder au niveau d'intensité acoustique.
- 1.2** Montrer que lorsque deux rames de métro identiques arrivent simultanément en station, le niveau d'intensité acoustique sur le quai est d'environ 96,0 dB(A).

Afin de réduire le temps de réverbération de la station de métro, des travaux ont permis la mise en place d'un matériau absorbant sur les parois de la voûte, sans modifier, globalement, le volume de la station de métro.

Ainsi, en l'absence de la rame de métro et de passagers sur les quais, l'aire d'absorption équivalente totale (sol des quais et voûte) a évolué de $60,0 \text{ m}^2$ à 230 m^2 , pour un temps de réverbération initial de 4,60 s pour une fréquence de $1,00 \times 10^3 \text{ Hz}$.

- 1.3** Définir par une phrase le temps de réverbération.
- 1.4** Justifier que la longueur des quais et le nombre d'usagers qu'ils accueillent influencent le temps de réverbération dans la station du métro.

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 3 sur 10

- 1.5** Montrer que, dans les conditions de réalisation des travaux sur la voûte de la station du métro, les temps de réverbération et les aires d'absorption équivalentes, avant et après travaux, notées respectivement T_i , A_i , T_f et A_f vérifient la relation :

$$T_i \times A_i = T_f \times A_f$$

- 1.6** Montrer que les travaux réalisés sur la voûte ont réduit d'environ 74,0 % le temps de réverbération dans la station de métro.
- 1.7** Parmi les matériaux présentés en annexe 2, préciser celui qui a pu être retenu pour la réfection de la voûte de la station de métro. Justifier par le calcul.

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 4 sur 10

Partie 2 – Éclairage des quais de la station de métro

Dans le cadre de la politique « énergie-climat » de la RATP, le remplacement de l'intégralité des lampes conventionnelles du réseau par des LED a été achevé en 2016.

Données :

- **Hauteur** de l'éclairage à LED, à la verticale du quai, d : 6,00 m
- **Intensité lumineuse** de l'éclairage à LED, à la verticale du quai, I_{LED} : $7,20 \times 10^3$ cd

2.1 Citer deux arguments qui justifient le recours à un éclairage à LED.

2.2 Estimer la valeur de la longueur d'onde λ du rayonnement bleu émis par une LED blanche sous tension.

Afin de prendre en compte la norme NF EN 12464-1 relative à la réglementation de l'éclairage, l'éclairement moyen minimum à maintenir au niveau du quai à la verticale de la source, supposée ponctuelle et isotrope, est de 150 lx.

2.3 Expliquer le qualificatif « **isotrope** » pour une source de lumière.

2.4 Nommer l'appareil utilisé pour mesurer l'éclairement.

2.5 Indiquer, justification à l'appui, si l'éclairage à LED utilisé au niveau des quais permet un éclairage réglementaire.

*Plusieurs choix d'éclairages à LED sont envisagés (voir annexe 5). Le cahier des charges impose que l'éclairage retenu pour les quais soit réalisé avec **le même type de source**, permettant un flux Φ tel que $4,00 \times 10^3 \text{ lm} < \Phi < 5,50 \times 10^3 \text{ lm}$.*

2.6 À partir des caractéristiques des éclairages à disposition, montrer que seuls, les tubulaires à LED de puissances nominales 48,0 W et 60,0 W sont envisageables pour éclairer les quais.

L'éclairage réalisé est composé de 3 lignes indépendantes de tubulaires chaînés de 23,4 m chacune, réunies à la suite dans un même coffre parcourant la longueur du quai.

2.7 Montrer que seul le tubulaire à LED de 48,0 W de puissance nominale permet de réaliser l'éclairage souhaité.

Remarque : la longueur des câbles de branchement entre les tubulaires d'une ligne est négligée.

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 5 sur 10

Partie 3 – Soubassement et éléments métalliques de la station de métro

Les structures basses de l'ouvrage (quais, fosses contenant les rails, ...) sont soumises à de fortes contraintes mécaniques et physicochimiques, questionnant notamment la stabilité du sol et les phénomènes de corrosion.

Données :

Potentiels standard E° à 25 °C :

$$E^\circ(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}) = - 0,44 \text{ V} ; E^\circ(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = - 0,76 \text{ V} ; E^\circ(\text{O}_2/\text{HO}^-) = 0,81 \text{ V}$$

- 3.1** Expliquer en quoi la technique nommée « traitement de sol » présente un double intérêt, économique et environnemental.
- 3.2** Donner deux caractéristiques du sol que le recours à la chaux modifie.
- 3.3** Écrire l'équation de réaction d'hydratation de la chaux vive.
- 3.4** La réaction décrite à la question précédente est qualifiée d'exothermique : expliquer ce qualificatif.
- 3.5** Citer au moins deux mesures de sécurité à prendre en manipulant la chaux vive.

L'atmosphère humide de la station de métro favorise la corrosion de pièces en acier (alliage contenant du fer), qui doivent donc être protégées. Certaines d'entre elles l'ont été par une galvanisation par immersion.

- 3.6** Expliquer le procédé de galvanisation par immersion.
- 3.7** Expliquer pourquoi, lorsqu'une rayure accidentelle dans le revêtement protecteur de la pièce met en contact l'acier avec l'atmosphère humide, ce dernier demeure protégé de la corrosion.
- 3.8** Nommer la méthode de protection illustrée à la question précédente.

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 6 sur 10

Annexe 1 – Quelques rappels

<ul style="list-style-type: none">• Loi de composition des niveaux d'intensité acoustique : $N_{\text{global}} = 10 \times \log (\sum 10^{N_i/10})$.
<ul style="list-style-type: none">• Une estimation du temps de réverbération d'un local T_R (en s) se calcule à partir de la formule de Sabine $T_R = 0,161 \times (V / A)$, avec V le volume du local (en m^3) et A l'aire d'absorption équivalente (en m^2), la constante « 0,161 » étant exprimée en $s.m^{-1}$.• L'aire d'absorption équivalente d'un local A (en m^2) est la somme des produits de chaque surface du local S (en m^2) par le coefficient d'absorption α du matériau qui la recouvre.
<ul style="list-style-type: none">• Pour une source lumineuse ponctuelle isotrope, d'une intensité lumineuse I (en cd), éclairant un point d'une surface plane, et situé à la verticale de la source à une distance d (en m), l'éclairement mesuré E (en lx) peut être défini comme le quotient de I par d^2.
<ul style="list-style-type: none">• Le flux lumineux d'une source de lumière, Φ (en lm), est le produit de sa puissance électrique P (en W) avec son efficacité lumineuse k ($lm.W^{-1}$).

Annexe 2 – Quelques valeurs de coefficients d'absorption

Les valeurs des coefficients d'absorption du tableau qui suit, notées α , sont obtenues pour une fréquence centrale de $1,00 \times 10^3$ Hz.

Matériau	Brique perforée	Vermiculite	Résine composite avec polymère	Liège (20 mm)	Enduit chaux sur métal	Brique polie	Panneau isorel mou
α (sans unité)	0,58	0,75	0,14	0,18	0,08	0,10	0,40

Source : acoustique-materiaux.net

Annexe 3 – Les LED mettent en lumière les économies d'énergie

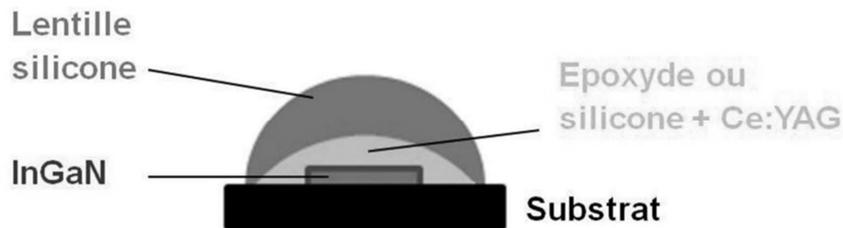
Une LED (Light Emitting Diode - diode électroluminescente) est un composant électronique émettant de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Le remplacement des lampes conventionnelles du réseau de la RATP par des LED a permis une réduction de 50 % de la consommation d'énergie et des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) associées. L'éclairage du réseau représente 19 % de la consommation électrique. C'est pour cette raison que rapidement, la RATP s'est intéressée à la technologie « LED » qui, à luminosité égale, consomme 2 à 3 fois moins d'énergie qu'un éclairage à incandescence, tout en offrant une durée de vie 3 fois plus importante (5 ans). Ce qui permet de générer moins de déchets, et de réduire les coûts d'entretien.

Source : d'après.ratp.fr

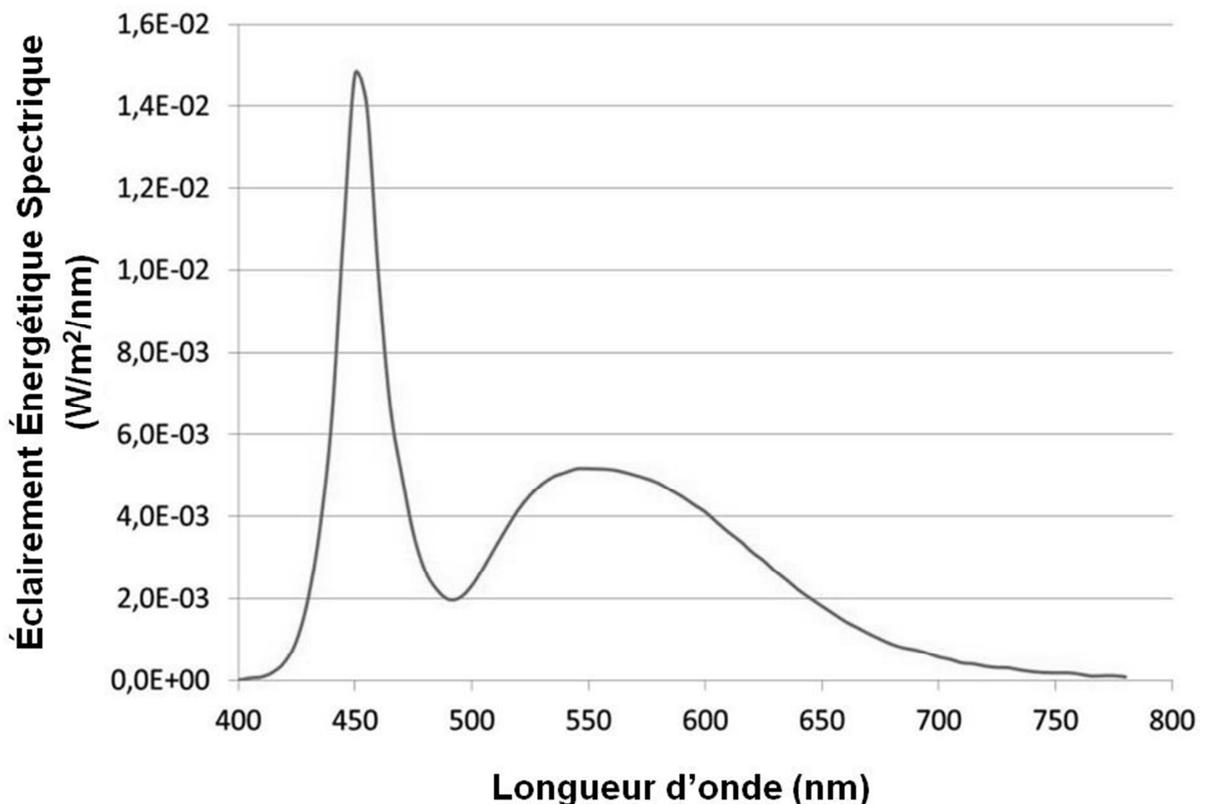
BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 7 sur 10

Annexe 4 – Zoom sur la LED blanche

Les LED blanches du commerce sont pour la plupart constituées d'une diode de nitrure d'Indium-Gallium (InGaN) et d'un matériau luminophore, généralement du grenat d'aluminium Yttrium enrichi en Cérium (Ce:YAG). La figure qui suit propose une vue schématique de la structure d'une LED blanche à luminophore.



Sous tension, par l'intermédiaire d'un phénomène appelé recombinaison radiative, la diode émet un rayonnement bleu globalement centré sur une longueur d'onde en particulier. Une partie de ce rayonnement bleu est absorbée puis réémise par le luminophore sous forme d'un rayonnement continu couvrant la partie du spectre visible comprise entre 500 nm et 700 nm en longueur d'onde. Le spectre d'une LED blanche à luminophore est donc constitué par la superposition du rayonnement bleu non converti et du rayonnement produit par la désexcitation du luminophore.



Source : d'après la Société Française de Radioprotection (SFRP)

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 8 sur 10

Annexe 5 – Caractéristiques des éclairages des quais

- Photo d'un tubulaire à LED



- Photo d'une ligne de tubulaires à LED, chaînés.



Les éclairages à LED des quais sont des lignes de tubulaires à LED chaînés, c'est-à-dire reliés entre eux par des câbles de branchements.

- **Mise en garde** : la puissance totale d'une ligne de tubulaires à LED chaînés ne doit pas dépasser 700 W, sachant que la puissance électrique totale d'une ligne est égale à la somme des puissances électriques des tubulaires qui la composent.
- **Caractéristiques électriques** des tubulaires :

Longueur (mm)	Puissance (W)			
	6,00	14,0	16,0	20,0
400	6,00	14,0		
600	8,00	12,0	16,0	20,0
1200	16,0	24,0	32,0	40,0
1800	24,0	36,0	48,0	60,0

- **Efficacité lumineuse** des tubulaires **k** : 86,0 lm.W⁻¹

Source : d'après actiled.com

Annexe 6 – Traitement de sol à la chaux

Le traitement des sols à la chaux est une pratique très ancienne, comme en témoigne de façon spectaculaire la Grande Muraille de Chine, dont le matériau de nombreuses sections est un mélange compacté d'argile et de chaux. Ce traitement vise à rendre un sol, dont les caractéristiques ne seraient pas adéquates, apte à supporter une chaussée (route, voie ferrée, ...), une plateforme (parking, aire commerciale ou industrielle, ...) ou le passage d'engins de travaux.

L'idée de base du traitement de sol est de considérer le sol lui-même comme un matériau. La capacité d'un sol à supporter une charge est définie par sa portance. La portance d'un sol est fonction de la nature de ce sol, de sa teneur en eau et de son compactage. Le traitement à la chaux d'un sol permet une augmentation rapide et importante de sa portance, ainsi qu'une diminution de sa plasticité (retrait et gonflement du sol à teneurs élevées en argiles ou limons, liés à la présence d'eau).

La teneur en eau du sol est abaissée, notamment du fait de la consommation d'eau liée à la l'hydratation de la chaux vive (CaO), appelée aussi « extinction de la chaux », réaction chimique dont le produit, la chaux éteinte, est composé d'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{HO})_2$. Par exemple, la teneur en eau d'un sol peut baisser de 1 à 2 % pour un ajout de 1 % de chaux.

L'utilisation du sol en place est économique dans la mesure où, tout en étant un facteur de rapidité du chantier, elle évite les coûts du déblaiement, de la mise en décharge et du transport. Le traitement du sol en place, en limitant le transport de matériaux, réduit la pollution et la consommation d'énergie liées aux transports. Il évite aussi l'extraction de granulats qui sont des ressources naturelles non renouvelables.

Source : lerm.fr

Annexe 7 – Fiche signalétique du carbonate de calcium (CaO)

Mises en garde	Formule chimique	Pictogramme étiquette
H315 : Provoque une irritation cutanée. H318 : Provoque des lésions oculaires graves. H335 : Peut irriter les voies respiratoires. H350 : Peut provoquer le cancer. (inhalation) H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée. (voies respiratoires)	CaO	

Source : graymont.com

BTS TRAVAUX PUBLICS		Session 2022
U32 – Sciences physiques appliquées	22TVE3SC1	Page 10 sur 10