

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2016

ÉPREUVE E4.2

MISE EN SÉCURITÉ DU TUNNEL DE NEUILLY



CORRECTION

Partie A.	« Étude du raccordement des sources »	2
Partie B.	« Mise en œuvre des motoventilateurs en mode désenfumage »	4
Partie C.	« Proposer les éléments de la chaîne de pilotage afin d'obtenir les différents modes de fonctionnement »	6
Partie D.	« GTC – Choix des équipements de communication »	8
	Document réponse DREP1 relatif à la question A.1.3.....	9
	Document réponse DREP2 relatif à la question A.3.3.....	10
	Document réponse DREP3 relatif à la question B.2.3.....	11
	Document réponse DREP4 relatif à la question C.1.3	12
	Document réponse DREP5 relatif à la question C.1.4	13
	Document réponse DREP6 relatif aux questions C.1.5 et C.1.6	14

Partie A. « Étude du raccordement des sources »

A.1. Valider le choix des cellules des postes HTA.

A.1.1. Calculer les courants d'emplois I_{B2} et I_{B5} des cellules n°2 et 5.

$$I_{B2} = I_{B5} = \frac{S}{\sqrt{3}U_1} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 20} = 36,1 \text{ A}$$

A.1.2. Déterminer les courants d'emplois I_{B1} , I_{B3} et I_{B4} des cellules n°1, 3 et 4.

$$I_{B1} = I_{B2} + I_{B5} = 72,2 \text{ A}$$

$$I_{B3} = I_{B4} = I_{B5} = 36,1 \text{ A}$$

A.1.3. Donner la fonction, la tension nominale, le courant nominal et la référence des cinq cellules numérotées 1 à 5. Répondre sur le document réponse DREP1.

Voir document réponse DREP1

A.1.4. Déterminer la référence des fusibles avec percuteur à utiliser dans les cellules n°2 et 5.

Pour des transformateurs de 1250 kVA, le calibre des fusibles HTA est de 63A. Ce sont des fusibles avec percuteur (voir cellules dessinées en 2/25).

Référence : 30 258 13.63 de marque SIBA

A.2. Choix du disjoncteur source et du dispositif d'interverrouillage.

A.2.1. Calculer le courant au secondaire du transformateur TR1.

Attention, la tension à retenir est la tension à vide. On se souvient que la puissance S est une puissance de dimensionnement. Le calcul à partir de la tension nominale de 400v n'engendre pas d'erreur.

$$I_{20} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{20}} = \frac{1\,250\,000}{\sqrt{3} \cdot 410} = 1760 \text{ A}$$

A.2.2. Déterminer la référence du disjoncteur source débrochable DJ1 dans la gamme DMX³ de Legrand. Préciser les critères de choix.

Choix pour DJ1 : 0 287 35

- **Le calibre du disjoncteur doit être \geq au courant d'emploi (1760 A) : $I_N = 2000 \text{ A}$**
- **Nombre de pôles : 4 (car 3 phases et le neutre en SLT TN-S)**
- **Versión débrochable**
- **Le pouvoir de coupure doit être \geq au courant de court-circuit au secondaire du transfo (27,2 kA) : $I_{cu} = 50 \text{ kA}$**

A.2.3. Déterminer la référence de l'interrupteur sectionneur débrochable IS1 dans la gamme DMX³-I de Legrand. Préciser les critères de choix et la taille 1, 2 ou 3 de l'équipement.

- **Le calibre du disjoncteur doit être \geq au courant d'emploi (1760 A) : $I_N = 2000 \text{ A}$**
- **Nombre de pôles : 4 (car 3 phases et le neutre en SLT TN-S)**
- **Versión débrochable**

Choix pour IS1 : 0 287 95 avec la précision de taille 1 pour la question suivante.

- A.2.4. Dresser la liste des accessoires et équipements permettant de réaliser une inversion de sources automatique avec interverrouillage entre le disjoncteur DJ1 et l'interrupteur sectionneur IS1. Voir les **informations complémentaires**, page 9/17.

Nombre	Nom	Référence	Remarque
2	câbles d'interverrouillage	0 289 20 de longueur 2,6m	longueur minimale de 1570+V soit 2370 mm
2	mécanismes d'interverrouillage pour DMX³ de taille 1	0 288 64	Taille 1 voir question précédente
1	boîtier d'automatisme communicant	0 261 94	
2	commandes motorisées 24VDC	0 288 34	
2	déclencheurs à émission de courant 24VDC	0 288 48	ou bien 2 déclencheurs à minimum de tension 24VDC de référence 0 288 55
2	bobines de fermeture 24VDC	0 288 41	

A.3. Analyse du fonctionnement de l'usine Ouest

- A.3.1. En fonctionnement normal, indiquer l'état (ouvert ou fermé) des disjoncteurs DJ1 et DJ2 ainsi que des interrupteurs sectionneurs IS1 et IS2.

En fonctionnement normal, DJ1 et DJ2 sont fermés et IS1 et IS2 sont ouverts

- A.3.2. Indiquer, en quelques lignes, l'évolution de la situation en cas de perte de l'alimentation HTA depuis l'usine A6. Voir les **informations complémentaires**, page 9/17.

En cas de perte de l'alimentation HTA depuis l'usine A6, le transformateur TR1 n'est plus alimenté. DJ1 s'ouvre tandis que IS1 se ferme. Le transformateur TR2 reste alimenté, DJ2 reste fermé et IS2 reste ouvert.

- A.3.3. Compléter sur le document réponse DREP2 les quatre chronogrammes et le tableau pour le scénario de perte d'alimentation HTA proposé.

Voir document réponse DREP2

- A.3.4. Faire l'analyse, en quelques lignes, du choix de l'architecture (que vous préciserez) associée à la solution technique proposée. Voir les **informations complémentaires**, page 9/17.

L'enjeu N°1 est de « Maintenir l'alimentation électrique des usines de ventilation du tunnel » (7/17). Les différents postes HTA sont raccordés en antenne, ce qui n'est pas le type de d'architecture qui garantit la continuité de service en HTA (comparé à un raccordement en boucle fermée ou en double dérivation). La solution technique retenue qui associe un interverrouillage côté BT permet de réalimenter l'ensemble de l'usine en cas de perte d'une des arrivées HTA. Elle est une solution adaptée pour assurer la continuité de service.

Éléments de correction :

Le candidat doit repérer qu'il s'agit d'une architecture en antenne et qu'elle n'offre qu'une faible disponibilité d'alimentation (voir informations complémentaires).

Pourtant, c'est la solution retenue car on associe une solution technique (interverrouillage) qui permet d'assurer une continuité de service.

La rédaction est structurée sous la forme de phrases simples dont les mots sont correctement orthographiés.

Partie B. « Mise en œuvre des motoventilateurs en mode désenfumage »

B.1. Mise en œuvre des groupes motoventilateurs.

B.1.1. Justifier la nécessité de choisir un moteur haute température et rappeler les contraintes qu'il devra supporter.

En cas d'incendie, le sens de rotation du motoventilateur est inversé, il aspire les fumées chaudes du tunnel pour les rejeter à l'extérieur. De ce fait, le moteur doit résister au passage des fumées chaudes dans la virole.

Il faut donc utiliser pour cette application un moteur « haute température ». Le choix se fait à partir de la norme EN12101-3. Il doit résister à une température de 200°C pendant 2 heures.

Éléments de correction : On s'assure de sa compréhension de la présentation générale et surtout des informations du contexte. Le candidat doit repérer les informations concernant les conséquences de l'extraction de fumées chaudes sur le moteur. Il précise la nécessité de choisir un moteur spécifique qui résiste à de hautes températures. Les contraintes sont précisées dans le contexte. Une rédaction structurée sera appréciée. Aucun document ressource n'est donnée sur la norme EN12101-3.

B.1.2. Vérifier, en vous justifiant, si le variateur de référence MD2S-400T peut être raccordé au moteur 4P FLSHT 355 LC dans les conditions nominales. Vous conduirez votre réflexion à partir du courant nominal du moteur et du déclassement à prévoir.

La machine est à couple centrifuge (ventilateur) : surcharge réduite

Le courant nominal du moteur est de 634 A, voir DRES7

Réseau triphasé 400V

Dans des conditions normales de fonctionnement, un Powerdrive MD2S-400T qui a un courant de sortie permanent de 640 A conviendrait.

Cependant, avec l'option IP54, il y a un déclassement pour la température ambiante de 40°C, le courant de sortie permanent du Powerdrive MD2S 400T passe alors à :

$$I_{sp} = \frac{640 + 590}{2} = 615 \text{ A}$$

Cette valeur est inférieure au courant nominal du moteur (634 A) et cette référence ne convient pas.

Éléments de correction. Le candidat doit montrer sa compréhension de la consigne : la température ambiante dans l'usine ouest est comprise entre -10°et +40°C. Avec l'option IP54, un déclassement est nécessaire et le choix du variateur est conditionné par cela.

Une étude des conditions normales de fonctionnement qui conduit à l'adéquation entre variateur et moteur est un élément d'évaluation. Le candidat a alors choisi les bonnes valeurs (400v, 634A, 640A) et la bonne colonne (surcharge réduite en DRES7).

Un second élément d'évaluation concerne la bonne utilisation du document DRES10 pour le déclassement. Une bonne analyse et un résultat cohérent avec la conclusion du candidat est attendu.

Complément : l'altitude de Neuilly par rapport au niveau de la mer étant de 20m, il n'y a pas de déclassement dû à l'altitude.

Hors étude : il faut donc procéder à un déclassement : pour la température de 40°C, le courant de sortie permanent du Powerdrive MD2S 470T sera de 770A :

$$I_{sp} = \frac{800 + 740}{2} = 770 \text{ A}$$

La référence à retenir serait donc MD2S 470T

B.2. Étude du registre d'isolement

B.2.1. Justifier que les registres de la gamme TRS conviennent pour cette application.

A partir de DRES12, nous trouvons que Ces registres conviennent.

- 1) Pour une dimension de 3000x2500, il faudra accoupler deux registres TRS de taille 1500x2500.
- 2) Des servomoteurs peuvent s'adapter à ces registres.
- 3) Ces registres résistent à 6000 Pa en pression continue ce qui est supérieur à la pression de 2500 Pa généré par le groupe motoventilateur.
- 4) Les registres de la gamme TRS résistent à 400°C pendant deux heures. Cette valeur est supérieure au 200°C pendant 2 heures du cahier des charges.

Éléments de correction : 4 spécifications sont attendues à partir des contraintes décrites dans le « contexte » de la Partie B. Réponse juste si la spécification 2) est omise, si la nécessité d'associer (accoupler) deux registres apparait et si la rédaction est « structurée » (ce n'est pas uniquement une succession de mots-clefs).

B.2.2. Donner, en vous justifiant, la référence du servomoteur quart de tour TOR à associer au registre d'isolement.

À partir de DRES13, nous trouvons que

Couple moteur nécessaire : $3 \times 2,5 \times 35 = 262,5$ Nm
Durée de manœuvre inférieure ou égale à 10 secondes
Choix : servomoteur AS25 (300 Nm - durée de manœuvre de 10s)

Éléments de correction : On évalue principalement le candidat sur son aptitude à calculer le couple à partir de l'information couple par unité de surface.

Extraire la référence à partir de DRES12 à l'aide de deux données : couple max et durée des manœuvres.

B.2.3. Compléter le schéma de puissance sur le document réponse DREP3.

Voir document réponse DREP3

Éléments de correction : il faut ouvrir et fermer les registres et les deux sens de marche doivent apparaitre. Démarrage direct car mode de contrôle en TOR. Aucune erreur de schéma (inversion des phases). Le conducteur PE doit être raccordé. Sous forme de croquis, les symboles (disjoncteur magnéto thermique, contacteurs, verrouillage mécanique) font apparaitre les « éléments distinctifs ».

Partie C. « Proposer les éléments de la chaîne de pilotage afin d'obtenir les différents modes de fonctionnement »

C.1. Commande du variateur de vitesse par l'automate.

C.1.1. D'après le relevé de vitesse effectué avec le logiciel MDX-Soft de Leroy Somer, déterminer approximativement les valeurs des fréquences de rotation N1, N2, N3 et N4 en tr.min⁻¹.

N1 = 530 tr.min⁻¹ N2 = 660 tr.min⁻¹ N3 = 850 tr.min⁻¹ N4 = -1320 tr.min⁻¹
--

Éléments de correction : lecture directe de DTEC3. La détermination des valeurs se faisant de manière graphique, il sera admis une certaine tolérance sur les valeurs trouvées par le candidat). La valeur négative de N4 doit apparaître.

C.1.2. Indiquer les entrées logiques du variateur qui permettront de sélectionner ces quatre fréquences de rotation.

DTEC4 et DRES13. Le tableau de DRES13 permet de repérer qu'il faudra affecter une combinaison parmi quatre pour sélectionner une vitesse pré-réglée. 01.46 et 01.45 sont concernées. Le synoptique de DTEC4 montre que l'on peut agir sur 01.46 et 01.45 en agissant sur DI2 et DI3.

Ce sont les entrées logiques I2 et I3 du variateur.
--

Remarque : le candidat peut s'interroger sur la nécessité d'avoir trois entrées pour permettre de pré-régler 8 vitesses différentes (question suivante). La troisième entrée n'est pas représentée car inutilisée. L'information complémentaire « Les bits 01.15 et 01.47 (Voir DRES13) sont toujours à l'état « 0 » » contribue à lever le doute.

C.1.3. En déduire les valeurs des vitesses pré-réglées RP1 à RP8 du variateur. Répondre sur le document réponse DREP5. Les vitesses pré-réglées inutilisées seront mises à 0,00.

Voir document réponse DREP4

Remarque : l'information complémentaire « nous remarquons (**Voir DTEC4**) que l'entrée logique DI5 permet de sélectionner le mode de fonctionnement en soufflage ou en désenfumage permet d'attirer l'attention du candidat sur l'opportunité d'agir sur DI5 pour obtenir la vitesse négative. Cela lève l'ambiguïté sur le dossier réponse DREP5 qui nécessite d'avoir une valeur pré-réglée RP4 à +1320.

Éléments de correction : les valeurs approximatives données en C.1.1 sont reprises et il n'y a pas de signe pour la valeur RP4.

C.1.4. Compléter le document réponse DREP5 en raccordant les 8 bornes du variateur associé au module MDX-I/O TIMER.

Consulter DTEC4, « Contexte » et « informations complémentaires »

Précision : La CTP est raccordée au 0v et aucune information sur son branchement n'est fournie dans les docs.

Voir document réponse DREP5

Éléments de correction : le raccordement sous forme d'un croquis (à main levé) est accepté. Les entrées M2DS sont reliées au +24v via l'automate (« voir information complémentaire »). Le schéma doit rendre compte de la compréhension de ce qui a été demandé : on sélectionne les vitesses en agissant sur DI2 et DI3. On passe en mode désenfumage en inversant le sens (DI5) et on inhibe les sécurités (« contexte ») en agissant sur DI6 (voir DTEC4).

C.1.5. Compléter le premier tableau indiqué sur le document réponse DREP6.

Remarque : l'inversion de sens (O4) ou l'inhibition des sécurités doivent faire apparaître un changement d'état à la dernière ligne. Les quatre combinaisons pour O2 et O3 doivent apparaître sur les quatre dernières lignes avec la sortie O1 dans le même état.

Voir document réponse DREP6

Éléments de correction : mode désenfumage (S4=1) doit entraîner l'inversion de sens (O4=1 de préférence) et l'inhibition des sécurités (O5=1 de préférence) et dans tous les cas, un changement d'état à la dernière ligne pour ces deux bits. Les quatre combinaisons pour O2 et O3 doivent apparaître sur les quatre dernières lignes selon la stratégie proposée dans le tableau avec la sortie O1 dans le même état.

C.1.6. Donner l'état des sorties de la fonction 2 en fonction des entrées S1 à S4 sur le premier tableau du document réponse DREP6.

Remarque : cette vitesse de **850 tr.min⁻¹ est précisée en DTEC3.**

Voir document réponse DREP6

Nventil = 850 tr.min⁻¹ qui correspond à N3 sur DTEC3 donc I2 = 0 et I3 = 1 raccordé

D'après la table de vérité du DREP7, S4=0, S3=1, S2=0 et S1 =0

D'après le logigramme du DTEC5, la mesure de NO₂ doit donc être ≥ 1 ppm

Remarque : vérification que le candidat a compris (prise de hauteur) la chaîne « acquisition-traitement de l'information-action » de pilotage en remontant la chaîne à partir de la vitesse du motoventilateur. La question C1.6 part de la conséquence pour remonter vers la cause.

C.1.7. Justifier, en quelques lignes, le mode de fonctionnement de la chaîne de pilotage dans la situation suivante :

L'opacité et le taux de dioxyde d'azote (NO₂) sont inférieurs aux valeurs de déclenchement d'une ventilation. En suivant le logigramme DTEC5, on peut observer que si le seuil du taux d'oxyde de carbone est compris entre 50 et 100 ppm, on obtient le mot (S4S3S2S1)₂ =(0001)₂ avec une fréquence de rotation N1. La ventilation doit fonctionner (O1=DI4=1), à partir de la valeur (O3O2)₂ =(DI3DI2)=(00)₂ en mode de fonctionnement normal (O5O4)₂=(DI5DI4)=(00)₂ ou encore (O5O4O3O2O1)₂=(00000)₂. (DI3DI2)=(00)₂ permet de définir RP1, d'une valeur de 530tr.min⁻¹, qui sera la fréquence de rotation du motoventilateur.

Remarque : vérification que le candidat est capable de rendre compte du mode de fonctionnement par une rédaction structurée en partant de la cause. Il doit y avoir une cohérence de la valeur de RP1 notée en DREP5 par le candidat.

Partie D. « GTC – Choix des équipements de communication »

D.1. Étude de la solution 1.

D.1.1. Rédiger un paragraphe pour la solution 1 en suivant la consigne indiquée dans le contexte page 16/17.

La topologie en bus n'est utilisable qu'avec la solution technologique PROFIBUS électrique et le support de transmission est nécessairement un câble bifilaire blindé. Pour assurer la redondance des automates, on utilise un module PRS (DTEC7 et DRES18) qui assure une vitesse de transmission de 12 Mbits/s. L'étendue du réseau est de 1495 m (810+15+110+220+125+215), ce qui est bien inférieur à 9,6 kms. Pour satisfaire à la spécification de 6 Mbits/s, il faut que la distance maximale entre deux stations soit inférieure à 1000 m : le plus long tronçon, entre API1 et MESD1 est de 810 m. Des répéteurs devront être ajoutés pour obtenir la vitesse de transmission attendue.

D.1.2. Préciser le nombre de répéteurs à introduire entre API1 et MESD1.

Il faut utiliser des répéteurs, particulier, sur le plus long tronçon (810 m). Il faut introduire 8 répéteurs entre les deux API car la longueur maximum d'un segment est de 100 m.

D.2. Étude de la solution 2.

D.2.1. Rédiger un paragraphe pour la solution 2 en suivant la consigne indiquée dans le contexte page 16/17.

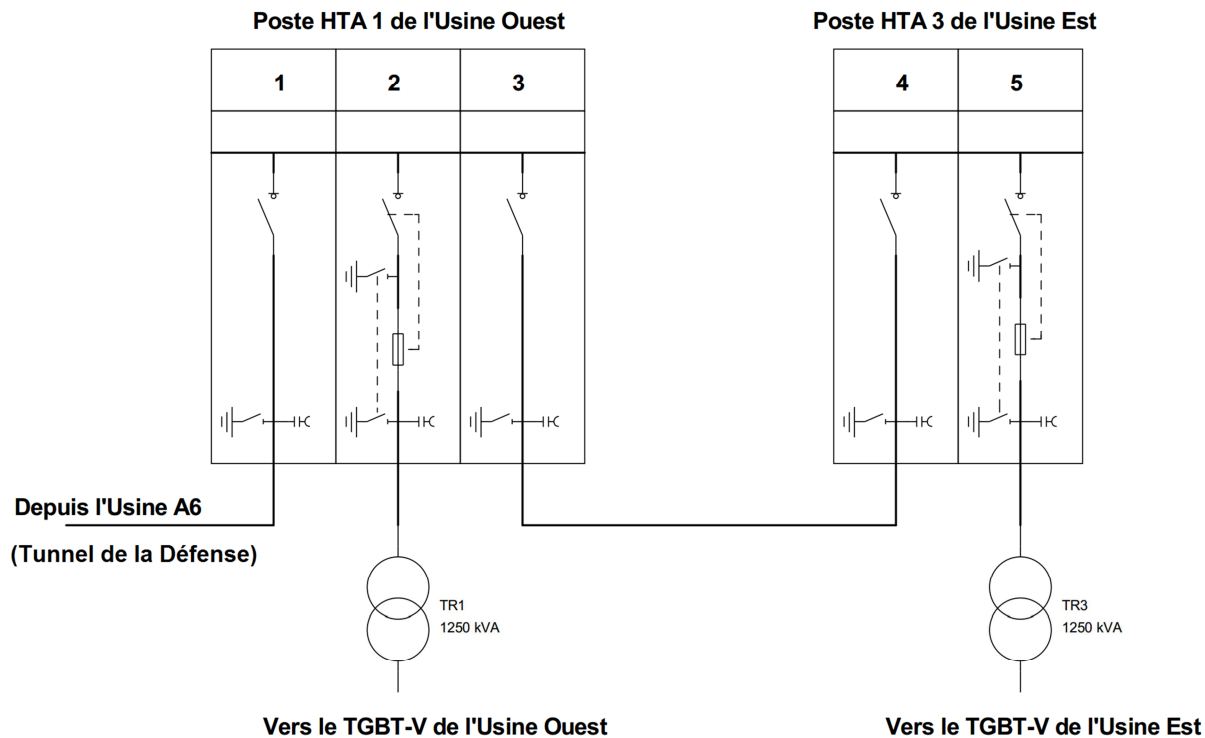
La topologie en anneau est utilisable avec deux solutions technologiques PROFIBUS OLM et OBT. Le support de transmission est nécessairement de la fibre optique. L'anneau supplémentaire dans la topologie en double anneau permet de servir de secours. Le second automate assure alors le relai pour le transfert des informations vers le PCTT. L'étendue du réseau est de 2345 m (810+15+110+220+125+215+850), ce qui est bien inférieur à 90 kms ou 9,6 kms. Pour satisfaire à la spécification de 6 Mbits/s, il faut que la distance maximale entre deux stations soit inférieure à 1000 m : le plus long tronçon, entre API1 et l'usine A7 est de 850 m. En choisissant la solution PROFIBUS OLM et en utilisant de la fibre optique en verre, on peut obtenir une vitesse de transmission qui supérieure à la spécification.

D.2.2. Justifier que la solution technologique PROFIBUS OBT ne peut satisfaire à toutes les contraintes.

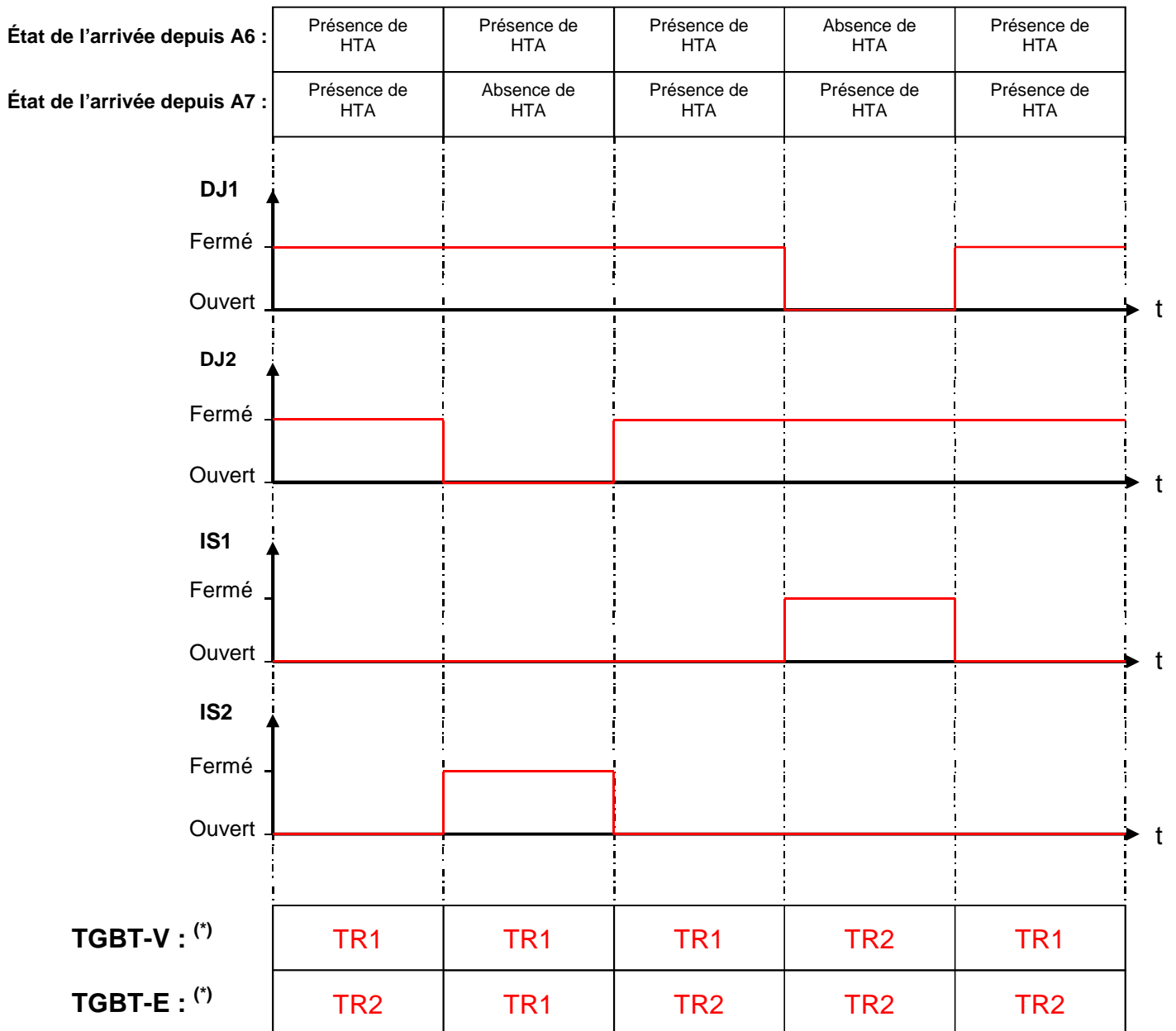
La solution technologique Profibus optique avec OBT est à éliminer car avec des fibres optiques en plastique ou en PCF, les distances max entre deux stations sont inférieures à 300 m ce qui est insuffisant.

D.3. Choisir la solution la plus adaptée en argumentant votre réponse.

**On privilégiera la solution 2 pour le tunnel de Neuilly:
La solution 2 en topologie en double anneau redondant apporte une meilleure continuité de service et donc une meilleure sécurité.
La solution 1 est en outre problématique en termes de mise en œuvre et de maintenance du fait du nombre important de répéteurs (qu'il faut de plus alimenter en 24VDC) à introduire dans les différents tronçons dont la longueur est supérieure à 100 m.**



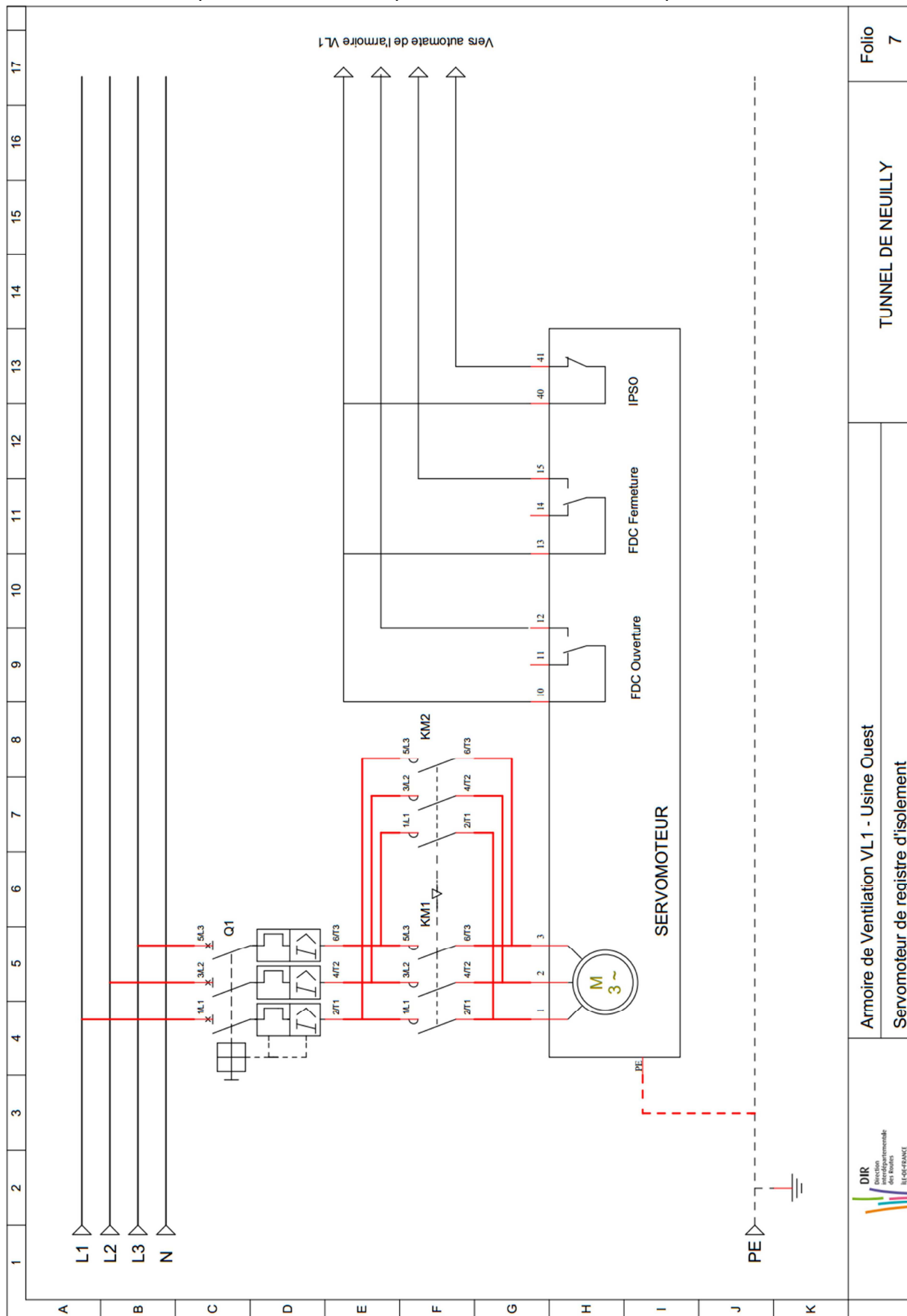
Numéro de cellule	Fonction	Référence	Tension nominale	Courant nominal
1	Fonction d'arrivée	CGMCOSMOS-L	24 kV	400 A
2	Fonction protection fusible	CGMCOSMOS-P	24 kV	200 A
3	Fonction d'arrivée	CGMCOSMOS-L	24 kV	400 A
4	Fonction d'arrivée	CGMCOSMOS-L	24 kV	400 A
5	Fonction protection fusible	CGMCOSMOS-P	24 kV	200 A



(*) Compléter le tableau ci-dessus par l'une des mentions suivantes :

- TR1 si le TGBT correspondant est alimenté par le transformateur TR1
- TR2 si le TGBT correspondant est alimenté par le transformateur TR2

Compléter le schéma de puissance du servomoteur quart de tour



Folio 7

TUNNEL DE NEUILLY

Armoire de Ventilation VL1 - Usine Ouest
Servomoteur de registre d'isolement

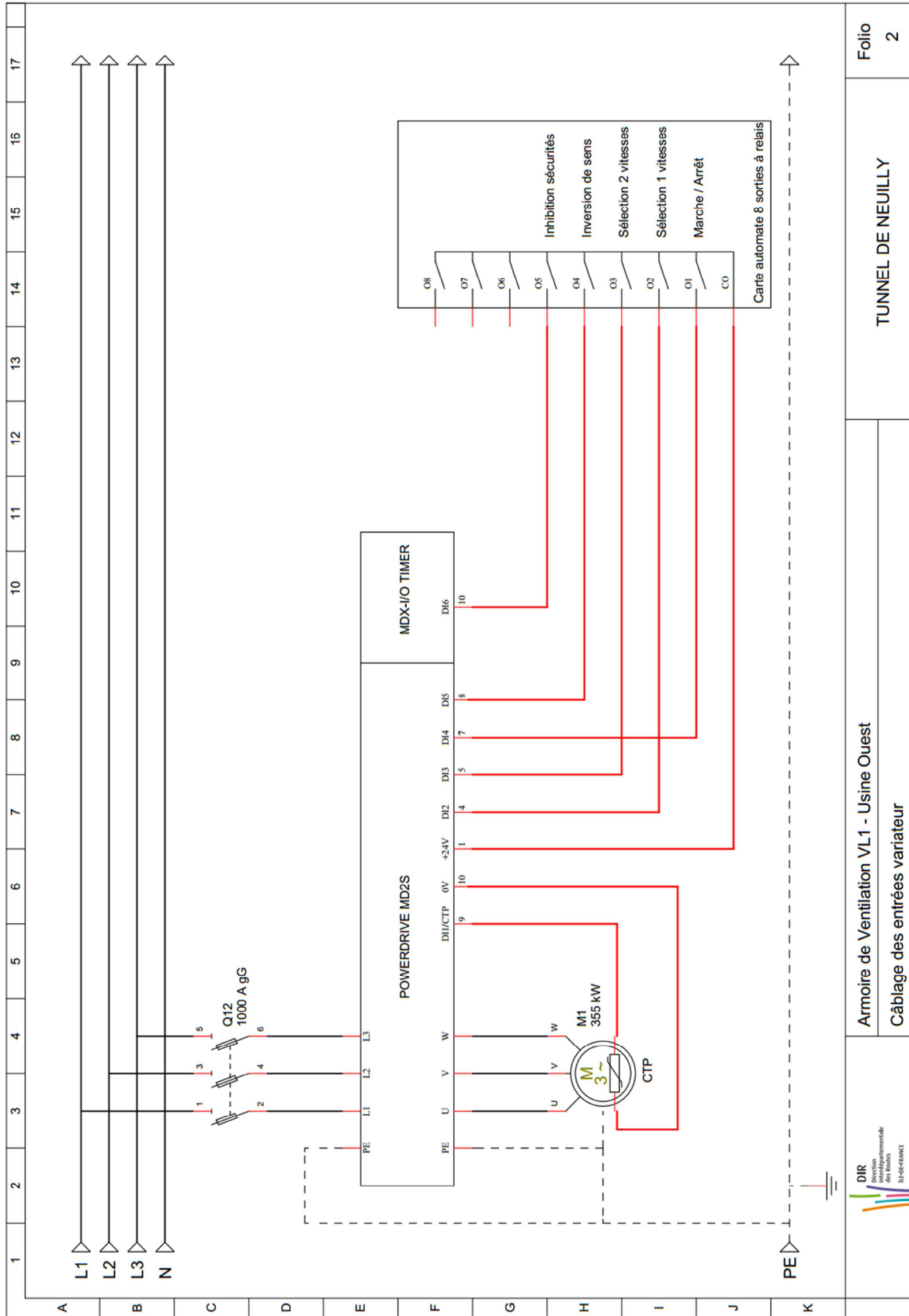


Menu Spd : VITESSES ET RAMPES

Menu Spd	Paramètre	Libellé	Plage de variation	Valeur
Spd.01	01.06	Limite maximum	0,00 à 6000,00 min ⁻¹	1500,00
Spd.02	01.07	Limite minimum	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	0,00

Menu 1 : RÉFÉRENCES VITESSE ET LIMITATIONS

Menu 1	Paramètre	Libellé	Plage de variation	Valeur
RP1	01.21	Référence pré réglée 1	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	530,00
RP2	01.22	Référence pré réglée 2	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	660,00
RP3	01.23	Référence pré réglée 3	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	850,00
RP4	01.24	Référence pré réglée 4	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	1320,00
RP5	01.25	Référence pré réglée 5	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	00,00
RP6	01.26	Référence pré réglée 6	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	00,00
RP7	01.27	Référence pré réglée 7	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	00,00
RP8	01.28	Référence pré réglée 8	0,00 à Spd.01 min ⁻¹	00,00



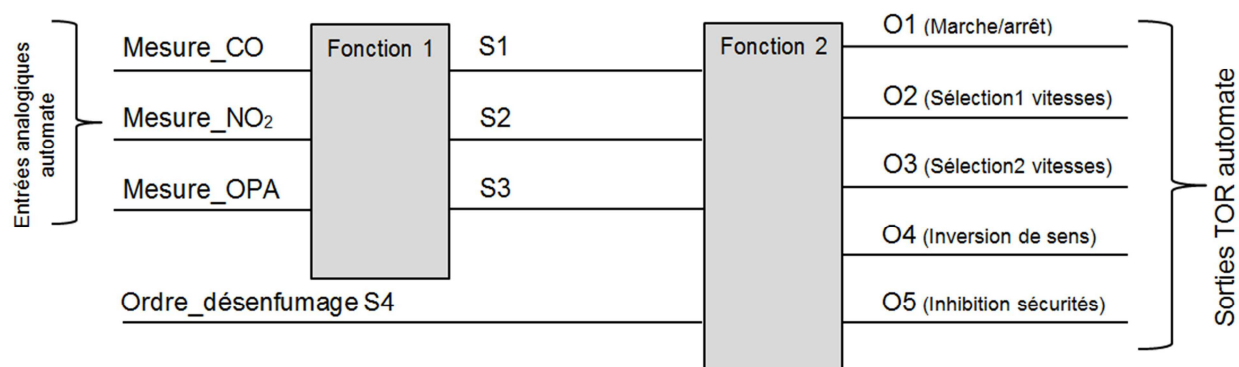
Folio 2

TUNNEL DE NEULLY

Armoire de Ventilation VL1 - Usine Ouest
Câblage des entrées variateur



Question C.1.5 :



S4	S3	S2	S1	O5	O4	O3	O2	O1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0	1
1	X	X	X	1	1	1	1	1

X signifie que le bit peut prendre indifféremment l'état 0 ou 1

Question C.1.6 :

Nventil (en tr.min ⁻¹)	DI3	DI2	S4	S3	S2	S1	OPA (en km ⁻¹)	CO (en ppm)	NO ₂ (en ppm)
850	1	0	0	1	0	0	5	110	≥ 1