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 :
formav.co/explorer

BTS INDUSTRIES CÉRAMIQUES • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Étude de cas : sciences physiques appliquées à la céramique

Session 2007 • Code sujet : **IQE4EC** • Durée : **Non indiquée dans les pages fournies**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Dosage et solubilité du sulfate de baryum** (11 questions) — **Page 3**
2. **Étude d'un radiateur électrique à inertie thermique** (10 questions) — **Page 7**
3. **Décomposition thermique du carbonate de calcium** (5 questions) — **Page 11**
4. **Réglage des brûleurs et atmosphère des fours** (7 questions) — **Page 13**
5. **Composition et propriétés d'un émail pour céladon** (5 questions) — **Page 16**
6. **Séchage des produits céramiques** (5 questions) — **Page 18**
7. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 20**

Sujet officiel (PDF) : https://btsic.fr/assets/annales/bts-ic/E4 - Réponse à une affaire/2007/BTS IC - E4 - Réponse à une affaire - Session 2007 - 1-Sujet.pdf

1. Dosage et solubilité du sulfate de baryum

Une eau destinée au délayage d'une poudre de porcelaine est analysée afin de déterminer sa concentration en ions sulfate. Le sujet propose un dosage conductimétrique, un dosage gravimétrique et une étude de la solubilité du précipité de sulfate de baryum.

Partie 1 : Dosage conductimétrique

Question 1.1. La solution titrante de chlorure de baryum, de concentration $1{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}, est préparée à partir d'une solution mère de concentration 5×10^{-2} mol·L^{-1}. Calculer le volume de solution mère à prélever pour préparer 100 mL de solution titrante.

Lors d'une dilution, la quantité de soluté prélevée est conservée : $C_{mère}V_{prélevé} = C_{fille}V_{final}$. On isole le volume à prélever : $V_{prélevé} = (1{,}00 \times 10^{-2} \times 100) / (5 \times 10^{-2})$. Le volume obtenu est mesuré avec une pipette jaugée, puis transféré dans une fiole jaugée de 100 mL. On complète à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Prélever **20 mL** de solution mère et compléter à 100 mL.

Question 1.2. Indiquer le matériel nécessaire pour effectuer cette dilution.

Le volume de solution mère se prélève avec précision, puis la fiole jaugée permet d'obtenir le volume final voulu. Verser d'abord un peu de solution mère dans un bécher, sans plonger la pipette directement dans le flacon. Aspirer avec une propipette, transférer dans la fiole, rincer les parois à l'eau distillée, ajuster au trait et homogénéiser.

- Pipette jaugée de 20 mL et propipette.
- Fiole jaugée de 100 mL avec bouchon.
- Bécher et pissette d'eau distillée.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Matériel : pipette jaugée de 20 mL, propipette, fiole jaugée de 100 mL, bouchon, bécher et pissette d'eau distillée.

Question 1.3. Établir le tableau d'avancement du dosage en fonction de la concentration en ions sulfate C_1, du volume d'eau prélevé V_1, de la concentration en ions baryum C_2 et du volume équivalent V_2.

Le dosage suit la réaction $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4(s)$. Les quantités de matière initiales s'écrivent concentration × volume, avec les volumes exprimés dans la même unité, de préférence en litres. L'avancement x consomme une mole de chaque ion et forme une mole de précipité.

État	SO_4^{2-}	Ba^{2+}	$BaSO_4(s)$
Initial	C_1V_1	C_2V_2	0
Évolution	$-x$	$-x$	$+x$
Final	$C_1V_1 - x$	$C_2V_2 - x$	x

✓ RÉPONSE À RETENIR

Tableau d'avancement : C_1V_1 et C_2V_2 initialement, consommation de x pour chaque ion, formation de x de $BaSO_4$.

Question 1.4. Déterminer la relation existant à l'équivalence entre les paramètres cités dans la question précédente.

L'équation de dosage comporte un ion baryum pour un ion sulfate. À l'équivalence, les quantités introduites sont donc dans les proportions stœchiométriques 1:1. La quantité initiale d'ions sulfate dans le prélèvement est C_1V_1, et la quantité d'ions baryum versée est C_2V_2. Les volumes doivent être exprimés dans la même unité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

À l'équivalence : $C_1V_1 = C_2V_2$.

Question 1.5. Déduire la concentration en ions sulfate de cette eau à partir des données du dosage.

La relation à l'équivalence donne $C_1 = C_2V_2/V_1$. Le prélèvement d'eau vaut 100 mL et le volume équivalent de solution titrante vaut 5,6 mL. Ces volumes peuvent être utilisés directement dans le rapport puisqu'ils sont exprimés dans la même unité. Avec $C_2 = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}, on obtient la concentration en ions sulfate.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$C_1 = 5{,}6 \times 10^{-4}$ mol·L^{-1}.

Partie 2 : Dosage gravimétrique

Question 2.1. Calculer la masse molaire du sulfate de baryum à partir des masses molaires atomiques fournies.

Une formule $BaSO_4$ contient un atome de baryum, un atome de soufre et quatre atomes d'oxygène. Sa masse molaire s'obtient en additionnant les masses molaires atomiques selon ces proportions : $M(BaSO_4) = M(Ba) + M(S) + 4M(O)$. Les valeurs données sont 137,3 g·mol^{-1} pour Ba, 32 g·mol^{-1} pour S et 16 g·mol^{-1} pour O.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$M(BaSO_4) = 233{,}3\ g \cdot mol^{-1}$.

Question 2.2. **Déterminer le nombre de moles de sulfate de baryum formé à partir de sa masse mesurée.**

La masse du précipité recueilli est 131 mg, soit 0,131 g. La quantité de matière se calcule par n = m/M, en utilisant la masse molaire trouvée pour $BaSO_4$. On divise donc 0,131 g par 233,3 $g \cdot mol^{-1}$. Le résultat est exprimé en moles et correspond à la quantité de sulfate de baryum formé.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$n(BaSO_4) = 5{,}6151 \times 10^{-4}$ mol.

Question 2.3. **À partir du volume d'eau prélevé et de la quantité de sulfate de baryum obtenue, déduire la concentration molaire en ions sulfate de cette eau.**

La réaction forme une mole de $BaSO_4$ par mole d'ions sulfate précipitée. La quantité de sulfate correspondant au précipité est donc égale à 0,131/233,3 mol. Le prélèvement d'eau a un volume de 1 L. La concentration molaire se calcule par C = n/V, ce qui donne directement la valeur en $mol \cdot L^{-1}$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$C(SO_4^{2-}) = 5{,}6151 \times 10^{-4}\ mol \cdot L^{-1}$.

Partie 3 : Solubilité du sulfate de baryum

Question 3.1. **Écrire la réaction de dissolution du sulfate de baryum dans l'eau et en déduire l'expression de son produit de solubilité Ks.**

La dissolution du solide libère un ion baryum et un ion sulfate. Le solide pur n'apparaît pas dans l'expression du produit de solubilité : seuls les ions dissous sont pris en compte. L'expression est donc $K_S = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}]$. D'après la définition $pK_S = -\log(K_S)$, la valeur donnée $pK_S = 10$ correspond à $K_S = 10^{-10}$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$; $K_S = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = 10^{-10}$.

Question 3.2. **Déduire la solubilité du sulfate de baryum dans l'eau en négligeant la basicité de l'ion sulfate.**

En négligeant la basicité de l'ion sulfate, la dissolution dans l'eau produit les ions Ba^{2+} et SO_4^{2-} en quantités égales. Si s est la solubilité molaire, alors $[Ba^{2+}] = [SO_4^{2-}] = s$. La relation $K_S = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}]$ devient $K_S = s^2$. Avec $pK_S = 10$, on en déduit $s = \sqrt{(10^{-10})}$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **$s = 1{,}0 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1}.**

Question 3.3. **Préciser quelle erreur est commise sur la concentration molaire lors d'un dosage des ions sulfate par le chlorure de baryum.**

La solubilité laisse environ $1{,}0 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1} de chaque ion dissous dans l'eau pure. Si l'on estime la concentration uniquement à partir du précipité recueilli, le sulfate dissous n'est pas compté : la concentration est alors sous-estimée d'environ cette solubilité. Cette erreur représente près de 1,8 % de la concentration mesurée gravimétriquement. Dans un bilan idéal du dosage à l'équivalence, les ions baryum et sulfate dissous se compensent stœchiométriquement.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> En ne comptant que le précipité : sous-estimation d'environ **$1{,}0 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1}**, soit **1,8 %**. À l'équivalence idéale, pas de biais stœchiométrique net.

2. Étude d’un radiateur électrique à inertie thermique

Le radiateur étudié comporte un noyau réfractaire chauffé par une résistance électrique, entouré de laine de roche et d’une enveloppe en aluminium. Les questions portent sur ses caractéristiques électriques, l’énergie nécessaire à l’échauffement du noyau et les transferts thermiques vers la pièce.

Partie 1 : Électricité

Question 1.1. Indiquer le facteur de puissance d’une résistance électrique.

Pour une résistance électrique idéale en régime alternatif, la tension et le courant sont en phase. Le déphasage vaut donc $\varphi = 0$, et le facteur de puissance, défini par $\cos \varphi$, est égal à 1. Cette valeur signifie que toute la puissance électrique absorbée est de la puissance active, convertie en chaleur par la résistance.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Facteur de puissance : $\cos \varphi = 1$.

Question 1.2. Calculer l’intensité du courant circulant dans la résistance, sachant que le radiateur a une puissance de 2 kW et est alimenté sous 230 V.

1. Pour la résistance, le facteur de puissance vaut 1 ; la puissance vérifie donc $P = U \times I$.
2. On isole l’intensité : $I = P/U = 2\,000/230 = 8{,}6957$ A.

En arrondissant à trois chiffres significatifs, le courant circulant dans la résistance est de 8,70 A.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $I = 8{,}70$ A.

Question 1.3. Déduire la valeur de la résistance électrique du radiateur.

La loi d’Ohm donne $R = U/I$. Avec la tension de 230 V et le courant correspondant à la puissance de 2 000 W, on peut aussi utiliser directement $R = U^2/P$. Ainsi, $R = 230^2/2\,000 = 26{,}45\ \Omega$. Cette valeur est celle de la résistance électrique du radiateur, en supposant son fonctionnement résistif idéal.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Résistance électrique : 26,45 Ω.

Partie 2 : Thermodynamique

Question 2.1. Calculer le volume et la masse du noyau réfractaire à partir de ses dimensions et de sa masse volumique.

Grandeur	Calcul	Résultat
Volume	0,81 × 0,544 × 0,064	0,02820096 m³
Masse	0,02820096 × 3 000	84,60288 kg

Le noyau est assimilé à un parallélépipède rectangle : son volume est le produit de ses trois dimensions, exprimées en mètres. Sa masse se calcule ensuite avec la relation m = ρV, en utilisant la masse volumique du réfractaire donnée dans le sujet. Les résultats sont arrondis à 0,02820 m³ et 84,60 kg.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> V = 0,02820 m³ ; m = 84,60 kg.

Question 2.2. Calculer l'énergie nécessaire pour échauffer le noyau réfractaire de 15 °C à 150 °C.

L'énergie nécessaire à l'échauffement du noyau se calcule par Q = mcΔT. L'élévation de température vaut 150 − 15 = 135 K. En utilisant la masse calculée à partir des dimensions et de la masse volumique, ainsi que c = 820 J·kg^{-1}·K^{-1}, on obtient Q = 84,60288 × 820 × 135 = 9 365 538,816 J. Cela correspond à environ 9,37 MJ.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Énergie nécessaire : 9,37 MJ.

Question 2.3. Sachant que la puissance du radiateur est de 2 kW, déduire la durée de chauffage nécessaire pour atteindre la température précédente.

1. La durée idéale de chauffage est t = Q/P.
2. Avec l'énergie calculée et la puissance de 2 000 W, t = 9 365 538,816/2 000 = 4 682,77 s.

Cette durée correspond à environ 78,0 min. Elle suppose que toute la puissance du radiateur chauffe le noyau et qu'il n'y a aucune perte thermique vers la pièce.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Durée idéale de chauffage : 4 683 s, soit environ 78,0 min.

Partie 3 : Thermique

Question 3.1. Citer les trois modes de transmission de la chaleur.

Les trois modes de transmission de la chaleur sont :

- **Conduction** : transfert à travers un matériau, notamment dans les couches solides du radiateur.
- **Convection** : échange de chaleur entre une surface et l'air en mouvement.
- **Rayonnement** : transfert par ondes électromagnétiques, sans nécessiter de contact matériel.

Ces mécanismes peuvent intervenir simultanément dans le chauffage d'une pièce.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Conduction, convection et rayonnement.

Question 3.2. Calculer, pour une surface de 1,42 m², la résistance thermique de la laine de roche et celle de l'enveloppe en aluminium, en utilisant les épaisseurs et conductivités thermiques indiquées.

Couche	Calcul	Résistance thermique
Laine de roche	0,030/(0,04 × 1,42)	0,5282 K/W
Aluminium	0,002/(237 × 1,42)	$5{,}94 \times 10^{-6}$ K/W

Pour chacune des couches, la résistance thermique de conduction se calcule avec $R = e/(\lambda S)$. Les épaisseurs du sujet sont converties en mètres : 30 mm vaut 0,030 m et 2 mm vaut 0,002 m. La résistance de l'aluminium est très faible devant celle de la laine de roche.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $R_{laine} = 0{,}5282$ K/W ; $R_{aluminium} = 5{,}94 \times 10^{-6}$ K/W.

Question 3.3. Calculer la résistance thermique de l'association de la laine de roche et de l'enveloppe en aluminium, en tenant compte de la transmission de chaleur.

Les résistances de conduction de la laine et de l'aluminium sont en série avec la résistance de convection entre l'enveloppe et l'air. Cette dernière vaut $R_{conv} = 1/(\alpha S) = 1/(15 \times 1{,}42) = 0{,}04695$ K/W. La résistance totale est donc la somme des trois contributions : $R = 0{,}528169 + 0{,}00000594 + 0{,}046948 = 0{,}5751$ K/W.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Résistance thermique totale : 0,5751 K/W.

Question 3.4. Calculer le courant thermique lorsque la température extérieure est de 15 °C et que la température de surface du noyau réfractaire est de 150 °C.

1. La différence de température entre la surface du noyau et l'air extérieur vaut $\Delta\theta = 150 - 15 = 135$ K.
2. La relation donnée est $\Delta\theta = R\varphi$; le courant thermique est donc $\varphi = \Delta\theta/R$.

En utilisant la résistance totale de l'association, incluant la convection, $\varphi = 135/0{,}575123 = 234{,}73$ W. Le transfert thermique est dirigé du noyau chaud vers l'air de la pièce.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Courant thermique : $\varphi \approx 235$ W.

3. Décomposition thermique du carbonate de calcium

L'exercice étudie l'équilibre de décomposition du carbonate de calcium en oxyde de calcium et dioxyde de carbone, l'oxyde de calcium étant utilisé comme fondant dans les céramiques. Les données d'enthalpie standard et la constante d'équilibre servent à analyser l'effet de la température et de la pression sur la réaction.

Question 1.1. Calculer l'enthalpie standard de la réaction de décomposition du carbonate de calcium, puis préciser si la réaction est exothermique ou endothermique.

Pour la décomposition écrite dans le sens direct : $\Delta_r H^\circ = [H_f^\circ(\mathrm{CaO}) + H_f^\circ(\mathrm{CO_2})] - H_f^\circ(\mathrm{CaCO_3}) = (-603{,}3 - 393{,}5) - (-1206{,}9) = +210{,}1\ \mathrm{kJ\,mol^{-1}}$. Comme cette enthalpie est positive, la réaction absorbe de la chaleur.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\Delta_r H^\circ = +210{,}1\ \mathrm{kJ\,mol^{-1}}$: réaction endothermique.

Question 1.2. Indiquer, en justifiant, dans quel sens évolue l'équilibre lorsque la température augmente.

1. La réaction directe est endothermique : elle absorbe de la chaleur.
2. Une hausse de température favorise le sens qui consomme cette chaleur, donc le sens direct de décomposition.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'équilibre se déplace vers $\mathrm{CaO_{(s)} + CO_{2(g)}}$: la décomposition est favorisée.

Question 1.3. Indiquer, en justifiant, dans quel sens évolue l'équilibre lorsque la pression augmente.

Les solides $\mathrm{CaCO_3}$ et CaO ne comptent pas dans le nombre de moles gazeuses. Le sens direct produit une mole de $\mathrm{CO_2}$ gazeux, contre aucune dans le sens inverse. Une hausse de pression favorise le côté qui comporte le moins de gaz, donc le sens inverse.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Une pression plus élevée déplace l'équilibre vers $\mathrm{CaCO_3}$ et freine sa décomposition.

Question 1.4. Préciser les conditions de température et de pression qui rendent la décomposition du carbonate de calcium aussi totale que possible.

Les deux conditions favorables au sens direct sont :

- une température élevée, car la décomposition est endothermique ;
- une pression faible, car la décomposition produit du gaz.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Pour maximiser la décomposition : température élevée et pression faible.

Question 1.5. À 1100 K, la constante de cet équilibre vaut $K_1 = 1{,}15 \times 10^4$. Indiquer ce que cette valeur permet de dire sur la décomposition du carbonate de calcium.

La constante d'équilibre donnée, $K_1 = 1{,}15 \times 10^4$, est très supérieure à 1. L'équilibre favorise donc fortement les produits à 1100 K : la décomposition est très avancée, sans que cela signifie qu'elle est strictement totale.

✓ RÉPONSE À RETENIR

À 1100 K, la décomposition est fortement favorisée à l'équilibre.

4. Réglage des brûleurs et atmosphère des fours

Deux mélanges de méthane pur et d'air, composé de 21 % de dioxygène et de 79 % de diazote en volume, alimentent un brûleur. Il faut établir les bilans de combustion, déterminer la composition des gaz en sortie et en déduire la nature de l'atmosphère du four.

Mélange de 2 m³ de CH_4 et 25 m³ d'air

Question I-1-a. Écrire et équilibrer l'équation de la réaction de combustion du méthane.

La combustion complète du méthane produit du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. Une molécule de CH_4 donne une molécule de CO_2 et deux molécules de H_2O. Il faut alors quatre atomes d'oxygène à droite, donc deux molécules de O_2 à gauche. Les nombres d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène sont identiques des deux côtés.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$

Question I-1-b. Donner, en pourcentage volumique, la composition du mélange gazeux à la sortie du brûleur après combustion.

Les volumes gazeux étant proportionnels aux quantités de matière, les 25 m³ d'air apportent 5,25 m³ de dioxygène et 19,75 m³ de diazote. La combustion de 2 m³ de méthane consomme 4 m³ de dioxygène et forme 2 m³ de CO_2 et 4 m³ de vapeur d'eau. Il reste donc 1,25 m³ de dioxygène. Le volume total en sortie est 27 m³.

Gaz en sortie	Volume (m³)	Pourcentage volumique
CO_2	2	7,41 %
$H_2O(g)$	4	14,81 %
O_2	1,25	4,63 %
N_2	19,75	73,15 %

✓ RÉPONSE À RETENIR

CO_2 : 7,41 % ; $H_2O(g)$: 14,81 % ; O_2 : 4,63 % ; N_2 : 73,15 %.

Question I-1-c. Déduire de la composition obtenue la nature de l'atmosphère du four.

La composition obtenue contient encore 1,25 m³ de dioxygène après combustion, soit 4,63 % du volume gazeux final. Ce dioxygène résiduel révèle un excès d'air : les gaz du four sont donc oxydants. Le diazote, qui ne participe pas à la réaction, ne détermine pas le caractère oxydant ou réducteur de l'atmosphère.

✓ RÉPONSE À RETENIR

L'atmosphère du four est oxydante, car le mélange en sortie contient du dioxygène en excès.

Mélange de 2 m³ de CH_4 et 17 m³ d'air

Question I-2-a. Le méthane brûle complètement, en formant CO, CO_2 et H_2O, et tout le dioxygène disponible est utilisé. Écrire les trois équations de conservation des atomes : une pour le carbone, une pour l'hydrogène et une pour l'oxygène.

Notons x, y et z les volumes de CO, CO_2 et H_2O formés. Les 2 m³ de méthane apportent 2 unités-volumes d'atomes de carbone et 8 d'atomes d'hydrogène. Les 17 m³ d'air apportent 3,57 m³ de O_2, soit 7,14 unités-volumes d'atomes d'oxygène. Les bilans de conservation sont :

- Carbone : $x + y = 2$.
- Hydrogène : $2z = 8$.
- Oxygène : $x + 2y + z = 7{,}14$.

✓ RÉPONSE À RETENIR

$x + y = 2$; $2z = 8$; $x + 2y + z = 7{,}14$.

Question I-2-b. Résoudre le système constitué par les trois équations de conservation des atomes.

Le bilan d'hydrogène donne $z = 4$. En remplaçant x par $2 - y$ dans le bilan d'oxygène, on obtient $2 + y + 4 = 7{,}14$, donc $y = 1{,}14$. Le bilan de carbone donne ensuite $x = 2 - 1{,}14 = 0{,}86$. La vérification donne bien $x + y = 2$ et $x + 2y + z = 7{,}14$: les trois bilans sont respectés.

✓ RÉPONSE À RETENIR

CO : 0,86 m³ ; CO_2 : 1,14 m³ ; $H_2O(g)$: 4,00 m³.

Question I-2-c. Donner, en pourcentage volumique, la composition du mélange gazeux à la sortie du brûleur.

Le diazote reste inerte : son volume est $17 \times 0{,}79 = 13{,}43$ m³. Tout le dioxygène est consommé. Le volume gazeux final vaut donc $0{,}86 + 1{,}14 + 4 + 13{,}43 = 19{,}43$ m³. Les pourcentages sont obtenus en rapportant chaque volume au total, puis en multipliant par 100.

Gaz en sortie	Volume (m^3)	Pourcentage volumique
CO	0,86	4,43 %
CO_2	1,14	5,87 %
$H_2O(g)$	4	20,59 %
N_2	13,43	69,12 %

✓ RÉPONSE À RETENIR

CO : 4,43 % ; CO_2 : 5,87 % ; $H_2O(g)$: 20,59 % ; N_2 : 69,12 %.

Question I-2-d. Déduire de la composition obtenue la nature de l'atmosphère du four.

Le mélange final ne contient plus de dioxygène et contient du monoxyde de carbone, produit d'une combustion en défaut d'oxygène. Cette composition indique une atmosphère réductrice. Le CO_2 et la vapeur d'eau sont également présents, mais le CO en l'absence d'O_2 résiduel permet de conclure.

✓ RÉPONSE À RETENIR

L'atmosphère du four est réductrice : le mélange contient du CO et aucun O_2 résiduel.

5. Composition et propriétés d'un émail pour céladon

L'émail étudié est destiné à une cuisson à 1260 °C et sa formule moléculaire comprend plusieurs oxydes, auxquels est ajouté un gramme d'oxyde de fer dans 100 g de mélange. Les données de l'annexe servent à calculer la dilatation thermique et l'acidité de l'émail, puis à prévoir son aspect et à discuter l'influence de l'atmosphère de cuisson.

Question II-1. Indiquer le rôle des différents constituants de l'émail.

SiO_2 est le formateur du réseau vitreux. **Na_2O** abaisse la température de fusion et facilite l'écoulement. **CaO** et **BaO** jouent des rôles de fondants et de stabilisants, en améliorant notamment la durabilité chimique. **ZnO** agit comme fondant et modifie les propriétés de la glaçure. **Al_2O_3** augmente la viscosité et limite l'écoulement excessif. L'oxyde de fer, ajouté en faible quantité, est un colorant, particulièrement important pour obtenir les teintes caractéristiques d'un céladon en cuisson réductrice.

✓ RÉPONSE À RETENIR

SiO_2 : formateur ; Na_2O, CaO, BaO et ZnO : fondants ; CaO et BaO : stabilisants ; Al_2O_3 : augmente la viscosité ; oxyde de fer : colorant.

Question II-2. Calculer le pourcentage molaire de chacun des oxydes de l'émail.

La formule moléculaire donne une somme de coefficients égale à 4,80. Pour chaque constituant, le pourcentage molaire est obtenu en divisant son coefficient par cette somme, puis en multipliant par 100. L'oxyde de fer ajouté est écarté du calcul, conformément à l'énoncé, qui précise que sa quantité de matière est négligeable devant celle des autres oxydes.

Oxyde	Calcul	Pourcentage molaire
Na_2O	0,25 / 4,80 × 100	5,21 %
CaO	0,45 / 4,80 × 100	9,38 %
BaO	0,20 / 4,80 × 100	4,17 %
ZnO	0,10 / 4,80 × 100	2,08 %
Al_2O_3	0,30 / 4,80 × 100	6,25 %
SiO_2	3,50 / 4,80 × 100	72,92 %

✓ RÉPONSE À RETENIR

Na_2O : 5,21 % ; CaO : 9,38 % ; BaO : 4,17 % ; ZnO : 2,08 % ; Al_2O_3 : 6,25 % ; SiO_2 : 72,92 %.

Question II-3. Calculer le coefficient de dilatation thermique de l'émail, le comparer aux valeurs usuelles des émaux céramiques et conclure.

Le coefficient de l'émail est la somme des produits du coefficient propre à chaque oxyde par sa proportion molaire. Avec les valeurs de l'annexe, on obtient $\alpha = [3,95 \times 0,25 + 1,30 \times 0,45 + 2,00 \times 0,20 + 0,50 \times 0,10 - 0,30 \times 0,30 + 0,32 \times 3,50]/4,80 = 0,636 \times 10^{-7}\ °C^{-1}$. Les valeurs usuelles sont de 40 à 70 × 10^{-7} °C^{-1}. Le coefficient calculé est donc très inférieur à cette plage usuelle.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> α = 0,636 × 10^{-7} °C^{-1}, très inférieur aux valeurs usuelles de 40 à 70 × 10^{-7} °C^{-1}.

Question II-4. Prévoir, par le calcul de l'acidité de l'émail et à l'aide des données de l'annexe, l'aspect de cet émail.

L'acidité est le rapport des valences acides aux valences basiques. Dans cette composition, SiO_2 apporte les valences acides. Les valences basiques sont apportées par CaO, BaO, ZnO et Na_2O, ainsi que par trois fois la proportion d'Al_2O_3. Les pourcentages molaires ont un facteur commun qui s'annule dans le rapport : $A = 3,50/(0,45 + 0,20 + 0,10 + 0,25 + 3 \times 0,30) = 1,84$. L'annexe associe une acidité de 1,45 à 1,9 à un brillant possible.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Acidité : A = 1,84. Un aspect brillant est possible.

Question II-5. Déterminer si une atmosphère de cuisson oxydante ou réductrice influence l'aspect de l'émail, notamment sa couleur et son caractère terne ou brillant, et justifier la réponse à partir d'éléments scientifiques.

Oui, l'atmosphère de cuisson influence surtout la couleur en modifiant l'état d'oxydation du fer. En atmosphère oxydante, le fer est principalement sous forme Fe^{3+}, qui peut donner des tons jaunes, ocres ou bruns. En atmosphère réductrice, une partie passe sous forme Fe^{2+}, ce qui favorise les teintes vertes des céladons. Le caractère mat ou brillant dépend surtout de la composition et de la microstructure de la glaçure. L'atmosphère peut toutefois le modifier indirectement si elle change la fusion ou la cristallisation.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'atmosphère modifie la couleur du fer : Fe^{3+} en cuisson oxydante, Fe^{2+} et teintes vertes en cuisson réductrice. Le mat ou brillant dépend surtout de la composition et de la microstructure.

6. Séchage des produits céramiques

Le séchage d'échantillons céramiques parallélépipédiques est étudié à température et humidité de l'air fixées, à partir de mesures moyennes de masse en fonction du temps. Le sujet demande d'exploiter ces données et le modèle de capillaires pour expliquer l'évolution de la vitesse de séchage et ses effets sur les pièces.

Question III-1. Calculer, en pourcentage de la masse sèche, la teneur en eau du produit au début du séchage.

La masse d'eau au début du séchage est la masse humide initiale moins la masse sèche : $7{,}76 \times 10^{-3} - 6{,}30 \times 10^{-3} = 1{,}46 \times 10^{-3}$ kg. La teneur demandée est rapportée à la masse sèche, donc on divise cette masse d'eau par $6{,}30 \times 10^{-3}$ kg, puis on multiplie par 100. Il s'agit bien d'un pourcentage de la masse sèche, et non de la masse humide initiale.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Teneur en eau au début du séchage : **23,2 % de la masse sèche**.

Question III-2. Calculer la surface de séchage des échantillons, sachant qu'ils sont séchés sur toutes leurs faces.

Chaque échantillon est un parallélépipède séché sur ses six faces. Sa surface d'échange vaut donc $S = 2(Ll + Lh + lh)$, où les dimensions sont $L = 5 \times 10^{-2}$ m, $l = 1{,}5 \times 10^{-2}$ m et $h = 0{,}5 \times 10^{-2}$ m. Les mesures de masse étant des valeurs moyennes, cette surface est celle d'un échantillon moyen et s'applique au calcul des vitesses demandées.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Surface séchante : **2,15 × 10⁻³ m² par échantillon**, toutes faces comprises.

Question III-3. Calculer la vitesse de séchage pour chacun des intervalles suivants : 0 à 0,5 h, 0,5 à 1 h, 1 à 1,5 h, 1,5 à 2 h et 2 à 2,5 h.

Pour chaque intervalle, la vitesse moyenne est la masse d'eau évaporée divisée par la durée et par la surface d'échange : $v = (m_{début} - m_{fin})/(\Delta t\, S)$. On utilise $\Delta t = 0{,}5$ h et $S = 2{,}15 \times 10^{-3}$ m². Les masses sont les valeurs moyennes du tableau, exprimées en kilogrammes.

Intervalle (h)	Vitesse (kg·h⁻¹·m⁻²)
0 à 0,5	0,372
0,5 à 1	0,372
1 à 1,5	0,279
1,5 à 2	0,186
2 à 2,5	0,0930

Les valeurs montrent une diminution progressive de la vitesse après la première heure.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Vitesses successives : **0,372 ; 0,372 ; 0,279 ; 0,186 ; 0,0930 kg·h^{-1}·m^{-2}**.

Modèle des capillaires

Question III-4-a. En utilisant le modèle d'une pâte humide constituée de capillaires parallèles de dimensions différentes remplis d'eau, justifier l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps.

La vitesse de séchage diminue parce que l'eau restante migre progressivement plus difficilement vers la surface. Au début, l'eau des capillaires les plus larges se renouvelle facilement à la surface et s'évapore rapidement. Ces capillaires se vident ensuite. L'eau se trouve alors davantage dans les capillaires plus fins, où les forces capillaires la retiennent plus fortement. Sa migration est ralentie et le débit d'eau évaporée par unité de surface diminue au cours du temps, comme le montrent les valeurs calculées.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La vitesse diminue : l'eau restante, retenue dans les capillaires plus fins, migre moins facilement vers la surface.

Question III-4-b. À l'aide du modèle des capillaires, expliquer pourquoi le séchage des pâtes céramiques s'accompagne de déformations et parfois de fentes.

Quand l'eau quitte les capillaires, les forces capillaires rapprochent les parois de la pâte et provoquent son retrait. Les capillaires n'ayant pas tous les mêmes dimensions, ils ne se vident pas au même rythme. L'évaporation est aussi plus rapide près des surfaces exposées : le retrait peut donc être inégal entre les différentes zones de la pièce. Ces écarts de retrait créent des contraintes internes ; si elles dépassent la résistance de la pâte, celle-ci se déforme ou se fissure.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le retrait inégal des zones déforme la pièce ; les contraintes internes peuvent ensuite provoquer des fentes.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2007)

Bilan de l'épreuve : Cette étude de cas de sciences physiques appliquées à la céramique porte le code IQE4EC. La session, l'année, la durée et le coefficient ne sont pas indiqués dans les pages fournies. Elle traite du dosage des sulfates, du radiateur à inertie, des équilibres chimiques, des brûleurs, des émaux et du séchage, en évaluant les calculs, l'exploitation de données et la justification scientifique.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- À l'équivalence du dosage Ba^{2+}/SO_4^{2-}, le rapport stœchiométrique étant 1:1, $C_1V_1 = C_2V_2$.
- Pour un solide, n = m/M ; la concentration molaire d'une espèce en solution est C = n/V.
- L'énergie d'échauffement s'évalue par $Q = mc\Delta T$; pour un transfert thermique, $\Delta T = R\varphi$.
- La vitesse moyenne de séchage est la masse d'eau évaporée divisée par la durée et la surface de séchage.

Points de vigilance & attentes du jury

- Convertir volumes, masses, surfaces et durées dans des unités cohérentes avant les calculs.
- Respecter les coefficients stœchiométriques et distinguer masse, quantité de matière et concentration.
- Pour les résistances thermiques, utiliser l'épaisseur, la conductivité et la surface appropriées, puis additionner les résistances en série.
- Exploiter les tableaux et l'annexe, puis justifier les conclusions sur l'équilibre, l'émail et l'atmosphère.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment établir la relation à l'équivalence pour le dosage des ions sulfate ?

L'équation $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4$ indique un rapport stœchiométrique de 1:1. À l'équivalence, les quantités de matière réagies sont égales : $C_1V_1 = C_2V_2$, avec les volumes exprimés dans des unités cohérentes.

Q : Comment calculer la résistance thermique d'une couche ?

Pour une couche plane homogène, on utilise $R = e/(\lambda S)$, où e est l'épaisseur en mètres, λ la conductivité thermique et S la surface d'échange. Pour des couches en série, leurs résistances s'additionnent.

Q : Comment organiser le temps sur cette épreuve ?

La durée officielle et le barème de la partie B ne figurent pas sur les pages fournies. Repérez les données et unités, traitez les calculs directs, puis gardez du temps pour vérifier les résultats et rédiger les justifications.

Q : Quels critères faut-il respecter dans les calculs et les conclusions ?

Présentez les relations utilisées, les substitutions numériques avec unités et les résultats assortis d'unités adaptées. Justifiez les conclusions à partir des données, des coefficients stœchiométriques et des tableaux de l'annexe, sans supposer de barème absent.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btsic.fr/assets/annales/bts-ic/E4 - Réponse à une affaire/2007/BTS IC - E4 - Réponse à une affaire - Session 2007 - 1-Sujet.pdf

Ressources BTS Industries Céramiques : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.