

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## ÉLECTROTECHNIQUE

ÉPREUVE E.4.2.

### ÉTUDE D'UN SYSTÈME TECHNIQUE INDUSTRIEL CONCEPTION ET INDUSTRIALISATION

SESSION 2019

\_\_\_\_\_

Durée : 4 heures

Coefficient : 3

\_\_\_\_\_

#### Matériel autorisé :

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

L'usage de tout autre matériel ou document est interdit.

#### Documents à rendre avec la copie :

- le candidat répondra sur le dossier réponses et des feuilles de copie ;
- le dossier réponses est à rendre agrafé au bas d'une copie.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet. Le sujet comporte **quatre dossiers** :

- le **dossier présentation - questionnement** qui se compose de 13 pages, numérotées de 1/13 à 13/13 ;
- le **dossier technique** qui se compose de 6 pages, numérotées de 1/6 à 6/6 ;
- le **dossier ressources** qui se compose de 16 pages, numérotées de 1/13 à 13/13 ;
- le **dossier réponses** qui se compose de 6 pages, numérotées de 1/6 à 6/6.

*Il sera tenu compte de la qualité de la rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le(la) correcteur(trice) attend des phrases construites respectant la syntaxe de la langue française. **Chaque réponse sera clairement précédée du numéro de la question à laquelle elle se rapporte.***

*Les notations du texte seront scrupuleusement respectées.*

BTS ÉLECTROTECHNIQUE	SESSION 2019
Épreuve E4.2 : Étude d'un système technique industriel Conception et industrialisation	Code : 19xx-EQCIN

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2019

Épreuve E.4.2

Aciérie ArcelorMittal de Châteauneuf



ArcelorMittal

## PRÉSENTATION et QUESTIONNEMENT

*Il est impératif de lire au préalable la présentation générale*

Les 4 parties de l'épreuve sont indépendantes.

1.	PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....	2
2.	ENJEUX - OBJECTIFS .....	5
3.	QUESTIONNEMENT .....	5
PARTIE A.	CHOIX DU MATÉRIEL.....	6
PARTIE B.	RENTABILITÉ DU PROJET.....	8
PARTIE C.	CAHIER DES CHARGES DU PROGRAMME AUTOMATE.....	10
PARTIE D.	MISE EN ŒUVRE D'UN VARIATEUR.....	13

## 1. Présentation générale

L'usine sidérurgique INDUSTRIEL, appartenant au groupe ArcelorMittal, produit des tôles en acier qui sont utilisées notamment dans les domaines de la construction marine et sous-marine ou encore dans l'industrie nucléaire.

Ces tôles d'une épaisseur pouvant aller jusqu'à 1030 mm et d'un poids unitaire pouvant atteindre 100 tonnes sont fabriquées à partir de lingots d'acier suivant un procédé décrit par la figure 1.

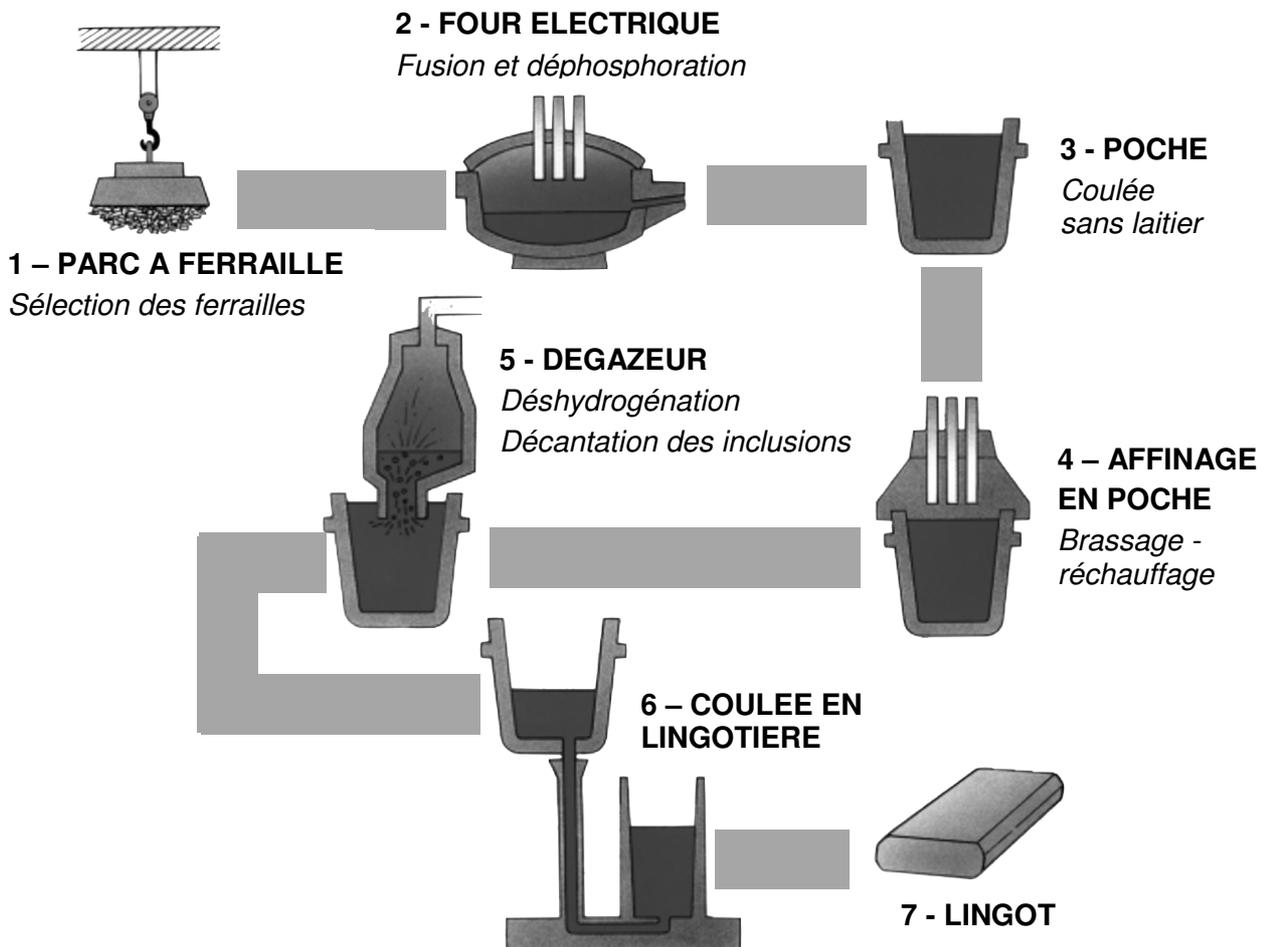


Figure 1 : Production des lingots l'acier

Le métal de récupération est placé dans de grands récipients métalliques appelés "poches". Des électrodes de carbone, alimentées par un transformateur réservé à cet usage, sont amenées directement au contact du métal dans la poche. Le courant qui en résulte dégage une grande quantité d'énergie qui fait fondre le métal.

Le processus de fusion produit des fumées qui doivent être refroidies puis filtrées avant d'être rejetées dans l'atmosphère. Le synoptique de la figure 2 présente le système qui réalise ces opérations :

- les fumées sont récupérées à la sortie de la poche et acheminée vers la chambre de post-combustion par une gaine mobile de grand diamètre;
- une autre gaine les transporte ensuite vers un refroidisseur tubulaire à air. Enfin une pompe à air (booster) conduit les fumées vers le filtre pour les débarrasser des poussières de combustion ;
- des hottes aspirent les fumées qui n'ont pas été récupérées par la gaine mobile.

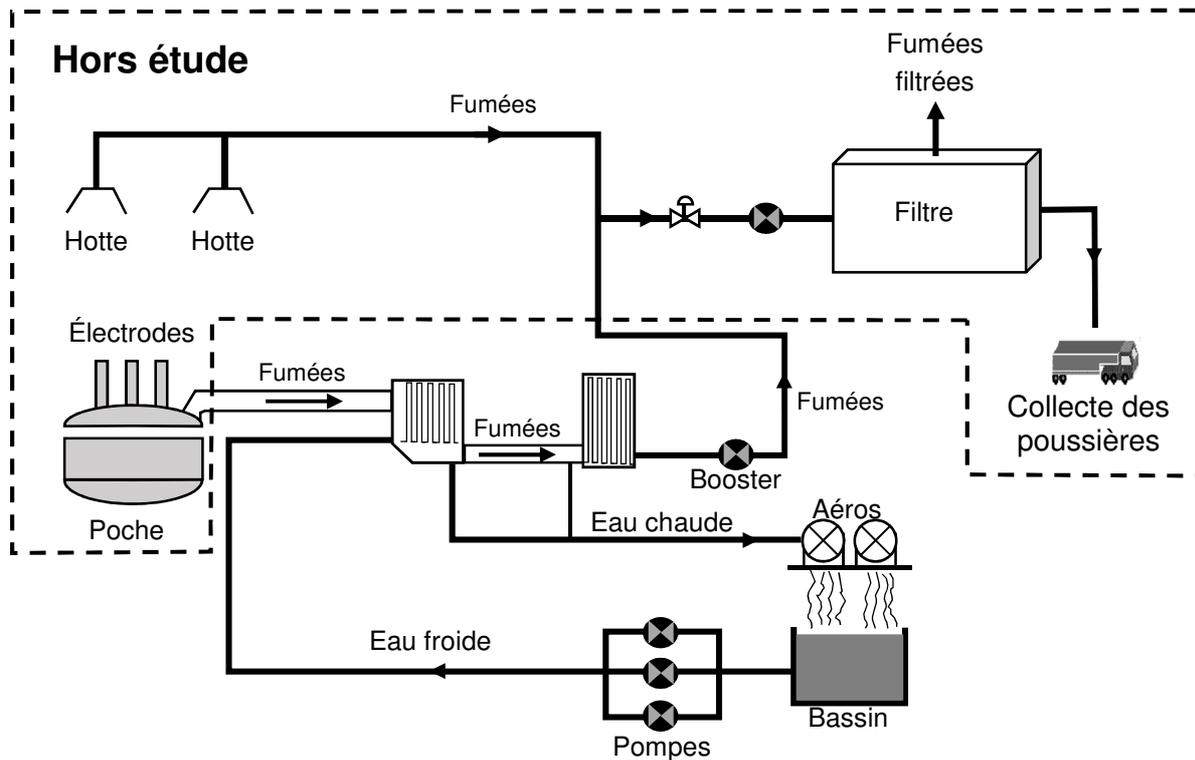


Figure 2 : Synoptique simplifié du système de traitement des fumées

Afin d'obtenir un débit d'eau suffisant pour refroidir les fumées sans interruption trois pompes identiques, montées en parallèle, puisent l'eau froide dans un bassin à l'air libre.

En circulant au contact des éléments qui conduisent les fumées l'eau capte leur chaleur et sa température augmente. Puis l'eau devenue chaude est elle-même refroidie par un système aéroréfrigérant : elle est pulvérisée par une douche, puis retombe dans le bassin de récupération, à partir duquel les pompes la réinjectent à nouveau dans le circuit de refroidissement.

La conduite du système de traitement des fumées s'effectue depuis un poste de supervision qui communique avec deux automates (voir figure 3) :

- l'automate industriel, nommé « refroidisseur », pilote la marche et l'arrêt des motopompes. En retour il est informé des états des disjoncteurs, des contacteurs et des démarreurs progressifs. Les démarrages et les arrêts des motopompes sont progressifs, sur une durée de 20 secondes. Cette disposition permet d'atténuer les coups de béliers.
- l'automate industriel, nommé « dépoussiéreur », pilote la vitesse du booster en fonction de la pression s'exerçant dans les gaines. Cette disposition permet d'aspirer convenablement les fumées. Il surveille également les températures des fumées circulant dans la gaine refroidie pour des raisons de sécurité.

Les automates « refroidisseur » et « dépoussiéreur » sont situés dans le local « Automates ». Le poste de supervision est situé dans la salle de conduite. Le local « Automates » et la salle de conduite sont distants d'environ 200 m.

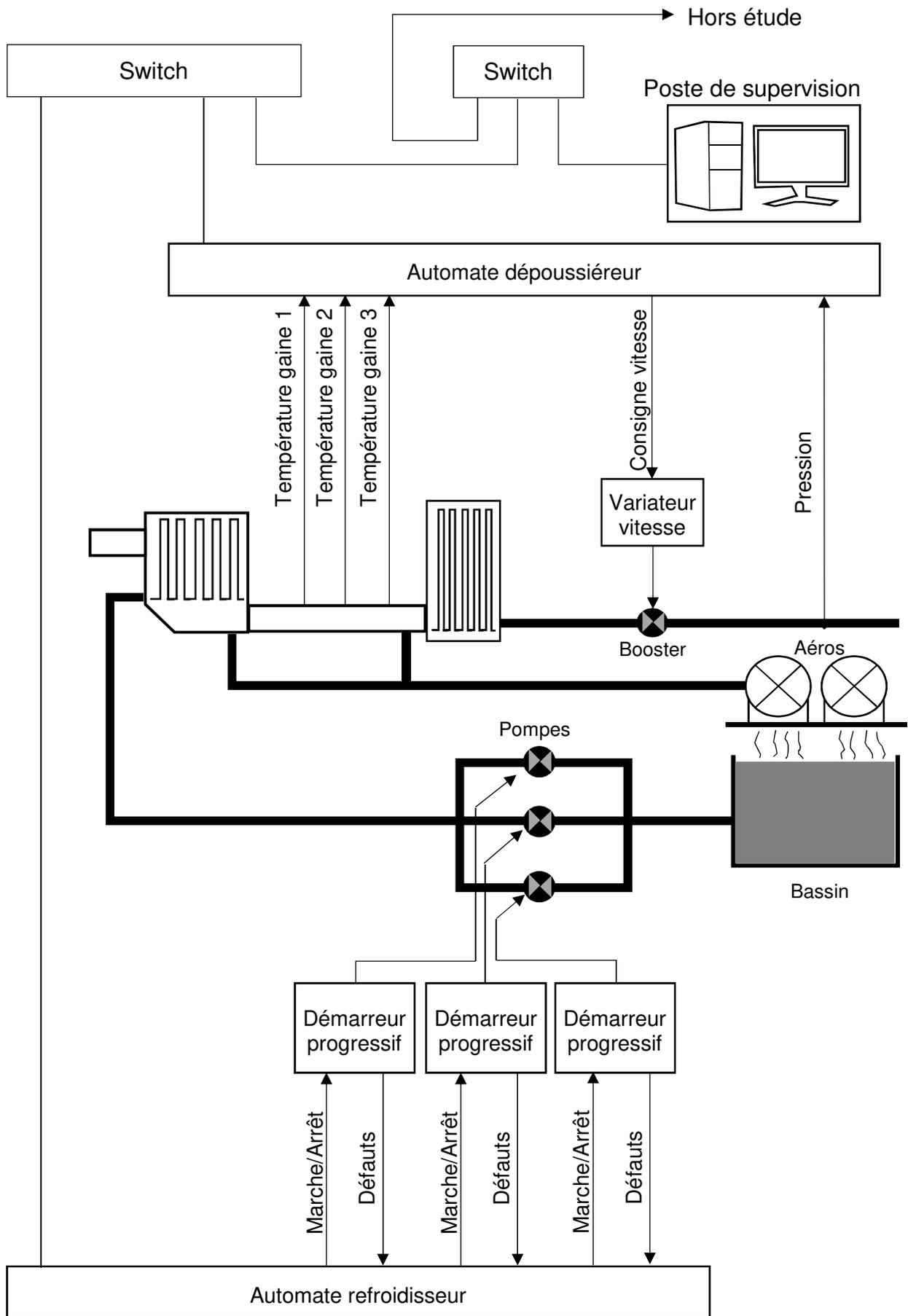


Figure 3 : Commande du système de traitement des fumées

## 2. Enjeux - objectifs

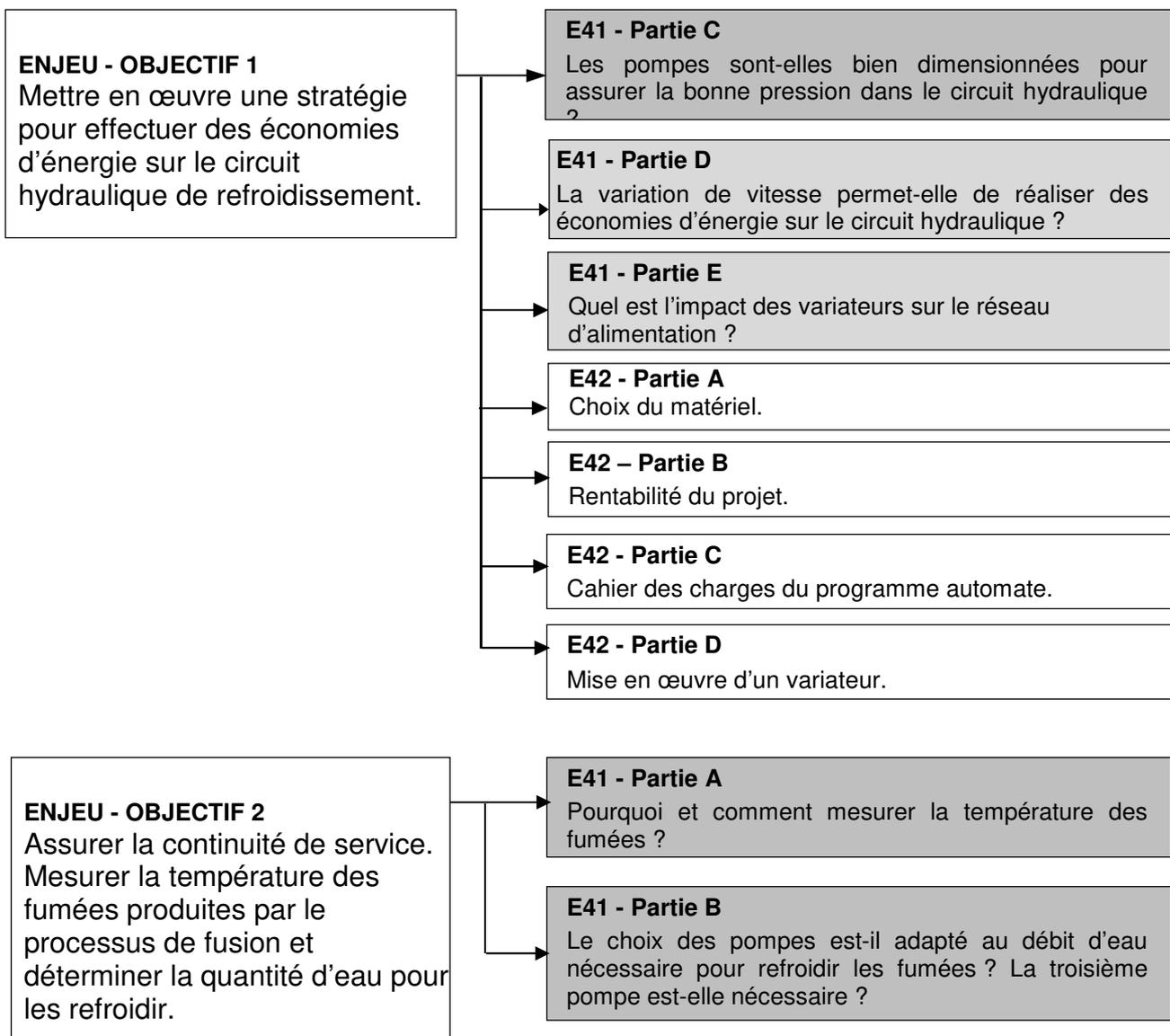
L'enjeu est d'économiser de l'énergie électrique sans dégrader la continuité de production. Une étude sur le circuit d'eau de refroidissement des fumées a montré que durant 66% du temps, l'eau revient sensiblement à la même température qu'au départ car il n'y a pas de fumées à refroidir.

Afin de garantir la continuité de la production, il n'est pas souhaitable de couper la circulation de l'eau. Cependant les pompes pourraient tourner au ralenti les deux-tiers du temps, ce qui permettrait de réelles économies d'énergie.

## 3. Questionnement

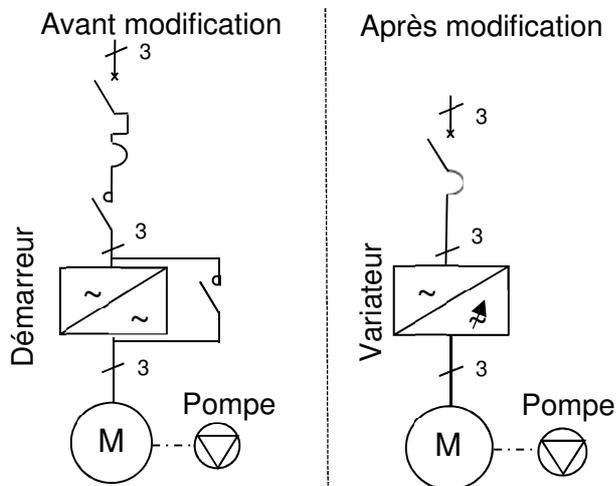
La figure ci-dessous présente l'organisation du questionnement pour cette épreuve E42 et rappelle les questions traitées dans l'épreuve E41 (cases grises).

**Le barème de notation des parties A, B, C, D représente respectivement 30%, 20%, 30%, 20% de la note totale. Les quatre parties A, B, C, D sont indépendantes.**



## PARTIE A. Choix du matériel

### Contexte



Votre responsable envisage de remplacer les démarreurs progressifs pilotant les motopompes du circuit d'eau de refroidissement des fumées par des variateurs de vitesse.

Durant les phases de fumées chaudes les pompes utilisées fonctionneront à leurs vitesses nominales mais le reste du temps, lorsque les fumées seront froides, les pompes pourront alors tourner à une vitesse plus faible et permettront alors de réaliser des économies d'énergie.

Figure 4 : Modification de la commande

Afin d'évaluer le coût du remplacement des démarreurs, votre responsable vous charge :

- de vérifier la validité d'une référence constructeur envisagée pour les variateurs ;
- de déterminer une référence pour les disjoncteurs à placer en amont des variateurs ;
- de choisir de nouveaux câbles pour alimenter les moteurs. En effet, beaucoup d'informations numériques sensibles aux perturbations transitent à proximité des câbles et l'implantation des variateurs posent problèmes en terme de compatibilité électromagnétique (CEM).

### Contraintes

- Concernant la CEM :
  - la norme CEM IEC/EN61800-3 catégorie 3 sera respectée ;
  - les câbles alimentant les moteurs seront blindés ;
  - un nouveau caniveau acheminera les câbles alimentant les moteurs. La longueur est estimée à 11 m. Tous les câbles moteurs passeront dans ce même caniveau et ils seront posés jointivement. La température dans le caniveau est estimée à 40°C.
- Chaque moteur sera alimenté par un câble multiconducteur de type 4G. Les câbles seront choisis dans la gamme « ölflex servo 2YSLCY-JB BK », gaines extérieures noires et isolant PR.
- En cas d'urgence les trois pompes peuvent fonctionner simultanément.
- Les variateurs seront intégrés en lieu et place des démarreurs retirés de l'armoire. Ils ne seront soumis qu'à de faibles surcharges de courant (110 % max).
- La référence envisagée pour les variateurs est ATV630D55N4 (voir DRES1).
- Chaque variateur assurera la protection thermique du moteur qu'il pilotera. La protection thermique sera réglée à la valeur nominale du courant moteur.

## Informations complémentaires

La résolution de la question A2 nécessite de prendre en compte le courant de coupure ultime du disjoncteur.

*Documents nécessaires pour cette partie :*

 *Dossier ressource : DRES1 Variateur de vitesse ATV630 – Catalogue.*

 *Dossier ressource : DRES5 Câbles électriques.*

 *Dossier technique : DTEC1 Descriptif de l'existant.*

A1. Nous allons vérifier la référence envisagée pour les variateurs :

A1.1. **Justifier** la référence envisagée vis-à-vis des caractéristiques des motopompes ;

A1.2. **Justifier** la référence envisagée vis-à-vis des contraintes d'encombrement ;

A1.3. **Justifier** la référence envisagée vis-à-vis de la CEM.

A2. **Donner** en la justifiant, une référence pour les disjoncteurs à associer aux variateurs.

A3. **Déterminer** en développant la démarche suivie, la section minimale des conducteurs alimentant les moteurs. **Proposer** une référence pour les câbles alimentant les moteurs et la longueur à commander.

## PARTIE B. Rentabilité du projet

### Contexte

Lorsque le four est en fonctionnement des cycles de chargement de fusion et de déchargement du métal se succèdent (voir figure 5).

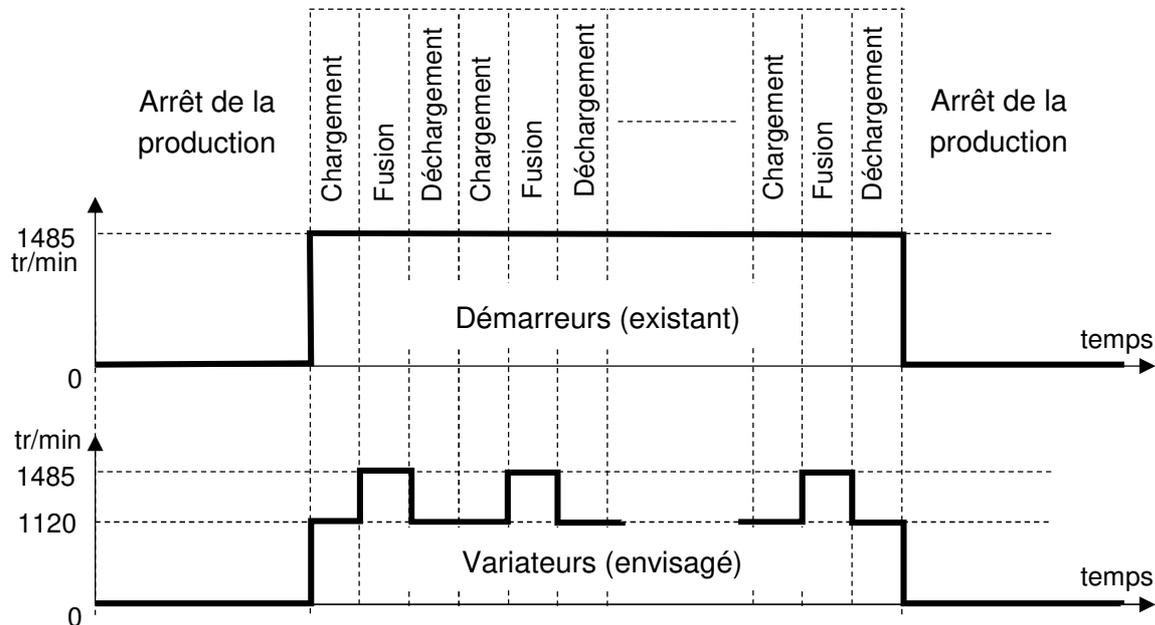


Figure 5 : Vitesses des motopompes

Les fumées sont provoquées par la fusion du métal, il est donc possible de réduire la vitesse des motopompes pendant les phases de chargement et de déchargement du métal. Dans ce cas, une pré-étude a permis d'établir les puissances absorbées par les motopompes :

- 40 kW par pompe à 1485 tr.min<sup>-1</sup> ;
- 17,3 kW par pompe à 1120 tr.min<sup>-1</sup>.

Votre responsable souhaite établir la rentabilité de ce projet. Il vous demande d'en déterminer le temps de retour sur investissement.

### Données

- Tous les démarreurs seront remplacés par des variateurs. Un disjoncteur sera placé en amont de chaque variateur pour protéger l'installation contre les courts-circuits.
- Suite à des observations réalisées depuis le poste de supervision, il apparaît que :
  - la consommation de l'ensemble des motopompes est de 316 800 kWh/an ;
  - en cours de production deux pompes sont en fonctionnement, la troisième est en secours ;
  - les durées des phases de chargement, de fusion et de déchargement sont égales ;
  - le temps de fonctionnement moyen du four est de 88 h par semaine et il est arrêté 7 semaines par an (maintenance, baisse de production...).

- La TVA est fixée à 20%.
- Le prix moyen, toutes taxes comprises, du kWh est de 0,072 €.
- Une aide financière européenne de 7000 € sera accordée, une fois le projet réalisé, pour faciliter l'investissement car il vise à réduire des consommations d'énergie.
- L'estimation des coûts est répartie de la manière suivante :
  - pour les équipements : 3200 € HT par variateur, 400 € HT par disjoncteur et 350 € HT de câbles au total ;
  - pour la main d'œuvre, le coût est estimé à 30 € HT de l'heure, il faudra compter :
    - 3 heures par variateur (démontage du démarreur et de ses contacteurs puis mise en place du variateur) ;
    - 1 heure par disjoncteur (démontage de l'ancien et mise en place du nouveau) ;
    - 3h de raccordement par ensemble variateur-disjoncteur ;
    - 3h de tests et mise sous tension pour l'installation (pour l'ensemble des variateurs) ;
    - 7,5 heures de programmation et tests pour l'installation (pour l'ensemble des variateurs).

### Consommation avec variateurs

*Pour répondre aux questions suivantes on considère que les motopompes sont alimentées par les variateurs.*

- B1. **Calculer** en heure, la durée annuelle de fonctionnement du four. **En déduire** la durée annuelle de fonctionnement des motopompes à vitesse réduite.
- B2. **Calculer** l'énergie électrique consommée annuellement par l'ensemble des motopompes pour refroidir les fumées.

### Étude de la rentabilité du projet

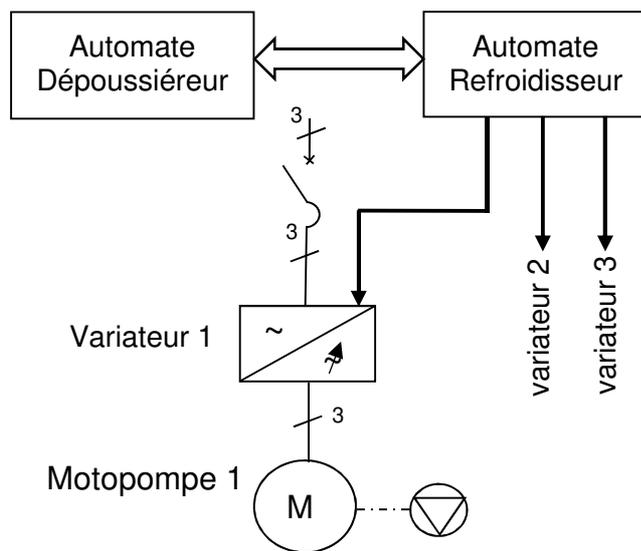
*Pour répondre aux questions suivantes, on considère que la consommation totale des motopompes alimentées par les variateurs est de 200 000 kWh/an.*

- B3. **Calculer** les économies, en €, réalisables annuellement en remplaçant les démarreurs par des variateurs.
- B4. **Calculer** le coût total hors taxe de l'investissement à réaliser. **En déduire** la TVA à payer et le coût total toutes taxes comprises correspondants.
- B5. **Indiquer**, à partir des résultats précédents, le temps de retour sur investissement du projet.

## PARTIE C. Cahier des charges du programme automate

### Contexte

Afin d'obtenir un débit d'eau suffisant pour refroidir les fumées sans interruption, trois pompes identiques montées en parallèle puisent de l'eau froide dans un bassin à l'air libre. Votre responsable a pris la décision de remplacer les démarreurs pilotant actuellement les pompes par des variateurs. La figure 6 présente le principe de commande retenu pour les piloter.



L'automate « refroidisseur » pilote les variateurs afin d'obtenir le profil de vitesse désiré.

L'automate « dépoussiéreur » surveille les températures des gaines et pilote le booster (pompe à air) qui régule la pression dans les gaines.

Pour piloter les variateurs l'automate « refroidisseur » transmet des requêtes à l'automate « dépoussiéreur » afin que celui-ci lui communique les températures des gaines et la vitesse du booster.

Figure 6 : Modification de la commande

Il a été décidé de sous-traiter la réalisation du programme à implanter dans l'automate « refroidisseur » à un bureau d'étude spécialisé dans le développement d'automatismes industriels. Votre responsable vous charge de compléter le cahier des charges qu'il a commencé à rédiger, voir DTEC2 :

- il vous confie la réalisation de chronogrammes qui permettront de préciser le comportement attendu pour les motopompes ;
- il vous confie la description en langage Ladder, LD, du fonctionnement du programme.

#### Contraintes :

- Les exigences du cahier des charges, DTEC2, seront respectées.

### Informations complémentaires

La lecture du cahier des charges (DTEC2) est nécessaire avant de débiter la résolution des questions.

Toutes les variables du programme sont considérées comme étant égales à zéro au démarrage du programme.

L'emploi d'un bloc Ladder TON ou TOF est nécessaire pour résoudre la question C6.



*Documents nécessaires pour cette partie :*

 Dossier ressource : DRES6 – Éléments du langage LADDER.

 Dossier ressource : DTEC2 – Cahier des charges - Programme automate.

 Dossier réponse : DREP1 à DREP4.

### *Chronogrammes*

C1. **Compléter** le document réponse DREP1 en représentant les chronogrammes des vitesses des pompes pour un fonctionnement sans alerte température.

C2. **Compléter** le document réponse DREP2 en représentant les chronogrammes des vitesses des pompes pour un fonctionnement avec une alerte température.

### *Pilotage des pompes*

*Pour répondre aux questions C3 à C4, ne pas prendre en compte la gestion des erreurs de communication pouvant apparaître entre l'automate « dépoussiéreur » et l'automate « refroidisseur ».*

C3. **Compléter** sur le document réponse DREP3 le « réseau 1 » des sorties MP1 et MP2 qui concerne la marche et l'arrêt de la pompe 1 et de la pompe 2.

C4. **Compléter** sur le document réponse DREP3 le « réseau 2 » des sorties VP1 et VP2 qui concerne le pilotage de la vitesse de la pompe 1 et de la pompe 2.

C5. **Compléter** sur le document réponse DREP3 le « réseau 3 » de la sortie (interne) ALERTE qui concerne le seuil de pré-alerte température et le pilotage de la pompe 3 par les sorties MP3 et VP3.

### *Gestion d'une erreur de communication*

C6. **Compléter** sur le document réponse DREP4 le « réseau 4 » de la sortie (interne) DEFCON qui concerne la prise en compte d'une erreur de communication.

## PARTIE D. Mise en œuvre d'un variateur

### Contexte

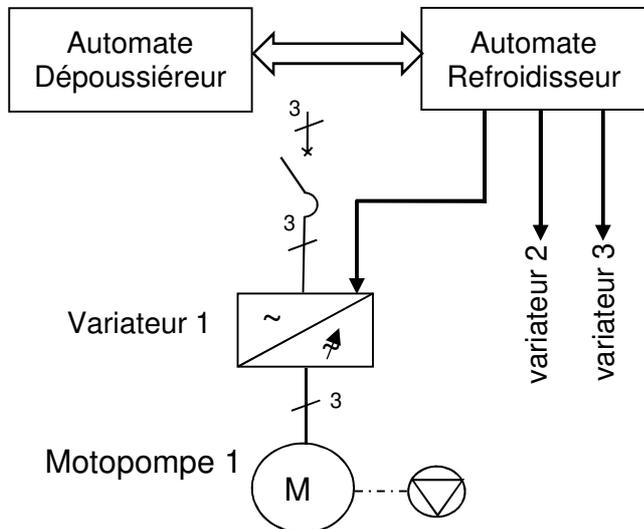


Figure 7 : Modification de la commande

Votre responsable a pris la décision de remplacer les démarreurs par des variateurs. La figure 7 présente le principe de commande retenu pour les piloter.

L'automate « refroidisseur » est en charge de piloter les variateurs afin d'obtenir le profil de vitesse désiré.

Votre responsable vous charge de préparer les réglages à effectuer pour paramétrer le **variateur 1**.

Il vous charge également de réaliser les schémas des raccordements du **variateur 1**.

### Spécifications

- Les exigences du cahier des charges, DTEC3, seront respectées.
- Le contact de la sortie Q9.0 de l'automate sera relayé par un relais repéré KA1. La bobine de ce relais sera alimentée en 24 V alternatif.
- Une alimentation 24 V DC, extérieure au variateur, sera utilisée pour commander les entrées Di1 et Di2 du variateur. Le commutateur Collecteur/Source du variateur sera sur la position SRC.

### Informations complémentaires

La sortie Q9.0 de l'automate doit piloter la marche simultanée à  $1485 \text{ tr.min}^{-1}$  des trois pompes. Pour ce faire il est nécessaire de commander les entrées Di1 et Di2 de chaque variateur, ce qui n'est pas possible avec le seul contact de la sortie Q9.0. En commandant, via Q9.0, la mise sous tension de la bobine du relais KA1, nous commandons simultanément la mise au travail de 6 contacts (3NO et 3NC). Chaque contact du relais de KA1 est alors utilisé pour piloter une entrée Di1 ou Di2 du variateur.

Pour résoudre la question D2.2, l'emploi d'un contact NO du relais KA1 est nécessaire.

Pour résoudre la question D2.3, l'emploi d'un contact NC du relais KA1 est nécessaire.

Documents nécessaires pour cette partie :

-  Dossier ressource : DRES2 Variateur de vitesse ATV630 – Paramètres.
-  Dossier ressource : DRES3 Variateur de vitesse ATV630 – Câblages.
-  Dossier ressource : DRES4 ATV630 – Exemple de 4 vitesses présélectionnées.
-  Dossier technique : DTEC1 Descriptif de l'existant.
-  Dossier technique : DTEC3 Cahier des charges – Mise en œuvre variateurs.
-  Dossier réponse : DREP5.

D1 Nous allons paramétrer le variateur 1 pour satisfaire aux exigences du cahier des charges. Nous considérons que les paramètres bFr, LSP et HSP sont respectivement réglés à 50, 0 et 50.

- D1.1. **Donner** les codes des paramètres du variateur et leurs valeurs de réglage pour prendre en compte les caractéristiques de la pompe pilotée.
- D1.2. **Donner** les codes des paramètres du variateur et leurs valeurs de réglage pour éliminer les coups de bélier dans le circuit hydraulique.
- D1.3. **Donner** les valeurs de réglages des paramètres tcc, PS2 et SP2 pour piloter les consignes de vitesses attendues.

D2 Nous allons réaliser une partie du schéma qui permettra de réaliser le câblage du bornier de commande du variateur 1. Le paramétrage du variateur 1 a été effectué, le fonctionnement obtenu est le suivant :

<b>Entrée Di1 du variateur 1</b>		<b>Entrée Di2 du variateur 1</b>	
Si Di1 = 0V :	Arrêt pompe	Si Di2 =0V :	Vitesse pompe = 1485 tr.min <sup>-1</sup> .
Si Di1 = 24 V :	Marche Pompe	Si Di2 =24V :	Vitesse pompe = 1120 tr.min <sup>-1</sup> .

- D2.1 **Compléter** le schéma du document réponse DREP5 en représentant les liaisons à réaliser pour relayer le contact de sortie Q9.0 de l'automate.
- D2.2 **Compléter** le schéma du document réponse DREP5 en représentant les liaisons à réaliser pour piloter la marche du variateur.
- D2.3 **Compléter** le schéma du document réponse DREP5 en représentant les liaisons à réaliser pour piloter la consigne de vitesse du variateur