

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET
RÉALISATION
SESSION 2020

**E4 : Analyse, prescription, conception d'un
projet**

U 4

Durée : 4h – Coefficient : 4

Contenu du dossier

Sujet : 10 pages

Dossier Technique : 13 pages

Dossier Ressources : 5 pages

Dossier Réponses : 4 pages

Barème indicatif

Partie 1 : 16 points

Partie 2 : 8 points

Partie 3 : 48 points

Partie 4 : 8 points

Recommandations

Il est vivement recommandé de lire l'ensemble des documents avant de commencer à répondre aux questions. Temps conseillé : 20 minutes

Calculatrice

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

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

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4	SUJET N°	Page 1 sur 10

1. Analyse des besoins du client

1.1. Identification des contraintes techniques liées à l'exploitation et à destination de l'ouvrage

Q1. Objet du marché

À partir des éléments descriptifs du dossier technique, **précisez** l'objet et la localisation du projet et **expliquez** l'objectif principal visé par la création de la passerelle.

Q2. Profil en long - Largeur utile

Précisez la longueur totale de la passerelle métallique et les portées entre appuis (travure), ainsi que sa largeur utile.

1.2. Précisions sur les choix architecturaux

Q3. Parti pris architectural

Citez les quatre grands principes conceptuels qui ont été retenus lors de la conception architecturale de l'ouvrage.

Q4. Typologie d'ouvrage

Nommez le type d'ouvrage retenu par le Maître d'Ouvrage pour réaliser la structure porteuse principale de la passerelle, et **précisez** quelles en sont les hauteurs sur les berges et à mi-travée.

1.3. Identification des contraintes réglementaires, administratives et environnementales

Q5. Pente du profil en long

Précisez quelle est la pente maximale prescrite afin de favoriser l'accès PMR sur la passerelle.

Q6. Tirant d'air

Indiquez quelle doit être la hauteur libre minimale entre la passerelle et le niveau d'eau en partie centrale de l'ouvrage. **Précisez** à quel objectif obéit cette contrainte.

Q7. Périmètre de protection d'un monument historique

Mentionnez les éventuels périmètres de protection d'un monument historique inclus dans le site du Lac de Saint-Pardoux. **Précisez** si la passerelle est contenue ou non dans ces périmètres.

Q8. Inventaire ZNIEFF

Précisez le type de Zone Naturelle d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique dont relèvent le lac et ses abords.

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet		Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		SUJET N°	Page 2 sur 10

2. Analyse du contexte de l'avant-projet

2.1. Etude des contextes géotechniques et de chargements

Q9. Charges climatiques

Déterminez, à partir des tableaux 1 à 6 du Dossier Ressources :

- la pression dynamique de pointe q_p pour ce projet, en assimilant l'environnement de la passerelle à un terrain de rugosité 0 ;
- la charge caractéristique de neige sur le sol.

Expliquez pourquoi il n'y a en réalité pas lieu de se préoccuper de l'action de la neige pour ce projet.

Q10. Contexte géotechnique

La passerelle est assimilable à un pont classé en catégorie d'importance 2 vis-à-vis du risque sismique.

Saint-Pardoux est situé en zone sismique modérée (zone 3).

Précisez, à partir des tableaux 7 et 8 du Dossier Ressources, quelle est la réglementation applicable à la passerelle vis-à-vis du risque sismique, en indiquant, le cas échéant, la valeur de l'accélération maximale de référence au rocher a_{gr} à prendre en compte.

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4	SUJET N°	Page 3 sur 10

3. Définition des caractéristiques de l'ouvrage et conception de l'avant-projet

3.1. Etude des possibilités de liaison avec le support

Q11. Appuis des poutres treillis

La figure 16 du Dossier Technique précise la solution technologique envisagée par le bureau d'études pour chacun des quatre appuis de poutre treillis.

Les éléments repérés « Appareils d'appui type D » sont des appuis en élastomère fretté, qui ont pour propriété de transmettre les actions verticales et de permettre les mouvements de translation horizontale et de rotation.

Complétez le document réponse **DR1** en faisant figurer la nature de chaque appui.

3.2. Analyse des interfaces entre la structure et les autres lots

Q12. Connexion de la dalle de lestage

Le tablier de la passerelle comporte une dalle de lestage dont la fonction principale est d'améliorer les performances vibratoires de l'ouvrage.

Pour des raisons de bonnes dispositions constructives, il conviendra d'assurer une connexion mécanique entre la dalle de lestage et les pièces de pont (cette connexion ne sera pas prise en compte dans les calculs ultérieurs).

Proposez une solution technologique permettant d'obtenir cette connexion mécanique, en précisant à quel moment du projet il serait le plus judicieux de la mettre en œuvre.

3.3. Définition de la structure porteuse principale et les stabilités

3.3.1. Pré-dimensionnement des pièces de pont

Les pièces de pont sont les éléments porteurs horizontaux destinés à supporter le platelage et la dalle de lestage, et portant entre les deux poutres treillis principales.

Q13. Surface de chargement

Hachurez et **cotez** sur le document réponse **DR2** la surface de chargement de la pièce de pont repérée **PP12**.

Q14. Charges linéiques

Les pièces de pont sont soumises aux charges élémentaires suivantes :

- charges permanentes G :
 - poids propre de la pièce de pont : négligeable en première approche ;
 - dalle de lestage en béton épaisseur moyenne 13,25 cm, masse volumique moyenne : 2.500 kg/m³ ;
 - platelage bois : épaisseur 45 mm, masse volumique 650 kg/m³ ;
 - équipements et réseaux divers : 0,8 kN/m².

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet		Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		SUJET N°	Page 4 sur 10

- Charges d'exploitation I : 4 kN/m²

En considérant une largeur de chargement de 4,00 m, **déterminez** les charges linéiques permanentes q_G et d'exploitation q_I agissant sur les pièces de pont.

Q15. Modélisation isostatique – Sollicitations internes

On modélise dans cette question les pièces de pont comme des poutres isostatiques sur deux appuis d'extrémités distants de 3,80 m, et soumises aux charges linéiques élémentaires $q_G = 17,5$ kN/m et $q_I = 16$ kN/m.

Déterminez les valeurs maximales de l'effort tranchant V_{Ed} et du moment fléchissant $M_{y,Ed}$ sous la combinaison 1,35 G + 1,5 I.

Q16. Modélisation isostatique - Dimensionnement ELU en flexion

Les pièces de pont seront de nuance S275 et doivent être dimensionnées en élasticité.

Déterminez le module de résistance élastique $W_{el,y}$ minimal qu'elles devront présenter.

Q17. Modélisation isostatique - Choix d'un profilé HEA pour l'ELU

On fait l'hypothèse ici que les pièces de pont seront en profilés HEA.

Entourez sur le document réponse **DR3** la valeur du module de résistance élastique $W_{el,y}$ correspondant au plus petit HEA suffisant pour satisfaire à la condition de résistance de la question Q16, et **concluez** sur le profilé à retenir en complétant la dernière ligne du **DR3**.

Q18. Modélisation isostatique – Dimensionnement pour l'ELS en situation transitoire

Pour des raisons de bonnes dispositions constructives, on souhaite limiter la déformation verticale des pièces de pont lors du coulage de la dalle de lestage.

On fixe ainsi la valeur maximale de cette flèche à la plus faible des deux valeurs

$$\text{suivantes : } \begin{cases} \frac{L}{2.000} + 20\text{mm} \\ \frac{L}{300} \end{cases} \quad (L \text{ représentant ici la portée, soit } 3,80 \text{ m}).$$

En considérant que la charge linéique agissant sur les pièces de pont dans cette situation vaut $q_G = 17,5$ kN/m, et qu'il n'y a alors pas de charge d'exploitation à prendre en compte, **déterminez** l'inertie minimale I_y que doit présenter le profilé à mettre en œuvre.

Concluez, à l'aide du tableau n°9 du Dossier Ressources, sur le profilé HEA qui conviendrait pour l'ELS, et sur le profilé HEA qu'il faudrait finalement choisir compte tenu des critères ELU et ELS transitoire.

On rappelle la formule de calcul pour la flèche d'une poutre chargée uniformément sur

$$\text{appuis d'extrémités : } f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}.$$

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet		Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4		SUJET N°	Page 5 sur 10

Q19. Modélisation hyperstatique - Sollicitations internes

On envisage maintenant une solution hyperstatique, consistant à liaisonner par encastrement les pièces de pont sur les membrures basses des poutres treillis.

Les charges élémentaires sont les mêmes que pour le modèle isostatique, c'est à dire $q_0 = 17,5 \text{ kN/m}$ et $q_1 = 16 \text{ kN/m}$.

La portée théorique des pièces de pont est toujours de 3,80 m.

L'étude mécanique de cette poutre bi-encastree pourra être menée à partir du formulaire ci-dessous.

	<p>Réactions aux appuis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • $Y_A = Y_B = \frac{qL}{2}$ • $M_{y,A} = -M_{y,B} = \frac{qL^2}{12}$ <p>Moment maximal en travée : $M_L = \frac{qL^2}{24}$</p> <p>Déformation maximale : $f = \frac{qL^4}{384EI}$</p>
--	---

Représentez le schéma statique (charge transversale, actions de liaisons, cotes, ...) de la pièce de pont à l'équilibre à l'ELU et **précisez** les valeurs de sollicitations internes maximales (effort tranchant V_{Ed} et moment fléchissant $M_{y,Ed}$).

Q20. Modélisation hyperstatique - Dimensionnement en flexion à l'ELU

Les pièces de pont seront de nuance S275 et doivent être dimensionnées en élasticité.

Déterminez le module de résistance élastique $W_{el,y}$ minimal qu'elles devront présenter.

3.3.2. Pré-dimensionnement des poutres treillis

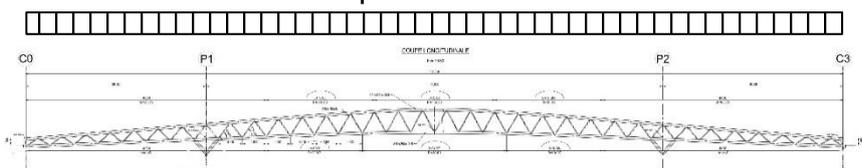
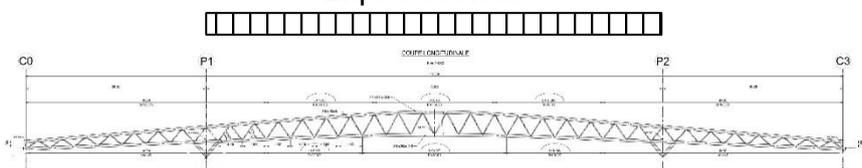
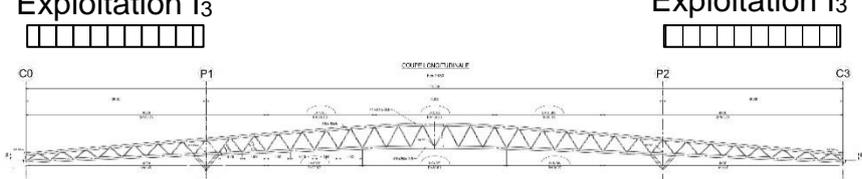
Q21. Combinaisons de charges

Un premier calcul de pré-dimensionnement des poutres treillis permettra d'obtenir les ordres de grandeur pour :

- le moment maximum en travée ;
- le moment maximum sur appui ;
- les réactions d'appuis maximales sur les piles P1 et P2 ;
- les réactions d'appuis maximales sur les culées C0 et C3 ;
- le soulèvement maximal sur les culées C0 et C3.

Outre les charges permanentes G, on modélisera pour cela les charges d'exploitation suivant les trois dispositions possibles suivantes :

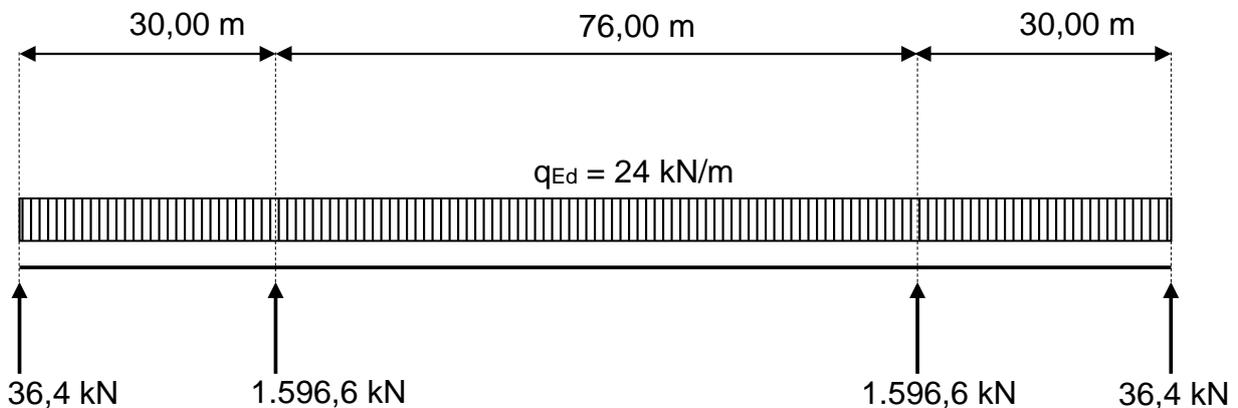
CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet		Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4	SUJET N°		Page 6 sur 10

<p>Cas 1 : Exploitation sur toute la longueur de la passerelle</p>	<p style="text-align: center;">Exploitation I₁</p> 
<p>Cas 2 : Exploitation uniquement en partie centrale</p>	<p style="text-align: center;">Exploitation I₂</p> 
<p>Cas 3 : Exploitation uniquement sur les travées de rive</p>	<p style="text-align: center;">Exploitation I₃</p> 

Cochez dans le tableau du **DR4** les cas les plus adaptés à chacune des vérifications visées. Aucun calcul n'est demandé.

Q22. Sollicitations internes globales

En première approche, on peut considérer que la poutre treillis fonctionne comme une poutre continue sur quatre appuis, modélisée à l'ELU comme suit :



Tracez sur les repères du **DR5** les diagrammes de l'effort tranchant V_{Ed} et du moment fléchissant $M_{y,Ed}$ pour ce modèle mécanique.

Q23. Estimation de la retombée minimale pour l'ELU

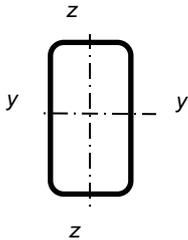
On peut estimer que le moment fléchissant maximal des poutres treillis se trouve au niveau des appuis intermédiaires, et est de l'ordre de 9.800 m.kN à l'ELU.

<p>CODE ÉPREUVE :</p>	<p>EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR</p>		<p>SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION</p>	
<p>SESSION 2020</p>	<p>SUJET</p>	<p>ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet</p>		<p>Calculatrice autorisée</p>
<p>Durée : 4h</p>	<p>Coefficient : 4</p>		<p>SUJET N°</p>	<p>Page 7 sur 10</p>

On envisage à ce stade des membrures hautes et basses en profils creux rectangulaires de 450 mm x 250 mm ép. 12,5 mm en S355.

Pour se prémunir des éventuelles instabilités, on souhaite ne pas faire travailler l'acier à plus de 70% de sa limite élastique.

Déterminez, avec ces hypothèses l'écartement théorique minimal (cote d'épure) entre les membrures hautes et basses, qui permettrait d'assurer leur résistance vis-à-vis de l'effort normal.

		Hauteur recherchée
	Rectangle creux 450 x 250 x 12,5 mm	
	Aire de la section : $A = 167 \times 10^2 \text{ mm}^2$	
	Moment d'inertie fort : $I_y = 45.008 \times 10^4 \text{ mm}^4$	
	Moment d'inertie faible : $I_z = 17.962 \times 10^4 \text{ mm}^4$	
	Module de flexion plastique fort : $W_{pl,y} = 2.457 \times 10^3 \text{ mm}^3$	
Module de flexion plastique faible : $W_{pl,z} = 1.630 \times 10^3 \text{ mm}^3$		

3.4. Proposition des choix techniques, des types d'assemblages

3.4.1. Choix des types de profilés, des types d'assemblage

On retient finalement une configuration hyperstatique pour les pièces de pont, qui seront donc bi-encastées sur les membrures basses des treillis.

Q24. Profils creux ou laminés

Expliquez sans calcul mais avec des arguments technologiques clairs :

- Pourquoi est-il plus intéressant pour les pièces de pont de choisir cette solution bi-encastée ?
- Quelle solution technologique d'assemblage entre les pièces de pont et la membrure inférieure des poutres treillis vous semble la plus pertinente pour parvenir à réaliser cette solution bi-encastée ?
- Quel avantage y a-t-il à choisir un profil creux plutôt qu'un profil laminé en I ou en H pour les pièces de pont ?
- Quelle conséquence mécanique potentiellement préjudiciable pour la membrure basse du treillis va générer cette solution bi-encastée ?
- Quel est alors l'intérêt de retenir un profil creux rectangulaire pour la membrure basse de la poutre treillis plutôt qu'un profilé en I ou en H ?

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4	SUJET N°	Page 8 sur 10

3.4.2. Conception des poutres treillis

La charpente métallique sera réalisée en usine par tronçons élémentaires qui seront transportés par voie routière sur site, où une plate-forme d'assemblage sera prévue. Ces tronçons élémentaires y seront assemblés par soudage de façon à reconstituer trois tronçons principaux : deux tronçons de rive et un tronçon central.

Ces trois tronçons principaux seront ensuite positionnés de façon définitive, puis soudés afin d'assurer la continuité mécanique de l'ensemble.

Q25. Répartition des tronçons principaux

Précisez quelle est la principale sollicitation agissant sur les membrures des poutres treillis (effort normal N_{Ed} , effort tranchant V_{Ed} ou moment fléchissant $M_{y,Ed}$).

Expliquez, notamment à partir des diagrammes de sollicitations internes du **DR6** comment il vous semble judicieux de positionner les joints de fabrication définissant les trois tronçons principaux.

Représentez l'emplacement optimal de ces joints de fabrication sur le **DR6**, et **indiquez** les longueurs approximatives des tronçons de rive et du tronçon central.

Q26. Rôle des traverses hautes

Définissez de façon concise la fonction principale des traverses reliant les membrures hautes des poutres treillis.

3.5. Proposition d'une ouverture à variante

On souhaite étudier ici une solution alternative consistant à remplacer les poutres treillis par des poutres en Profilé Reconstitué Soudé.

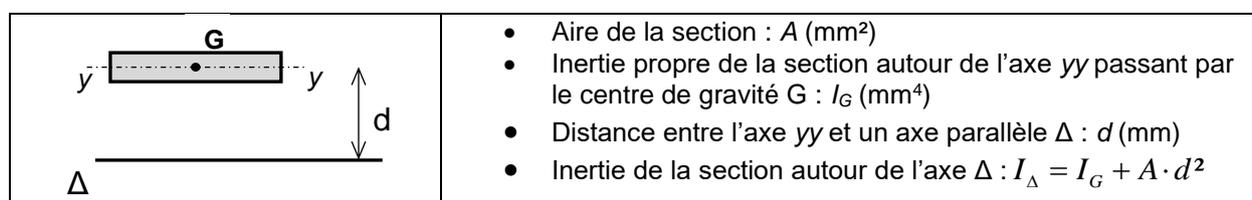
Q27. Estimation de la retombée

On peut estimer à $6 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$ le moment d'inertie minimal $I_{y,min}$ que doivent présenter les poutres porteuses vis-à-vis des critères ELS.

On envisage ici un PRS dont les semelles seraient des plats de 35x400 mm.

Déterminez l'écartement minimal à adopter entre les semelles inférieures et supérieures du PRS, en négligeant les inerties propres des semelles et de l'âme.

Pour rappel, le théorème de Huygens est illustré par le schéma suivant :



CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR	SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION	
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4	SUJET N°	Page 9 sur 10

Q28. Évaluation de la solution par poutres porteuses en PRS

Indiquez quels seraient les principaux avantages et inconvénients de cette alternative en PRS par rapport à la solution en poutres treillis.

4. Rédaction des pièces techniques du marché

4.1. Rédaction du cahier des charges techniques

Q29. Choix d'une classe d'exécution

La classe d'exécution des poutres treillis devra être prescrite dans les documents du marché.

On considérera pour cela que la passerelle dans son ensemble relève de la classe de conséquence CCO.2b, qu'elle n'est pas assujettie à des vérifications à la fatigue, ni au séisme, et qu'elle n'a pas à supporter un chargement de foule.

On rappelle cependant qu'elle sera réalisée en trois tronçons principaux qui seront assemblés sur chantier par soudage des membrures principales.

Précisez à partir des tableaux 11 à 15 du Dossier Ressources :

- la famille d'éléments structuraux à laquelle doivent être affectées les poutres treillis ;
- la classe de conséquence dont relèvent les poutres treillis ;
- la catégorie de service dont relèvent les poutres treillis ;
- la catégorie de production dont relèvent les poutres treillis.

Concluez sur la classe d'exécution qui doit finalement être retenue pour les poutres treillis.

CODE ÉPREUVE :	EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : ARCHITECTURES EN MÉTAL : CONCEPTION ET RÉALISATION
SESSION 2020	SUJET	ÉPREUVE : E4 : Analyse, prescription, conception d'un projet	Calculatrice autorisée
Durée : 4h	Coefficient : 4	SUJET N°	Page 10 sur 10