CORRIGÉ NON OFFICIEL

BTS Conception et Réalisation de Systèmes Automatiques

E5.1 - Conception détaillée d'une chaîne fonctionnelle

Session 2026

Proposition de corrigé rédigée par FormaV pour s'entraîner. Ce n'est pas le corrigé officiel de l'examen et elle ne remplace pas les éléments de correction officiels.

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 consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du BTS CRSA, veuillez visiter :
btscrsa.fr/annales-sujets-et-corriges

BTS Conception et réalisation de systèmes automatiques

Session 2026

E5.1 – Conception détaillée d'une chaîne fonctionnelle

PROPOSITION DE CORRIGÉ

Proposition de corrigé établie par FormaV à partir du sujet, non officielle. Elle ne préjuge pas des consignes nationales de correction données aux jurys.

PARTIE 1 – ÉTUDE DU RETOURNEMENT

1. Étude de l'arrivée de l'élément de radiateur

Question 1

Calculer le demi-angle au sommet φ0 du cône de frottement entre 1 élément et 1 rail.

Selon la loi de Coulomb, le coefficient de frottement est égal à la tangente de l'angle de frottement : $f = \tan\varphi$.

$\varphi_0 = \arctan(f) = \arctan(0{,}1) \approx 5{,}71^\circ$

Le demi-angle au sommet du cône de frottement vaut φ0 ≈ 5,7°.

Question 2

Comparer cet angle à l'inclinaison de la rampe. Conclure, en justifiant, sur le glissement des éléments jusqu'au point A.

L'inclinaison de la rampe est θ = 13° et le demi-angle du cône de frottement est φ ≈ 5,7°. On a donc θ > φ, soit 13° > 5,7°.

D'après la loi de Coulomb (document ressources 1), la condition θ > φ correspond au glissement. Les éléments ne restent donc pas immobiles sur la rampe : ils glissent sur les deux rails jusqu'au point A, leur déplacement étant assuré par la gravité.

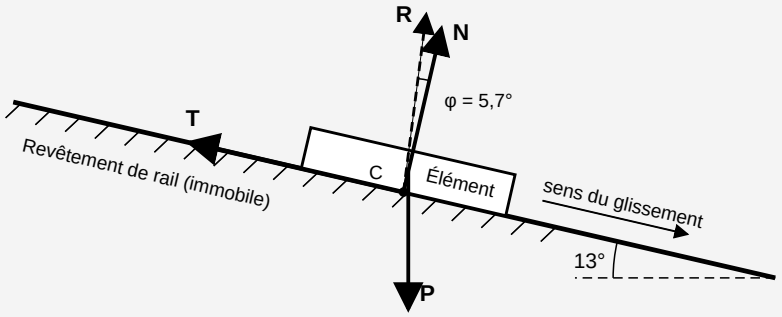
Question 3

Proposer une représentation graphique simple illustrant le contact entre un élément et les revêtements de rampes pendant le glissement. Nommer et donner les caractéristiques de la liaison associée au contact. Expliquer pourquoi les éléments en attente ne sont pas forcément alignés.

Représentation proposée (figure en fin de réponse, vue de profil) : l'élément glisse sur les revêtements de rail (immobiles), inclinés de 13°. Il est soumis à son poids $\vec{P}$, vertical, et à l'action des rails, ramenée au point C : réaction normale $\vec{N}$ perpendiculaire au rail et effort tangentiel $\vec{T}$ parallèle au rail, dirigé vers le haut de la pente (opposé au glissement). Comme il y a glissement, la réaction totale $\vec{R} = \vec{N} + \vec{T}$ est située sur le cône de frottement : elle est inclinée de φ ≈ 5,7° par rapport à $\vec{N}$.

Liaison associée : l'élément repose sur deux rails coplanaires (deux contacts sur des bandes parallèles d'un même plan), ce qui équivaut à une liaison appui plan de normale $\vec{n}$ perpendiculaire au plan des rails. Elle supprime la translation suivant $\vec{n}$ et les deux rotations autour des axes contenus dans le plan des rails. Elle laisse 3 degrés de liberté : deux translations dans le plan des rails (dont le glissement suivant la pente) et la rotation autour de $\vec{n}$.

Les éléments ne sont pas forcément alignés car le contact sur deux rails ne réalise aucun guidage latéral : la rotation libre autour de $\vec{n}$ et la translation transversale permettent à chaque élément de pivoter légèrement et de se décaler, selon les frottements, un peu différents, qu'il subit sur chacun des deux rails.



Élément glissant sur un revêtement de rail incliné de 13° (actions ramenées au point de contact C)

Question 4

Proposer une solution permettant de réduire significativement le frottement lors du glissement, tout en conservant le déplacement par gravité sur une pente de 13°. Justifier.

Solution proposée : remplacer le glissement par du roulement, en équipant les rampes de galets ou de rouleaux libres (pistes à rouleaux) sur lesquels l'élément descend.

Justification : le frottement de roulement est très inférieur au frottement de glissement (f = 0,1, soit φ ≈ 5,7°). La résistance au déplacement devient faible devant la composante du poids parallèle à la pente, $m\,g\,\sin 13^\circ$: l'élément descend donc toujours par gravité sur la pente de 13°. La solution fonctionne à sec, sans lubrifiant qui marquerait la surface avant peinture : les éléments doivent arriver au retourneur « sans trace », secs et lisses. Des galets à bandage tendre évitent en outre les rayures.

2. Étude de la rotation de l'élément

Question 5

À l'aide du document ressources 1 et des figures 1 à 4 du document ressources 0, exprimer pour chaque phase l'angle parcouru en fonction de ωmaxi. En déduire ωmaxi.

La loi de la vitesse est un trapèze : la vitesse croît de 0 à ωmaxi pendant 0,25 s, reste constante pendant 0,5 s, puis décroît à 0 pendant 0,25 s. Le mouvement part de l'angle initial avec une vitesse initiale nulle, ce qui donne, pour une rotation uniformément variée, $\theta = \frac{1}{2}\,\alpha\,t^2$ pendant la phase d'accélération.

Phase 1 (accélération, 0 à 0,25 s) : aire du triangle, $\theta_1 = \frac{1}{2} \times \omega_{maxi} \times 0{,}25 = 0{,}125\,\omega_{maxi}$.

Phase 2 (vitesse constante, 0,25 à 0,75 s) : $\theta_2 = \omega_{maxi} \times 0{,}5 = 0{,}5\,\omega_{maxi}$.

Phase 3 (décélération, 0,75 à 1 s) : $\theta_3 = \frac{1}{2} \times \omega_{maxi} \times 0{,}25 = 0{,}125\,\omega_{maxi}$.

Angle total : $\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 0{,}75\,\omega_{maxi}$. Pour une rotation de 120°, soit $2\pi/3 \approx 2{,}094$ rad :

$$\omega_{maxi} = \frac{2{,}094}{0{,}75} \approx 2{,}79 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \approx 2{,}8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Question 6

Calculer l'accélération angulaire αmaxi lors de la phase d'accélération. Relever la valeur de l'angle θ(0) au début du mouvement.

Pendant la phase d'accélération, $\alpha = \dfrac{\omega_{maxi} - 0}{0{,}25} = \dfrac{2{,}8}{0{,}25} = 11{,}2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$.

La valeur retenue pour la suite de l'étude par le sujet est αmaxi = 12 rad·s⁻².

Au début du mouvement, l'élément est incliné de 13° par rapport à l'horizontal : θ(0) = 13°.

Question 7

Déterminer la masse m d'un élément.

La masse linéique de la section est 1,8 kg·m⁻¹ et la longueur de l'élément est 0,55 m :

$m = 1{,}8 \times 0{,}55 = 0{,}99 \text{ kg} \approx 1 \text{ kg}$

Question 8

À partir du graphe, déterminer l'angle θ(t) pour lequel le couple est maxi. Calculer précisément Cstatique maxi.

Le couple statique est $C_{statique} = m\,g\,d\,\cos\theta(t)$. Il est maximal lorsque $\cos\theta$ est maximal, donc lorsque θ est minimal. Comme θ croît au cours du mouvement, ce maximum est atteint au début du mouvement, pour θ(0) = 13°. Le graphe présente effectivement sa valeur la plus haute (environ 0,67 N·m) sur le palier initial, avant t ≈ 0,25 s.

$C_{statique\,maxi} = 1 \times 10 \times 0{,}07 \times \cos 13^\circ = 0{,}7 \times 0{,}9744 \approx 0{,}68 \text{ N} \cdot \text{m}$

2.3. Étude dynamique du retourneur

Question 9

Identifier le moment d'inertie suivant l'axe y, Jretourneur, l'exprimer en kg·m². Calculer le couple Cdynamique.

Le document ressources 2 donne $J_{retourneur} = 172 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ suivant y, soit $J_{retourneur} = 172 \times 10^{-4} = 1{,}72 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

$C_{dynamique} = J_{retourneur} \times \alpha_{maxi} = 1{,}72 \times 10^{-2} \times 12 = 0{,}206 \text{ N} \cdot \text{m} \approx 0{,}21 \text{ N} \cdot \text{m}$

Question 10

Calculer le couple effectif minimal Cretourneur = Cdynamique + Cfrottement + Cstatique maxi.

$C_{retourneur} = 0{,}206 + 0{,}1 + 0{,}68 = 0{,}99 \text{ N} \cdot \text{m} \approx 1 \text{ N} \cdot \text{m}$

La valeur adoptée pour la suite est Cretourneur = 1 N·m.

Question 11

Calculer la puissance minimale nécessaire au retournement Pretourneur.

$P_{retourneur} = C_{retourneur} \times \omega_{maxi} = 1 \times 2{,}8 = 2{,}8 \text{ W}$

Question 12

Établir la relation entre ωmaxi et ωmoteur. Calculer ωmoteur, Nmoteur, Pmoteur et Cmoteur.

Le réducteur est de rapport 1 : 20 : la vitesse de sortie est 20 fois plus faible que la vitesse d'entrée, soit $\omega_{maxi} = \dfrac{\omega_{moteur}}{20}$, d'où $\omega_{moteur} = 20\,\omega_{maxi}$.

$\omega_{moteur} = 20 \times 2{,}8 = 56 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

$N_{moteur} = \dfrac{60\,\omega_{moteur}}{2\pi} = \dfrac{60 \times 56}{2\pi} \approx 535 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$

Le réducteur, l'accouplement et le retourneur sont placés en série, donc $P_{moteur} = \dfrac{P_{retourneur}}{\eta_{réducteur} \times \eta_{accouplement} \times \eta_{retourneur}} = \dfrac{2{,}8}{0{,}96 \times 1 \times 1} \approx 2{,}9 \text{ W}$

$C_{moteur} = \dfrac{P_{moteur}}{\omega_{moteur}} = \dfrac{2{,}92}{56} \approx 0{,}052 \text{ N} \cdot \text{m}$

Question 13

Calculer le moment d'inertie Jéquivalent du retourneur ramené sur l'axe du moteur. En déduire Jmoteur si le rapport des moments d'inertie est de 1/10.

Théorème de l'énergie cinétique : $J_{équivalent}\,\omega_{moteur}^2 = \dfrac{J_{retourneur}\,\omega_{retourneur}^2}{\eta_{réducteur}\,\eta_{accouplement}\,\eta_{retourneur}}$.

Avec $\omega_{moteur} = 20\,\omega_{retourneur}$, on obtient $J_{équivalent} = \dfrac{J_{retourneur}}{20^2 \times 0{,}96} = \dfrac{1{,}72 \times 10^{-2}}{384} \approx 4{,}48 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, soit $J_{équivalent} \approx 0{,}448 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$.

La préconisation impose $J_{moteur} > \dfrac{1}{10} J_{équivalent}$, soit $J_{moteur} > 0{,}0448 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ (environ 0,045 kg·cm²).

3. Choix de l'association servo variateur Lexium 32 – servomoteurs BSH – réducteur

Question 14

À l'aide du document ressources 3, donner la référence du premier servomoteur de la liste répondant à l'ensemble des critères. Citer le critère prépondérant.

Vitesse de rotation nécessaire au moteur : $N_{moteur} = 30 \times 20 = 600 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ (retourneur à 30 tr·min⁻¹, réducteur 1 : 20).

Le variateur est alimenté en 400 V triphasé : on parcourt dans l'ordre la partie « Tension d'alimentation 208…480 V triphasée avec filtre CEM intégré » du document ressources 3.

Servomoteur	Couple nominal (N·m)	Inertie du rotor (kg·cm²)	Puissance nominale (W)	Vitesse nominale (min^{-1})	Conclusion
BSH0401P	0,292	0,02	152	9000	écarté (couple et inertie)
BSH0402P	0,292	0,04	275	9000	écarté (couple et inertie)
BSH0551P	0,48	0,06	300	6000	écarté (couple et inertie)
BSH0552P	0,65	0,10	400	6000	écarté (couple)
BSH0553P	0,65	0,13	400	6000	écarté (couple)
BSH0701P	1,32	0,25	700	5000	**retenu**

Le premier servomoteur qui convient est le **BSH0701P** : couple nominal 1,32 N·m ≥ 0,7 N·m ; inertie 0,25 kg·cm² > 0,07 kg·cm² ; puissance 700 W ≥ 10 W ; vitesse nominale 5000 min^{-1} ≥ 600 $tr \cdot min^{-1}$.

Le critère prépondérant est le couple nominal (≥ 0,7 N·m) : c'est lui qui élimine les BSH0552P et BSH0553P, dont l'inertie (0,10 et 0,13 kg·cm²) est pourtant suffisante.

Question 15

À l'aide des documents ressources 3 et 4, choisir les références du réducteur et du variateur associés.

Variateur : sur la ligne du BSH0701P (alimentation 208…480 V triphasée) du document ressources 3, le servo variateur associé est le **LXM32•D12N4** (courant de sortie permanent 3 A).

Réducteur : le tableau « Associations Servo moteurs Lexium / réducteur de vitesse GBX » du document ressources 3 donne, pour le BSH0701 et le rapport 20:1, la taille **GBX080**. Le document ressources 4 permet de composer la référence : taille 080 (boîtier de 80 mm), rapport de réduction 20:1 codé 020, montage avec kit d'adaptation GBK codé K, soit **GBX080020K** (masse 2,6 kg).

4. Réglage du dispositif de retournement

Question 16

Déterminer la quantité et la référence de l'anneau de serrage en acier inoxydable ainsi que la quantité de vis nécessaires, en précisant le diamètre et la longueur de ces vis.

L'arbre cannelé A1-85-11 (profil KW 11 x 14, 6 cannelures, d1 = 11 mm, d2 = 14 mm) reçoit un anneau de même profil, KN 11 x 14. En acier inoxydable (série A1-880), la référence est **A1-880-11** : d3 h6 = 20 mm ; d4 = 42 mm ; d5 = 28 mm ; d6 = 4,5 mm ; l1 = 12 mm ; l2 = 2 mm ; l3 = 4,6 mm.

Quantité d'anneaux : **2**, un par étoile.

Vis de fixation de l'anneau sur l'étoile : les trous de passage d6 = 4,5 mm (série moyenne, DIN 74 m) sont prévus « pour vis DIN 912 », c'est-à-dire des vis CHC ; un passage de 4,5 mm correspond à une vis M4. La vue et les photos du document ressources 5 montrent 3 trous lamés par anneau, sur le cercle d5 = 28 mm. Il faut donc 2 × 3 = **6 vis CHC M4** (DIN 912).

Longueur : la tête de vis est logée dans le lamage de profondeur l3 = 4,6 mm (hauteur de tête d'une vis CHC M4 : 4 mm). L'épaisseur serrée sous tête vaut $l_1 - l_3 = 12 - 4{,}6 = 7{,}4\ \text{mm}$. Avec une longueur implantée dans l'étoile taraudée d'au moins $1{,}5\,d = 6\ \text{mm}$: $L \geq 7{,}4 + 6 = 13{,}4\ \text{mm}$. On

retient la longueur normalisée immédiatement supérieure : **vis CHC M4 × 16** (longueur implantée 8,6 mm, taraudage de 10 mm de profondeur minimum dans l'étoile).

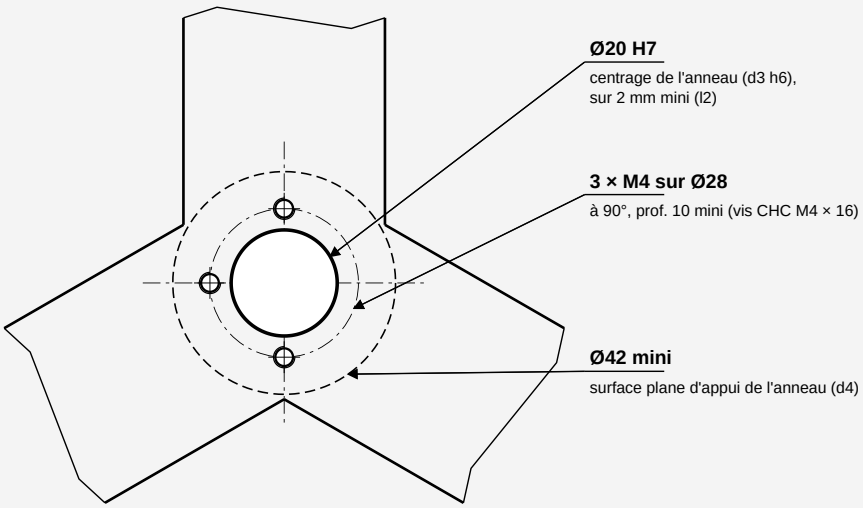
Le serrage de l'anneau sur l'arbre cannelé est assuré, de son côté, par la vis CHC tangentielle avec écrou H montée dans la fente de l'anneau (une par anneau).

Question 17

Sur le document réponses 1, modifier à main levée la vue de face du dessin d'intention de l'étoile afin d'assurer la mise en position et le maintien en position de l'anneau de serrage. Coter cette modification.

La modification porte sur la zone d'implantation, au centre de la vue de face de l'étoile (document réponses 1) :

- mise en position : alésage de centrage **Ø20 H7**, qui reçoit le centrage d3 = 20 h6 de l'anneau sur l2 = 2 mm (centrage court), associé à l'appui plan de la face de l'anneau sur la face de l'étoile (appui prépondérant). L'alésage peut être traversant : l'arbre cannelé (d2 = 14 mm) y passe librement ;
- maintien en position : 3 taraudages **M4** (profondeur 10 mm mini, ou débouchants) répartis à 90° sur le cercle **Ø28** (d5), en face des trous lamés de l'anneau, pour les vis CHC M4 × 16 ;
- dégagement : surface d'appui plane d'au moins **Ø42** (d4) autour de l'alésage, pour loger l'anneau.



Vue de face modifiée de l'étoile, zone d'implantation de l'anneau de serrage (sans échelle)

Question 18

Que deviennent les 2 liaisons « glissière » une fois le réglage effectué ?

Une fois l'anneau de serrage bloqué, les étoiles sont immobilisées en translation et en rotation sur l'arbre cannelé. Les deux liaisons glissière temporaires deviennent des liaisons encastrement (liaisons complètes, sans degré de liberté) : les étoiles sont solidaires de l'arbre.

PARTIE 2 – ÉTUDE DE LA PRÉHENSION

Question 19

Calculer la force théorique Fth. Justifier la nécessité d'utiliser au moins deux ventouses.

$$F_{th} = \frac{m}{f_0} \times (g + a) \times s = \frac{1}{0{,}2} \times (10 + 5) \times 2 = 150 \text{ N}$$

Les ventouses du document ressources 6 ont une force de levage à 70 % de vide comprise entre 82 N et 127 N. Une seule ventouse ne peut donc pas fournir 150 N, même la plus performante (127 N). Il faut au moins deux ventouses, dont la somme des forces de levage doit atteindre 150 N.

Question 20

Choisir, en justifiant, les ventouses les plus adaptées.

L'élément est « sans trace », lisse : il n'est pas une « tôle grasse ». Les ventouses « tôle grasse » (références 0121859 et 0121786) sont donc écartées. Le document ressources 6 indique que la cote Shore 40 est à privilégier pour les objets lisses ; la ventouse retenue est celle en polyuréthane 40 Shore A, de forme ovale (large), article 0102374 (OC35x90P, PU40, application « sans trace »).

Force de levage à 70 % de vide : 95 N par ventouse. Avec deux ventouses, $2 \times 95 = 190 \text{ N} \geq 150 \text{ N}$. Le choix d'une ventouse de grande surface à faible niveau de vide est conforme aux recommandations du fabricant pour les pièces longues.

Question 21

Décrire le fonctionnement de la phase 4 en complétant le document réponses 2.

Case de la phase 4 : le générateur de vide n'est toujours pas alimenté (distributeur 1 au repos). Le distributeur 2 est commandé et pilote, par la ligne en pointillés, l'ouverture du clapet anti-retour piloté. La ventouse est remise à la pression atmosphérique : le vide est rompu et l'élément de radiateur est libéré puis déposé. Le vacuostat ne détecte plus de vide.

Question 22

Compléter la nomenclature des composants (document réponses 3).

1A1 et 1A2 sont les deux ventouses choisies à la question 20 (lignes complétées en gras) :

Repère	Folio	Désignation	Référence	Fabricant	Quantité
1A1	**4**	**Ventouse OC35x90P Polyuréthane 40 G3/8" fem.**	**0102374**	**Piab**	**1**
1A2	**4**	**Ventouse OC35x90P Polyuréthane 40 G3/8" fem.**	**0102374**	**Piab**	**1**
1B1	4	Vacuum switch PNP NO LM8	0107731	Piab	1
1V1	4	VUVG-L14-T32C-MT-G18-1P3	564212B	Festo	1
1V2	4	VUVG-L14-T32C-MT-G18-1P3	564212B	Festo	1
PV1	4	piSECURE MINI Xi10-2 C	0200986	Piab	1

Question 23

Compléter le schéma pneumatique en effectuant les raccordements nécessaires (document réponses 3).

Raccordements à réaliser sur le schéma du document réponses 3 :

- sortie 4 du distributeur 1V1 (« Aspirer ») vers l'orifice 1 « Compressed air » du générateur de vide PV1 ;
- sortie 2 du distributeur 1V2 (« Souffler ») vers l'orifice 1A « Blow off » de PV1 ;
- orifice 2 « Vacum » de PV1 vers les deux ventouses 1A1 et 1A2, montées en parallèle ;
- vacuostat 1B1 piqué sur la ligne de vide, entre PV1 et les ventouses.

Les échappements restent sur les silencieux U3 et U4, et l'arrivée d'air reste sur les orifices 1 des distributeurs.

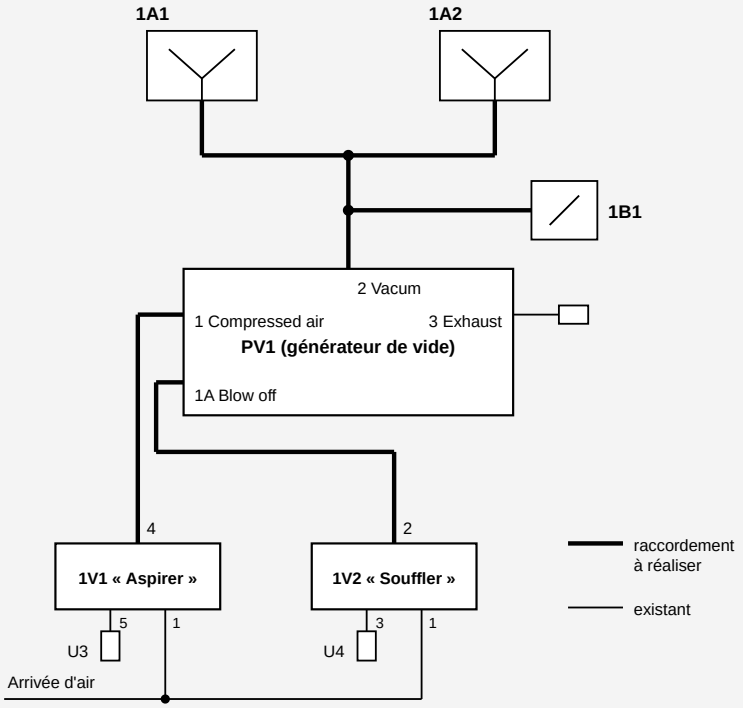


Schéma pneumatique complété (simplifié) : traits épais, raccordements ajoutés

Continue à t'entraîner

Retrouve tous les sujets et corrigés du BTS CRSA, classés par épreuve et par année :
btscrsa.fr/annales-sujets-et-corriges

Pour réviser tout le programme avant l'examen, les Fiches de Révision du BTS CRSA reprennent l'essentiel de chaque épreuve :
btscrsa.fr/fiches-de-revision

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.