

SESSION DE 1997

**CA P E T**

---

**CONCOURS EXTERNE**

---

**Section : GENIE ELECTRIQUE**

Option : ELECTROTECHNIQUE ET ENERGIE

**ETUDE D'UN SYSTEME ET/OU D'UN PROCESSUS TECHNIQUE**

Durée : 8 heures

Composition du dossier :

Présentation : Usine de Traitement de déchets VALORYS ..... 7 pages

Sujet : ..... 13 pages

Partie A : Etude du traitement des fumées  
Questionnaires 1, 2, 3, 4 indépendants

Partie B : Etude de la distribution d'énergie  
Questionnaires 1, 2, 3 indépendants

Documents réponse : ..... 8 pages

Documents techniques : Annexes 1 à 14 ..... 72 pages

Avertissements aux candidats :

- Les documentations peuvent être incomplètes,  
Les questionnaires sont indépendants .

# PRESENTATION

Usine de Traitement de Déchets - VALORYS

Vue d'ensemble de l'Usine de Traitement de Pluzunet

Le support de l'épreuve traitera du projet « VALORYS » : usine de traitement et de valorisation des ordures ménagères et industrielles de l'Ouest des Côtes d'Armor.

Après une collecte sélective des déchets, suivie d'un tri , il est possible :

- de recycler de nombreux matériaux (métaux, verres,...),
- d'en composter certains autres (déchets végétaux),
- d'incinérer les restants .

Dans cette unité de traitement, il a été choisi de valoriser l'incinération en énergie électrique et en chaleur de chauffage .

Un four de combustion, capable de traiter normalement 168 tonnes/jour, peut fournir :

- 3 000 kW en moyenne sous forme d'énergie électrique (dont 25 % sert à l'autoalimentation en énergie de l'usine, les 75% restants sont vendus à l'EDF)
- 6 500 kW sous forme thermique (circulation d'eau de chauffage à 60°C de serres horticoles)

Cette usine doit respecter et respecte les règles environnementales : toute pollution induite doit être éliminée . Le traitement des déchets et la combustion suscitent des rejets : odeurs, poussières, gaz nocifs entraînés par les fumées .

Néanmoins, les déchets ultimes : cendres et boues, seront acheminés dans un centre d'enfouissement technique

## **Filière VALORYS**

Fonctionnalités de la filière

## Principes fonctionnels de l'usine VALORYS

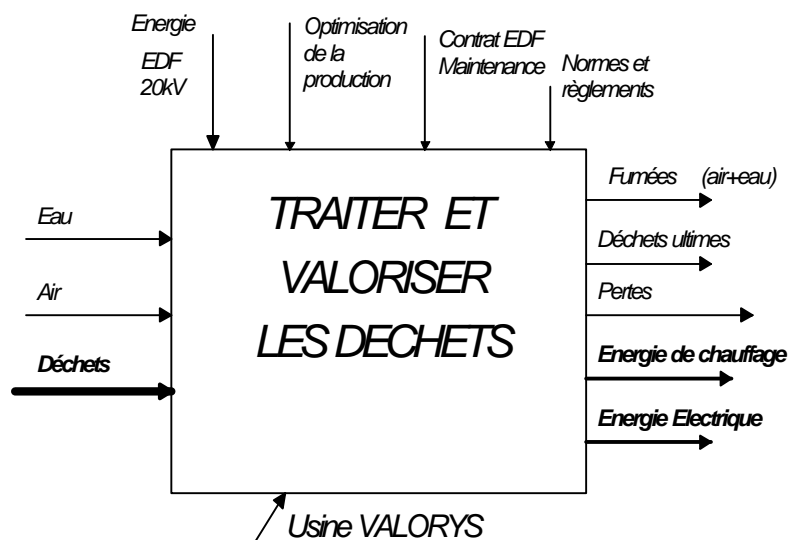
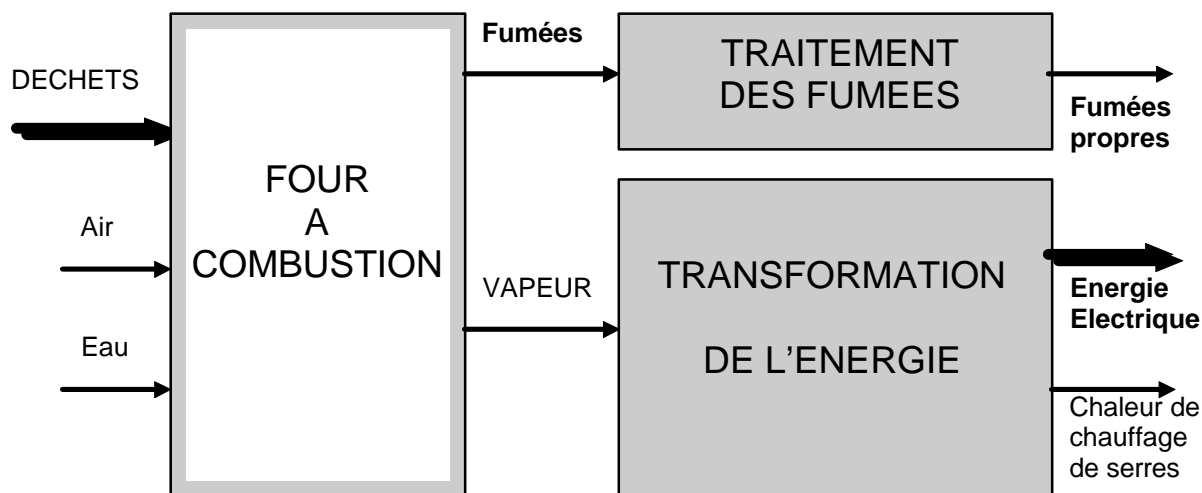


Figure 1 :  
Schéma fonctionnel A-0

Figure 2 : Schéma fonctionnel simplifié



### Caractéristiques Principales

Population desservie :	170 000 habitants
Capacité de traitement :	55 000 tonnes/an
Disponibilité de fonctionnement :	> 7 800 heures/an (24h/24 - 7j/7)
Alimentation électrique :	HTA 20 kV
Production d'énergie électrique :	Groupe Turbo alternateur couplé sur le réseau 3 200 kW nominal
Production chaleur de chauffage :	Echangeur vapeur-eau à 60 °C , puissance selon demande des serristes (0 à 9 600 kW)
Nuisances :	- odeurs : Aucune
	- bruits : < + 5 db par rapport au bruit ambiant en limite de propriété
Rejets :	< aux normes françaises et européennes
- fumées :	rendues propres (air + vapeur d'eau)
- eau :	aucun rejet, hors évaporation (eau recyclée)
- produits de traitements :	(soude, sels, ...) recyclés et/ou récupérés
- déchets ultimes :	récupérés et inertés

**CHAPITRE II : BESOINS FONCTIONNELS A SATISFAIRE**

**article 6 : Descriptif**

**6.1 : principe de fonctionnement**

La vapeur produite par la chaudière ... sera utilisée pour la production d'énergie électrique à partir d'un groupe turboalternateur à condensation avec soutirage .

La vapeur d'échappement de la turbine sera utilisée pour chauffer un réseau de chaleur pour des serres avec un condenseur-échangeur . Le fluide primaire sera la vapeur à l'échappement de la turbine . Le fluide secondaire sera de l'eau chaude provenant des serres .

**6.2 : groupe turboalternateur**

Le groupe turboalternateur sera prévu fonctionner 24 h/jour, 365 jours/an .

Il pourra fonctionner en autonome .

Il sera couplé avec le réseau EDF

**6.2.3 : Alternateur et transformateur élévateur**

L'alternateur sera couplé au jeu de barres par l'intermédiaire d'un transformateur élévateur de tension.

Il sera capable de tenir une surcharge de 10% pendant une heure sans sur-échauffement dangereux .

Le bobinage stator ... insensibilité parfaite à l'humidité et aux pollutions.

Il sera conçu pour obtenir une onde de tension dépourvue d'harmoniques.

Toutes les protections et alarmes liées à l'alternateur devront être prévues.

L'entrepreneur indiquera les dispositions prises pour le refroidissement du groupe turboalternateur et détaillera les dispositifs mis en place contre les bruits et les poussières.

**6.2.4 : Aérothermes et matériels annexes**

... L'aérotherme sera équipé d'une régulation antigel.

Des appareils de contrôle de température et de pression seront installés sur chaque entrée et sortie de fluide.

Les ventilateurs seront prévus pour que le niveau sonore soit conforme ... Si nécessaire, il sera prévu des moteurs à vitesse variable.

**6.3 : Echangeur/Condenseur**

L'échangeur devra permettre la condensation de la totalité de la vapeur produite à l'échappement de la turbine.

**article 7 : Capacité de l'installation**

**7.1 : Dimensionnement du groupe turboalternateur**

	Point nominal maximum	Marche nominale moyenne	unités
Débit de vapeur HP	19 275	14 655	kg/h
Température de vapeur	345	344	°C
Pression de vapeur	38	38	bar abs*
Pression à l'échappement	0,2	0,2	bar abs*
Débit de soutirage maximum	3 690		kg/h
Pression de soutirage	6		bar abs*

Conditions maximales 1 fois/heure : débit = 21 200 kg/h ; température = 370°C ; pression = 47 bar

## 7.2 : Dimensionnement de l'échangeur-condenseur

Caractéristiques de la vapeur à l'échappement de la turbine

si : - déchets => .	7t/h à PCI <sup>@</sup> = 2 200 kcal/kg	7t/h à PCI <sup>@</sup> = 1 800 kcal/kg	7t/h à PCI <sup>@</sup> = 2 200 kcal/kg	unités
- soutirage vapeur =>	1 500 kg/h	1 000 kg/h	0	
Débit	15 753	12 800	19 300	kg/h
Pression	0,2	0,2	< 0,7	bar abs*
Température	60	60	< 90	°C
Puissance condensation	9 400	7 700	13 700	kW

Caractéristiques du réseau eau chaude

Débit d'eau	325 m <sup>3</sup> /h
température d'eau des retours	30 °C
pression réseau	4 bar eff

## 7.4 : Disponibilité des équipements

... garantie annuelle du temps de fonctionnement pour l'ensemble des équipements : 7 800 heures

article 8 : Convenance des installations

### 8.1 : Performances garanties par l'entrepreneur pour groupe turboalternateur

	point nominal maximum	point nominal moyen	unités
Température	345	344	°C
Débit vapeur	19 275	14 655	kg/h
Débit soutirage	2 239	1 700	kg/h
Pression soutirage	6	5,4	bar abs
Production électrique	3 200	2 320	kW
Pression à l'admission		38	bar abs
Pression en sortie turbine		0,2	bar abs
Disponibilité		97	%

Article 14 : Pompes

Toutes les pompes seront doublées pour permettre un secours automatique ...

### 14.1 : Caractéristiques de construction

Les pompes HP et celles véhiculant des fluides dont la température dépasse 105°C seront obligatoirement en acier ; les autres pourront être en fonte.

Elles seront montées sur socle.

Leur entraînement se fera par moteur de protection minimale IP 55, ....

@ : PCI : pouvoir calorifique intrinsèque

\* : bar abs = pression absolue en bar

## **CHAPITRE V : MESURE - CONTROLE - REGULATION**

### **Article 15 - Mesure - Contrôle - Régulation**

#### 15.1 : Généralités

Le contrôle et la régulation de l'ensemble des installations est assuré de façon automatique par un Système Numérique de Contrôle Commande (SNCC) relié par des réseaux de communication à des automates programmables industriels ... ou pour certains auxiliaires à des cartes d'entrées/sorties analogiques et numériques ...

#### 15.2 : Fonctionnalités du système

##### 15.2.1 : Sécurités

Les sécurités ultimes ne seront pas réalisées par le SNCC, mais les informations relatives à celles-ci sont reportées sur le poste de conduite du SNCC.

##### 15.2.2 : Pilotage par le SNCC

Les automatismes des équipements seront gérés par API ou armoire à relais. Les indications, d'alarmes, de marche et de défauts, de chaque éléments de ces équipements seront ramenés sur le SNCC. La mise en route et l'arrêt de ces équipements pourront être faits à travers le SNCC.

#### 15.3 : Architecture du système

##### 15.3.1 : Alimentation

... fonctionnement sans aléa avec une alimentation de 220 V +/- 10%, 50 Hz +/- 5% .

Le système sera pourvu de deux alimentations distinctes : une « normale » secteur et une « secours » provenant d'un onduleur (autonomie : ½ heure).

Après coupure totale de ces deux sources, le système doit redémarrer automatiquement sans intervention du personnel et sans conséquence sur le logiciel.

L'alimentation des capteurs est assurée par le SNCC ou par l'onduleur.

##### 15.3.3 : Cartes d'Entrées/Sorties des automates

Les entrées/sorties TOR seront de type 24 Vcc alimentées par l'API.

Les entrées et sorties analogiques seront de type 4-20mA . L'alimentation sera également fournie par l'API.

##### 15.3.4 : Communications avec les API

Elles sont de type bidirectionnelle suivant le protocole MODBUS/JBUS

## **CHAPITRE VI : INSTALLATIONS ELECTRIQUES**

### **Article 16 : Courants forts**

#### 16.0.2 : Schéma de structure

Toute l'installation sera alimentée : soit à partir du réseau EDF, soit par le groupe turboalternateur . L'armoire de couplage au réseau doit posséder toutes les protections nécessaires ....

... conforme aux normes en vigueur ...

Les appareils doivent être conçus pour fonctionner en atmosphère poussiéreuse et humide, et étanches à la lance si situés hors des salles.

Les appareils d'utilisation sont protégés individuellement contre les surintensités et courts-circuits.

Un groupe électrogène de secours sera installé pour assurer la sauvegarde des installations, notamment lors des procédures d'arrêt en cas d'incidents.

#### 16.0.4 : Mesures et comptage

L'entrepreneur doit prévoir :

- pour le turboalternateur,
- sur le transformateur MT/BT de distribution,
- sur les départs généraux BT alimentant les auxiliaires de ses équipements.

les mesures de :

1. l'énergie électrique active et réactive , produite et consommée,
2. la puissance électrique instantanée,
3. les intensités,
4. les tensions.

#### 16.0.5 : Régime de Neutre BT

Il sera du type impédant (IT) avec déclenchement des protections au deuxième défaut d'isolement.

#### 16.1 : Poste de livraison et de transformation

- tension de service : 20 kV
- puissance de court-circuit : 500 MVA
- degré de protection : IP 305

##### Caractéristiques du transformateur MT/HT

- ◇ type : étanche à remplissage intégral
- ◇ fréquence : 50 Hz
- ◇ tension primaire : 5,5 kV
- ◇ tension secondaire : 20 kV
- ◇ réglage hors tension : +/- 2,5 % mini
- ◇ diélectrique : huile
- ◇ dispositif de protection : type DGPT2
- ◇ conformité : normes (C13 100, C13 200, C15 100, C52 100, C52 113, CEI 76 , spécifications EDF)

#### 16.2 : Groupe électrogène de secours

Le démarrage du groupe sera automatique sur manque de tension sur jeu de barres TGBT.

Tous les verrouillages nécessaires seront prévus pour interdire la marche en parallèle, sans synchronisation préalable, du groupe avec le réseau EDF ou avec le groupe turboalternateur.

#### 16.3 : Tableau général basse tension TGBT

Moderne, modulaire, ... De fiabilité optimale . Indice de protection minimum : IP 549.

Constitution : 1 compartiment jeu de barres,  
1 compartiment raccordement,  
1 compartiment « auxiliaires »,  
1 compartiment appareillage.

Tous les appareils de coupure ou de protection devront avoir un pouvoir de coupure suffisant et permettre une sélectivité totale des déclenchements entre les différents étages de protection.

#### 16.4 : Tableaux secondaires Basse Tension

Le choix de l'appareillage de protection et de commande devra être standard pour l'ensemble de l'usine . Il recevra l'agrément délivré par le maître d'ouvrage.

Tous les départs « moteurs » pour les moteurs d'équipements doublés, ou de puissance supérieur à 15 kW seront équipés de compteurs horaires permettant la surveillance des temps de fonctionnement.

#### 16.5 : Moteurs

Les moteurs seront de types (blindé, étanche, ...) appropriés à leur lieu d'utilisation ....

Ils seront protégés individuellement contre les surintensités, courts-circuits, rupture de phase et inversions de phase.

Leur puissance nominale est au moins égale à la puissance nécessaire dans les conditions d'emploi prévues, majorées des coefficients nécessaires afin de tenir compte de la température ambiante et de mauvaises conditions de refroidissement.

Indice de protection minimum : IP 55.

L'entrepreneur indique le mode démarrage pour chaque moteur et précise la spécification des batteries de condensateurs qu'il a prévues, lorsque cela est nécessaire, pour améliorer le facteur de puissance, soit de certains appareils, soit de l'ensemble de l'installation.

Les câbles d'alimentation en amont des moteurs, ainsi que les caractéristiques des générateurs seront déterminées en tenant compte d'une chute de tension maximum au démarrage de 10% aux bornes des moteurs.

#### 16.6 : Distribution Générale Basse Tension

##### 16.6.1 : Normes

... conforme au décret du 14/11/1988 relatif à la protection des travailleurs ...

... conformes à la norme C15 100 et à l'ensemble des normes constructives .

##### 16.6.2 : Chemins de câbles

... en acier galvanisé après perforation, ..., pose verticale en drapeau, ... , espace de 0,25m entre 2 niveaux

16.6.3 : Conduits :

enterrés : ... sous fourreaux à un minimum de 60cm ....

apparents : soit exposés à des risques mécaniques,  
soit situés à moins de 2,5m de hauteur,  
soit pour les descentes sur les machines ou les coffrets,  
seront du type « tube acier » ; ailleurs il seront de type « IRO » ...

16.6.4 : Câblage :

Le choix du câble et la détermination des sections seront réalisées conformément à la réglementation en vigueur.

Tous les câbles seront repérés au minimum à chaque extrémité.

16.8 : Circuits de terre

Un circuit général de terre sera prévu sur chemins de câbles et constitué d'un câble 1x25mm<sup>2</sup> de cuivre nu fixé visiblement sur le flanc externe des chemins de câbles .

La mise à la terre de l'ensemble des masses métalliques de l'usine sera réalisée à partir de ce circuit, conformément à la réglementation.

# SUJET

**Partie A** : Etude du traitement des fumées 1/13 à 9/13

Questionnaires 1,2 ,3 ,4 indépendants

**Partie B** : Etude de la distribution d'énergie 10/13 à 13/13

Questionnaires 1, 2, 3 indépendants

## Avertissements aux candidats :

- Les réponses formulées doivent clairement être référencées.
- Evitez le mélange de vos réponses, par exemple :
  - traitez le questionnaire 2 de la partie A dans l'ordre, en entier ou en partie.
  - ne placez pas la réponse 2.1.5 entre les réponses 2.3.3 et 2.3.4.
- Les questionnaires sont indépendants.
- A l'intérieur d'un même questionnaire, certaines questions sont indépendantes
- Ecrivez lisiblement.  
Posez le calcul ou l'argumentation avant d'exprimer le résultat.

tion : température optimale et minimum d'émission de CO et CO<sup>2</sup>.

- Cette fonction de réglage est remplie par le ventilateur qui maintient une faible dépression en sortie de four (de 10 à 20 mm CE<sup>1</sup>) indépendamment du débit d'air . Le ventilateur permet également l'éjection des fumées dans la cheminée . )

<sup>1</sup> => millimètre de colonne d'eau ; 1mmCE = 10Pa est l'unité de pression courante)

### **A-3. SYSTEME DE DEPOUSSIERAGE ELECTROSTATIQUE**

#### **A-3.1. Description :**

A l'intérieur d'une enceinte étanche et isolée thermiquement, les fumées issues du four circulent entre les électrodes émissives et réceptives de 2 modules électrostatiques placés en cascade .

Les électrodes captent les particules poussiéreuses électrisées qui circulent.

Afin de récupérer ces poussières en fond de trémie, il suffit de les faire tomber par gravité en frappant à intervalles réguliers les électrodes par un système mécanique entraîné par un motoréducteur.

L'efficacité du filtre électrostatique est lié à la fréquence des frappages . La fréquence sera ajustée à la mise en service de l'équipement.

Les poussières tombées dans la trémie sont légèrement humides et acides ; aussi, pour éviter qu'elles ne réagissent chimiquement et s'agglomèrent, la paroi interne de la trémie est chauffée afin d'éviter les risques de condensation (technique dite de traçage).

Les poussières recueillies sont alors acheminées par une vis sans fin et un sas rotatif vers une seconde trémie de stockage.

Les électrodes émissives sont isolées du caisson et alimentées en HT au travers d'isolateurs servant également de supports. Ces isolateurs sont également chauffés (traçage isolateurs) afin de conserver leurs caractéristiques.

*Voir les schémas en annexe 1, ainsi que la documentation alimentation HT en annexe 2 .*

### A-3.2. Caractéristiques principales :

Les matériels caractérisés ci-après sont ceux référencés dans les plans précédents (annexe 1 - page 3/3) .

#### A-3.2.1. EQUIPEMENT :

Type d'Equipement	Référence	Puissance/Tension	Observations
Groupe transformateur-redresseur HT1	W1125	38,4kVA - 96kV/400mA 380V - 50Hz - 1~	<= sortie <= entrée
Groupe transformateur-redresseur HT2	W1126	38,4kVA - 96kV/400mA 380V - 50Hz - 1~	<= sortie <= entrée
Chauffage des isolateurs	W1122 W1123	2x2kW - 380V tri	1 thermoplongeur de 2kW par isolateur
Chauffage de la trémie	W1104 à W1121	10,8kW - tri	18 épingles chauffantes de 600W - 230V mono
Frappage réceptives	MR1119 MR1120	0,15kW- 380/660V 0,15kW- 380/660V	Moteurs asynchrones de Frappage des électrodes
Frappage émissives	MR1123 MR1124	0,15kW- 380/660V 0,15kW- 380/660V	
Vis sous trémie	Q1101	5,5kW - 230/400V	Moteurs asynchrones d'évacuation des poussières
Sas rotatif	Q1102	0,75kW - 230/400V	

#### A-3.2.2. CAPTEURS , INSTRUMENTATION :

LIBELLE	Référence	Nature Signal	Niveau	Observations
Niveau huile transformateur HT1	LSL1106	TOR	380V	DGPT2
Alarme température haute transformateur HT1	TSH1105	TOR		
Pression haute transformateur HT1	PSH1104	TOR		
Sonde mesure courant redressé HT1		4-20mA		
Sonde mesure haute tension HT1		4-20mA		
Image tension primaire HT1				
Niveau huile transformateur HT2	LSL1109	TOR	380V	DGPT2
Alarme température haute transformateur HT2	TSH1108	TOR		
Pression haute transformateur HT2	PSH1107	TOR		
Sonde mesure courant redressé HT2		4-20mA		
Sonde mesure haute tension HT2		4-20mA		
Image tension primaire HT2				
Capteur Contrôle rotation sas	QCR1102			
Capteur Contrôle rotation vis	QCR1101			
Température haute trémie	TSH1102			Thermostat
Température haute caissons d'isolateurs	TSH1103			Thermostat
Niveau haut trémie	LSH1101			

**A-3.2.3. COMMANDES ET SIGNALISATIONS :**

Les boutons de commande et les voyants sont placés sur les portes d'armoires.

Les boutons poussoirs **Marche/Arrêt** n'agissent qu'en **mode manuel**

LIBELLE	Commandes	Signalisation
	Commutateur AUTO/MANU	
Transformateur-redresseur HT1	Boutons Marche/Arrêt Bouton Acquitement défaut	Marche HT1 Défaut transformateur HT1 Défaut Umini HT1 Bargraphe Intensité secondaire HT1 Alarme température haute HT1
Transformateur-redresseur HT2	Boutons Marche/Arrêt Bouton Acquitement défaut	Marche HT2 Défaut transformateur HT2 Défaut Umini HT2 Bargraphe Intensité secondaire HT2 Alarme température haute HT2
Moteur Frappage Electrode réceptrice Champ 1	Boutons Marche/Arrêt	Marche frappe réceptrice Champ 1 Défaut frappe réceptrice Champ 1
Moteur Frappage Electrode réceptrice Champ 2	Boutons Marche/Arrêt	Marche frappe réceptrice Champ 2 Défaut frappe réceptrice Champ 2
Moteur Frappage Electrode Emissive Champ 1	Boutons Marche/Arrêt	Marche frappe émissive Champ 1 Défaut frappe émissive Champ 1
Moteur Frappage Electrode émissive Champ 2	Boutons Marche/Arrêt	Marche frappe émissive Champ 2 Défaut frappe émissive Champ 2
Moteur vis sous trémie	Boutons Marche/Arrêt	Marche vis sous trémie Défaut vis sous trémie Défaut contrôleur niveau haut trémie Alarme contrôle de rotation vis Alarme niveau haut trémie
Moteur sas	Boutons Marche/Arrêt	Marche sas sous vis Défaut sas sous trémie Alarme contrôle de rotation sas
Chauffage électrique trémie	Boutons Marche/Arrêt	Marche chauffage trémie Défaut chauffage trémie
Chauffage caissons isolateurs	Boutons Marche/Arrêt	Marche chauffage isolateurs Défaut chauffage isolateurs Alarme température haute
	Coups de poing Arrêt d'Urgence	Alarme évacuation
Impression des événements : commandes, alarmes et défauts au fil de l'eau		

**Question 1 : Principe du filtrage électrostatique**

En considérant une particule électrisée de masse « m » et de charge électrique « q » se déplaçant à la vitesse linéaire « v » entre deux électrodes de largeur « L » séparées par la distance « d » et entre lesquelles règne un champ électrique créé par une ddp « U ». Voir figure 4 ci-contre.

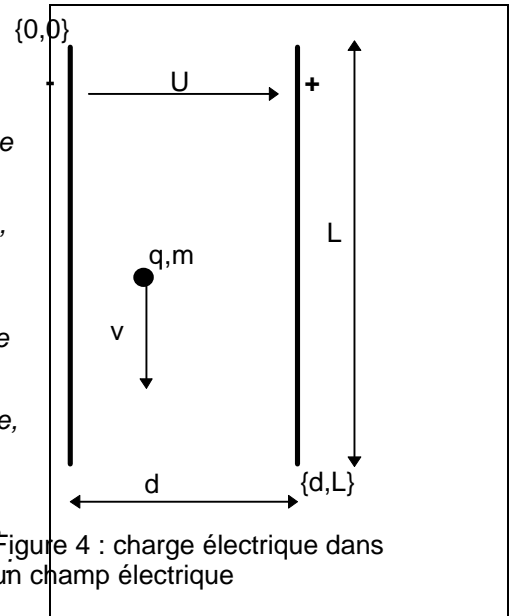


Figure 4 : charge électrique dans un champ électrique

- 1.1 Si l'on admet le champ disruptif  $E_{br}$  des fumées égal à 15kV/cm, quelle distance doit séparer les électrodes si le générateur HT fournit une ddp de 96kV ?
- 1.2 Expliquer pourquoi la particule rentrant dans l'espace situé entre les électrodes pourra être piégée par l'une des électrodes.
- 1.3 Si l'on souhaite que l'électrode réceptrice soit l'électrode positive, quelle devra être le type de la charge électrique du grain de poussière.
- 1.4 En considérant la tension inter-électrodes constante et égal à la tension dite d'étincelage  $U_e$ , montrer l'influence des paramètres

- L : largeur des électrodes,  
- v : vitesse des fumées,  
masse du grain de poussière, sur la certitude de

- q/m : rapport charge électrique /  
captage d'un grain de poussière

nota : une poussière sera captée si partant du point de coordonnées origine {0,0} d'une électrode, elle atteint l'autre électrode avant le point limite de coordonnées {d,L}.

**Question 2 : Etude du générateur HT**

voir documents en annexe 2

On rappelle les caractéristiques nominales :  $U_{p0} = 96\ 000V$  ;  $I_d = 400mA$   
 $U_L = 380V$

**2.1 Transformateur - Redresseur**

Un transformateur a été développé spécifiquement pour ce type d'application ; le redresseur est systématiquement raccordé au secondaire HT.

Compte tenu des grandeurs de définition en sortie  $U_{p0}$  et  $I_d$  pour un facteur de forme du courant de sortie  $FF = 1,4$ , le constructeur indique les expressions :

- Puissance apparente du transformateur #  $U_{p0}.I_d$
- Puissance active consommée #  $0,72.U_{p0}.I_d$

- 2.1.1 Montrer la validité de l'expression de la puissance apparente (calcul aux pertes près).
- 2.1.2 Exprimer la valeur efficace du courant primaire  $I_L = f(U_L, U_{p0}, I_d)$  et en déduire sa valeur nominale ; admettre  $U_L \gg U_{primaire}$ .
- 2.1.3 Le groupe transformateur-redresseur est constitué comme indiqué en Annexe 2 Justifier technologiquement la solution retenue : cuve, isolants, refroidissement, protections, etc..
- 2.1.4 Donner les arguments de sélection :
  - de la section et de la constitution du circuit magnétique du transformateur.
  - de la section et du nombre de spires des enroulements du transformateur.
- 2.1.5 Fournir les valeurs des arguments de choix des diodes de redressement HT .
 

nota : elles doivent supporter le courant de court-circuit permanent en sortie limité à 3 fois sa valeur nominale.
- 2.1.6 Justifier pourquoi la tension directe de ces diodes peut dépasser 70V ?

## 2.2 Limitation de courant par la self primaire

2.2.1 En cas de court-circuit en sortie, le courant consommé sera limité à » 300 A.

Si l'on considère que l'impédance équivalente du circuit ramené au primaire est essentiellement due à la réactance créée par  $L_p$  : quelle sera la valeur de l'inductance de  $L_p$  ?

2.2.2 Donner et justifier les principales raisons du choix d'une self limitatrice plutôt que celui d'une résistance ou d'un condensateur.

## 2.3 Etude du fonctionnement du gradateur

En fonctionnement normal, le circuit équivalent ramené côté BT, peut être considéré comme un circuit RL tel que  $R = 3,5\Omega$  et  $L\omega = 1,5\Omega$  à 50Hz (cf. figure 5 ci-dessous)

On rappelle que pour une alternance, le courant  $i(\omega t)$  a pour équation :

$$i(\Theta) = \frac{\hat{U}_i}{Z} \cdot (\sin(\Theta - \Phi) - \sin(\Psi - \Phi) \cdot e^{-\frac{\Theta - \Psi}{\text{tg}\Phi}})$$

où :  $\Theta = \omega t$

$U_i$  = tension d'alimentation

$Z$  = impédance du circuit

$\Phi$  = déphasage ( $U_i, I$ ) en régime sinusoïdal permanent

$\Psi$  = angle d'amorçage du thyristor

2.3.1 Rappeler en quelques mots les conditions de fonctionnement d'un thyristor.

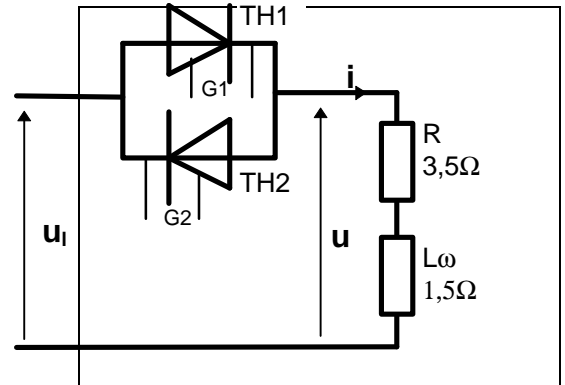
2.3.2 En tenant compte de la forme et de l'angle d'apparition des impulsions de courant appliquées aux gâchettes des thyristors, tracer les allures de  $u(\Omega)$  et  $i(\Omega)$  pour des conditions normales d'utilisation ==> sur feuille réponse 1

2.3.3 Dans le cas du court-circuit étudié en 2.2 , où l'on considère la charge  $R \neq 0,1\Omega$ , tracer les nouvelles allures  $u(\Omega)$  et  $i(\Omega)$  ==> sur feuille réponse 2

2.3.4 Conclure en étudiant vos graphes :

- sur les limites de validité des modèles proposés ?
- sur les conditions d'existence d'une tension moyenne et de ses conséquences sur la valeur du courant dans le circuit BT.
- sur les conditions relatives au choix de la commande des thyristors

Figure 5 : Schéma équivalent vu côté BT



## 2.4 Etude du schéma fonctionnel

En annexe 2 - document 1, la figure 6 page 3/11 montre le schéma de principe de la commande du générateur Haute Tension .

Donner un schéma fonctionnel détaillé du bloc « déphaseur », permettant , à partir de la tension de commande fournie par le bloc « ampli Reg » (0-10V par exemple), de commander les thyristors par leur angle de phase ; une entrée supplémentaire de « verrouillage » doit permettre d'inhiber le fonctionnement.

## 2.5 Dimensionnement et choix des composants (voir Annexe 3)

2.5.1 Déterminer les valeurs des grandeurs permettant le choix des thyristors

Noter : - le gradateur doit tenir le courant de court-circuit que l'on prendra voisin de 300 A.  
- un coefficient de sécurité égal à 2 est appliqué aux tensions.

2.5.2 En admettant que le « bon choix » s'est porté sur un montage préconstruit référencé :  
W1C 380/380 - 300 F - SKKT162- P3 - CTS composé d'un module à 2 thyristors SKKT162/12E, monté sur profilé refroidisseur P3/180 avec ventilation forcée de résistance thermique  $0,068 \text{ } ^\circ\text{K.W}^{-1}$

Vérifier si le choix de cet ensemble est valide en considérant une température ambiante de fonctionnement égale à 40 °C et une puissance maximale à dissiper lors d'un court-circuit de 220 W.

**2.5.3** Le thermostat « Bimétal » mis en place sur le radiateur fonctionne à 66°C, assurera-t-il une protection convenable des thyristors ?

Noter : - dans les mêmes conditions énoncées en 2.5.2  
- ce thermostat provoque l'ouverture du contacteur de ligne.

**2.5.4** Les protections individuelles des thyristors sont également assurées

- par fusible avec contact indiquant la fusion.
- par circuit RC.

Indiquer et justifier dans chaque cas :

- A) de quel type de protection il s'agit ?
- B) quelles grandeurs et quelles valeurs faudra-t-il retenir pour leurs choix ?

**2.5.5** L'information courant est fournie au régulateur via un transformateur de courant, ce qui permet :

- \* d'assurer la régulation d'intensité du dispositif : l'image de  $i$  est prélevée aux bornes d'une résistance de 1 W-2 W
- \* d'indiquer la valeur du courant primaire sur un ampèremètre (graduation 0-400), calibre 1 A
- .
- \* d'assurer la protection contre les surcharges en conjonction avec un relais thermique .

Donner le principe d'un montage à retenir ainsi que les arguments de choix d'un tel transformateur.

## **2.6 Schéma développé d'une armoire de commande HT**

Fournir un schéma développé de l'armoire de commande HT1 établi conformément au descriptif fourni en A-3.2.3 ainsi qu'aux caractéristiques de l'équipement fournies en annexes 2 et 4

==>sur feuille réponse 8 - format A3

## **2.7 Automatisation**

L'extrait de mise en fonctionnement et à l'arrêt en mode automatique est fourni en annexe 5 .

Etablir le(s) graphe(s) de fonctionnement du système de dépoussiérage en mode automatique .

Indiquer comment l'on pourrait réaliser matériellement les conditions de réceptivité .

## **Question 3 : Chauffage trémie et évacuation des poussières**

**3.1** Le raccordement des éléments chauffants de la trémie est représenté sur l'extrait de schéma fourni en annexe 6 (repère Folio 24/51)

**3.1.1** Justifier le montage retenu et indiquer les conséquences éventuelles de la mise en court-circuit ou de la coupure de l'une des résistances de 600 W .

**3.1.2** Justifier la présence des 2 contacts repérés 24Q1 dans le circuit du relais 24KA3 dans le schéma de contrôle,

**3.2** La puissance consommée par le chauffage en régime normal d'utilisation est de 2,15 kW pour une température moyenne de 120 °C (régulation à - 3°C)

Noter : - température ambiante de 40 °C

- la constante de temps thermique de la trémie est d'environ 6 heures
- les poussières chaudes qui tombent contribuent à maintenir la température
- la durée d'enclenchement du contacteur est d'environ 5 mn sur un cycle de fonctionnement

**3.2.1** Représenter les courbes d'évolution de la puissance et de la température  $P(t)$  et  $Q(t)$  sur le document réponse 3 . Justifier ces graphes.

**3.2.2** Quelle(s) sera(en)t l'incidence de la précision du réglage ( à  $\pm 1,5^\circ$  ) sur la durabilité de l'équipement ? Justifier et tracer votre réponse sur document réponse 4.

**3.2.3** Compte tenu des conditions générales de fonctionnement imposées (7800h/an), choisir le contacteur de commande du chauffage capable de garantir un fonctionnement sur 10 ans conformément à l'étude 3.2.1. Voir documents en annexe 7.

### 3.3 Détection de la rotation de la vis

Afin de s'assurer que la vis d'évacuation de la trémie fonctionne, on détecte la rotation de son arbre.

#### Données techniques :

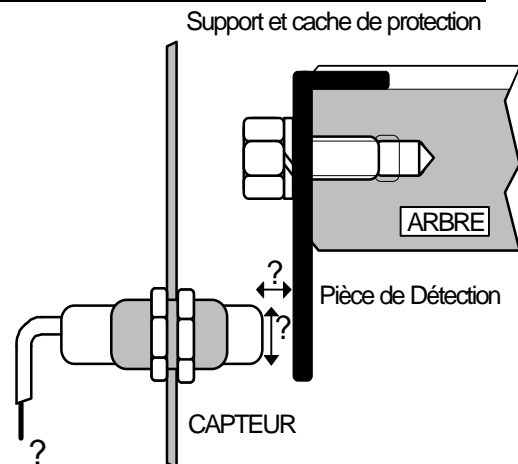
- ⇒ arbre  $\Phi 32$ , taraudé M8 avec rainure de clavette
- ⇒ vitesse de rotation constante
- ⇒ 2 sources d'alimentation standard sont disponibles : 230 V-50 Hz et 48 V<sub>DC</sub>  $\pm 10\%$
- ⇒ principe retenu selon la figure 6 : une pièce fixée en extrémité d'arbre est détectée lors d'une rotation par le capteur de proximité.

#### Fonctionnement souhaité :

En sortie du système de détection :

- ◇ un contact sera maintenu actionné si l'arbre tourne.
- ◇ un contact relâché si à l'arrêt.

Figure 6 : Montage du capteur



#### 3.3.1 Proposer une solution

technique : schéma de principe et explications particulières.

#### 3.3.2

Donner les grandeurs caractéristiques permettant de choisir le capteur, à savoir :

- à les paramètres liés à l'objet à détecter (technologie du capteur, matière de la pièce de détection, dimensions de la pièce, portée, ...).
- à les paramètres liés à la partie commande (alimentation, type de sortie, ...).
- à les paramètres liés à l'environnement.

### Question 4 : Ventilateur de tirage

- ✕ Le ventilateur sert à la fois à l'évacuation des fumées et au tirage du four.
- ✕ La combustion des déchets impose une alimentation en air à débit variable, fonction du volume et de la qualité des déchets consommés. Le système de tirage retenu consiste à maintenir en sortie de four une dépression constante ( $\approx -20\text{mmCE}$ ) quelque soit le débit d'air.
- ✕ Le ventilateur, situé en fin du dispositif de traitement des fumées devra assurer un débit plus ou moins élevé selon le besoin, de façon à ce que la dépression en sortie de four reste constante.
- ✕ La figure 7- page 9 montre l'emplacement du ventilateur dans la chaîne de traitement.
- ✕ La caractérisation du circuit de ventilation est fournie en annexe 8. Les courbes données ont été établies pour 5 vitesses différentes et les points de fonctionnement limites se situent entre 1 et 5 ; le point nominal étant le point 4.

#### 4.1 - Caractéristiques du moteur de ventilateur

4.1.1 La caractéristique Couple-vitesse d'un ventilateur centrifuge est réputée être quadratique.

- Quelle serait la loi de variation de la puissance :  $P(n)$  ?
- En extrayant  $P(n)$  des courbes caractéristiques du circuit de ventilation, peut-on effectivement admettre cette loi de variation ?

4.1.2 Choisir le moteur selon les données techniques ci-dessous (==>sur document Réponse 5). Justifier les critères de choix du moteur d'entraînement du ventilateur et tout particulièrement ceux liés à l'échauffement. (voir documents en annexe 9)

#### Données techniques :

- ⇒ le rendement propre du ventilateur est estimé à 0,8
- ⇒ le moteur est accouplé directement sur l'arbre ventilateur
- ⇒ La température ambiante n'excède pas 40 °C

---

Compléter le paramétrage ébauché relatif au système étudié .

**4.2.3** Définir le bornier X50 du variateur en affectant les Entrées-Sorties et en les caractérisant  
=> sur Document Réponse 7

**4.2.4** Etablir le schéma développé de principe de l'armoire électrique « Ventilateur »

Données techniques :

⇒ l'armoire à 2 battants, comporte en face avant :

- 2 voyants : - Equipement sous-tension (blanc)  
- Equipement en fonctionnement (jaune)
- 1 commutateur Marche/Arrêt
- 1 ventilateur de circulation d'air de l'armoire

⇒ éclairage de l'armoire, automatique par ouverture des portes : 2 tubes fluorescents

⇒ à l'intérieur :

- appareillage classique, transformateur d'alimentation (400/230 V) et borniers
- variateur de vitesse

⇒ la consigne du variateur est issue d'un signal 4-20mA fourni par un API (externe)

⇒ le capteur de dépression à membrane, au travers d'un conformateur, fournit un signal 4-20 mA à une entrée analogique de l'API (cf. annexe 11)

⇒ des contacts, libres de potentiel, doivent fournir au système superviseur :

- l'information 'Ventilateur en fonctionnement'
- l'information "défaut circuit Ventilateur"

### 4.3 - Régulation de la dépression en sortie de four

**4.3.1** Le capteur de dépression (échelle 0/-20,7 mmCE) transmet l'information sous forme 4-20 mA imposé par le cahier des charges . Un exemple de raccordement est fourni en annexe 11 . Justifier de l'intérêt de ce type de liaison.

**4.3.2** Le schéma fonctionnel peut être établi à partir de la figure 7 . Il s'agit de maintenir une dépression constante en sortie de four (ou en entrée de l'électrofiltre) indépendamment du débit. Etablir un schéma opérationnel de cet asservissement.

Nota : Le système à asservir n'est pas linéaire ; les équations de transfert ne sont pas exigées.

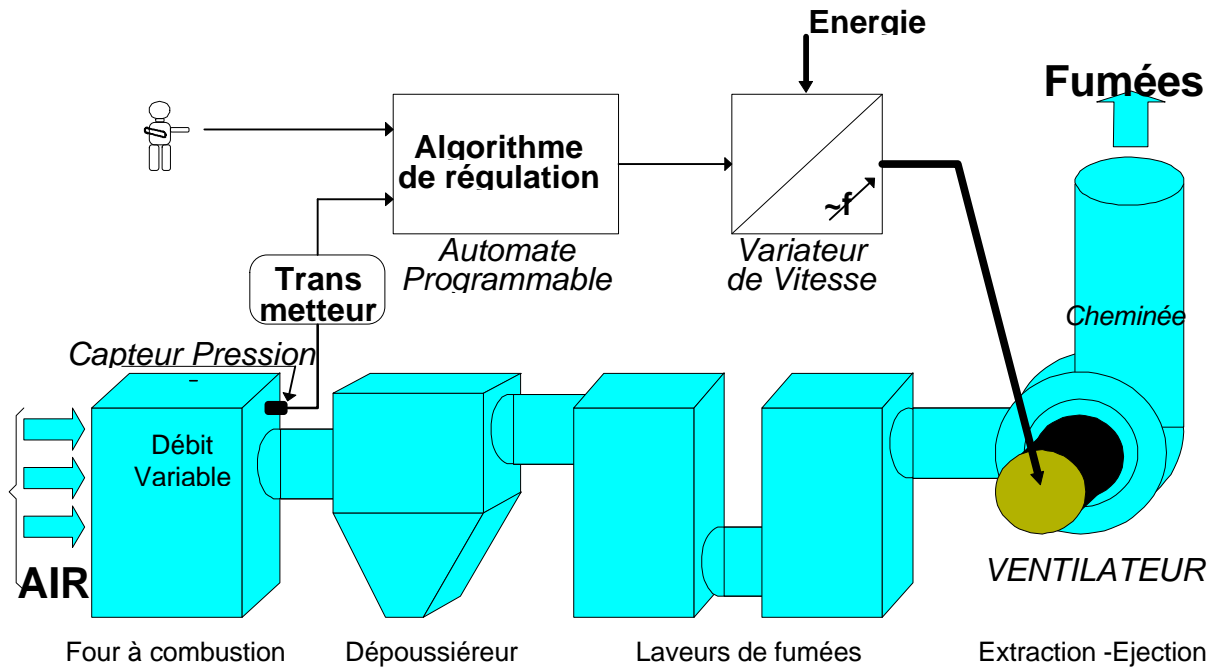


Figure 7 : Fonctionnalités du système Extracteur de Fumées

## PARTIE B

### ETUDE DE LA FOURNITURE D'ENERGIE DE SECOURS

L'usine est raccordée au réseau EDF conformément au schéma BZ22-85-13 (Voir annexe 12).

L'alimentation en énergie de l'usine est assurée :

- par une ligne EDF HTA 20 kV;
- par son groupe de production GTA en HTA 20 kV;
- par un ou deux groupes électrogènes, au niveau de l'utilisation BTA 400 V.

L'étude portera sur les groupes électrogènes et le couplage sur le réseau.

Le projet initial présenté sur le schéma BZ22-85-13 est du type Normal-Secours. Le SMITRED envisage néanmoins l'installation d'un, puis de deux groupes électrogènes avec couplage possible sur le réseau.

#### B1 - GROUPE ELECTROGENE

##### Question 1 : Alternateur

Voir Documents en annexe 13

- 1.1.** Expliquer le principe de fonctionnement de l'alternateur :
  - alternateur à excitation shunt.
  - alternateur à excitation compound
- 1.2.** Citer et expliquer à l'aide de courbes et/ou de caractéristiques pertinentes que vous définirez, les conditions nécessaires au couplage d'un alternateur sur le réseau.
- 1.3.** Lors d'un essai de mise en service, l'opérateur constate qu'aucune tension n'apparaît sur la sortie de l'alternateur. En ne retenant qu'une seule anomalie possible : « défaut dû au circuit d'excitation » :
  - 1.3.1.** Enumérer les causes possibles de non-fonctionnement.
  - 1.3.2.** Définir la procédure à suivre pour remettre l'alternateur en service et/ou diagnostiquer le lieu ou le bloc en défaut.
- 1.4.** Dimensionnement du groupe électrogène
  - 1.4.1.** Définir les critères de choix d'un groupe électrogène
  - 1.4.2.** Examiner la validité du groupe retenu ci-après :

Moteur Thermique		Alternateur	
Marque	CUMMINS	Marque	LEROY SOMER
Type	KTA 50 G3	Type	ALS 50LV10, bipalier
Puissance	1 075 kW	Puissance	Continu 1 250 kVA
Vitesse	1 500 tr/mn	Facteur de puissance	$\cos \varphi = 0,8$ à 1
Surcharge	Unihoraire = 10 %	Surcharge	Unihoraire = 10 %
		Tension	400 V (Neutre sorti)
		Régulation	Régulateur $\pm 1,5$ % - 8502

## Rappels :

### 1. Données Techniques

- Consommation propre de l'usine estimée à 500 kW
- plus gros moteurs connectés : pompe 55 kW, démarrage direct  
ventilateur : 220 kW , convertisseur de fréquence avec  $I_{\text{ligne}}$  limité à 500 A

### 2. En régime transitoire

La chute de tension instantanée entraînée par l'impact de charge peut être calculée par la formule approchée suivante :

$$\Delta U\% = X\% \cdot \frac{Sd}{S_n} \quad \text{avec } X = \frac{X''d + 2X'd}{3}$$

### 3. Charge Déformante

Le problème doit être étudié si la charge déformante dépasse le 1/3 de la puissance nominale du groupe

**1.5.** Dans le cas où l'alternateur débite la puissance de 500 kW en mode îloté (groupe de secours autonome), et qu'une brusque perturbation dans l'admission du moteur thermique pendant un temps  $Dt$  provoque un écart de puissance  $DP$  considéré constant .

**1.5.1** Quelle serait la vitesse du groupe au bout du temps  $Dt$  ? . L'hypothèse sur  $DP$  est-elle valide ?

**1.5.2** Quelles en seraient les conséquences et les répercussions sur le fonctionnement de l'usine ?

**1.5.3** Est-il nécessaire d'envisager des sources d'énergie annexes ? Justifier vos réponses .

#### Données techniques :

- $\Delta t = 0,2$  s
- $\Delta P = P_{\text{moteur}} - P_{\text{résistant}} \implies \frac{\Delta P}{P} = 100\%$
- $J_{GE} \approx 23 \text{ kg.m}^2 \implies$  moment d'inertie du rotor

## B2 - CENTRALE A DEUX GROUPES ELECTROGENES, COUPLAGE PERMANENT SUR LE RESEAU

Le schéma fonctionnel de l'installation est représenté en annexe 14 - page 1.

### RG490 : Régulateur de fréquence, synchroniseur, coupleur

Cet appareil a pour fonction de contrôler la fréquence d'un groupe électrogène, de le synchroniser et de le coupler sur un jeu de barres ou un réseau.

Le couplage réalisé, il permet d'assurer soit la répartition de puissance entre les machines couplées ou la régulation à un niveau de puissance choisi ou encore le délestage.

Il assure les différentes fonctions suivantes :

- Contrôle de la fréquence par modification du point de consigne d'une régulation électronique de vitesse ou par action sur un servomoteur « + vite, - vite ».
- Synchronisation et couplage automatique de l'alternateur sur un jeu de barres ou un réseau.
- Répartition de la puissance active entre chaque groupe électrogène lorsque le couplage est réalisé.
- Prise de puissance automatique lors d'un couplage au réseau avec régulation de cette puissance au point de consigne affiché sur l'appareil.
- Délestage automatique jusqu'à la puissance nulle pour un découplage sans à-coups.

**RG480** : Régulateur de fréquence synchroniseur coupleur qui impose à tous les groupes couplés une consigne de vitesse unique et qui possède en outre une fonction synchronisation et une fonction couplage pour la mise en parallèle de la centrale avec un réseau.

**RG95/A** : Régulateur de consigne puissance réseau qui impose à la centrale couplée sur un réseau, une prise de puissance asservie à un contrôle de la puissance importée par le réseau.

**RW2H.TB.R** : Relais à retour de puissance active, destiné à assurer la protection des alternateurs contre le fonctionnement en moteur, c'est à dire contre l'absorption d'énergie active.

## **Question 2 : Automatisme de gestion**

- 2.1. *Qu'est ce que l'EJP (Effacement Jours de Pointe) ? Expliquer sa mise en oeuvre.*
- 2.2. *Elaborer un grafcet du point de vue commande décrivant le fonctionnement des groupes .*

Un exemple d'automatisme de gestion est décrit dans les tableaux annexe 14 pour les 2 modes de fonctionnement typiques :

- fonctionnement Normal-Secours (tableau page 4).
- fonctionnement Couplage sur le réseau (tableau page 5).

## **B3 - REGULATEUR DE FREQUENCE SYNCHRONISEUR COUPLEUR RG490**

Le schéma fonctionnel du régulateur de fréquence, synchroniseur, coupleur est représenté en annexe 14 - page 2.

Le RG490 peut se décomposer en six blocs de fonction définis ci-après :

- le bloc « MESURE FREQUENCE GROUPE »
- le bloc « MESURE PUISSANCE GROUPE »
- le bloc « REGULATION »
- le bloc « INTERFACE »
- le bloc « MESURE FREQUENCE JEU DE BARRES »
- le bloc « COUPLEUR ».

- Le bloc de fonction « MESURE FREQUENCE GROUPE »

Ce bloc fonction mesure la fréquence du groupe électrogène et la compare à une consigne préalablement fixée. Le signal d'erreur est transmis vers le bloc « REGULATION ».

Données techniques :

- ◇ Ajustage du point de consigne fréquence : plage de réglage  $\pm 1$  Hz
- ◇ Ajustage de la précision fréquence :  $\pm 0,05$  Hz à  $\pm 0,5$  Hz

- Le bloc de fonction « MESURE PUISSANCE GROUPE »

Le RG490 mesure la puissance active fournie par l'alternateur grâce au bloc de fonction « MESURE PUISSANCE GROUPE ». Suivant le type de régulation choisi (prise de puissance, répartition de puissance ou délestage), un signal d'erreur est transmis vers le bloc « REGULATION ».

Données techniques :

- ◇ Ajustage de l'équilibrage puissance :  $\pm 10$  % par rapport au point d'équilibre .
- ◇ Ajustage du point de consigne puissance : de 10 % à 100 % de la puissance nominale .

- Le bloc de fonction « REGULATION »

Le bloc « REGULATION » reçoit les signaux d'erreurs issus des deux fonctions précédentes et élabore les commandes « + vite » et « - vite » qui sont transmises au bloc « INTERFACE ».

Données techniques :

- ◇ Ajustage de la précision puissance : plage de réglage 1 % à 5 %
- ◇ Ajustage doseur cyclique :
  - \* temps d'action : 100 ms à 1,6 s
  - \* temps de repos : 300 ms à 3 s

- Le bloc fonction « INTERFACE »

Le bloc « INTERFACE » s'intercale entre la fonction « REGULATION » et la commande de vitesse sur le moteur d'entraînement. Il permet l'adaptation au type de commande choisi : servomoteur « + Vite, - Vite » ou régulateur électronique.

Données techniques : (cas du servomoteur)

- ◇ Ajustage du temps de parcours suivant la gamme de vitesse : 1,25 s à 5 mn 20 s

- Le bloc de fonction « MESURE FREQUENCE JEU DE BARRES »

Sur une demande de synchronisation avec le jeu de barres, la consigne de vitesse du bloc de fonction « MESURE FREQUENCE GROUPE » est remplacée par une nouvelle référence : celle du bloc de fonction « MESURE DE FREQUENCE JEU DE BARRES » permettant à l'alternateur de se synchroniser avec le jeu de barres. Un système de délogéage permet d'accélérer le groupe électrogène afin d'obtenir le glissement nécessaire au couplage.

Données techniques :

- ◇ Ajustage du temps de délogéage : 200 ms à 8 s
- ◇ Ajustage du temps de repos : 2,5 s à 30 s

- Le bloc de fonction « COUPLEUR »

Le bloc de fonction « COUPLEUR » vient vérifier, pendant la période de synchronisation, les conditions nécessaires au couplage, à savoir : égalité de tension, de fréquence et de phase entre les deux sources à coupler. Ces conditions étant remplies, un ordre de couplage est donné.

Données techniques :

- ◇ Réglage de l'écart de tension :  $\pm 2\%$  à  $\pm 10\%$  de la tension de référence
- ◇ Temporisation réglable : 1 s à 20 s
- ◇ Réglage de l'autorisation de couplage en fonction du glissement :  $\pm 0,1$  Hz à  $\pm 0,7$  Hz
- ◇ Ecart de phase :  $20^\circ$  électrique

**Question 3 : Etude structurelle du bloc fonction « COUPLEUR » =>(voir annexe 14)**

Le bloc fonction « COUPLEUR » est un sous-ensemble du REGULATEUR DE FREQUENCE SYNCHRONISEUR COUPLEUR RG490 ( page 2).

Une solution classique du bloc fonction « COUPLEUR » est représentée par le schéma fonctionnel page 3

- 3.1.** *A partir du schéma fonctionnel, indiquer les conditions nécessaires pour que le relais donnant l'ordre de couplage s'enclenche.*
- 3.2.** *Etablir un schéma structurel de principe de la fonction « CONTROLE TENSION ». Justifier le rôle et les caractéristiques des composants utilisés.*
- 3.3.** *Etablir un schéma structurel de principe de la fonction « DETECTION CONCORDANCE DE PHASE ». Justifier le rôle et les caractéristiques des composants utilisés.*
- 3.4.** *Proposer un schéma structurel global du bloc fonction « COUPLEUR ».*
- 3.5.** *Les techniques de commande de processus industriels utilisent aujourd'hui la technologie numérique alors que le système étudié, proposé depuis environ une décennie, utilise une commande analogique (amplificateurs analogiques) associée à des fonctions logiques.*
  - 3.5.1.** *Discuter des mérites respectifs de l'analogique et du numérique.*
  - 3.5.2.** *Afin d'élaborer une solution utilisant la technique numérique :*
    - a) Proposer un schéma fonctionnel répondant au cahier des charges;*
    - b) Définir la fonction des composants utilisés;*
    - c) Etablir les algorithmes de gestion du processus technique.*

# DOCUMENTS

## REPONSE

Document Réponse 1 : Question A/2.3.2

Document Réponse 2 : Question A/2.3.3

Document Réponse 3 : Question A/3.2.1

Document Réponse 4 : Question A/3.2.2

Document Réponse 5 : Question A/4.1.2

Document Réponse 6 : Question A/4.2.2

Document Réponse 7 : Question A/4.2.3

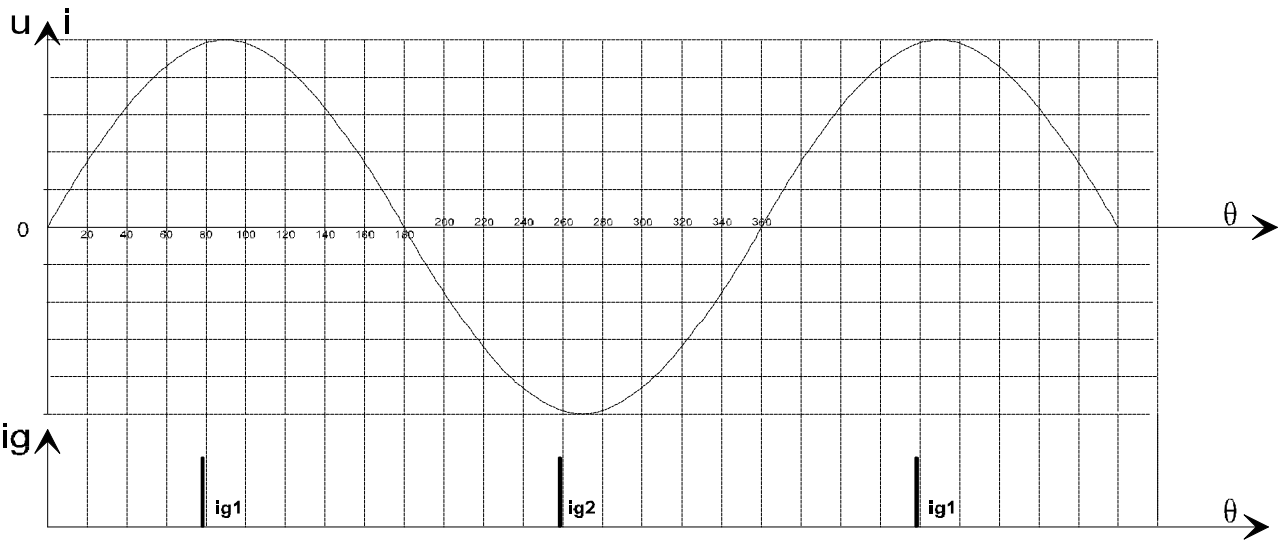
Document Réponse 8 : Question A/2.6

(1 feuille R/V)

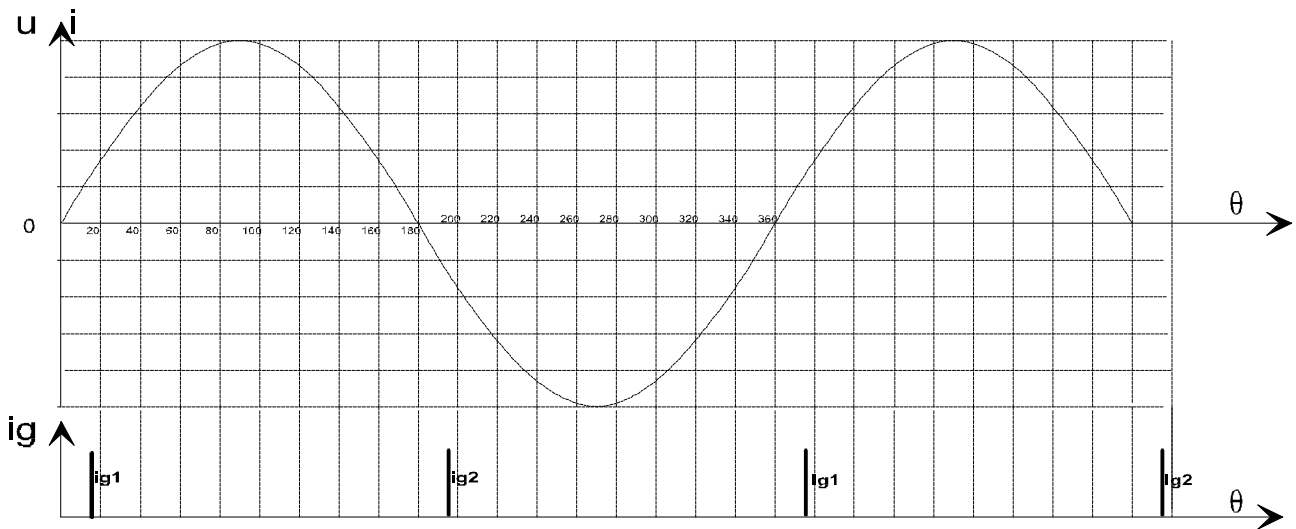
(1 feuille A3)

Soient 9 pages « Réponse »

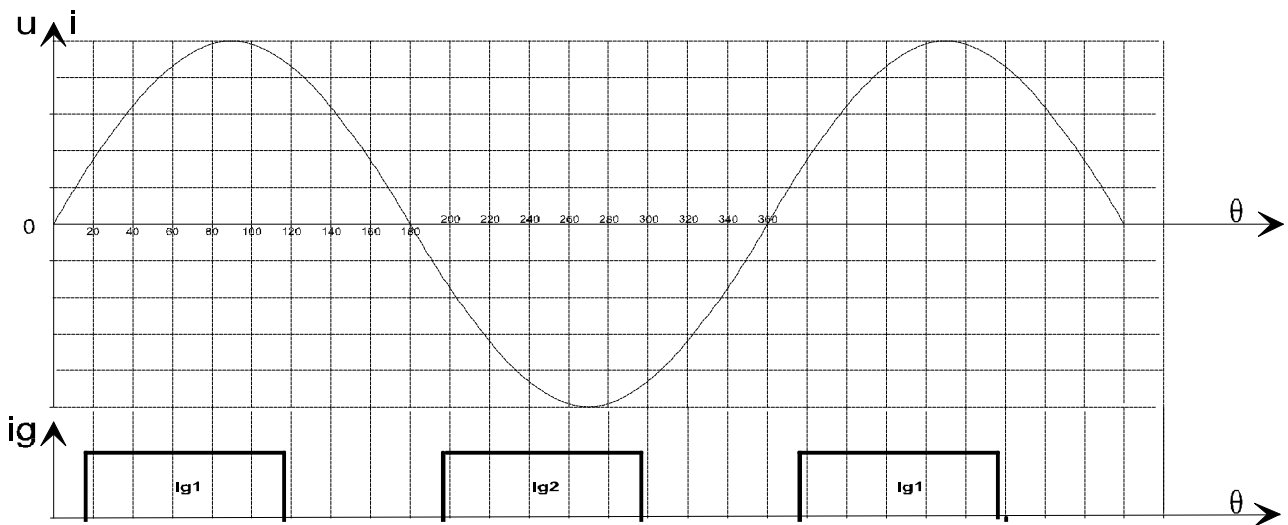
**Document Réponse 1 : Question 2.3.2 = Fonctionnement normal**



cas n°1 :  $\Psi \# 80^\circ$  : impulsion brève de 0.1ms

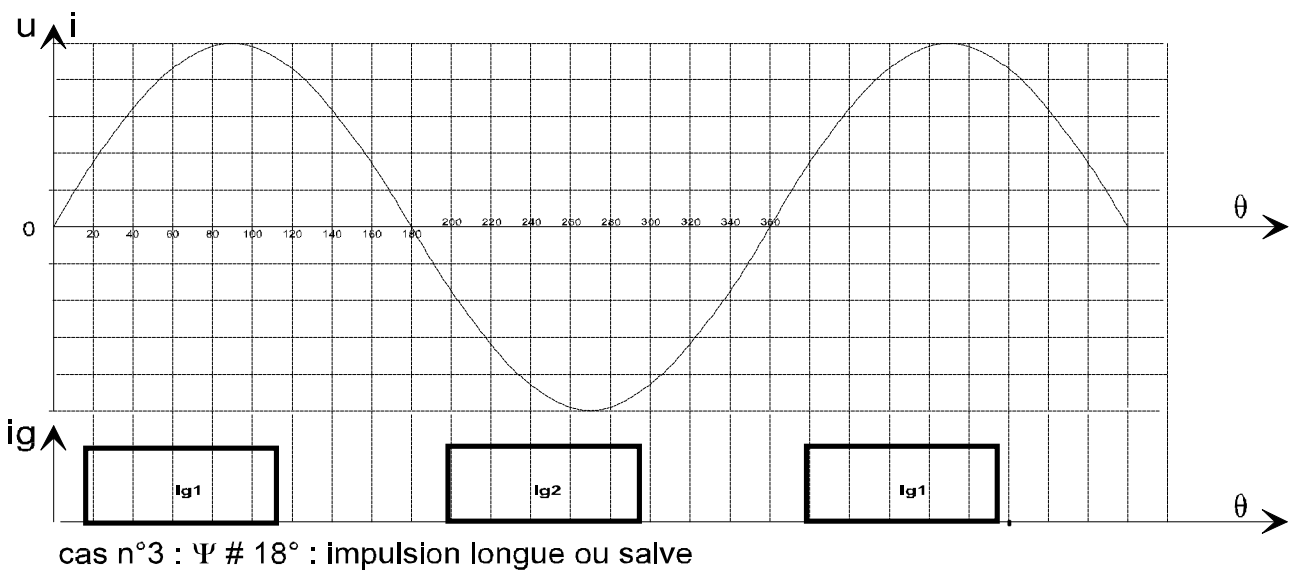
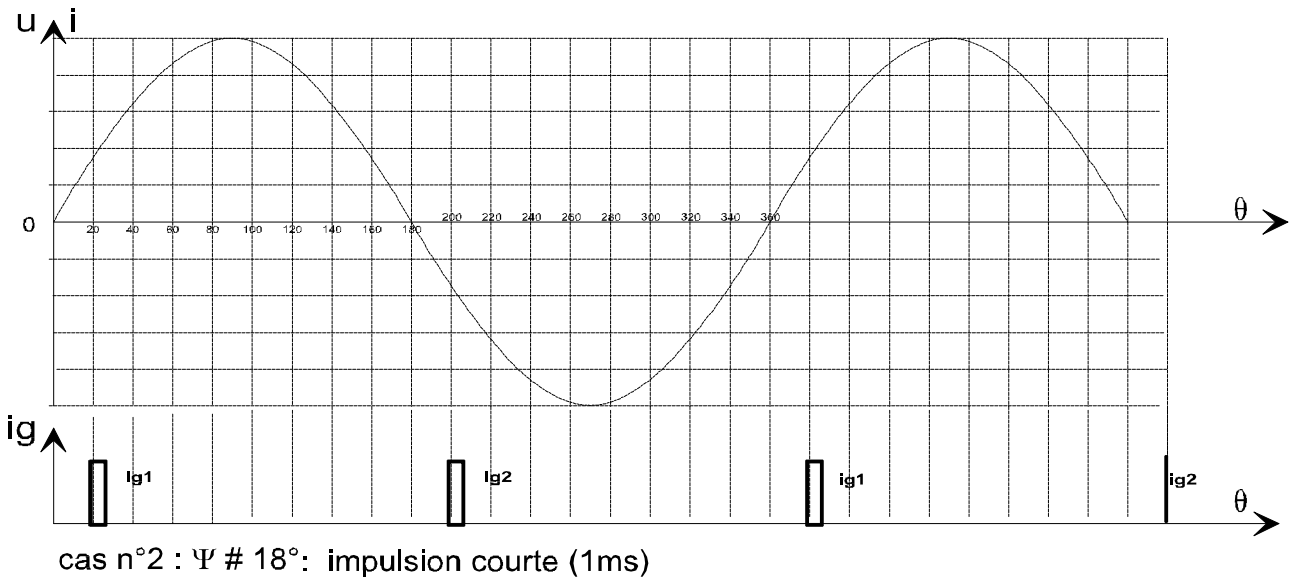
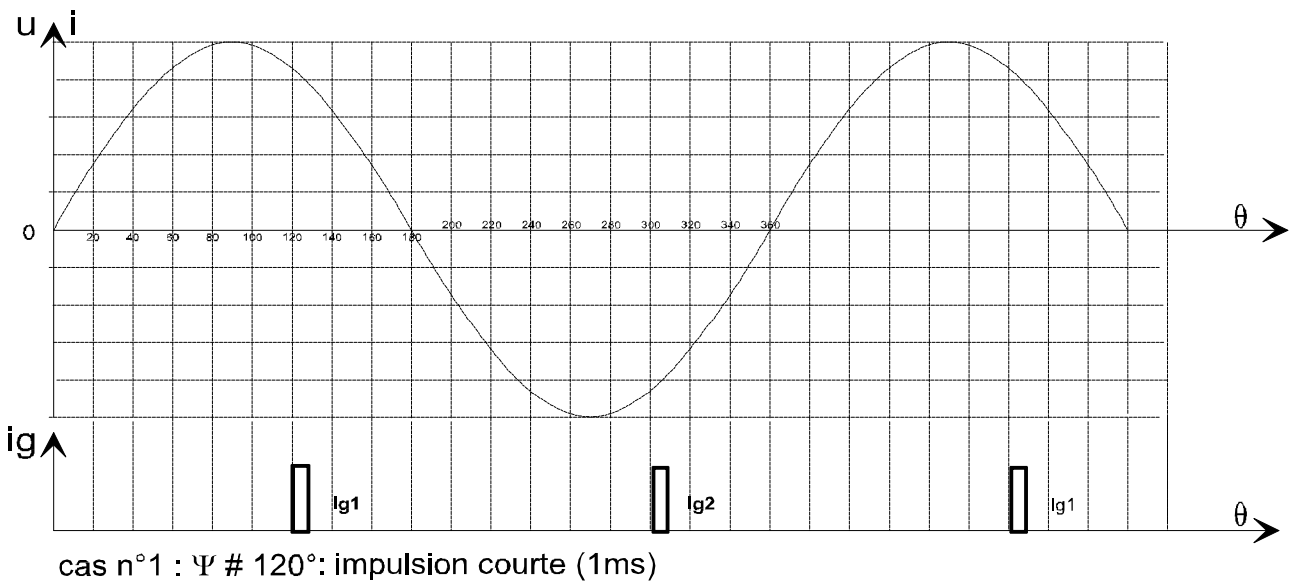


cas n°2 :  $\Psi \# 18^\circ$  : impulsion brève de 0.1ms

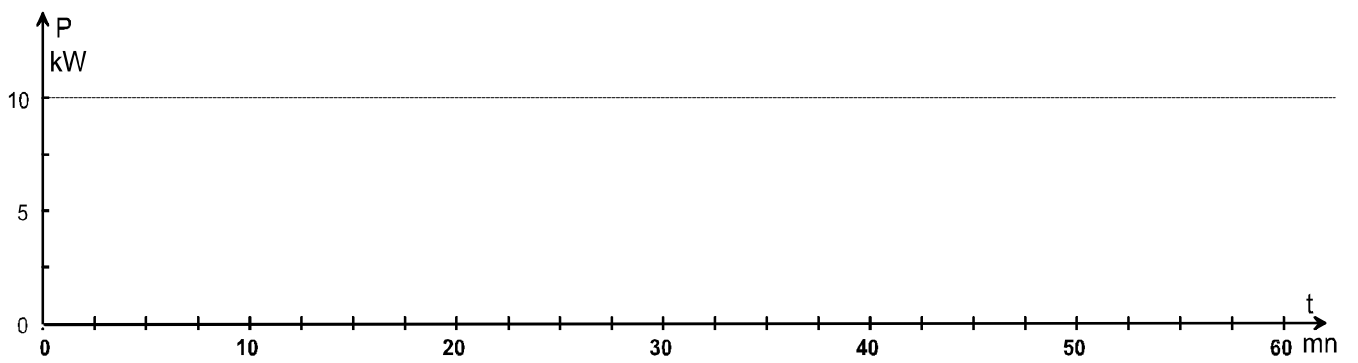
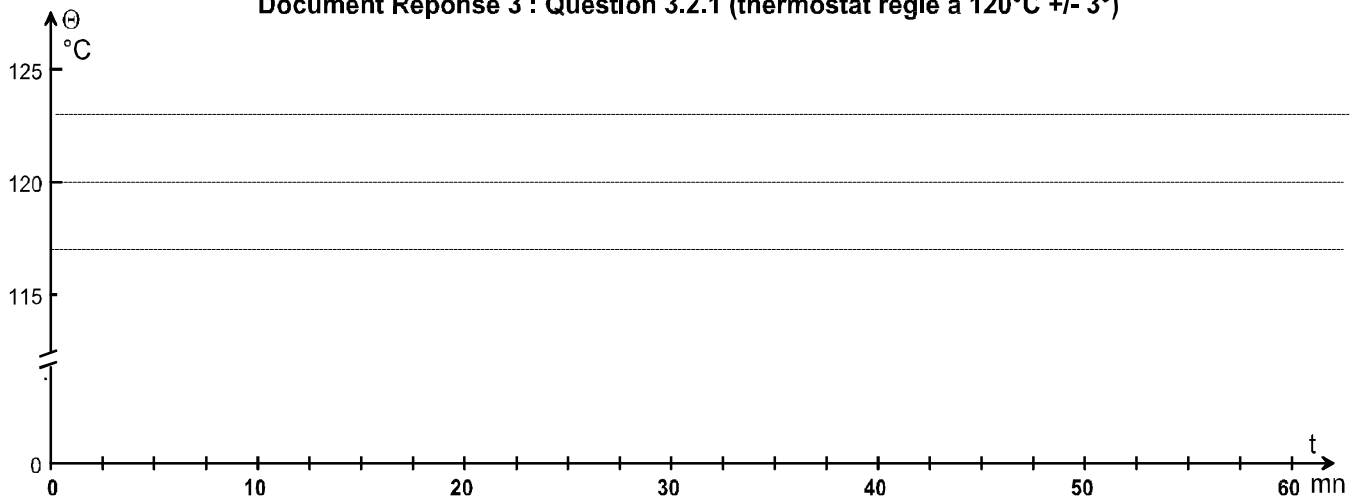


cas n°3 :  $\Psi \# 18^\circ$  : impulsion longue ou salve

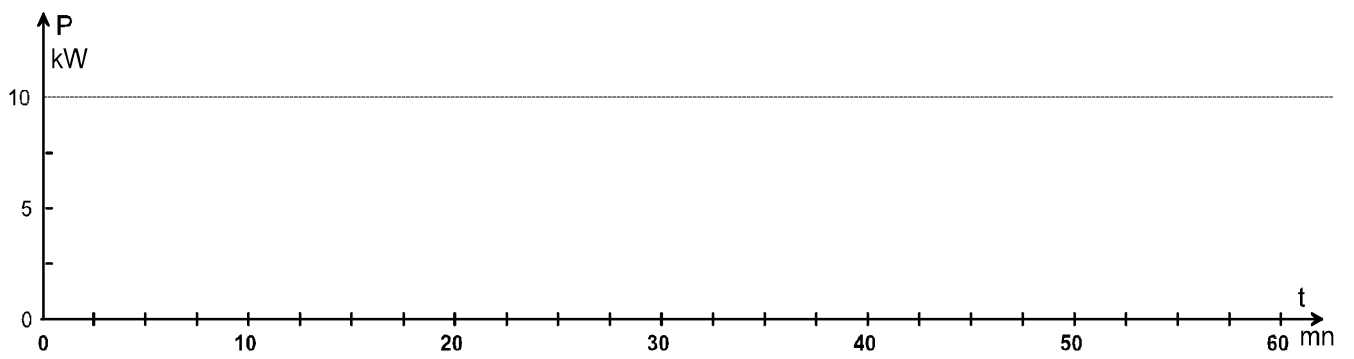
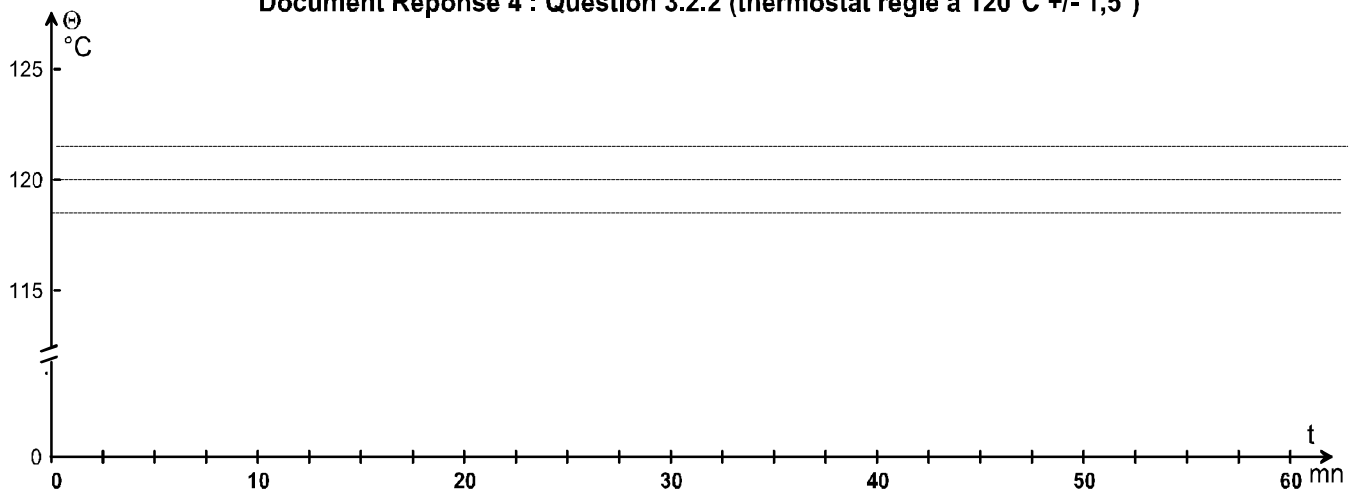
**Document Réponse 2 : Question 2.3.3 = Fonctionnement en Court-Circuit**



Document Réponse 3 : Question 3.2.1 (thermostat réglé à 120°C +/- 3°)



Document Réponse 4 : Question 3.2.2 (thermostat réglé à  $120^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}$ )



## Document Réponse 5°: Question 4.1.2

### Informations nécessaires à la commande

■ Conditions d'environnement

Ambiance :  Normale     Poussiéreuse     Humide     Corrosive

Température maxi  °C    Altitude (quand > à 1000 m)  m

■ Normes

■ Alimentation  V Tension     Etoile λ     Triangle Δ     50 Hz     60 Hz

■ Genre de moteur  cage     bagues  
 AT     AF1S     AF2S     AFB     AFLB

■ Fonctionnement

Régime selon norme CEI 34-1  S1     S2    % Nbre  S3 à S6

Puissance  kW     kW    Polarité    
 Vitesse synchronisme  tr/mn     tr/mn

Dans le cas de variation de vitesse méthode utilisée   Hz à  Hz

Plage de variation  tr/mn à  tr/mn

Forme de couple de la machine entraînée  Constant     Variable

■ Sens de rotation  Horaire (cw)     anti-hor. (c.c.w.)     2 sens

■ Niveau de bruit imposé

■ Machine entraînée

Accouplement direct     Entraînement poulies courroies

■ Formes de construction  (pattes - montage Horizontal)

dans le cas de montage d'un palier bride, type de bride ØM   
 Trous  Lisses     Taraudés

■ Bout d'arbre

Standard  1  2    Spécial : Ø  mm    L  mm

■ Options choisies

■ Caractéristiques Catalogue

Type

Valeurs nominales	$U_n =$
$I_n =$	$n_n =$
$\cos \Phi =$	$\eta =$

## Document réponse 6 : Question 4.2.2.

PARAMETRES	Réglage Usine	Votre Réglage	Commentaires
A Langue	English	Français	---
B Application	Usine	Usine	---
C Récup prog B	Non	Non	Pas de micro-programme chargé
D Tension Réseau	400		Tension nominale du réseau
E Nb pôles moteur	4		Nombre de pôles du moteur
F Inom moteur (IM)	480		Intensité nominale du moteur
G Pnom moteur (PM)	250		Puissance nominale du moteur
H Cos phi moteur	0,83		cos phi nominal du moteur
1 Validation Marche	Oui	ENT LOG 3	La marche est validée par l'entrée logique 3 (0V = arrêt ; +24V = marche)
2 Sél R1/R2 ext	Local	LOCAL	La sélection de la commande de variateur dépend de ext R1 et ext R2
3 Attr EL ext R1	EL 1,2	ENT LOG 1	Sélection de la référence de vitesse 1 par l'entrée logique 1
4 Attr EL ext R2	Pas select	ENT LOG 2	Sélection de la référence de vitesse 2 par l'entrée logique 2
5 Sel ref1 ext	Ent ana1	ENT ANA 1	Entrée analogique de commande sélectionnée si ENT LOG 1 à +24V
6 Sel ref2 ext	Local	ENT ANA 2	Entrée analogique de commande sélectionnée si ENT LOG 6 à +24V
7 Sel vitesse constante	Ent log 3,4	PAS SELECT	Pas besoin de vitesse constante
8 Sens de rotation	Inv par EL	AVANT	Sens de rotation unique : avant
9 Entrée réarm défaut	Pas Select	ENT LOG 5	Réarmement variateur
10 Sel acc/déc 1 ou 2	Ent Log6	ENT LOG 6	Choix Rampe acc/déc selon état de cette entrée : (0V : acc/déc1; 24V : acc/déc2)
11 Verrouillage program	Local	LOCAL	Le programme sera verrouillé selon paramètre 23
1 Filtre ent ana1	0,1s	0,1s	Léger filtrage
2 Mini ent ana1	0V/0mA	0V/0mA	Tension de commande appliquée 0 - 10V (potentiomètre)
3 Invers ent ana1	Non	Non	pas d'inversion (maxi vitesse si 0V)
4 Filtre ent ana2	0,1s		
5 Mini ent ana2	0V/mA		
6 Invers ent ana2	Non		
1 Mini ref ext1	0Hz		
2 Maxi ref ext1	50Hz		
3 Mini ref ext2	0Hz		
4 Maxi ref ext2	50Hz		
1 Fct sortie ana1	F sortie		
2 Fct sortie ana2	I sortie		
3 Fct relais 1	Prêt		
4 Fct relais 2	Marche		
5 Fct relais 3	Défaut		
1 Filtre sort ana1	2s	2s	filtrage (constante de temps)
2 Mini sort ana1	0V/0mA	0V/0mA	Sorties 0 - 20mA pour mesure vitesse ( fréquence)
3 Inv sort ana1	Non	Non	
4 Filtre sort ana2	2s	2s	
5 Mini sort ana2	0V/0mA	0V/0mA	" " intensité
6 Inv sort ana2	Non	Non	
1 Ech sortie ana1	100%	100%	pleine échelle
2 Ech sortie ana2	100%	100%	" "
1 type rampe acc/déc	Linéaire	Linéaire	rampe d'accélération et décélération
2 Temps accéléré 1	3s		
3 Temps décélé 1	3s		
4 Temps accéléré 2	60s		
5 Temps décélé 2	60s		
6 Temps accé ref 2	60s	60s	xxxxxxxxxxxx
7 Temps décél ref 2	60s	60s	xxxxxxxxxxxx
1 Fréquence mini	0Hz	0	xxxxxxxxxxxx
2 Fréquence maxi	50Hz	55Hz	xxxxxxxxxxxx

3	Imax de sortie	1,5 In		
4	Plage fréq max	120Hz		
1	Sélect saut de fréq	Non		
2	Fréq basse SF1	0Hz		
3	Fréq haute SF1	0Hz		
4	Fréq basse SF2	0Hz		
5	Fréq haute SF2	0Hz		
1	Fréq de découpage	3,0kHz	3,0kHz	fréquence de découpage
2	Umaxi SAMI	100%*Un		Tension sortie du fondamental
3	Puissance Moteur	Normal		Dimensionnement moteur par rapport au variateur
4	Rapport U/f	Linéaire		Relation tension-fréquence du convertisseur
5	Point affaib champ	50Hz		Fréquence à partir de laquelle la tension reste constante
6	Choix comp RI	Non	Non	pas de compensation de la chute de tension statorique
7	Ref U RI man	0,01*Un	0,01*Un	" "
8	Ref F RI man	0Hz	0Hz	" "
9	Comp glissement	Non		Compensation du glissement moteur
10	Glissement	4%		Valeur du glissement nominal
11	Régul Ucc	oui	OUI	Réguler la tension continue

### Document Réponse 7 - Question 4.2.3

Connexion à réaliser	Bornier X50	Commentaires sur les fonctions du bornier
	1 REF	source tension de référence 10 Vcc - 10 mA max
	2 GND2	masse
	3 EA 1+	entrée analogique 1
	4 EA 1-	
	5 EA 2+	entrée analogique 2
	6 EA 2-	
	7 SPL	sortie tension 24 Vcc - 200 mA max
	8 GND2	masse logique analogique - idem borne 2
	N.C.	
	10 SPL	idem borne 7
	11 EL 1	
	12 EL 2	
	13 EL 3	
	14 EL 4	
	15 EL 5	
	16 EL 6	
	17 SA 1+	
	18 SA 1-	
	19 SA 2+	
	20 SA 2-	
	21 SR 11	
	22 SR 12	
	23 SR 13	
	24 SR 21	
	25 SR 22	
	26 SR 23	
	27 SR 31	
	28 SR 32	
	29 SR 33	



# DOCUMENTATION TECHNIQUE

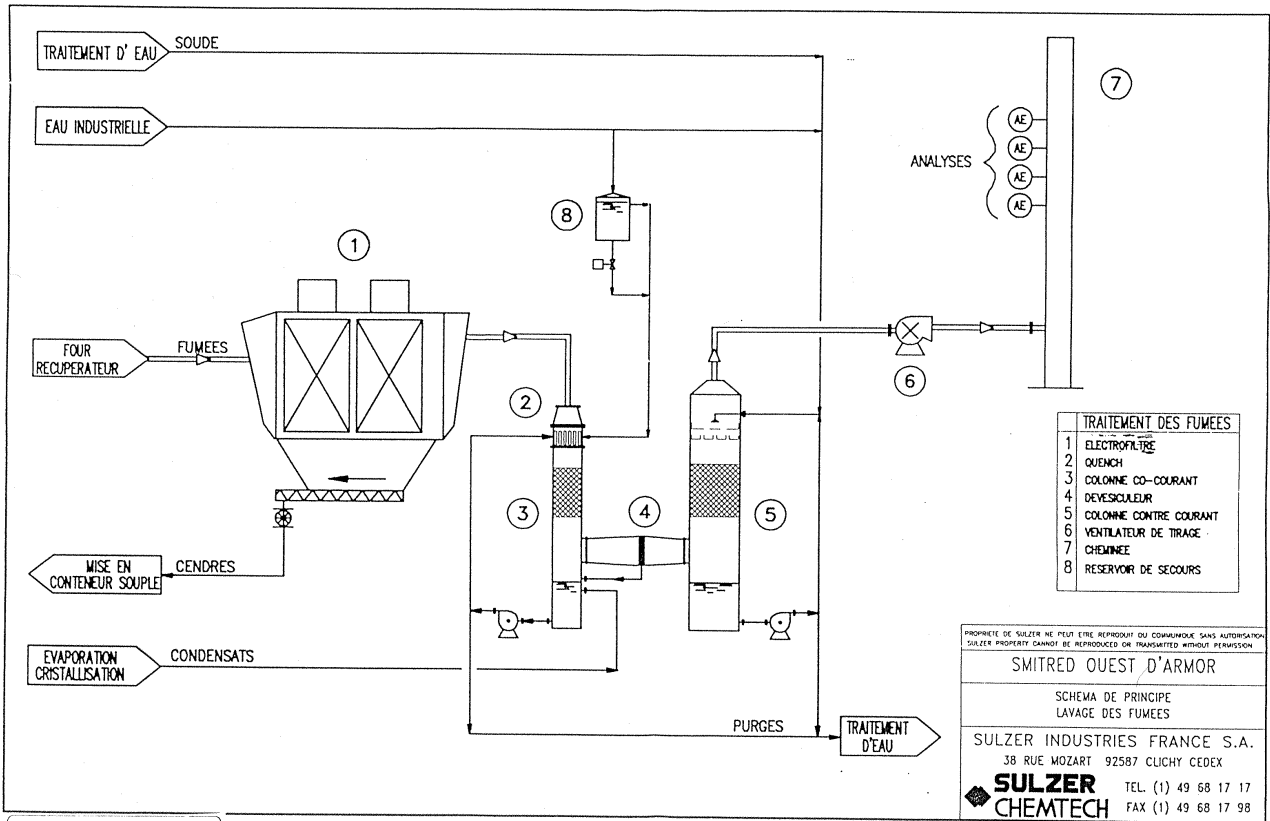
## ANNEXES

<u>Annexe 1</u> : Schémas Traitement des Fumées	.....page 1 .. 3
<u>Annexe 2</u> : Notices Electrofiltre	.....page 1 .. 11
<i>Documents extraits des catalogues « équipements électriques pour électro-filtres » de France-Transfo.</i>	
<u>Annexe 3</u> : Blocs Thyristors et refroidisseur	.....page 1 .. 2
<i>Documents extraits des catalogues Semikron « modules diodes et thyristors ».</i>	
<u>Annexe 4</u> : Extrait de schémas de l'équipement HT	.....page 1 .. 2
<u>Annexe 5</u> : Fonctionnement Armoire HT	.....page 1 .. 3
<u>Annexe 6</u> : Schéma Chauffage de trémie	.....page 1
<u>Annexe 7</u> : Documentation Contacteurs	.....page 1 .. 3
<i>Documents extraits du catalogue Télémechanique « constituants d'automatismes ».</i>	
<u>Annexe 8</u> : Ventilateur d'exhaure	.....page 1 .. 3
<u>Annexe 9</u> : Documentation Moteur Asynchrone	.....page 1 .. 6
<i>Documents extraits du catalogue GEC Alsthom « moteurs asynchrones fermés ».</i>	
<u>Annexe 10</u> : Variateur de vitesse SAMI	.....page 1 .. 18
<i>Documents extraits du catalogue ABB « SAMI-GS convertisseurs de fréquence ACS 502-506 31 à 315 kW.</i>	
<u>Annexe 11</u> : Capteur de Dépression	.....page 1 .. 2
<i>Documents extraits du catalogue Rosemount « transmetteur de pression différentielle modèle 3051c ».</i>	
<u>Annexe 12</u> : Schéma de raccordement HT	.....page 1
<u>Annexe 13</u> : Alternateur A50 Leroy Somer	.....page 1 .. 12
<i>Documents extraits du catalogue Leroy Somer « Alternateurs Partner A49-A50 ».</i>	
<u>Annexe 14</u> : Centrale d'énergie - Groupe électrogène	.....page 1 .. 5
<i>Documents extraits du catalogue Georgin « Régulateurs ».</i>	

Nota : Les documents extraits de catalogue constructeurs ne sont pas repris dans ce rapport de jury de concours pour des raisons de volume.

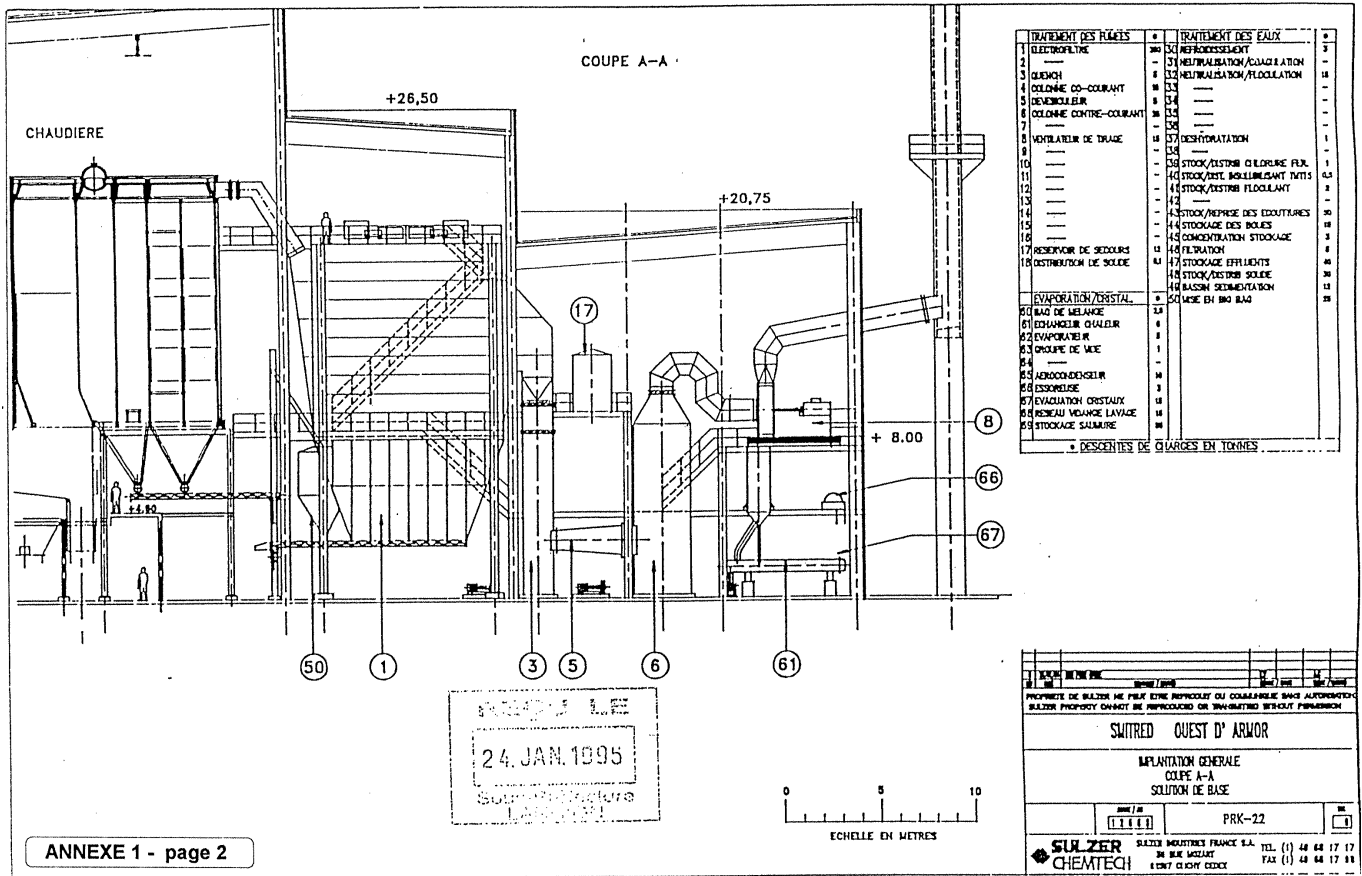
*Les documents fournis sont des extraits . Certains éléments qui, sortis de leur contexte, n'ont qu'une valeur d'exemple .*

# ANNEXE 1 - SCHEMA DE PRINCIPE LAVAGE DES FUMÉES



ANNEXE 1 - page 1

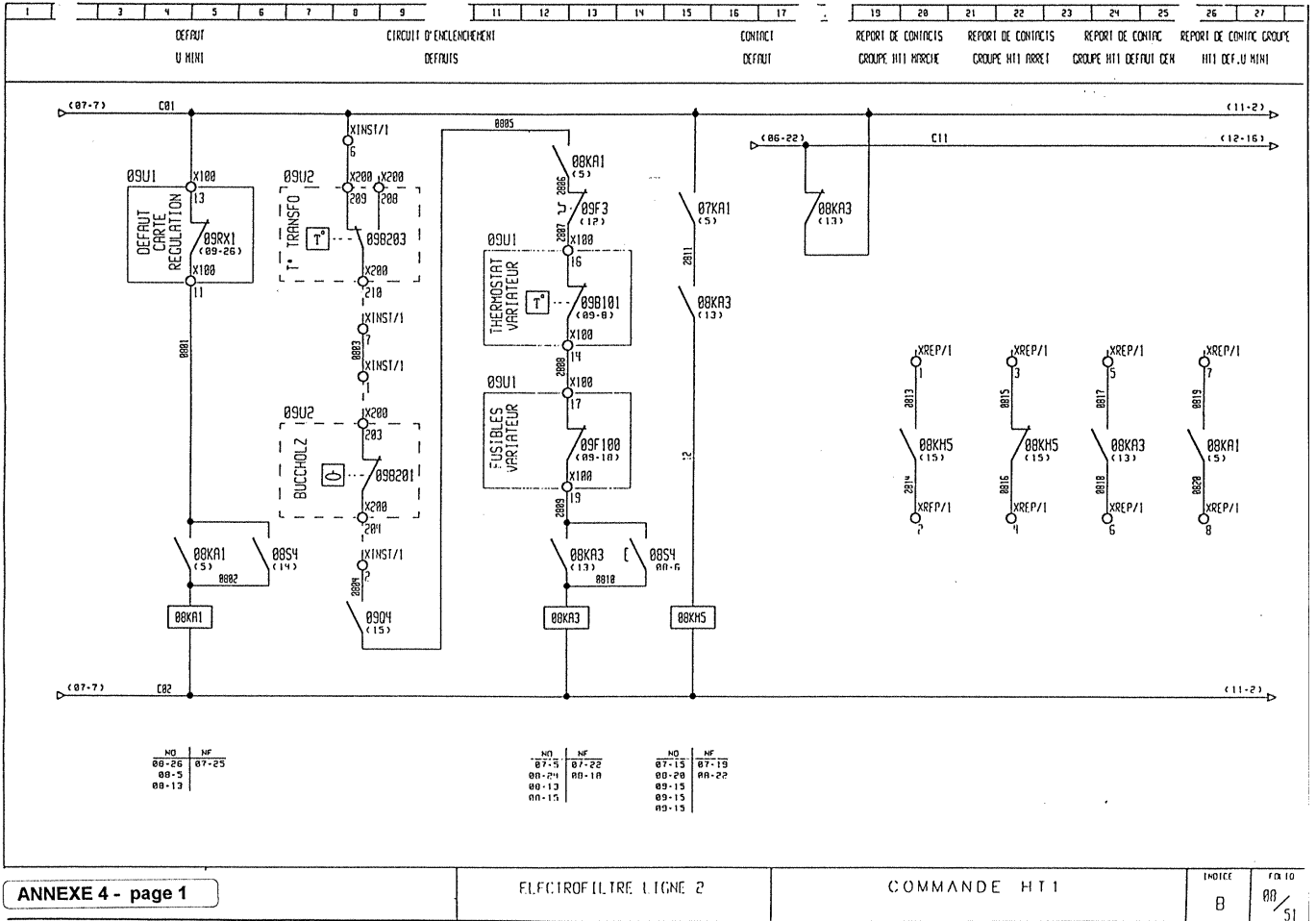
# ANNEXE 1 - IMPLANTATION GENERALE COUPE A-A



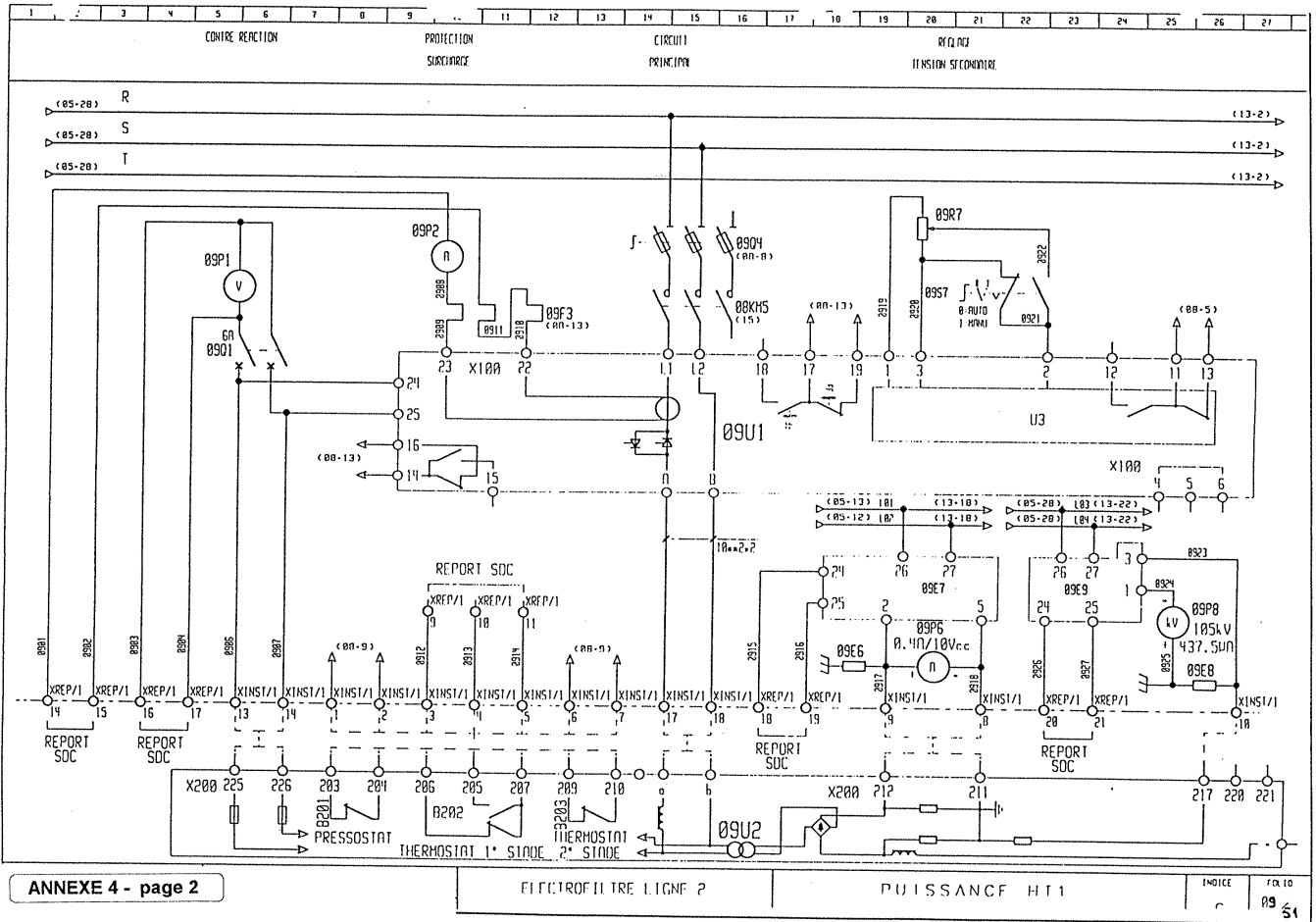
ANNEXE 1 - page 2



# ANNEXE 4 - SCHEMA ELECTRIQUE ELECTRO-FILTRE (commande)



# ANNEXE 4 - SCHEMA ELECTRIQUE ELECTRO-FILTRE (puissance)



## **ANNEXE 5 - FONCTIONNEMENT ELECTRO-FILTRE (automatique)**

SMITRED OUEST D'ARMOR

SMITRED OUEST D'ARMOR

### **8. FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE (depuis le superviseur) :**

#### **8.1. Marche en automatique :**

L'électrofiltre est intégré dans le process général de l'usine ; il n'y a donc pas de marche cycle spécifique à électrofiltre.  
Après la mise sous tension des armoires il faudra acquitter le défaut général de chaque armoire HT (3 au total) afin d'armer les relais de défaut général HT. Ceci est dû à la fonction "U mini" qui détecte une tension secondaire trop faible.  
Si aucun défaut n'est présent sur l'écran ceci indique que l'installation est prête au démarrage.  
Il est à noter que le détecteur de niveaux de la trémie est opérationnel dès la mise sous tension de l'armoire des auxiliaires.

#### **Chronologie à respecter :**

- Mettre le commutateur en AUTO
- Mettre en service le chauffage trémie, le chauffage isolateurs 3 heures (Tempo T1) avant l'allumage du four (depuis le superviseur).
- Mettre en service le sas. Celui ci démarre par le compte rendu de marche du système de transport des poussières situé en aval de la vis.  
Mettre en service la vis .Celle ci démarre par le compte rendu de marche du sas alvéolaire.
- Mettre en service les 4 moteurs de frappe. Le compte rendu de marche de la vis démarre les frappages. Temporisations T5 à T11 pour la marche continu/ cyclique)
- Mettre en service le ventilateur d'exhaure.

Pendant cette phase tous les équipements sont en service à l'exception des transformateurs HT.

Cette période de durée variable correspond à la montée en température du four. Dès que la température des fumées à la sortie de l'électrofiltre est supérieure à 100° C, les 2 groupes HT sont mis en service.

**Le système de dépolluage est en fonctionnement automatique.**

#### **8.2. Arrêt en automatique :**

Lorsque l'on souhaite arrêter l'installation, il faut, 2 heures après l'arrêt du chargement du four :

- Couper les 2 groupes HT (avec la tempo T2)

L'arrêt du ventilateur d'exhaure coupe le système de chauffage des isolateurs

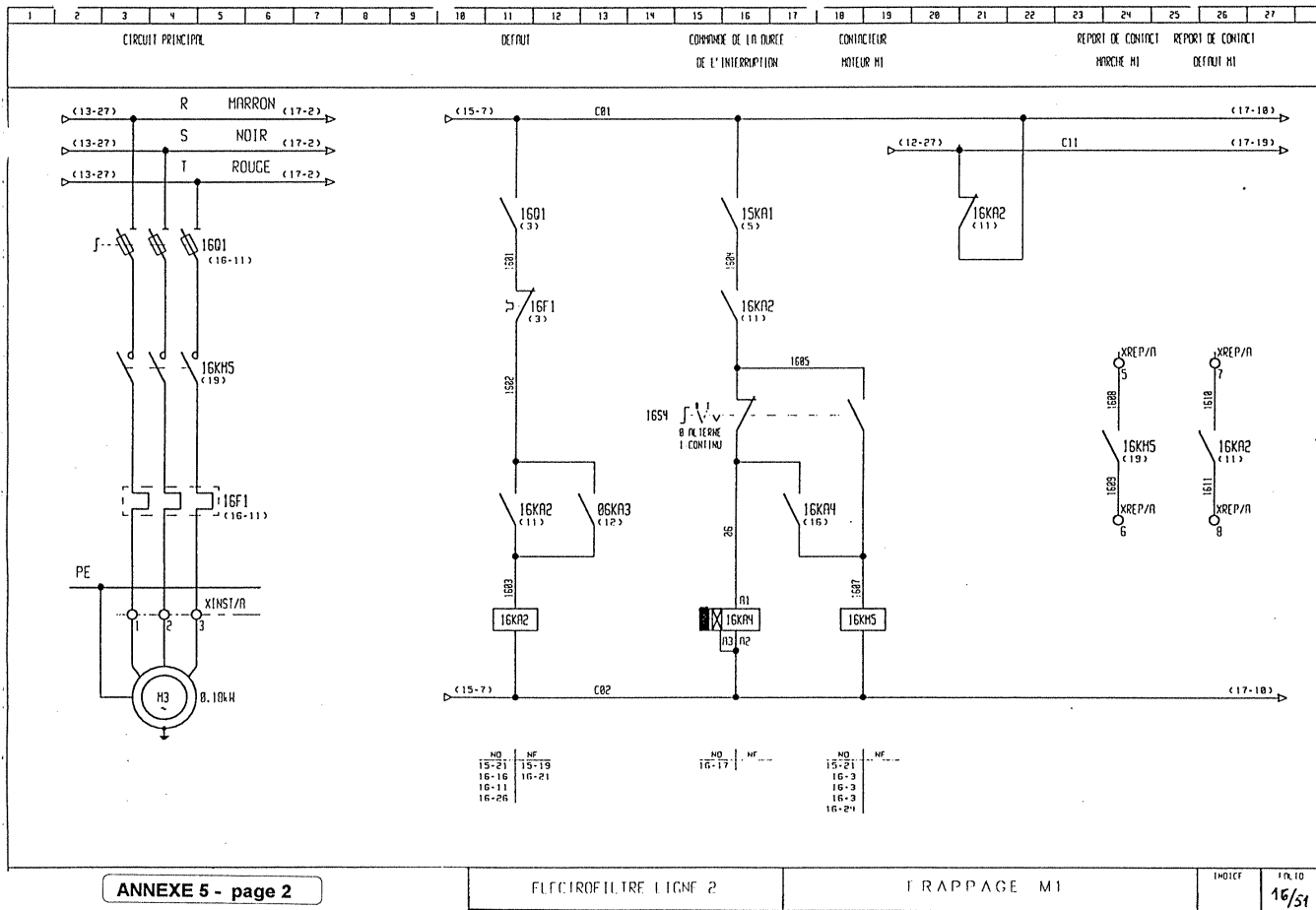
Deux heures après l'arrêt du ventilateur d'exhaure on coupe les 4 moteurs de frappe(avec la tempo T3) .

Une heure après l'arrêt des frappages on coupe la vis et le sas par arrêt du transport de poussières aval (avec la tempo T4).

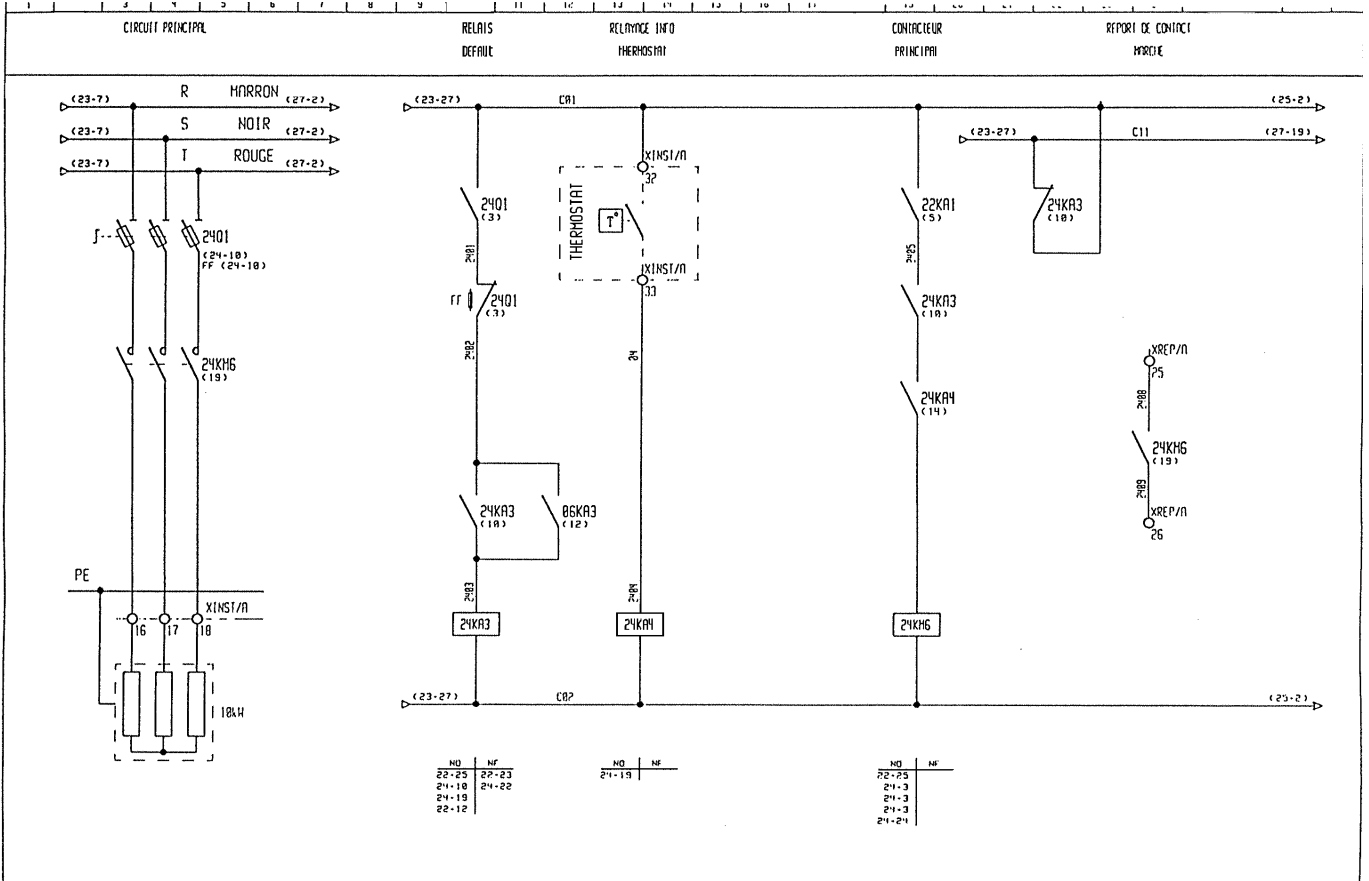
Si l'arrêt du four est prévu pour plus de 4 heures, couper les chauffages trémie, sinon les laisser sous tension.

**Le système de dépolluage est à l'arrêt**

# ANNEXE 5- SCHEMA ELECTRIQUE ELECTRO-FILTRE (frappage)



# ANNEXE 6 - SCHEMA ELECTRIQUE CHAUFFAGE TREMIES



ANNEXE 6 - page 1

ELECTROFILTRE LIGNE 2

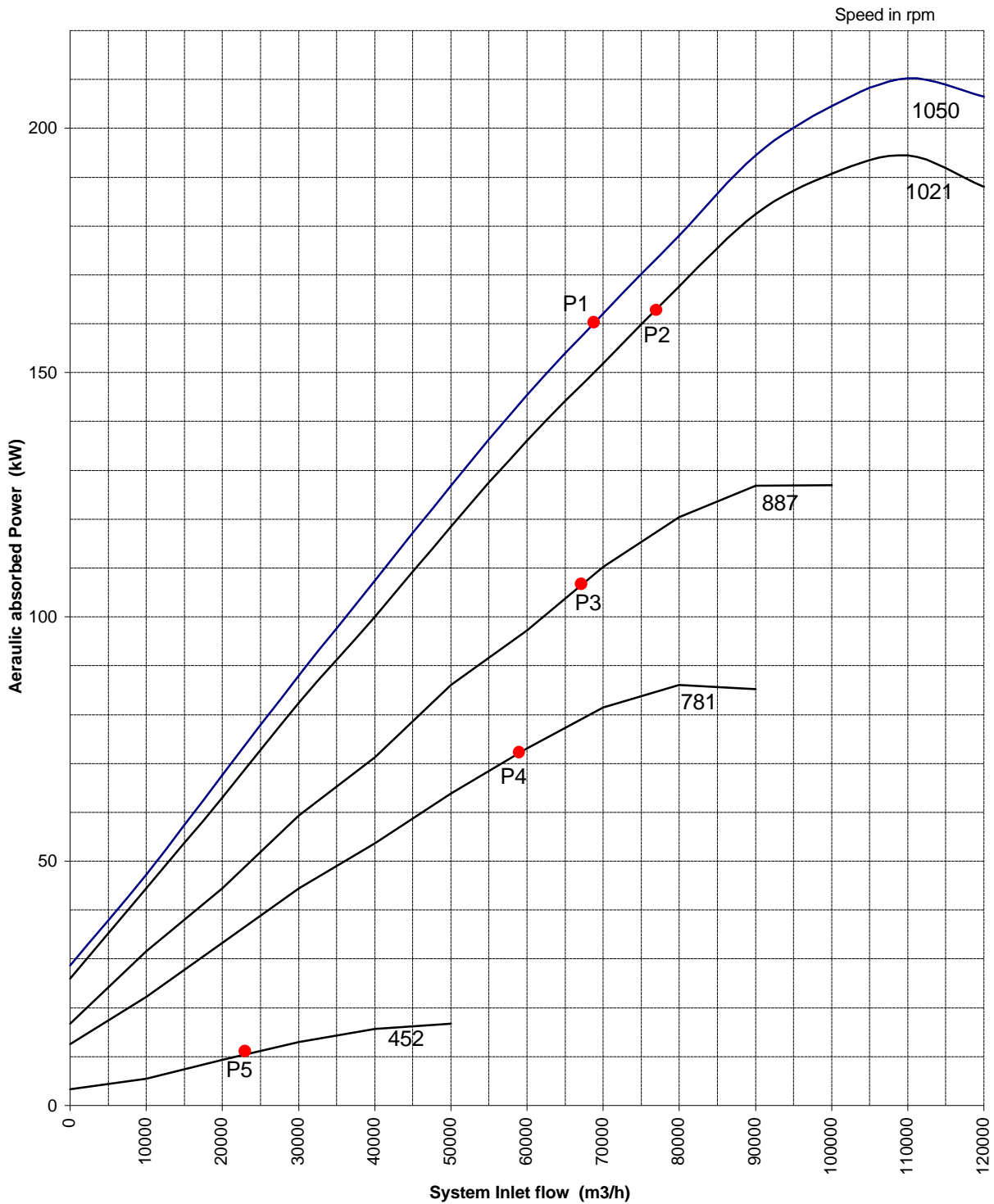
CHAUFFAGE TREMIES

INDICE  
C

FO. 10  
24 / 51

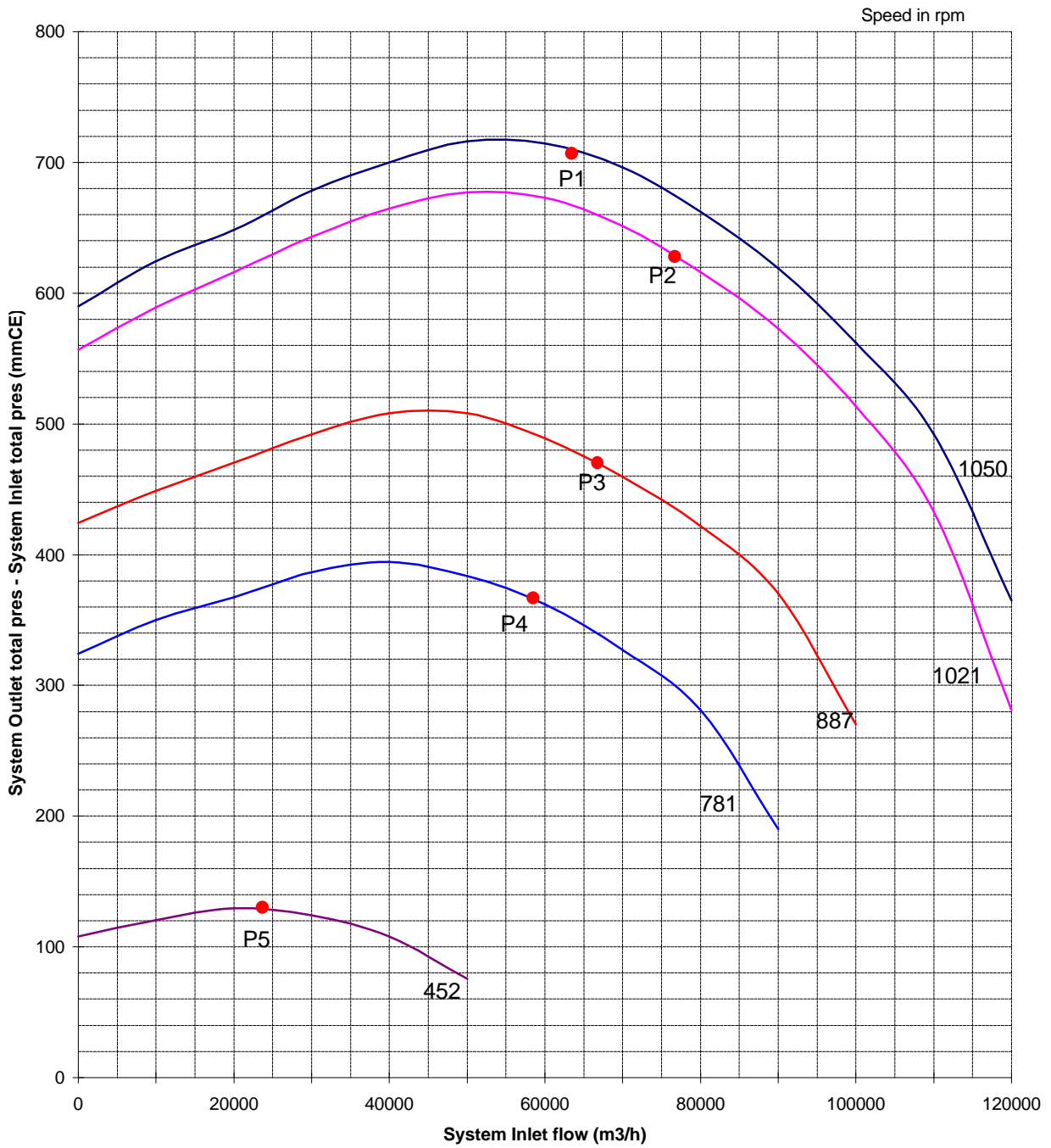
# ANNEXE 8 - VENTILATEUR D'EXHAURE

Puissance Absorbée = f (débit) pour 5 vitesses



## ANNEXE 8 - VENTILATEUR D'EXHAURE

Dépression totale Entrée/Sortie = f (débit) pour 5 vitesses



## ANNEXE 8 - VENTILATEUR D'EXHAURE

Les caractéristiques du système de ventilation sont tracées pour 5 vitesses différentes

Les conditions d'essais sont les suivantes à l'entrée du système :

Poids spécifique du fluide : 0,91 kg/m<sup>3</sup>  
 Température : 70 °C  
 Pression statique : - 668,19 mmCE

Les points de fonctionnement du système de ventilation sont repérés sur les courbes par les points 1 à 5 ; les valeurs correspondantes sont données ci-dessous

	P1	P2	P3	P4	P5	
Débit air	68 600	76 785	66 780	58 570	22 500	m <sup>3</sup> /h
Vitesse de rotation	1 050	1 021	887	781	452	t/mn
Puissance aéraulique	159	162,4	106,5	71,3	10,5	kW
Dépression totale	700	630	472	369	130	mmCE

Le fonctionnement nominal correspond au point P4

Les points P1 et P5 constituent les limites fonctionnelles

**Nota :** la vitesse voisine de **320t/mn** devra être évitée à cause d'un phénomène de résonance

### LEXIQUE

Rotating speed (rpm)	vitesse de rotation (t/mn)
System Inlet total pressure	Pression totale en entrée de système
System Outlet total pressure	Pression totale en sortie de système
Inlet flow	Débit en entrée
Aeraulic absorbed power	Puissance absorbée propre à la seule ventilation
rpm (round per minute)	t/mn (tour par minute)
mmCE	millimètre de Colonne d'Eau (unité de pression)
	1mmCE = 10Pa = 1daN/m <sup>2</sup>

Le texte est traduit de l'anglais

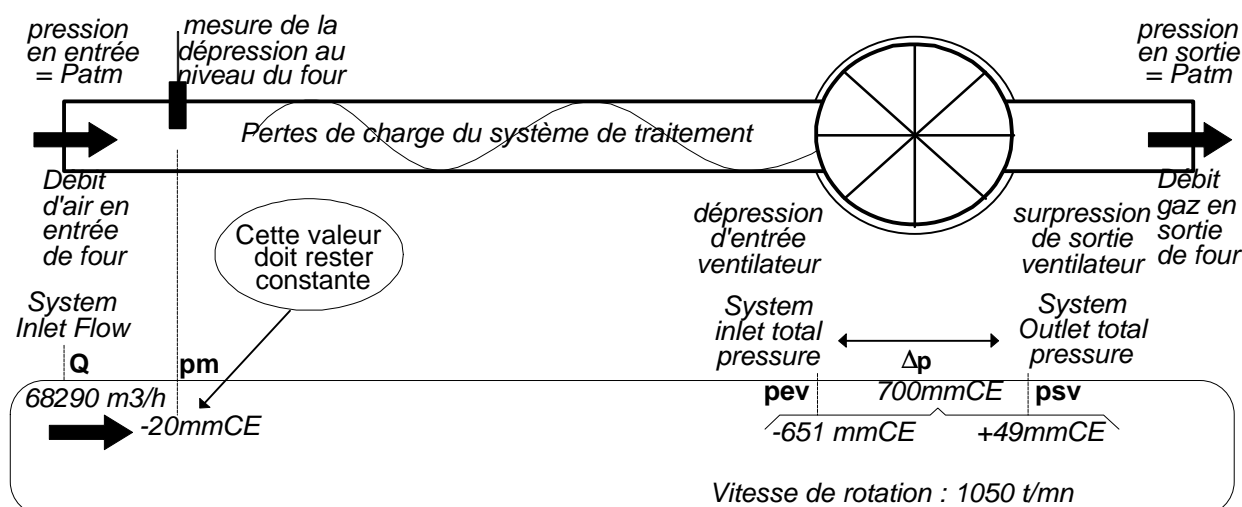
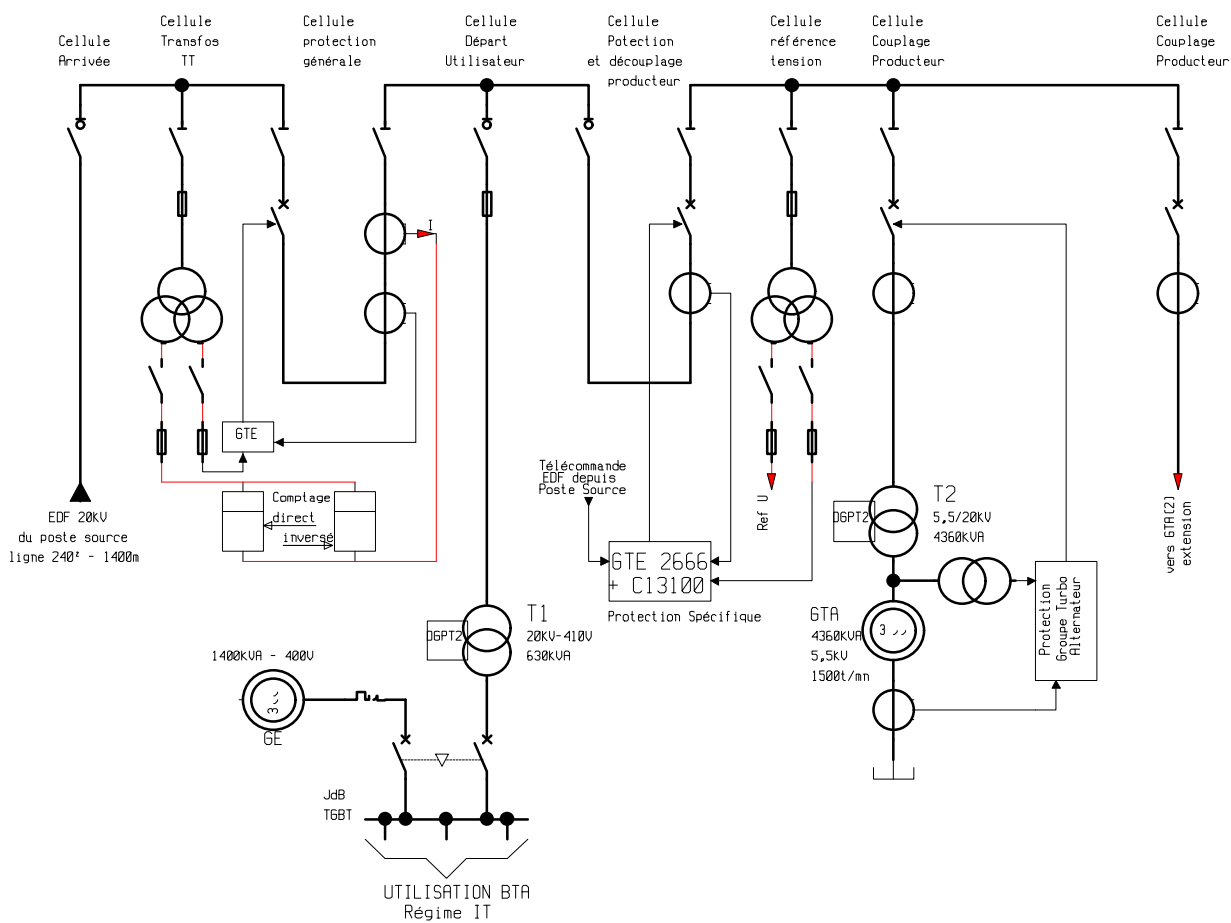


Figure 1 : Relevé des caractéristiques du système Extracteur de fumées

## ANNEXE 12 - POSTE HT/BT



25/09/95

Moy II.

Valorlys

Poste / Raccordement HT  
Smitred Ouest d'Armor

Ets Le DANTEC F.

95-00-058

BZ22-95-13

SESSION DE 1997

**C A P E T**

---

**C O N C O U R S E X T E R N E**

---

**Section : GENIE ELECTRIQUE**

Option : ELECTROTECHNIQUE ET ENERGIE

**ETUDE D'UN SYSTEME ET/OU D'UN PROCESSUS TECHNIQUE**

**ELEMENTS DE CORRIGE**

## PARTIE A

### Question 1 : Filtrage électrostatique

1.1 En admettant un champ uniforme :  $\vec{E} = -\text{grad}\vec{U} \Rightarrow E = \frac{U}{d}$  avec un champ disruptif de 15 kV/cm, la distance inter-électrode sera de :  $d = 96/15 = 6,4 \text{ cm}$

1.2 Une particule chargée électriquement et placée dans un champ électrique est soumise à une force qui tend à la déplacer et telle que  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

1.3 Une électrode chargée positivement attirera des charges négatives

1.4 Pour un champ uniforme, la force appliquée à la particule :  $\vec{F} = q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{\gamma} = -q \cdot \frac{\vec{U}}{d}$

- le temps mis par le grain de poussière pour traverser le champ inter-électrode sera :  $t = \frac{L}{v}$
- pendant ce temps, la poussière soumise à une force qui l'accélère doit avoir parcouru la distance qui lui permet d'atteindre l'autre électrode, soit donc :  $\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 \geq d$  et  $\gamma = -\frac{q}{m} \cdot \frac{U}{d}$

d'où en se plaçant à la limite de la tension d'étincelage  $U = U_{br}$

Nous obtenons ainsi : 
$$d \leq \frac{1}{2} \cdot \frac{q}{m} \cdot \frac{U_{br}}{d} \cdot \frac{L^2}{v^2}$$

Cette relation montre que le piégeage d'un grain de poussière « marche » d'autant mieux que :

1. q grand : une bonne ionisation est donc nécessaire à l'entrée de l'électrofiltre
2. m petit : plus le grain est léger et plus son captage est aisé ; certaines particules les plus lourdes devront être récupérées autrement (lors des lavages)
3. L grand : plus l'électrode est large et plus le piège est efficace ; 2 séries d'électrodes en cascade multiplient par 4 l'efficacité
4. v petit : plus la vitesse est faible et meilleure est l'efficacité

### Question 2 : Générateur HT

#### 2.1 Transformateur-Redresseur HT

2.1.1 La puissance apparente du transformateur est :  $St = U_v \cdot I_v$

La tension pointe de sortie est :

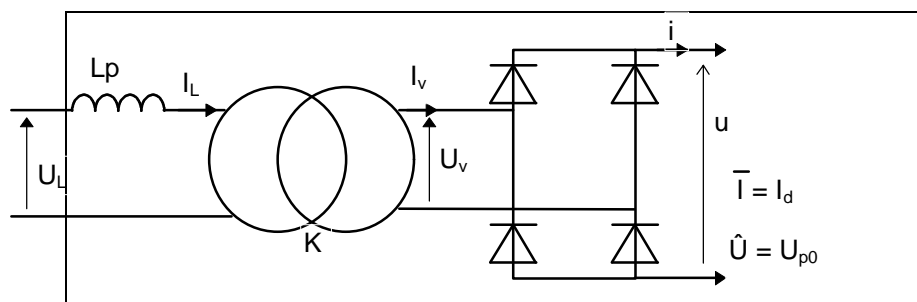
$$Up_0 = U_v \cdot \sqrt{2}$$

et le courant :

$$I_v = FF \cdot I_d$$

d'où :

$$U_v \cdot I_v = \frac{Up_0}{\sqrt{2}} \cdot FF \cdot I_d$$



soit avec un facteur de forme  $FF = 1,4$

La puissance apparente du transformateur sera :  $St \gg Up_0 \cdot I_d$

### 2.1.2 Courant nominal primaire

La puissance apparente absorbée est :  $S_a = U_L \cdot I_L \gg \frac{U_V}{K} \cdot K \cdot I_V = U_{p0} \cdot I_d$

D'où :  $I_L \gg \frac{U_{p0}}{U_L} \cdot I_d$

AN :  $U_{p0} = 96\,000\text{ V}$  ,  $U_L = 380\text{ V}$  ,  $I_d = 400\text{ mA}$

$\Rightarrow I_L = 101\text{ A}$

### 2.1.3 Justifier la technologie retenue

1. Cuve : sert de contenant , de support et de refroidisseur , doit présenter une surface de convection suffisante (d'où ailettes)
2. Isolants :
  - huile minérale : présente une bonne rigidité diélectrique, ce qui permet de réduire les distances d'isolation ; assure le transport des calories des points chauds (circuit magnétique, conducteurs) vers les points froids (surface de la cuve)
  - vernis et gaines de protection des conducteurs : leur qualité définit la classe d'échauffement
  - isolateurs HT : en céramique, chauffés afin de maintenir leurs caractéristiques isolantes, servent à la fois d'alimentation des électrodes et de support de ces électrodes
3. Régleur : permet d'ajuster au mieux la tension à celle du réseau (à manoeuvrer hors tension)
4. Sectionneur HT : assure la sécurité des personnels qui doivent intervenir dans les électrofiltres, en court-circuitant la sortie HT (à manoeuvrer hors tension)
5. DGPT2 : il s'agit d'un dispositif classique de détection de défauts des transformateurs encuvés .
  - détection de gaz ( dûs à une entrée d'air ou à un amorçage par exemple )
  - détection de surpression (dû par exemple à un amorçage et production de vapeurs)
  - détection de manque d'huile isolante,
  - détection d'échauffement : un peu trop élevé  $\Rightarrow$  alarme, ou anormal  $\Rightarrow$  arrêt

### 2.1.4 Arguments de sélection de :

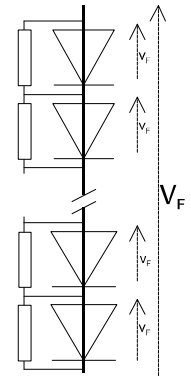
1. Section et constitution du circuit magnétique :
  - $S_m$  : est une fonction de la puissance apparente  $S$  et de la fréquence (à 50 Hz , pour les petits transformateurs à tôles standard  $S_m \approx 1,2 \cdot \sqrt{S}$  )
  - les tôles isolées sont choisies selon le rendement désiré du fait de leur qualité magnétique et de de leur épaisseur (tôles à faible pertes à cristaux orientés, qualité 0,6 W/kg à 1 T)
  - la longueur du circuit magnétique dépend de l'optimisation de la fenêtre qui permet de loger les enroulements
  - Dans notre cas, l'inductance primaire  $L_p$  sera une inductance de fuite générée par un entrefer (sinon les joints seront biseautés ou empilés en quinconce afin de limiter l'entrefer)
2. Section et nombre de spires des conducteurs
  - La section est directement liée à la densité de courant retenue, donc à l'échauffement des conducteurs et dépend donc de l'isolant (verniss) utilisé.
  - Pour les moyennes et fortes intensités, la section est rectangulaire pour une meilleure dissipation.
  - Le nombre de spires dépend de la tension appliquée et de l'induction magnétique maxi retenue (dépend des tôles) :  $N = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot S_m}$  ; le rapport du nombre de spires primaire et secondaire définit le rapport de transformation.
  - Les enroulements HT sont construits par galettes enrobées, puis empilées afin de limiter les contraintes diélectriques entre conducteurs d'extrémités.

### 2.1.5 Arguments de choix des diodes de redressement HT.

- le courant moyen de sortie est de 400 mA ; en court-circuit, ce courant est multiplié par 3.
  - le montage redresseur PD2 implique que chaque diode supportera un courant moyen de :
$$\frac{3 \times 400}{2} = 600\text{ mA}$$
  - la tension inverse maximum aux bornes d'une des diodes est la tension crête, donc  $\hat{U}_V = U_{p0}$
- Choix :  $I_0 \geq 600\text{ mA}$  et  $VRRM \geq 96\text{ kV}$

### 2.1.6 Chute de tension des diodes de redressement

- Chaque diode HT est constituée par un empilage de diodes élémentaires ; une jonction ne saurait résister à tension inverse de plus de 2 kV.
- En plaçant les diodes en série, et en s'assurant d'une répartition égale des potentiels aux bornes de chacune d'elles à l'aide de résistances de fuites définies, il est donc possible d'atteindre des tensions inverses très élevées.
- La tension directe aux bornes de l'empilage dépendra du nombre de jonctions, soit :  $V_F = \sum v_F$ .
- en prenant  $v_F \approx 0,65$  V pour le silicium  $\Rightarrow$  il y aurait donc :  $\frac{70}{0,65} = 107$  jonctions.



## 2.2 Limitation du Courant

### 2.2.1 Valeur de l'inductance $L_p$ :

- En court-circuit,  $I_{Lcc} = 3 \cdot I_L$  ; avec  $I_{L \text{ nominal}} \# 100$  A (cf 2.1.2)
- $I_{Lcc} = \frac{U_L}{L_p \cdot \omega}$  d'où  $L_p = \frac{U_L}{3 I_L \cdot 2\pi f} = \frac{380}{300 \times 314} = 4,03 \cdot 10^{-3}$  soit  **$L_p = 4$  mH**

### 2.2.2 Pourquoi une inductance pour limiter $I_{cc}$ ? :

- Une self n'absorbe pas de puissance active donc ne crée pas de pertes (en négligeant les pertes joules dans les conducteurs) ; les brusques variations d'intensité sont impossibles.
- De même, un condensateur n'absorbe pas de puissance active ; mais la commande par thyristors qui appliquent des fronts des tensions au condensateur, génèrerait des courants transitoires importants.
- Une résistance nécessiterait une dissipation thermique très importante.

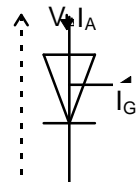
Dans les 3 cas, l'impédance propre limitera l'intensité maximale.

En résumé, l'inductance reste la meilleure solution ; d'autant que, naturellement avec un transformateur, il existe déjà une petite « inductance de fuite ».

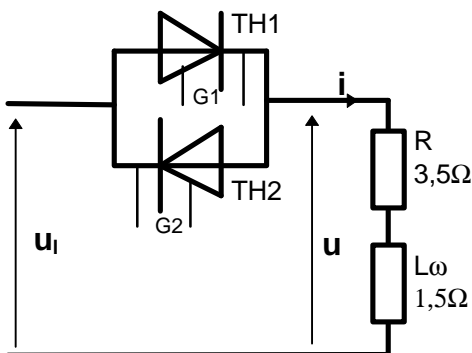
## 2.3 Fonctionnement du gradateur

### 2.3.1 Condition de fonctionnement d'un thyristor :

Mise en conduction = Amorçage : il faut la tension  $V_{AK} > 0$  et un courant  $I_G > I_{GT}$   
 Restera amorcé et conducteur avec  $V_{AK} \approx 0$  tant que  $I_A \geq I_H \approx 0$



### 2.3.2 Forme des courants en mode normal



$u = u_L - u_{TH} = R i + L \frac{di}{dt}$   
 quand le thyristor conduit :  $u = u_L$   
 quand le thyristor es bloqué :  $i = 0$

- régime permanent :  $i_p = \frac{\hat{U}_L}{Z} \cdot \sin(\theta - \varphi)$   
 - régime transitoire :  $i_t = \frac{\hat{U}_L}{Z} \cdot \sin(\psi - \varphi) \cdot e^{-\frac{\theta - \varphi}{\text{tg}(\varphi)}}$  qui est un terme exponentiel

$$\text{tg}(\varphi) = \frac{L \cdot \omega}{R} = \frac{1,5}{3,5} = 0,43 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 23,3^\circ$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2} = \sqrt{3,5^2 + 1,5^2} = 3,8 \Omega$$

$$i_p = 100 \sqrt{2} \cdot \sin(\theta - 23,2^\circ) \quad \Rightarrow$$

$$\hat{i} = \frac{U_L \cdot \sqrt{2}}{Z} = \frac{380 \cdot \sqrt{2}}{3,8} = 100 \sqrt{2}$$

il s'agit d'une sinusoïde déphasée par rapport à  $U_L$

• Cas 1 :  $\theta = 80^\circ \Rightarrow i_t = 100 \sqrt{2} \cdot \sin(80^\circ - 23,2^\circ) \cdot e^{-\frac{80 - 23,2}{1,80} \cdot 0,43}$

$\theta$	80	120	160	200
ip	118	140	97	8
it	118	23	4,5	0
i	0	117	92,5	8

table pour l'onde >0, le thyristor se désamorce pour  $i_p + i_t = 0$ , c.à.d. pour  $q \neq 180^\circ + j$

- ◇ lors de l'alternance négative, l'amorçage est possible pour le second thyristor et créera une onde négative symétrique de la précédente .
- ◇ La valeur moyenne du courant  $i_L$  est nulle .

• Cas 2 :  $y = 18^\circ \Rightarrow i_t = 100\sqrt{2} \cdot \sin(18^\circ - 23,2^\circ) \cdot e^{-\frac{\theta - \frac{\pi \cdot 80}{180}}{0,43}}$

$\theta$	18	60	100	140	180	200
ip	-13	84,5	137,6	126,3	56	8
it	+13	1,5	0,04	0	0	0
i	0	86	138	126	56	8

table pour l'onde >0, le thyristor se désamorce pour  $i_p + i_t = 0$ , c.à.d. pour  $q = 180^\circ + j$

- ◇ lors de l'alternance négative, l'amorçage de TH2 n'est possible pour le second thyristor qu'à partir de  $\varphi$  ; l'impulsion de  $i_{G2}$  se produisant alors que TH2 ne peut s'amorcer, TH2 ne s'amorcera donc pas.
- ◇ La valeur moyenne du courant  $i_L$  n'est pas nulle.
- ◇ La composante continue n'est donc limitée que par la résistance du circuit, d'où dans le cas d'un transformateur par la résistance du circuit primaire.

• Cas 3 :  $y = 18^\circ \Rightarrow$  même 1<sup>ère</sup> forme d'onde au 1<sup>er</sup> amorçage

- ◇ Lors de l'alternance négative, dès que TH1 cesse de conduire pour  $\theta = \varphi$ , le thyristor TH2 pourra s'amorcer à  $\psi = \varphi$  car un courant de gâchette existe (impulsions longues).
- ◇ Le fonctionnement devient alors celui du régime sinusoïdal permanent.
- ◇ La valeur moyenne du courant  $i_L$  est nulle.

**voir feuille réponse 1** (les calculs et tables ci-dessus sont fournis à titre informatif)

### 2.3.3 Forme des courants en mode court-circuit

Le raisonnement est similaire ; seules les valeurs changent

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{L \cdot \omega}{R} = \frac{1,5}{0,1} = 15 \Rightarrow j = 86^\circ$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,1^2} = 1,5\Omega \quad \Rightarrow \quad \hat{i} = \frac{U_L \cdot \sqrt{2}}{Z} = \frac{380 \cdot \sqrt{2}}{1,5} = 253\sqrt{2}$$

Ce qui signifie que  $i_p(q)$  est déphasé de  $\neq p/2$

- Cas 1 :  $y = 120^\circ \Rightarrow$  chaque thyristor est amorçable
  - ◇ la valeur moyenne de  $i(\theta)$  est nulle
- Cas 2 :  $y = 18^\circ \Rightarrow$  même 1<sup>ère</sup> forme d'onde au 1<sup>er</sup> amorçage
  - ◇ la valeur moyenne de  $i(\theta)$  n'est plus nulle avec les mêmes conséquences que celles décrites en 2.3.2
- Cas 3 :  $y = 18^\circ \Rightarrow$  même 1<sup>ère</sup> forme d'onde au 1<sup>er</sup> amorçage
  - ◇ la valeur moyenne de  $i(\theta)$  reste nulle , on retrouve un régime sinusoïdal permanent

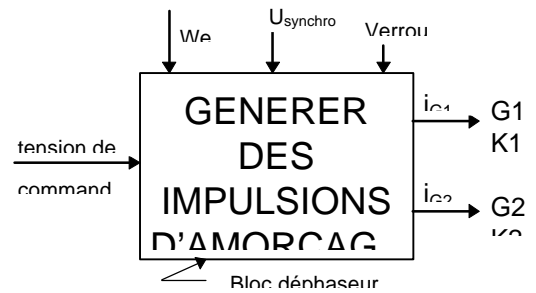
**voir feuille réponse 2**

### 2.3.4 Conclusion :

- validité du modèle
  - ◇ La résistance R correspond au point de fonctionnement nominal du système
  - ◇ On peut remarquer que lors d'un court-circuit dans les conditions indiquées, l'intensité n'atteint pas la valeur de 300 A indiquée (253 A), ce qui signifie que la valeur de l'inductance a changé . La validité du modèle n'est donc pas assurée (  $\approx 16\%$  d'erreur )
- conséquences de la conduction unidirectionnelle

- ◇ La conduite unidirectionnelle se produit uniquement lorsque les impulsions sont brèves et dans le cas où  $\psi < \varphi$
- ◇ Une tension moyenne apparaît
- ◇ La résistance du circuit devient celle du circuit primaire du transformateur. Il en résulte un courant  $\bar{I} = \frac{\bar{U}}{R}$  très important, voire destructeur si un remède ou des moyens de protection ne sont pas envisagés.

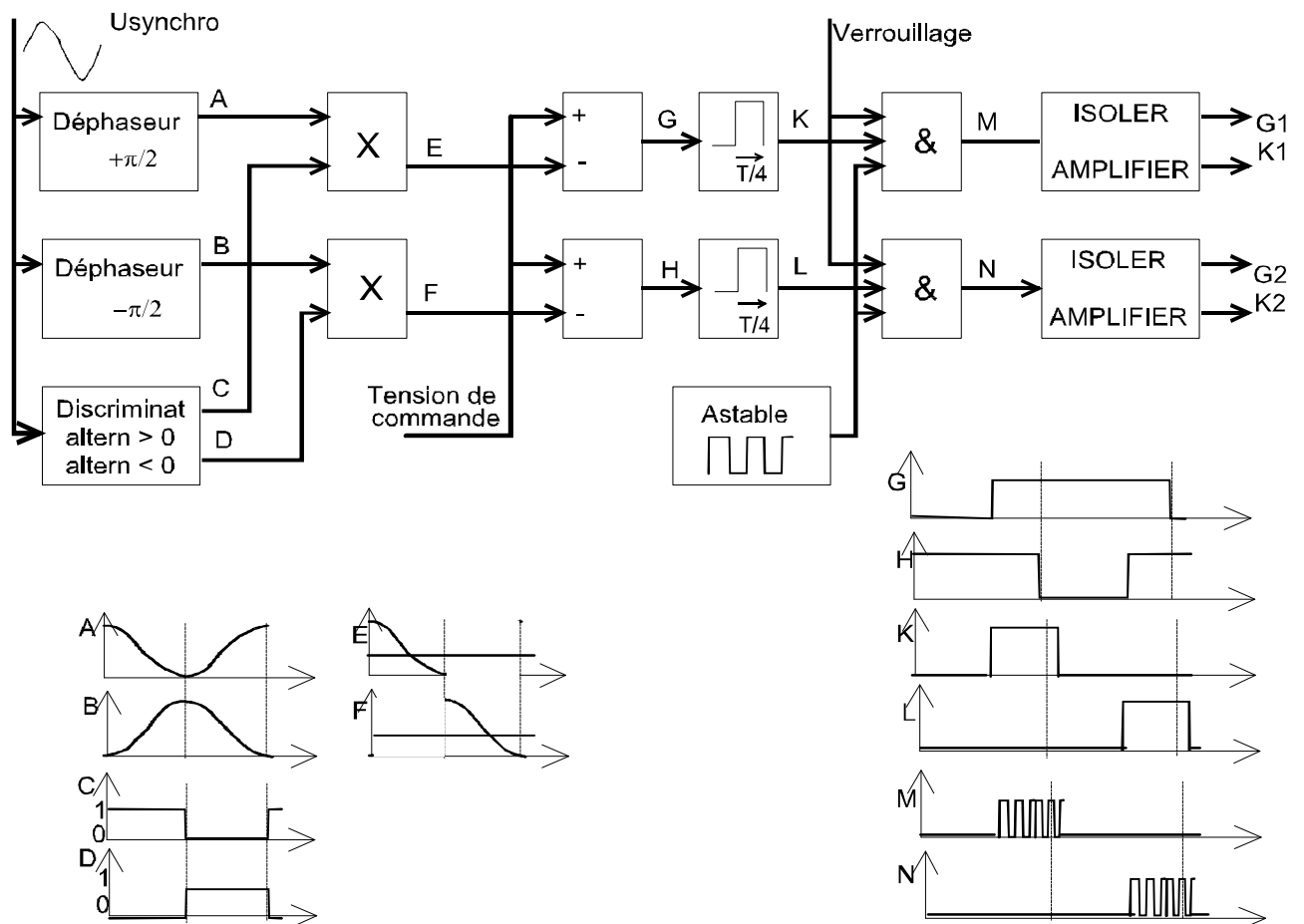
- conséquences sur le choix de la commande des thyristors
  - ◇ il suffira donc de générer une impulsion longue ou une salve d'impulsions couvrant un angle  $\geq \varphi_{\max}$  du circuit soit ici  $\approx \frac{\pi}{2}$



## 2.4 Schéma fonctionnel de l'amorceur

Le schéma fonctionnel fait apparaître :

- la grandeur d'entrée qui est la tension de commande : hypothèse 0-10V
- la tension de synchronisation (image secteur)
- l'entrée de verrouillage qui bloque l'ensemble  
Il s'agit ici d'une commande « arcs »



## 2.5 Dimensionnement des composants

### 2.5.1 Caractéristiques des thyristors (ils sont montés tête-bêche)

Courant de court-circuit :  $I_{dcc} = 300 \text{ A} \implies$  Chaque thyristor conduit la moitié du temps

- courant moyen :  $I_0 = \frac{I_{dcc} \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 136 \text{ A}$  (demi alternance)
- courant efficace :  $I_{RMS} = \frac{I_{dcc}}{\sqrt{2}} = 212 \text{ A}$  (demi alternance)
- Tension inverse maximale supportée :  $V_{rmax} = U_L \cdot \sqrt{2} = 380 \sqrt{2} \approx 540 \text{ V}$

En résumé , on prendra un thyristor tel que :

- $V_{RRM} = V_{DRM} > 2 \times 540 = 1\ 080 \text{ V}$  ..... 1 200 V
- $I_{TRMS} > 212 \text{ A}$  ..... 250 A
- $I_{TAV} > 136 \text{ A}$  ..... 160 A

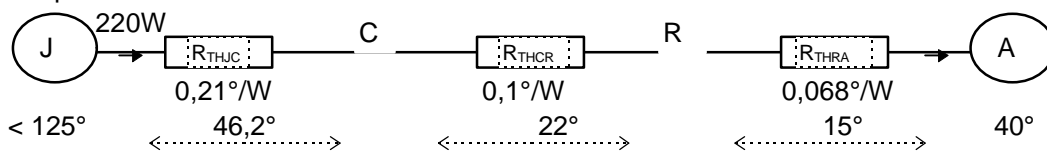
ce qui correspond à un demi module thyristor SKKT 162

### 2.5.2 Validité de choix du module préconstruit :

**W1C 380/380 - 300 F - SKKT 162 - P3 - CTS**

- W1C : gradateur monophasé
- 380/380 : tension d'entrée et de sortie
- 300 : courant efficace
- F : avec ventilateur
- SKKT 162 : type de thyristor (2 thyristors en semipack)
- P3 : type de profilé refroidisseur
- CTS : circuit RC + thermostat + fusibles

thermiquement :



En résumé, la température atteinte par le radiateur pour une température ambiante de  $40^\circ \text{C}$  sera de  $40 + 15 + 22 + 46,2 = 123,2^\circ$  ce qui est à peine inférieur à limite de  $T_{Jmax} = 125^\circ$  mais néanmoins convient : donc le choix est valide.

### 2.5.3 Thermostat bimétal réglé à $66^\circ$

La température du dissipateur atteint  $40^\circ + 15^\circ = 55^\circ$  pour une puissance dissipée de 220 W

Si le radiateur atteint  $66^\circ$ , la puissance sera supérieure :  $P = \frac{\Delta T^\circ}{R_{THRA}} = \frac{66 - 40}{0,068} = 382 \text{ W}$

Ce qui aura pour conséquence de mener la jonction à :

$T_J = 40 + (0,21 + 0,1 + 0,068) \cdot 382 = 161^\circ$  ce qui est prohibitif

Conclusion : le thermostat n'est pas adapté pour une protection efficace .

### 2.5.4 Protections individuelles des thyristors

A - protection assurée :

1. Circuit RC :

- rôle d'aide à l'amorçage dans un circuit inductif : le courant de décharge permet d'atteindre le courant d'accrochage plus rapidement
- rôle de protection anti  $dV/dt$  : permet de réduire les amorçages intempestifs

2. Fusibles :

- protection ultra-rapide en cas de surintensité importante

B - Choix :

1. Circuit RC :

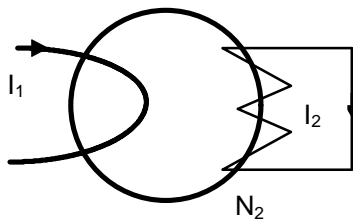
il est nécessaire que la vitesse de croissance de la tension soit inférieure au  $dv/dt$  du thyristor.

2. Fusibles :

- la contrainte thermique  $I^2.t$  fusible  $\ll I^2.t$  thyristor afin que le fusible soit détruit avant la jonction ; ici,  $I^2.t$  thyristor = 146 000 A<sup>2</sup>.s
- le fusible qui protégera convenablement devra avoir pour caractéristiques :
  - $\Rightarrow I_n \geq I_{TRMS} = 250$  A
  - $\Rightarrow U$  coupure > 380 V
  - $\Rightarrow I^2.t \ll 146\ 000$  A<sup>2</sup>s

soit une sélection du type 3011 8880 ( 250 A / 380 V / 22 800 A<sup>2</sup>s )

2.5.5 Transformateur de courant



d'après le théorème d'Ampère

$$i_1 + N_2 \cdot i_2 = \mathfrak{R}\phi$$

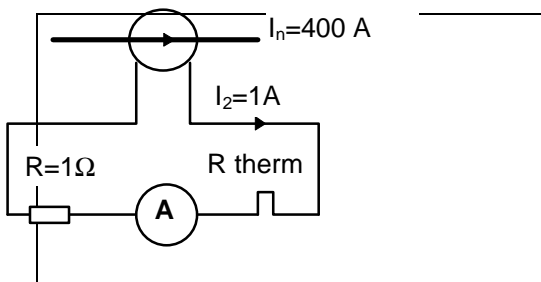
- pour un secondaire en court-circuit franc :

$$I_1 = N_2 \cdot I_2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{I_2 = \frac{I_1}{N_2}}$$

- pour une réluctance très faible, et un flux également

très faible, cette relation restera vraie.

- d'autre part, si le secondaire est relié sur une résistance telle que  $U_2 = R_2 \cdot I_2$ 
  - \* la puissance apparente devient  $\Rightarrow S = R_2 \cdot I_2^2$
  - \* le flux nécessaire  $\phi_{max} = \frac{U_2}{4,44 \cdot N_2 \cdot f}$  doit rester très faible  $\Rightarrow B_{max} \ll B_{saturation}$
  - \* la section du circuit magnétique dépendra donc de la puissance max admissible
- Le choix nécessitera de connaître :
  - \* le rapport de transformation  $I_2/I_1$
  - \* la fréquence d'emploi
  - \* la puissance apparente du transformateur
  - \* la précision du rapport de mesure
  - \* la tension d'isolement primaire / secondaire
  - \* la présentation et le mode de raccordement
- Schéma de raccordement : tous les éléments de mesure et de détection doivent être raccordés en série



**Arguments de choix du TC :**

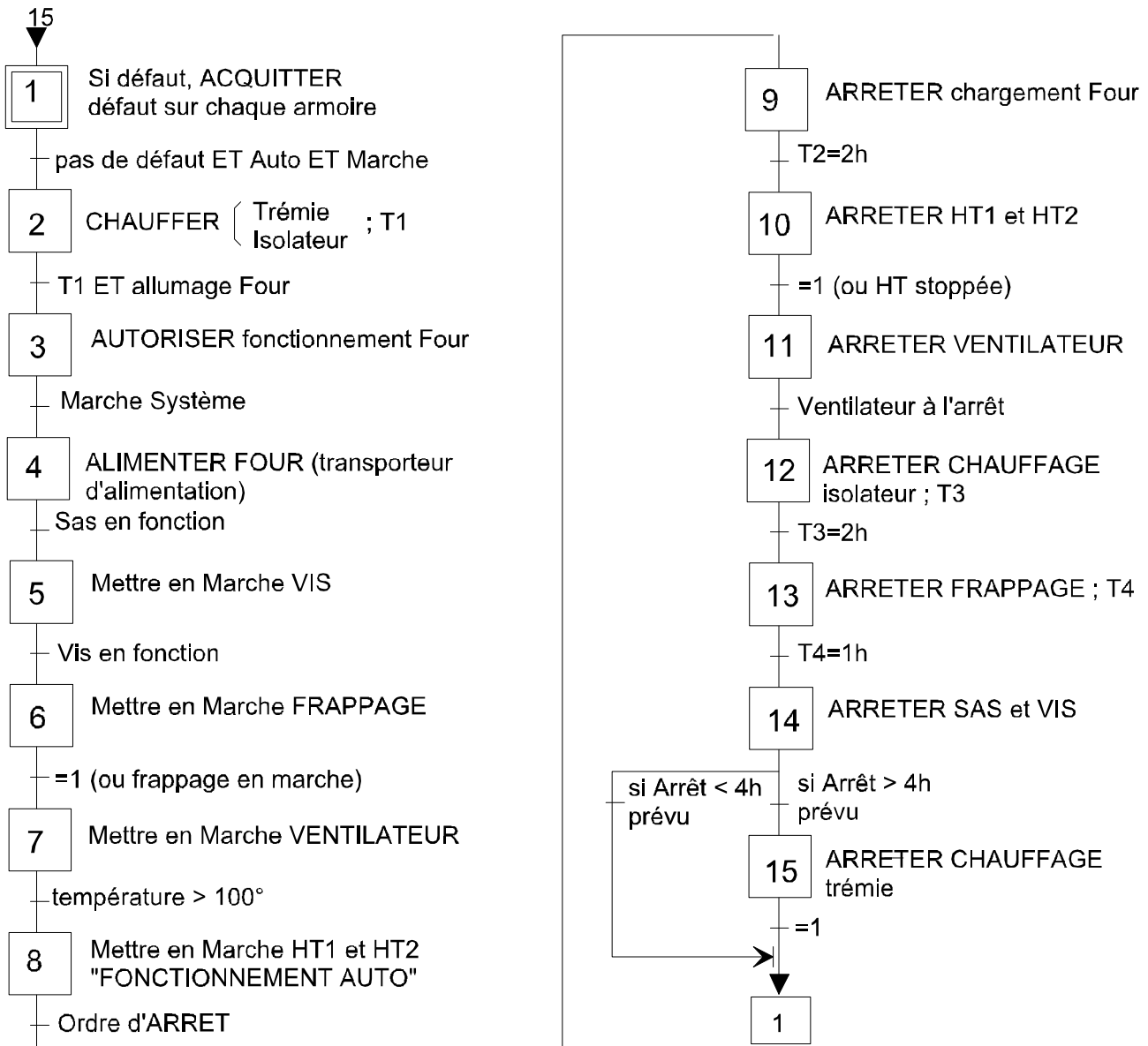
- ◇ Rapport de transformation : 400/1A
- ◇ Fréquence d'emploi : 50 Hz
- ◇ Tension d'isolement : > 380 V efficace
- ◇ Puissance apparente : > 3 VA (en considérant 1  $\Omega$  par élément secondaire connecté)
- ◇ Classe de précision : 0,5

**2.6 Schéma développé d'une armoire de commande HT**

Voir le schéma

## 2.7 Automatisation

Grafset :



Réalisation des réceptivités :

1-2 : « pas de défaut » = contacts en série des relais de défaut de chacune des armoire.

2-3 : « allumage four » = contact qui donne l'état du four en cours d'allumage.

4-5 : « Sas en fonction ».

5-6 : « Vis en fonction » = contact image de l'état de fonctionnement du Sas ou de la Vis.

7-8 : « température > 100 ° » = contact de thermostat.

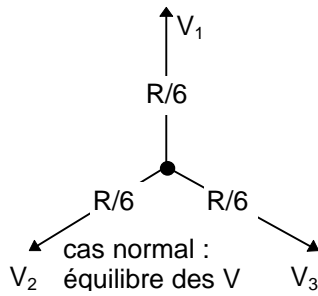
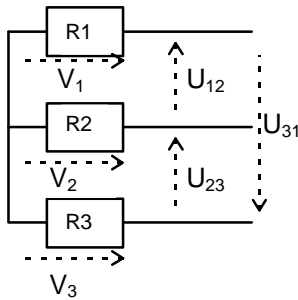
11-12 : « Ventilateur à l'arrêt » = contact image de l'état du ventilateur.

14-15 : « Arrêt ? 4h » = Il s'agit d'une option à prendre au niveau du superviseur (paramètre).

Le schéma du frappage des électrodes, fourni dans l'annexe 5, montre une technologie à relais et tout particulièrement un temporisateur cyclique réglable qui déclenche la frappe à intervalles réguliers .

### Question 3 : Chauffage Trémie et évacuation des poussières

#### 3.1.1 Montage retenu , justifier :

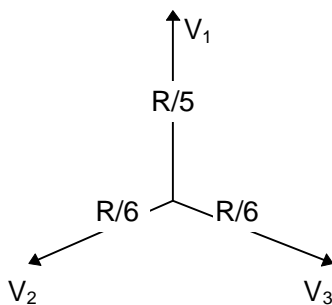


Il s'agit d'un montage étoilé .  
chaque branche est constituée par 6  
éléments résistants identiques.

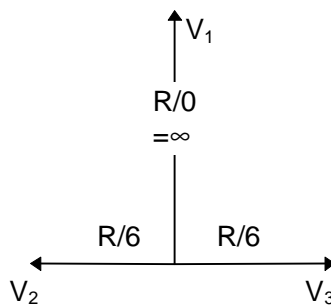
- ◇ En fonctionnement normal, le point étoile correspond au point Neutre ; la tension appliquée à chaque branche est la tension simple.
- ◇ En fonctionnement dégradé, ce n'est plus le cas :

1. Un élément coupé sur la phase 1 : la résistance de la branche est plus élevée ; la tension du point étoile se déplace : - les 5 éléments restants sur cette phase sont alimentés en surtension - les éléments connectés sur les phases 2 et 3 sont sous alimentés.
2. La phase 1 coupée : résistance infinie ; les résistances R2 et R3 se trouvent montées en série sous la tension composée ; chaque élément supporte alors  $U/2$ .
3. La phase 1 est en court-circuit : les éléments connectés aux phases 2 et 3 sont alors alimentés sous la tension composée, donc sont en surtension (la puissance dissipée par chaque élément sera alors  $3 \times P_{nominal}$ ).

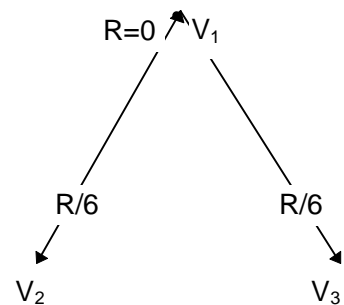
cas N° 1



cas N° 2



cas N° 3



#### Conclusion :

⇒ En cas de déséquilibre des phases, il existe un risque cumulatif. En effet, si une résistance devient défectueuse, ceci implique que d'autres éléments deviennent alors suralimentés, lesquels courent le risque de devenir défectueux à leur tour.

#### Solutions pour éviter ce dysfonctionnement :

1. Si le neutre de l'installation est accessible, le point étoile sera relié à ce neutre (via le sectionneur, à travers une barrette de neutre).
2. Sinon, un relais d'intensité différentiel monté en série, ou un relais de tension homopolaire (détection de tension entre le point étoile et le point neutre virtuel) pourraient être mis en oeuvre et donneraient un ordre de déclenchement au contacteur de commande en cas de problème.

#### 3.1.2 Justifier la présence des contacts 24Q1 :

Les 2 contacts appartiennent au même sectionneur, mais ont des rôles différents :

- ⇒ le 1<sup>er</sup> contact est le contact auxiliaire de pré coupure doit être inséré dans le circuit de commande de telle sorte qu'une manoeuvre éventuelle du sectionneur implique que ses pôles principaux couperont le circuit à vide (le sectionneur n'ayant pas de pouvoir de coupure, ce sera le contacteur qui s'ouvrira avant la séparation des pôles du sectionneur).
- ⇒ le 2<sup>nd</sup> contact est actionné par la fusion d'un des fusibles du sectionneur (fusibles à percuteur), afin d'éviter un fonctionnement monophasé.

### 3.2 Régulation de température

La somme des éléments chauffants dispensent une puissance nominale de : 10,8 kW.

La régulation est de type Tout Ou Rien  $\Rightarrow$  10,8 kW ou 0 kW.

A la température de 120°, la puissance moyenne nécessaire pour maintenir la température est de

2,15 kW, ce qui correspond à un taux de fonctionnement de  $\alpha = \frac{\bar{P}}{P_n} = \frac{2,15}{10,8} = 0,2$  soit 20 %.

$$\bar{P} = \alpha \cdot P_n \quad \Leftrightarrow \quad \alpha = \frac{T_{\text{enclenchement}}}{T_{\text{cycle}}}$$

$\Rightarrow$  si la durée d'enclenchement est de 5 mn, le temps de cycle sera de  $= 5/0,2 = 25$  mn

$\Rightarrow$  la constante de temps (6 h) étant  $\gg T_{\text{cycle}}$  (0,42 h), on pourra admettre une évolution de la température proportionnelle au temps pendant les durées considérées.

#### 3.2.1 Courbes d'évolution avec $\Delta T = \pm 3^\circ$

voir réponse sur graphe Réponse 1

#### 3.2.2 Courbes d'évolution avec $\Delta T = \pm 1,5^\circ$

$\Rightarrow$  La puissance moyenne reste inchangée

$\Rightarrow$  l'écart de température est la moitié du précédent, et donc les temps se trouvent dans le même rapport.

Conséquences : Si la précision du réglage double, le nombre de cycles de fonctionnement est multiplié par 2 pendant le même temps par rapport à 3.2.1  $\Rightarrow$  donc usure du matériel plus rapide.

voir réponse sur graphe Réponse 2.

#### 3.2.3 Choix de contacteur

Le contacteur doit commander une charge résistive de puissance 10,8 kW, d'où :

♦ catégorie d'emploi : AC1.

♦ Intensité d'emploi :  $I = \frac{P_n}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{10800}{380 \cdot \sqrt{3}} 16,4 \text{ A}$   $\Rightarrow$  thermiquement, le contacteur doit supporter cette intensité.

♦ a un cycle d'enclenchement/déclenchement horaire de :  $\frac{60}{25} = 2,4$

♦ doit endurer pendant 10 ans :  $7\,800 \times 10 \times 2,4 = 187\,200$  cycles.

Le tableau et le graphe annexe 7 - page 2 permet de trouver qu'un contacteur LC1-D09 convient.

♦ 25 A max soit 15 kW max en 380/400V à  $T \leq 40^\circ$ .

♦ à une endurance électrique de près de 2 millions de manoeuvres , ce qui est beaucoup plus que le minimum nécessaire.

### 3.3 Détection de la rotation de la vis

#### 3.3.1 Solution technique

• La vitesse de rotation est ici faible (arbre de la vis d'évacuation) et constante, implique la durée d'un cycle de rotation constant. Au delà de cette durée, la vitesse de rotation est anormale : il suffit alors de comparer la durée réelle d'un cycle à une durée définie par une temporisation et considérée comme normale.

• D'autre part, il est bon de remarquer qu'en cas de blocage de l'arbre, 2 éventualités se profilent :

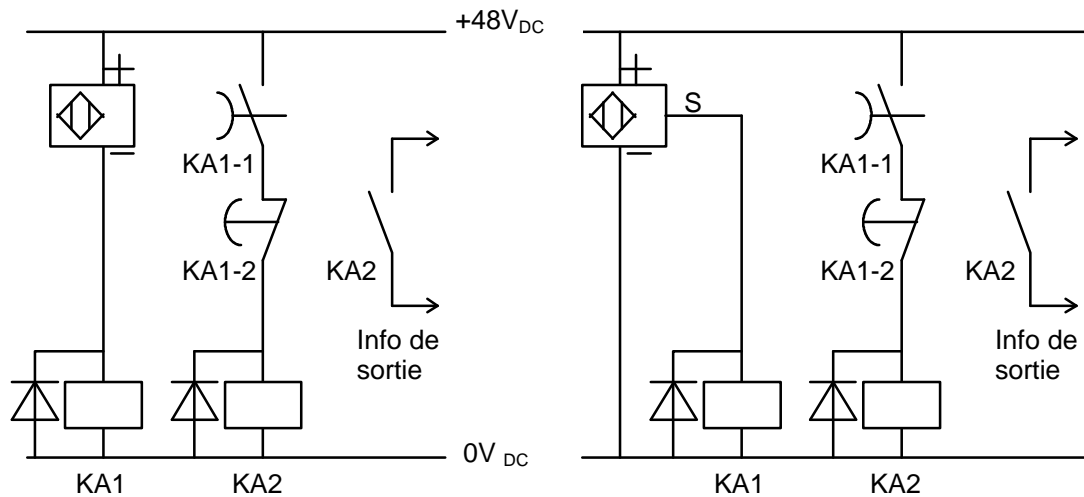
♦ capteur actionné si la pièce de détection se trouve à l'arrêt devant le capteur.

♦ capteur non actionné dans le cas contraire.

noter : il est possible de trouver dans les catalogues constructeurs des relais de contrôle de rotation d'arbre intégrant les fonctionnalités décrites ci-dessus.

d'où les éléments de schémas suivants (mais il en existe beaucoup d'autres, y compris statiques....).

- En courant continu 48 V, une variante existe selon qu'il s'agit d'un capteur 2 fils ou 3 fils (ici, PNP).



- En courant alternatif, ce serait un capteur 2 fils ; le schéma est similaire au schéma 2 fils DC à l'exception des diodes qui seraient remplacées par un circuit RC.

La minuterie utilisée nécessite 2 type de temporisations :

- ◇ au relâchement : le contact KA1-1 se ferme dès que KA1 excité . Ce contact ne retombe qu'après une durée T1 suivant la retombée de la bobine => c'est cette durée qui définit le temps de cycle.
- ◇ à l'émission : le contact KA1-2 ne sera actionné que si la bobine KA1 reste suffisamment de temps activée => c'est ce contact qui agit lorsque l'arrêt de la pièce de détection se fait face au capteur .

Fonctionnement :

- Les impulsions arrivent régulièrement  $\approx$  chaque 3 s (rotation  $\approx 20 \text{ t.mn}^{-1}$ ) ; la bobine KA1 s'enclenche pendant le passage de la pièce de détection : le contact KA1-1 est actionné et reste dans cet état  $\approx 3 \text{ s}$  => le relais KA2 s'enclenche = information « rotation vis » active.
- Si la vis cesse de tourner,
  - ◇ le relais KA1 cesse d'être actionné : KA1-1 alors retombe, entraînant KA2
  - ◇ le relais KA1 reste actionné en permanence : KA1-2 s'ouvre alors faisant retomber KA2

l'information « rotation vis » devient inactive

Nota : un relais statique « rotation vis » basé sur le principe décrit est facilement adaptable.

### 3.3.2 Choix du capteur :

- ◇ Un capteur de **proximité inductif** semble bien indiqué, car la **pièce à détecter sera métallique**
- ◇ prendre un capteur cylindrique de diamètre  $D_n$
- ◇ prendre une pièce de détection acier doux de largeur  $\cong D_n$  positionnée à **une distance 'd' inférieure à la portée nominale  $S_n$  du capteur**
- ◇ en **continu** 48 V, prendre un capteur 2 fils ; ou 3 fils : sortie **PNP** si relais par rapport au « moins » et **NPN** si relais par rapport au « plus »
- ◇ en **alternatif** 230 V , prendre un capteur **2 fils** ou un capteur à sortie sur **contact sec** (4-5 fils)
- ◇ prendre un **capteur étanche** : environnement poussiéreux (un capteur capacitif, ou optique n'aurait pas convenu pour cette raison)

attention : les relais seront compatibles avec la sortie du capteur (tension de déchet, courant maximum)

## Question 4 : Ventilateur de tirage

### 4.1 Caractéristiques moteur

#### 4.1.1 Couple, vitesse, puissance

- a)  $C = k.n^2 \Rightarrow P = C.\Omega \Rightarrow \Omega = 2\pi n/60 \Rightarrow P = k'.n^3$   
 b) En extrayant des courbes annexe 8

$$P1 = K.n_1^3 \quad ; \quad P2 = K.n_2^3 \quad \Rightarrow \frac{P1}{P2} = \left(\frac{n1}{n2}\right)^3$$

En prenant le rapport des points de fonctionnement :

$P5 = 10 \text{ kW}$      $P4 = 71,3 \text{ kW}$      $P3 = 106,5 \text{ kW}$      $P2 = 162,4 \text{ kW}$      $P1$  pas significatif (décrochage)  
 $n5 = 452 \text{ t.mn}^{-1}$      $n4 = 781$      $n3 = 887$      $n2 = 1\ 021$

$$\diamond \frac{P5}{P4} = \frac{10}{71,3} = 0,14 \quad \left(\frac{n5}{n4}\right)^3 = \left(\frac{482}{781}\right)^3 = 0,19$$

$$\diamond \frac{P4}{P3} = \frac{71,3}{106,5} = 0,67 \quad \left(\frac{n4}{n3}\right)^3 = \left(\frac{781}{887}\right)^3 = 0,68 \quad \Rightarrow \text{vrai}$$

$$\diamond \frac{P3}{P2} = \frac{106,5}{162,4} = 0,66 \quad \left(\frac{n3}{n2}\right)^3 = \left(\frac{887}{1021}\right)^3 = 0,66 \quad \Rightarrow \text{vrai}$$

**Conclusion** : Il est raisonnable d'admettre que près du point du nominal, la puissance est de la forme  $K.n^3$  ; pour les faibles vitesses, le couple de frottement semble perturber cette loi.

#### 4.1.2 Choix du moteur :

Le point P2 donne  $P = 162,4 \text{ kW}$  pour  $1\ 021 \text{ t.mn}^{-1}$

Avec un rendement estimé à 0,8 : P mécanique nécessaire =  $\frac{P}{\eta} = \frac{162,4}{0,8} = 203 \text{ kW}$

Soit un couple moteur correspondant de :  $C_m = \frac{203000}{\pi \cdot n} \cdot 30 = 1900 \text{ N.m}$

La puissance nominale d'un moteur 6 pôles, tournant à  $1\ 000 \text{ t.mn}^{-1}$

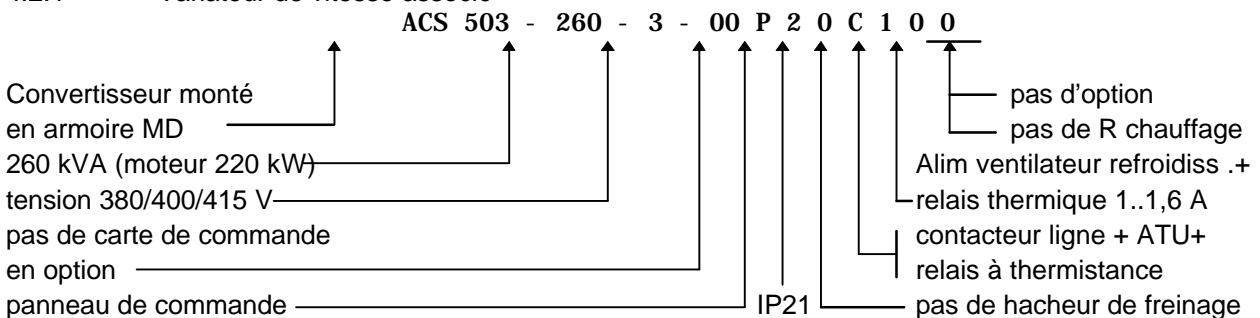
$$P_n \doteq \frac{\pi \cdot 1000}{30} \cdot 1900 = 199 \text{ kW}$$

**Choix** : moteur 220 kW - 987 t/mn - type 355LB - AF1S     $\Rightarrow$  voir feuille réponse 5

- $\diamond$  isolation classe F : isolants employés de qualité supérieure résistant à la chaleur
- $\diamond$  échauffement classe B : échauffement  $\Delta\theta = 80^\circ$  soit  $\theta_{\max} = 120^\circ\text{C}$
- $\diamond$  IP55 : étanche aux poussières et jet d'eau     $\Rightarrow$  conforme au c.d.c.f.

### 4.2 Commande du moteur

#### 4.2.1 Variateur de vitesse associé



Vérifications :

- $\diamond$  Le moteur de 220 kW sous 400 V     $\Rightarrow \eta = 0,95$  ,  $\cos \varphi = 0,87$

- ◇ d'où  $S_n = \frac{220}{0,95 \cdot 0,87} = 265 \text{ kVA}$  ce qui est très légèrement supérieur à 260 kVA
- ◇ mais le moteur est surdimensionné : 220 kW au lieu de 200 kW ; donc ça convient
- ◇ le freinage moteur n'est pas nécessaire

#### 4.2.2 Réglages du variateur

Il est nécessaire de lire la documentation annexe 10  
voir feuille réponse 6

#### 4.2.3 Définir le bornier variateur

il dépend de l'affectation par programmation des entrées sorties du variateur  
voir feuille réponse 7

#### 4.2.4 Schéma de l'armoire « Ventilateur »

voir schéma joint

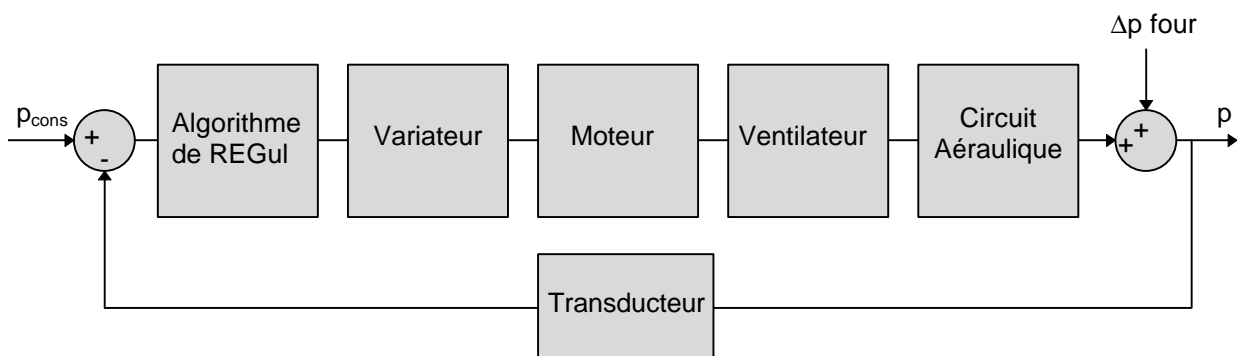
### 4.3 Régulation de la dépression

#### 4.3.1 Capteur de dépression

$0 / - 20,7 \text{ mmCE} \iff 4 / 20 \text{ mA}$

- ◇ La liaison est à circulation de courant non nul ; toute coupure est aussitôt détectée : sûreté
- ◇ cette liaison « basse impédance » est peu sensible aux tensions parasites de mode commun
- ◇ peut facilement se transformer en liaison « tension », par prélèvement de la chute de tension aux bornes d'une résistance .

#### 4.3.2 Schéma opérationnel de la régulation



1.  $p_{\text{cons}}$  : dépression désirée au niveau de l'entrée de l'électrofiltre : est fournie sous forme par exemple d'un mot automate
2.  $p$  : dépression réelle à l'entrée de l'électrofiltre ; est mesurée par le capteur de dépression à sortie 4/20 mA
3.  $\Delta p$  : variation de la dépression au niveau du four (atmosphérique, ouverture des portes, etc )
4. L'API compare «  $p_{\text{cons}}$  » et l'image de «  $p$  », puis traite l'erreur par un algorithme de régulation ; la sortie donne la consigne au variateur de vitesse ( $n_{\text{consigne}}$ )
5. Le moteur reçoit du variateur le doublon {U,f} qui fournit en sortie une vitesse «  $n_m$  »
6. Le ventilateur génère un débit d'air « Q » qui circule dans le circuit des fumées, créant en sortie une dépression relative par rapport à la pression atmosphérique
7. Noter qu'il existe en réalité dans le circuit aéraulique un retard pur de l'ordre de 12 s

## PARTIE B

### Question 1 : Alternateur

#### 1.1. Principe de fonctionnement de l'alternateur

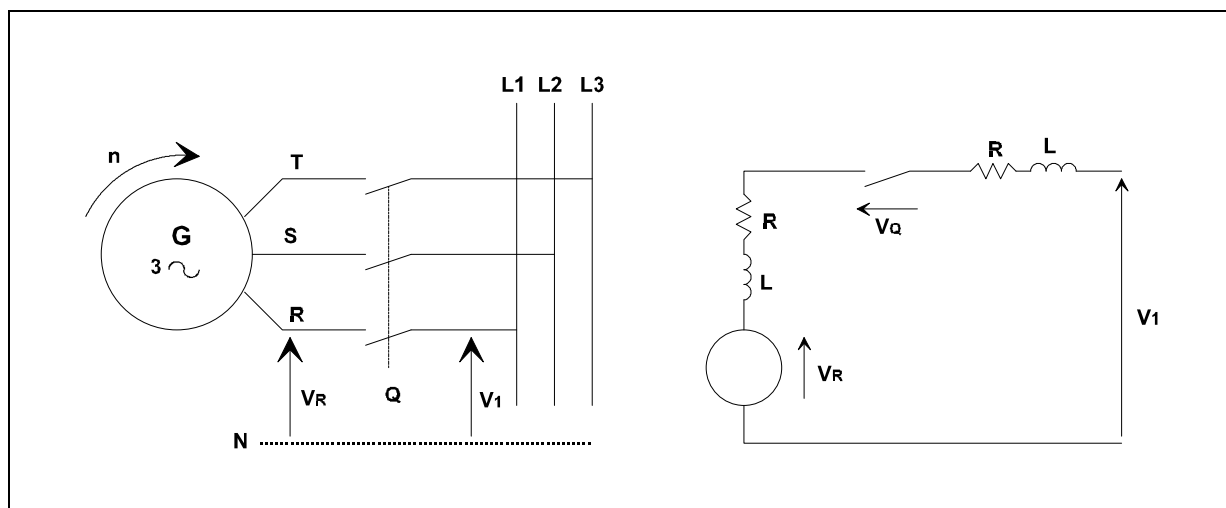
Excitation shunt : Le courant d'excitation est prélevé à partir de la tension de l'alternateur par l'intermédiaire d'un régulateur.

Excitation compound : En plus de l'excitation shunt comme ci-avant, l'excitation tient compte du courant induit délivré tel que :

$$\vec{\Phi}_{exc} = \vec{\Phi}_{shunt} + \vec{\Phi}_{ligne}$$

Ces alternateurs sans bagues ni balais possèdent une excitation tournante qui alimente la roue polaire de l'alternateur au travers des diodes tournantes. Le stator de l'excitatrice constitue l'élément de commande de l'excitation de l'alternateur.

#### 1.2. Conditions de couplage sur le réseau



$$V_Q(t) = V_R(t) - V_1(t)$$

Si on ferme Q :  $\rightarrow i(t) \Rightarrow V_Q(t) = \sum R i(t) + \sum L \frac{di(t)}{dt}$

Pour qu'à  $t_0$  = instant de fermeture donne  $i(t_0) = 0$ , il faut  $V_Q(t) = 0$ , soit couplage au passage par zéro.

Pour qu'à  $t > t_0$  donne  $i(t) = 0$ , il faut  $V_Q(t) = 0$ , soit :

- même amplitude,
- même fréquence,
- même déphasage des tensions.

Dans l'ordre de la vérification de l'égalité pour un couplage :

- Ordre des phases,
- Tensions entre phases (ou tension simple),
- Fréquence des tensions,
- Phase des tensions.

La parfaite égalité des fréquences pouvant conduire à une situation d'opposition de phase pour les tensions correspondantes, la méthode usuelle consiste à obtenir un battement des tensions aux bornes de l'interrupteur de couplage. Ce battement est obtenu à l'aide d'une très faible différence de fréquence entre

les deux systèmes, la fermeture de l'interrupteur de couplage s'effectuant lors du passage par zéro des tensions aux bornes de cet interrupteur.

### 1.3. Analyse d'un défaut de fonctionnement

**1.3.1.** Absence de courant dans le circuit d'excitation, donc circuit ouvert. Si on prend les alternateurs cités en annexe, donc à pont de diodes tournant :

- On peut rechercher une panne dans l'induit de l'alternateur auxiliaire : destruction du pont de diodes, des enroulements d'induit ;
- On peut aussi rechercher une panne dans le circuit d'excitation de l'alternateur auxiliaire ou dans le circuit de régulation, par exemple le dispositif de protection contre les courts-circuits.

Remarque : L'absence de flux rémanent entraîne l'absence d'excitation, ceci doit être rappelé.

**1.3.2.** Il est logique, pour la procédure de dépannage d'éviter tout démontage inutile. On vérifie d'abord ce qui est accessible :

- Présence d'un flux rémanent : tension à vide aux bornes de l'alternateur, sinon obligation d'un circuit électrique auxiliaire
- Présence d'un courant dans le circuit d'excitation de l'alternateur auxiliaire : absence = circuit ouvert, etc.
- Démontage de l'alternateur auxiliaire ; vérification de la continuité de l'induit tournant, du pont de diodes, du circuit d'excitation de l'alternateur principal, etc.

### 1.4. Dimensionnement d'un groupe électrogène

#### 1.4.1. Critères de choix d'un groupe électrogène :

Les principaux critères de choix d'un groupe électrogène sont :

- Le type d'utilisation (fonctionnement en service continu ou service de secours)
- La puissance (\*)
- La tension de service
- La tolérance sur U (kV) et F (Hz)
- La régulation U, N(vitesse de rotation du groupe).

#### (\*) Puissance :

- Définir la puissance nécessaire en régime établi :

- Faire le bilan de la puissance nécessaire P1 en kVA,
- Faire le bilan des puissances actives P2 en kW (attention au rendement des moteurs électriques ou utiliser le facteur de puissance global si celui-ci est connu)

⇒ La puissance de l'alternateur sera supérieure à P1,

⇒ La puissance du moteur Diesel sera supérieure à  $P2/0,8/\eta$  ( avec  $\eta$  : rendement de l'alternateur).

On rappelle que la puissance d'un groupe électrogène est donnée en kVA (puissance apparente) pour un facteur de puissance ( $\cos \phi = 0,8$ ). Un groupe est donc dimensionné pour fournir sous une tension triphasée de U<sub>kV</sub>, une puissance active  $P(\text{kW}) = P(\text{kVA}) \times 0,8$ .

- Définir la puissance nécessaire en régime transitoire :

Ce calcul est nécessaire lorsque l'installation comporte des moteurs importants (c'est à dire d'une puissance nominale supérieure à 10% de la puissance de l'installation en régime établi présentant de forts courants d'appel au démarrage).

- Impact de charge : le calcul à mener consiste à définir la puissance apparente de l'alternateur et la puissance active du moteur diesel pour rester dans les tolérances de tension et fréquence lors de l'impact de charge, c'est à dire dans les cas les plus défavorables :
- reprise globale de l'installation,
- magnétisation d'un transformateur,
- démarrage du plus gros moteur,
- démarrage aléatoire d'un moteur lorsque tout le reste de l'installation est déjà alimenté,
- démarrage du dernier moteur d'une cascade.

⇒ Le groupe à retenir devra satisfaire aux besoins en régime établi et en régime transitoire.

**Noter :**

Les groupes électrogènes et leur mise en oeuvre doivent répondre aux conditions fixées par les normes en vigueur :

- NF C 15-100 concernant les installations basse tension,
- UTE C 15-401 de Mai 1993 concernant l'installation des groupes moteurs thermiques/générateurs.

**1.4.2. Validité du groupe retenu**

a) Calcul de la puissance du groupe

• En régime établi	
$P1 = 500/0,8 = 625 \text{ kVA}$	$P2 = 500 \text{ kW}$
• En régime transitoire	
Le régime transitoire le plus défavorable est le moteur de pompe : $P = 55 \text{ kW}$ ; $\cos \varphi = 0,85$ ; $I_d/I_n = 7$ ; $\cos \varphi_d = 0,4$	
P'1 en kVA	P'2 en kW
Charge initiale	Charge initiale
$P = 500/0,8 = 625 \text{ kVA}$	$P = 500 \text{ kW}$
Impact	Impact
$I_n = 55 / (0,4 \times \sqrt{3} \times 0,85) = 93,4 \text{ A}$	$P = 452,97 \times \cos \varphi_d = 452,97 \times 0,4 = 237,18 \text{ kW}$
$P = 0,4 \times \sqrt{3} \times 93,4 \times 7 = 452,97 \text{ kVA}$	
$P'1 = 625 + 452,97 = 1077,97 \text{ kVA}$	$P'2 = 500 + 237,18 = 737,18 \text{ kW}$
Le groupe retenu doit satisfaire aux besoins en régime établi et en régime transitoire :	
$P_{gr} \geq P1$ et $P_{gr} \geq P'1/2$	$P_{gr} \geq P2/0,8$ et $P_{gr} \geq P'2/0,8$
$P_{gr} \geq 625 \text{ kVA}$ et $P_{gr} \geq 1077,97/2 = 539 \text{ kVA}$	$P_{gr} \geq 500/0,8 = 625 \text{ kVA}$ et $P_{gr} \geq 737,18/0,8 = 921,5 \text{ kW}$

b) Calcul de la chute de tension :

$$X\% = \frac{10 + 2 \times 17}{3} = 14,6\%$$

$$\Delta U\% = X\% \frac{S_d}{S_n} = 14,6 \frac{452,97}{1250} = 5,29\%$$

## 1.5. Perturbation moteur thermique fonctionnant en mode îloté.

### 1.5.1. Vitesse du groupe au bout du temps $\Delta t$

L'énergie fournie pendant la coupure viendra de l'énergie cinétique.

$$P \cdot \Delta t = \frac{1}{2} J (\omega_0^2 - \omega_f^2) \quad \text{avec : } \omega_0 \text{ vitesse du groupe au début de la perturbation}$$
$$\omega_f \text{ vitesse du groupe à la fin de la perturbation.}$$

$$\omega_f = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{2 \cdot P \cdot \Delta t}{J}} = \sqrt{157^2 - \frac{2 \times 500 \cdot 10^3 \times 0,2}{23}}$$

$$\omega_f = 126,3 \text{ rd / s} \quad \text{Soit} \quad n_f = \frac{60 \cdot \omega_f}{2\pi} \quad n_f = 1206 \text{ tr / mn}$$

L'hypothèse  $\Delta P = Cte$  serait valide si :

- la charge demandée (motrice) = Cte
- ou
- la charge électrique  $U \cdot I \approx Cte$

Or, si la vitesse diminue  $U$  diminue ( $E = kn$ )  
 $f$  diminue ( $f = kn$ )

Ce qui peut se traduire par :

- Une augmentation de  $I$  dans les circuits inductifs si  $E$  régulée et  $f$  diminuée :  $I \approx \frac{U}{L\omega}$  ;
- Un décrochage des contacteurs si  $U \leq 15\% U_n$ .

Donc cette hypothèse est douteuse si la variation de vitesse est trop importante.

**1.5.2.** La baisse de vitesse du groupe risque d'entraîner une chute de fréquence importante avec comme conséquence principale le déclenchement des circuits de commande électrique et donc l'arrêt du fonctionnement partiel ou total de l'usine.

**1.5.3.** Pour éviter cette anomalie, une solution consiste à placer un volant d'inertie tel qu'au bout de  $\Delta t_{limite}$  la chute de vitesse soit dans la limite autorisée.

Exemple : Volant ( masse = 1 000 kg, diamètre = 1 m)  $J = \frac{1}{2} MR^2 = 125 \text{ kg.m}^2$

$$\text{D'où } \omega_f = \sqrt{157^2 - \frac{2 \times 500 \cdot 10^3 \times 0,2}{23 + 125}} = 152,6 \text{ rd / s}$$

$$\Delta\omega = \omega_0 - \omega_f = 4,4 \text{ rd / s}$$

$$\text{D'où } \Delta f = 1,4 \text{ Hz}$$

Nous constatons dans ce cas que la variation de fréquence est réduite.

Il est néanmoins nécessaire d'envisager des sources d'énergie annexe de types onduleurs afin de protéger les systèmes informatiques et process, donc d'augmenter le taux de fiabilité .

## **Question 2 : Gestion de l'énergie**

### **2.1. EJP (Effacement jour de pointe)**

L'option tarifaire EJP « Effacement Jours de pointe » peut être offerte pour les installations dites bi-énergie.

Cette option prend en compte les 396 heures durant lesquelles, au cours d'un hiver, le prix de revient de l'électricité est le plus élevé. Ces heures sont étalées sur 22 jours aléatoires, consécutifs ou non, entre 7 heures du matin et 1 heure le lendemain matin, du 1<sup>er</sup> Novembre au 31 Mars.

Cet horaire n'est connu qu'une demi-heure à l'avance. L'effacement de puissance peut être automatique et synchrone avec le changement de période tarifaire grâce à la mise à disposition de l'utilisateur, par le distributeur d'énergie électrique, de deux contacts du relais récepteur de télécommande. Ces contacts commandent l'un la signalisation de préavis, l'autre l'asservissement.

Remarque : Durant ces 22 jours, le coût du kWh est très élevé. L'avantage économique de l'option EJP (au-delà de 40 kVA) est tel qu'il couvre rapidement l'acquisition d'un groupe électrogène ou d'une centrale d'énergie.

### **2.2. Grafctet de fonctionnement des groupes**

Voir une interprétation page suivante.

## **Question 3 : automatisation des fonctions**

### **3.1. Analyse fonctionnelle du bloc fonction « coupleur »**

Le coupleur assure deux fonctions séparées :

- la mesure de l'identité des modules tensions et de leur stabilité,
- la mesure du glissement et de la concordance de phase.

- Alimentation

Trois transformateurs T1, T2 et T3 sont connectés aux sources à coupler : T1 et T3 sont connectés sur le jeu de barres, T2 sur l'alternateur. Le transformateur T3 fournit la puissance nécessaire à l'alimentation continue générale, T1 et T2 les tensions de mesures.

- Mesure de l'identité des modules tension

Elle est effectuée par une balance volumétrique délivrant une information lorsque la tension de la source est égale à la tension du jeu de barres, ceci avec une précision déterminée par le potentiomètre « % ECART TENSION ». Quand cette information est présente, elle commande l'extinction de la DEL « INTERDICTION » ainsi que le départ d'une temporisation réglable par le potentiomètre temporisation.

La temporisation écoulée, un ordre est envoyé sur l'opérateur « & »(B) et la DEL « AUTORISATION » s'allume. La première condition pour autoriser le couplage est réalisée.

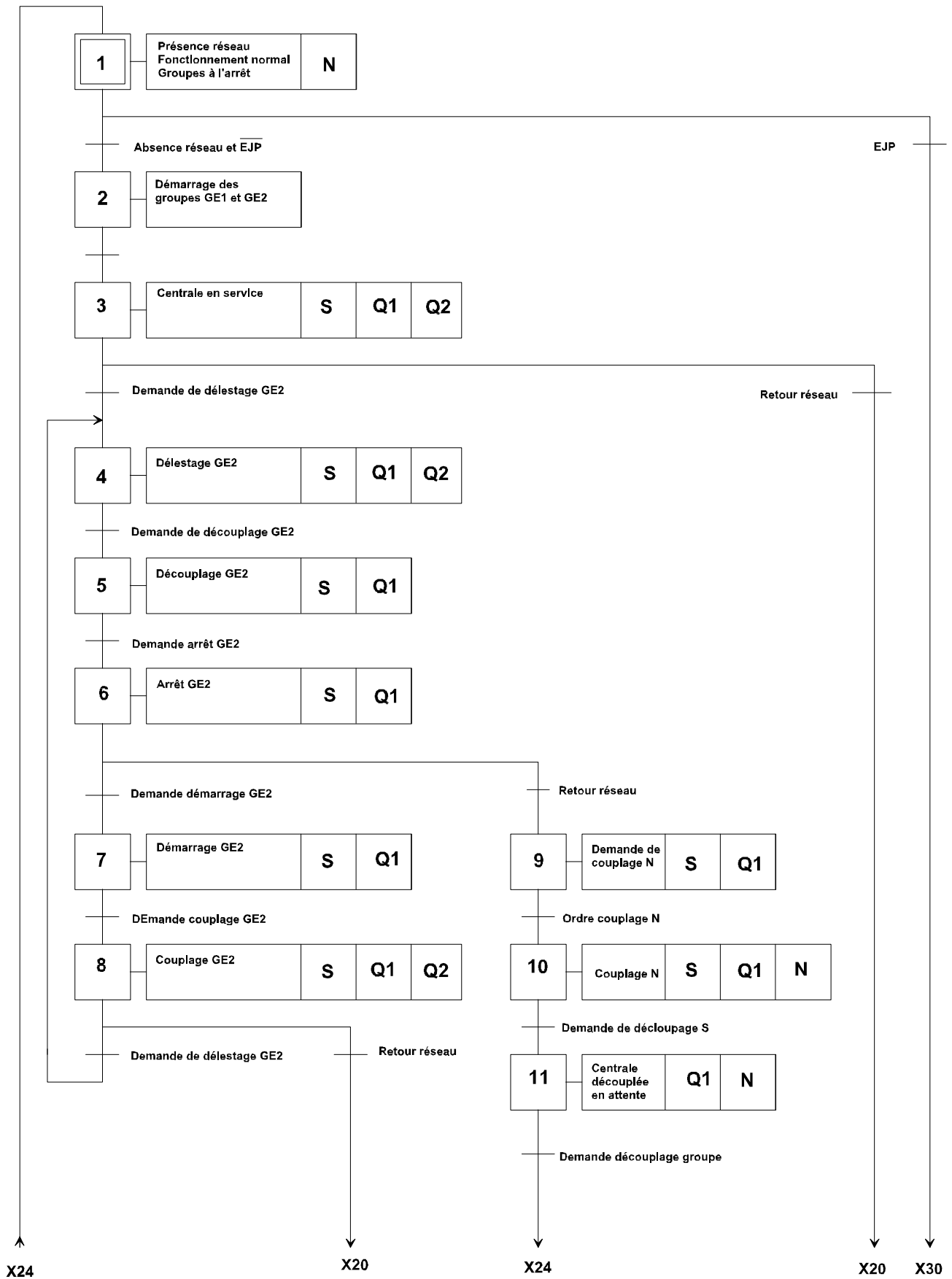
Si la tension de la source à coupler n'est pas stable, tout écart en dehors des limites de la fourchette d'autorisation remet la temporisation à zéro et le couplage est interdit.

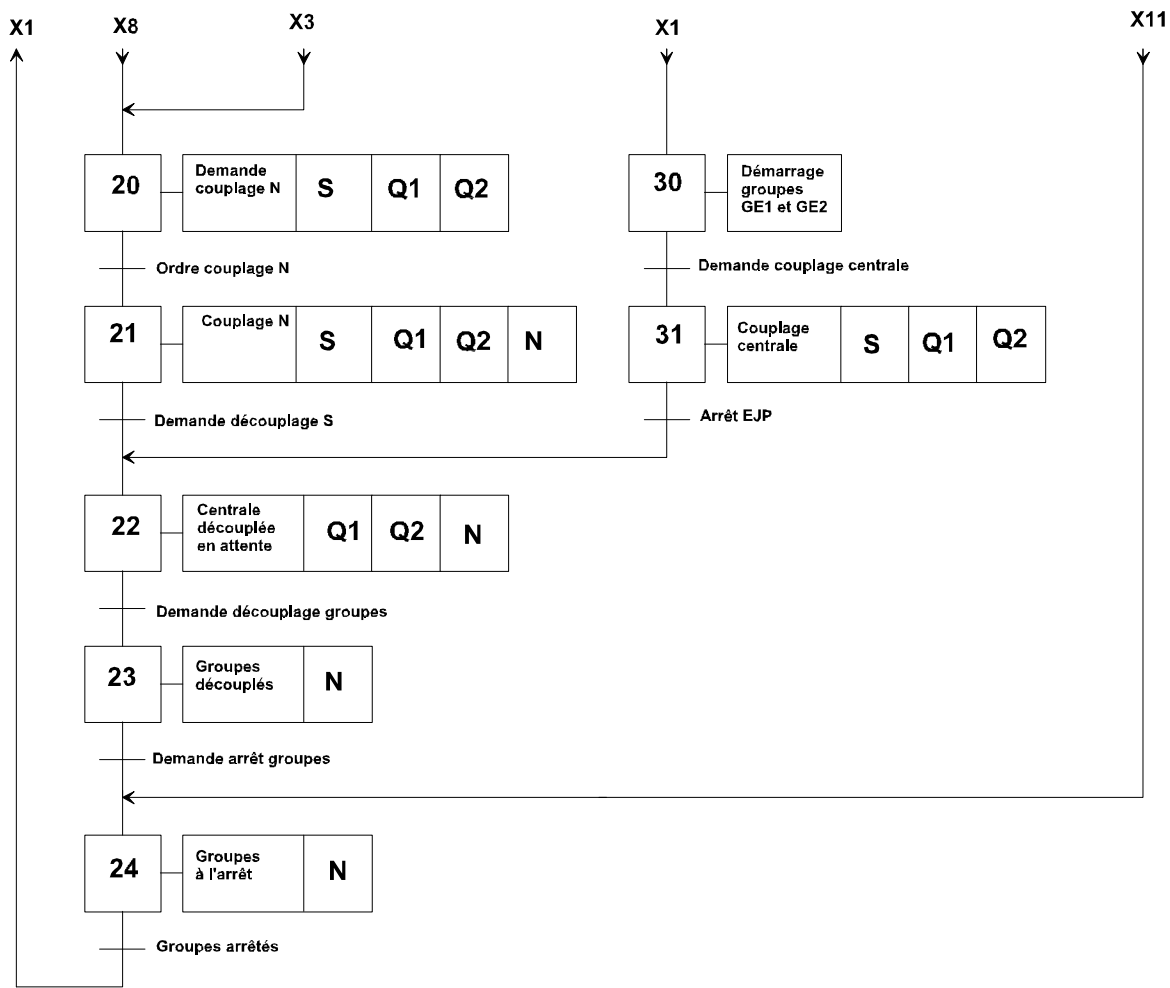
- Mesure du glissement et de la concordance de phase

L'opérateur « & »(A) délivre une information proportionnelle à la différence des phases des tensions à coupler. Cette information commande la DEL « BATTEMENT » et est ensuite intégrée dans le circuit qui détecte la concordance des phases. Ce dernier délivre un ordre lorsque le glissement est inférieur à une valeur affichée par le potentiomètre « GLISSEMENT » et que d'autre part les sources à coupler sont en phase. A ce moment, la dernière condition pour autoriser le couplage est réalisée.

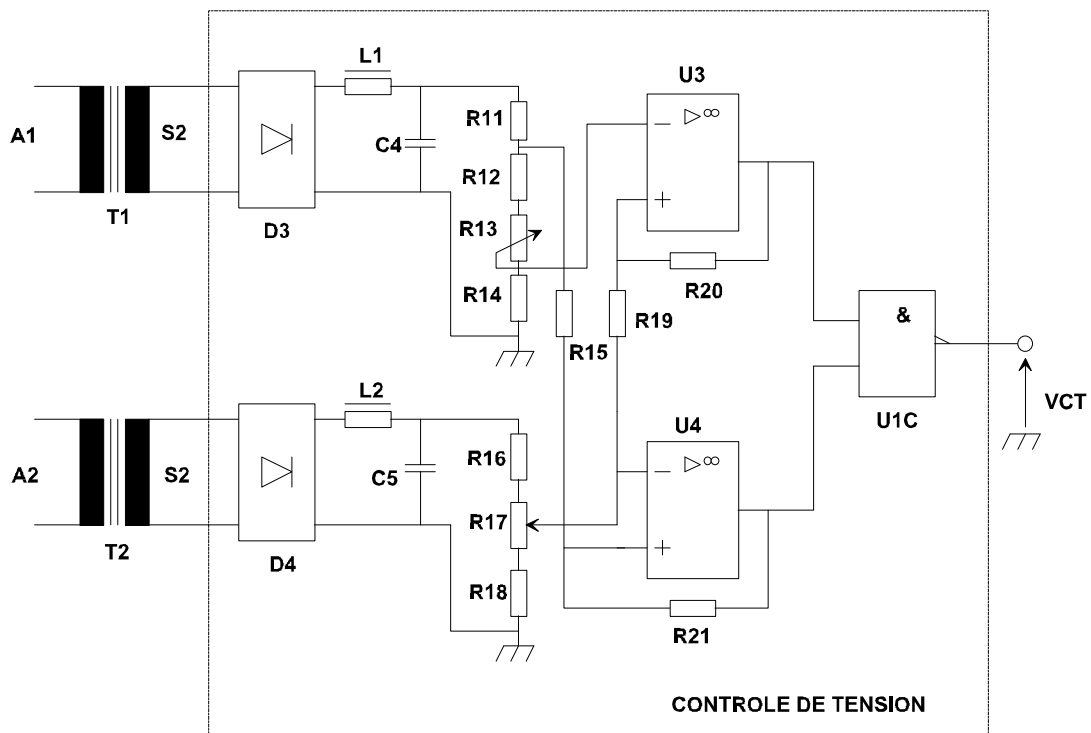
L'opérateur « & »(B) délivre alors un signal à sa sortie qui commande le relais donnant l'ordre de couplage. La DEL « COUPLAGE » s'allume.

### **Grafctet de fonctionnement des groupes (Réponse question 2.2)**

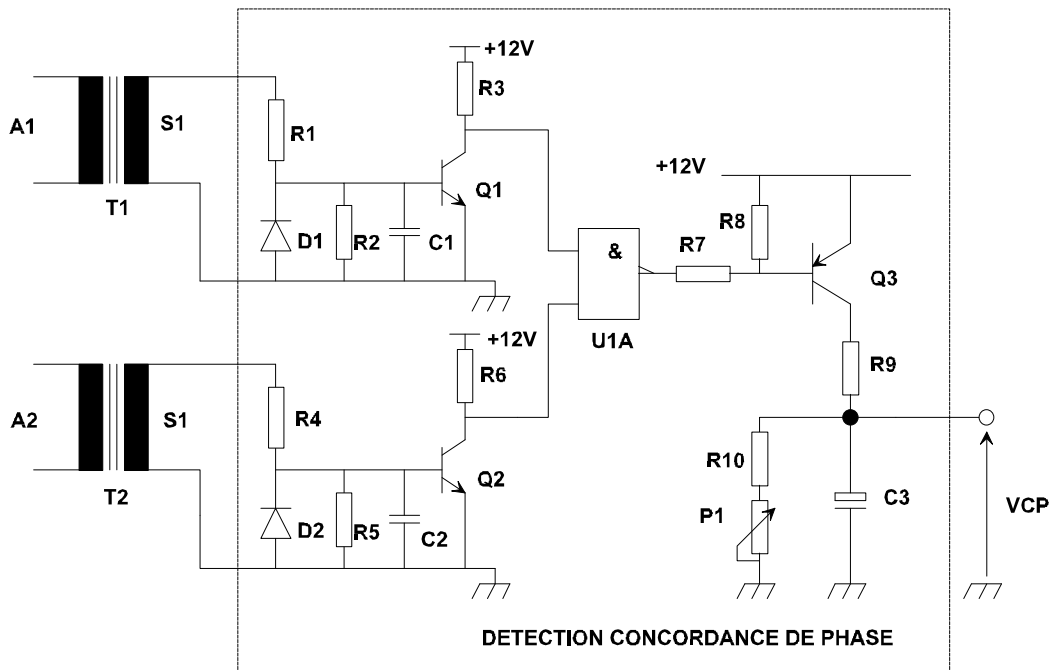




### 3.2. Schéma structurel de principe de la fonction « CONTROLE TENSION »



### 3.3. Schéma structurel de principe de la fonction « DETECTION CONCORDANCE DE PHASE »

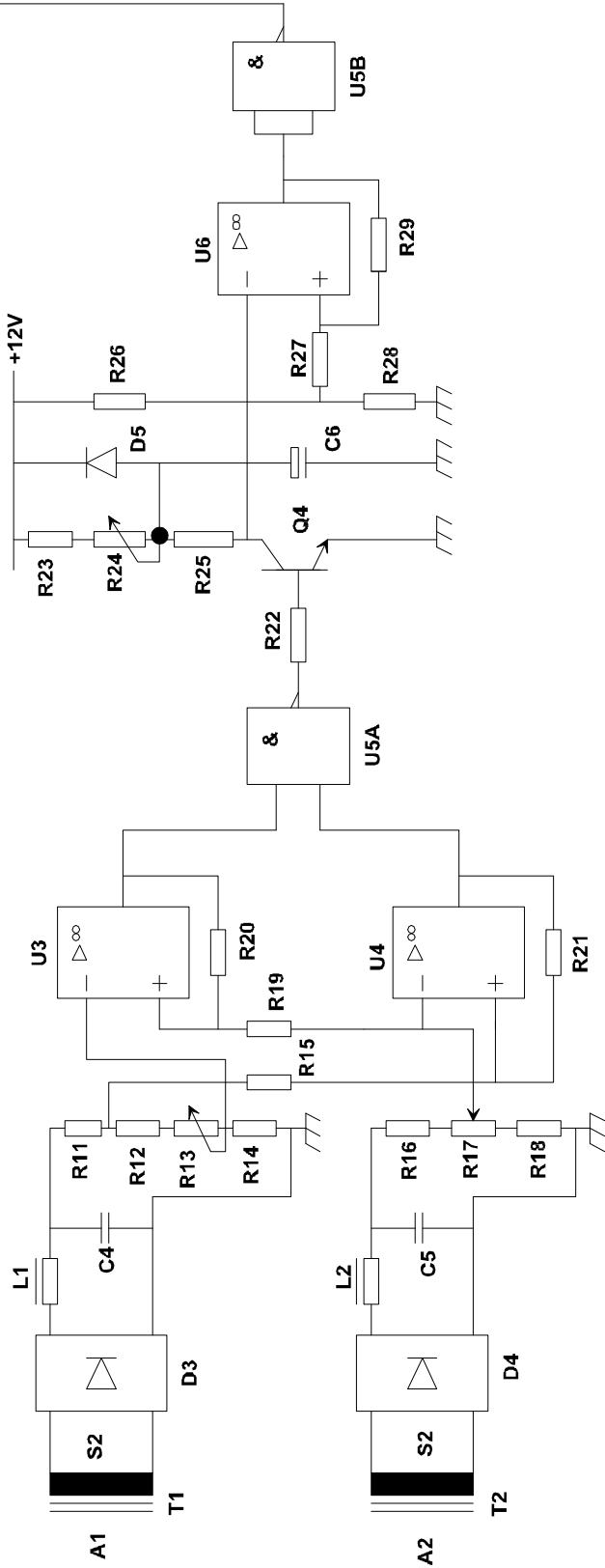
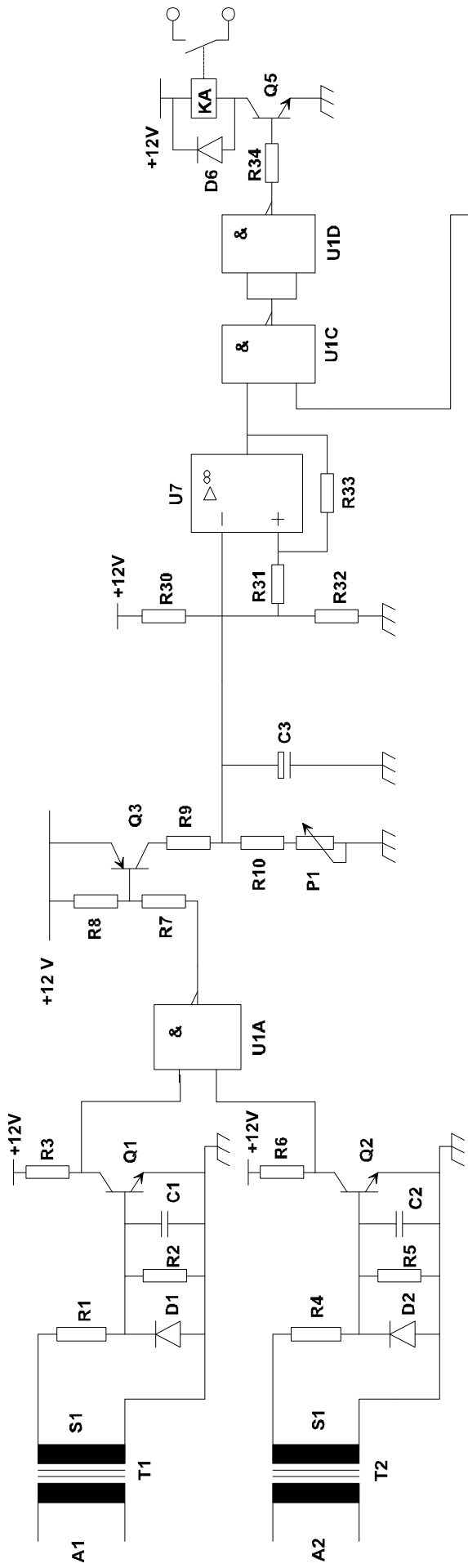


### 3.4. Schéma structurel global du bloc fonction « COUPLEUR » voir schéma page suivante.

### 3.5. Technique Numérique

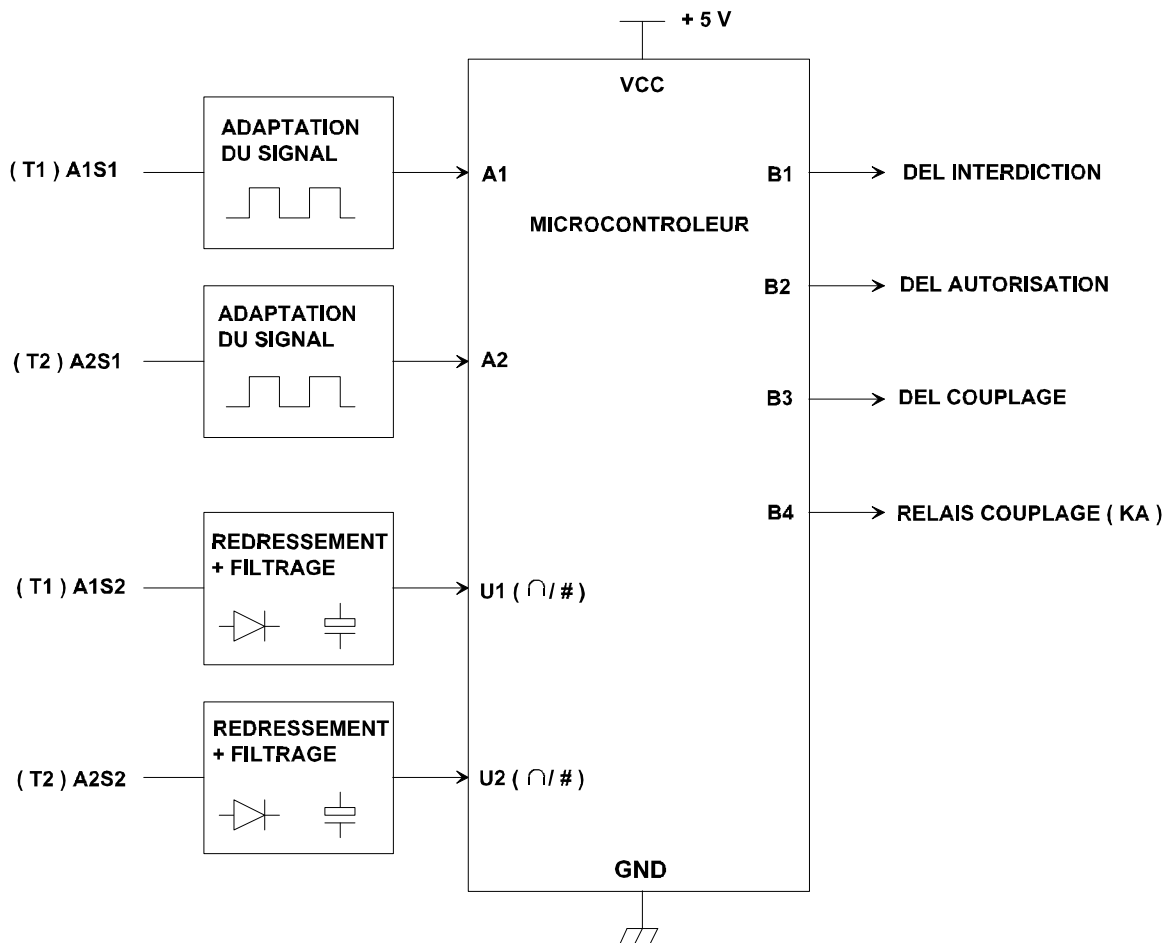
#### 3.5.1. Mérites respectifs de l'analogique et du numérique

- Avantages à l'analogique
  - rapidité,
  - précision,
  - simplicité de structure.
- Avantages au numérique programmé
  - sensibilité moindre aux phénomènes de dérive et bruit,
  - coût moindre pour accroissement des performances car « base matérielle transposable »,
  - facilité de communication avec son environnement (liaisons normalisées),
  - intégration possible des fonctions d'autodiagnostic de process et donc de télémaintenance par les voies de communication.



### 3.5.2. Solution utilisant une technique numérique programmée

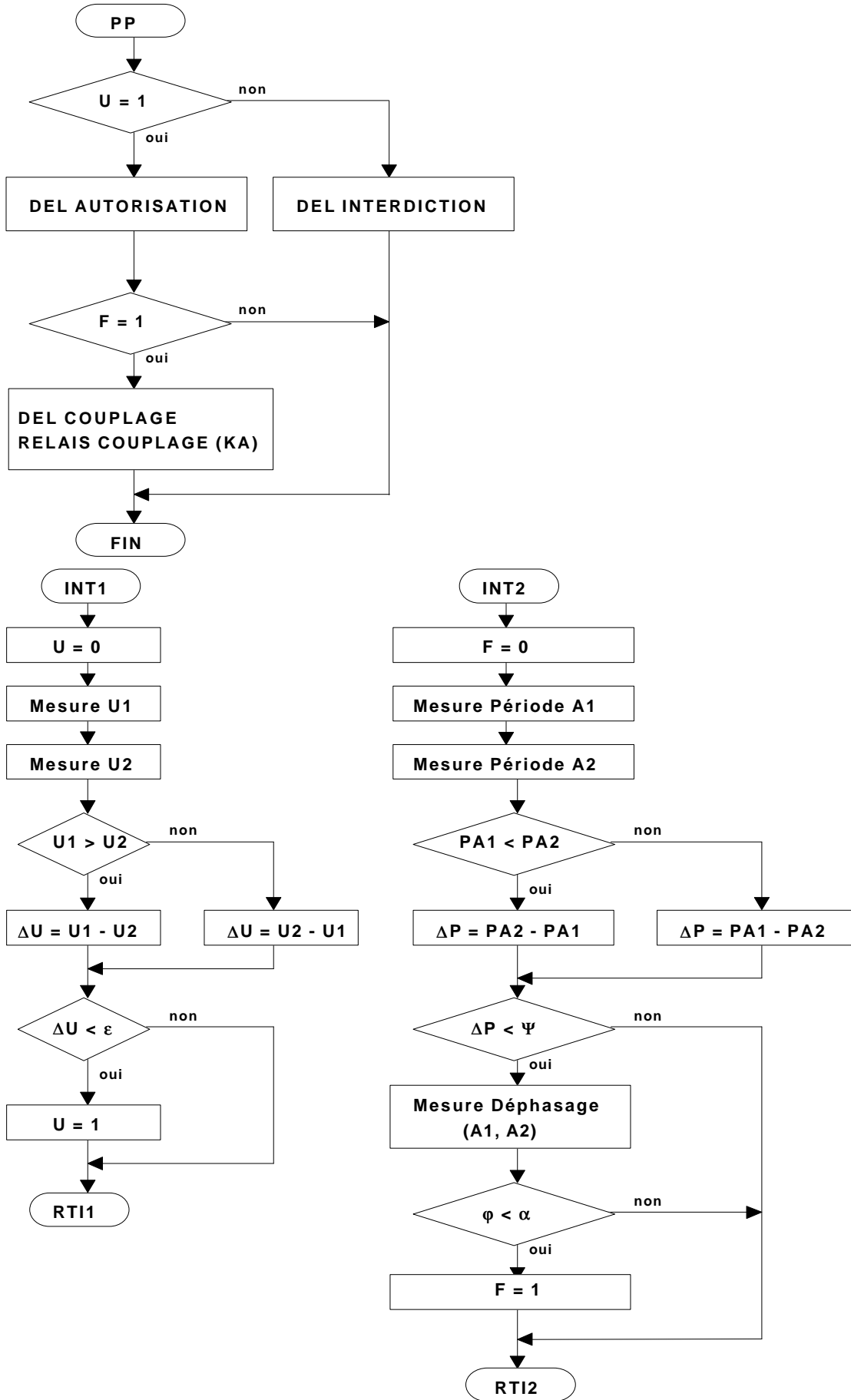
#### a) Schéma fonctionnel simplifié



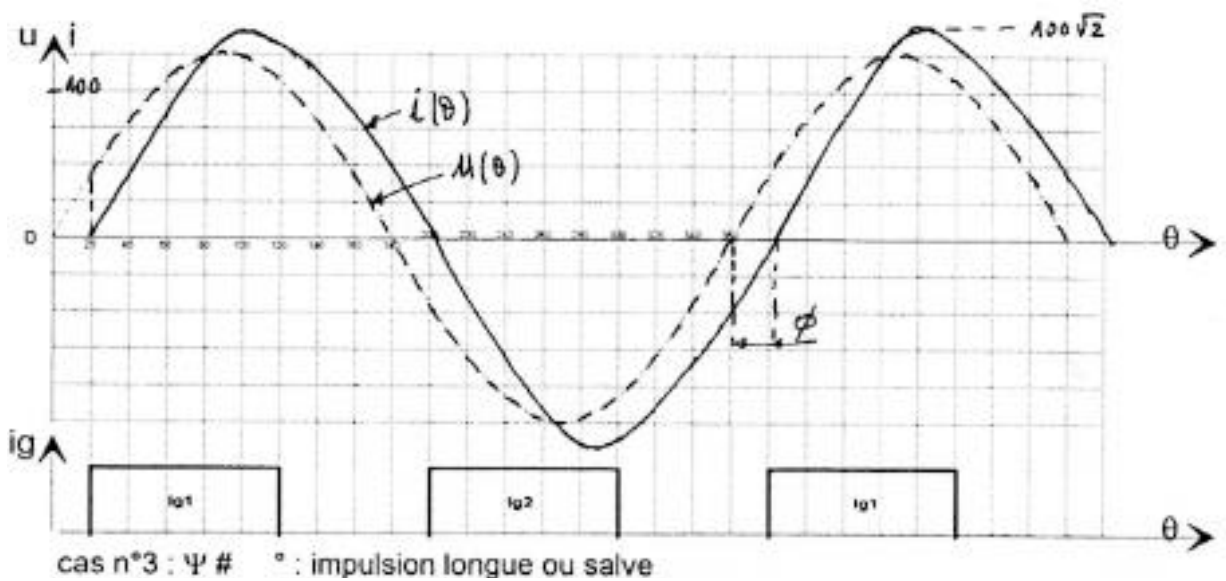
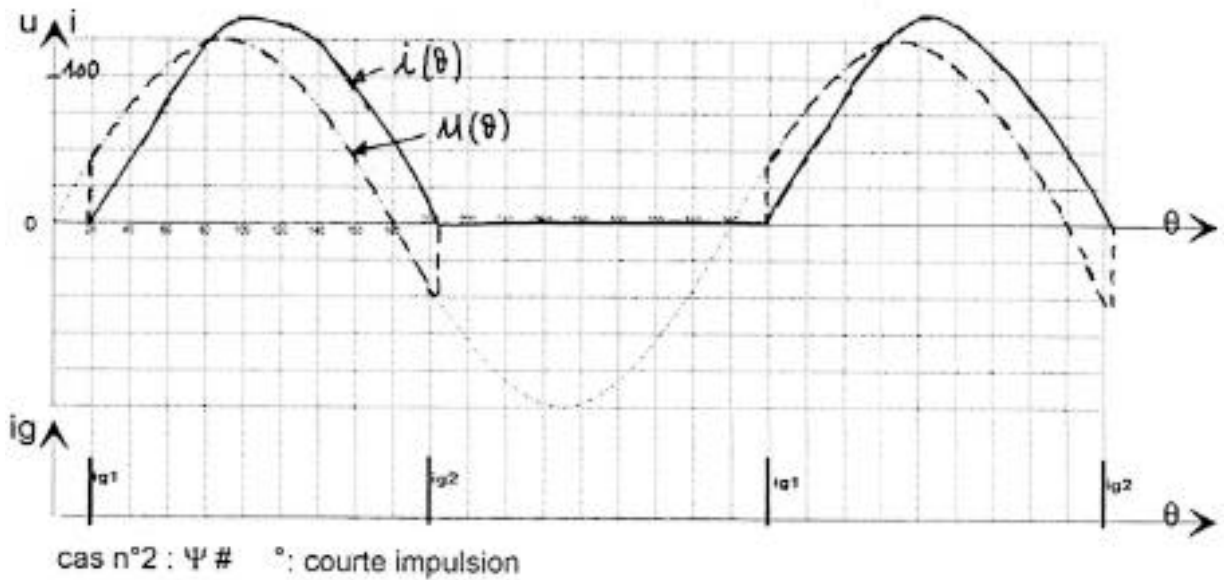
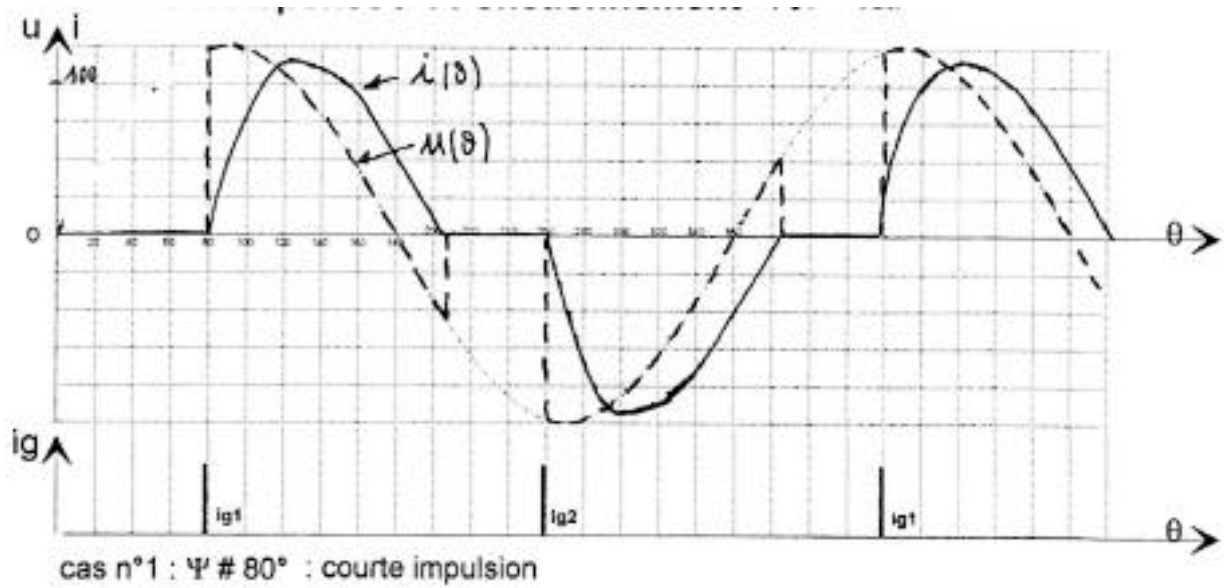
#### b) Composants utilisés

- Microcontrôleur à architecture RISC (Reduced Instruction Set Computer)
  - Fréquence 20 MHz;
  - Mémoires RAM, EEPROM ;
  - Timers ;
  - Interruptions externes ;
  - Ports Entrées/Sorties ;
  - Convertisseurs A/D ;
  - Ports série (SPI, I2C, SCI).
- Circuits adaptateurs de signaux d'entrée.
- Circuits adaptateurs de signaux de sortie (Relais, DEL,...).

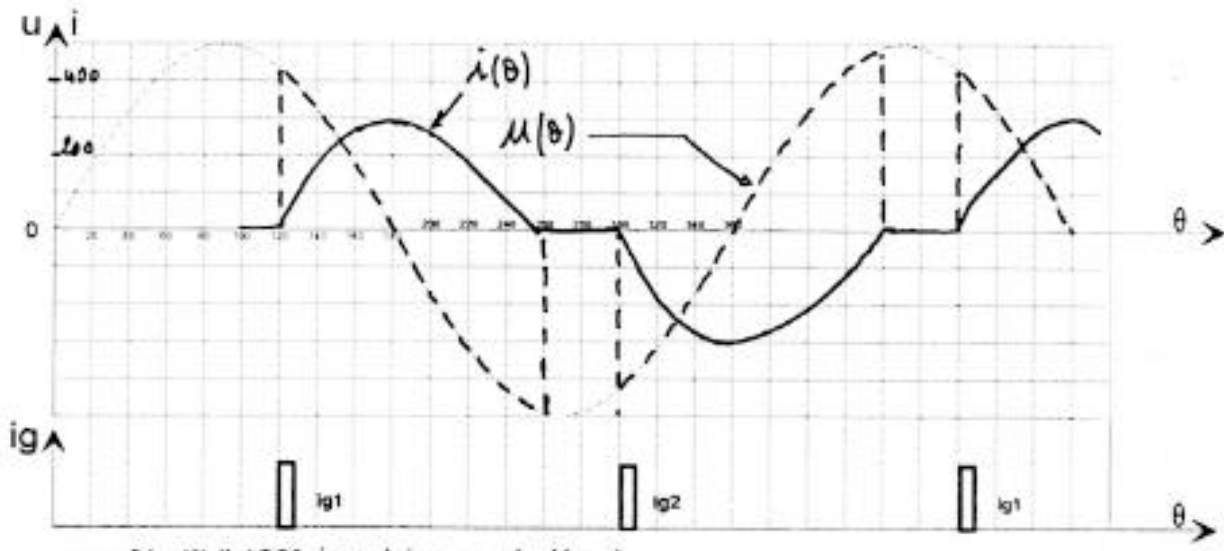
c) Exemples d'algorigrammes



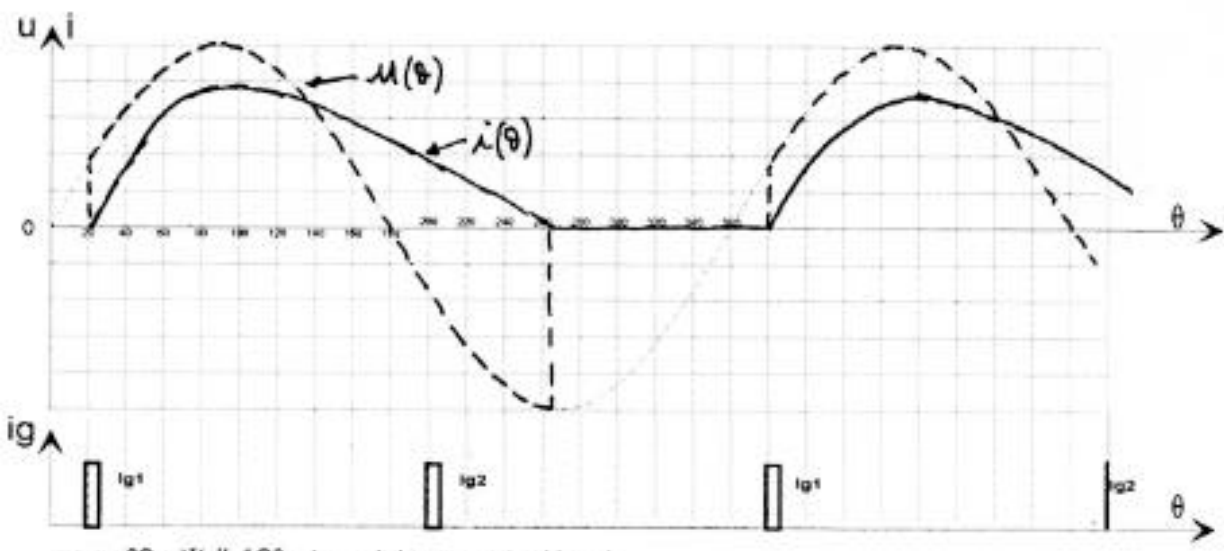
Question 2.3.2 - Document Réponse 1 : Fonctionnement Normal



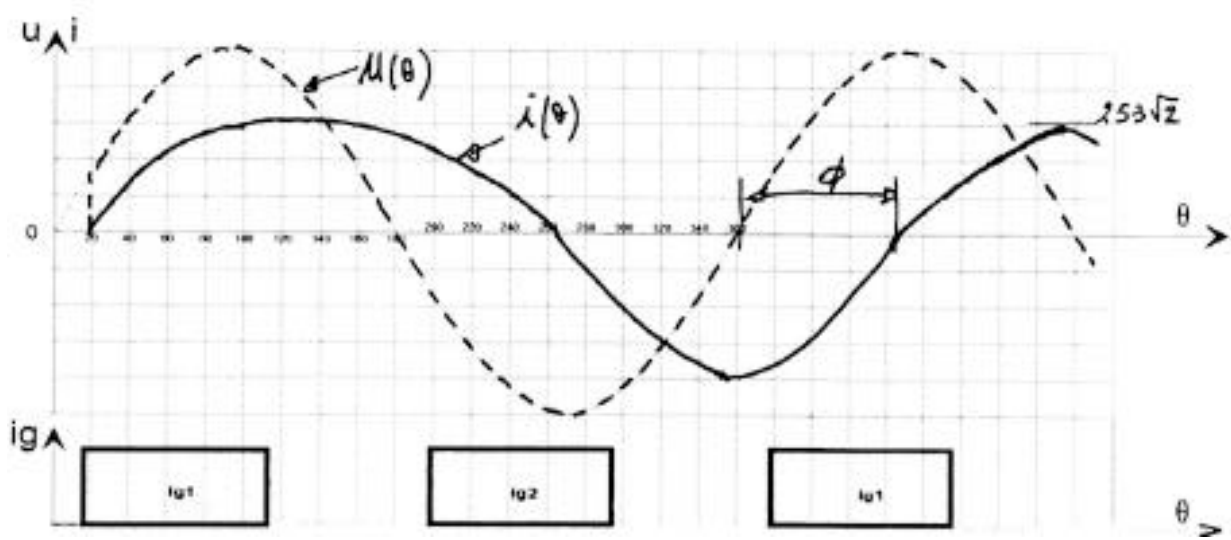
Question 2.3.3 - Document Réponse 2 : Fonctionnement en Court-Circuit



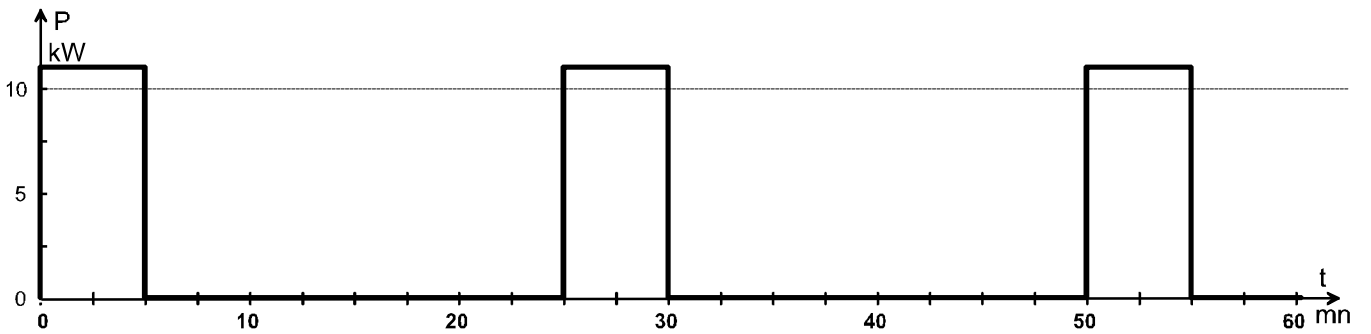
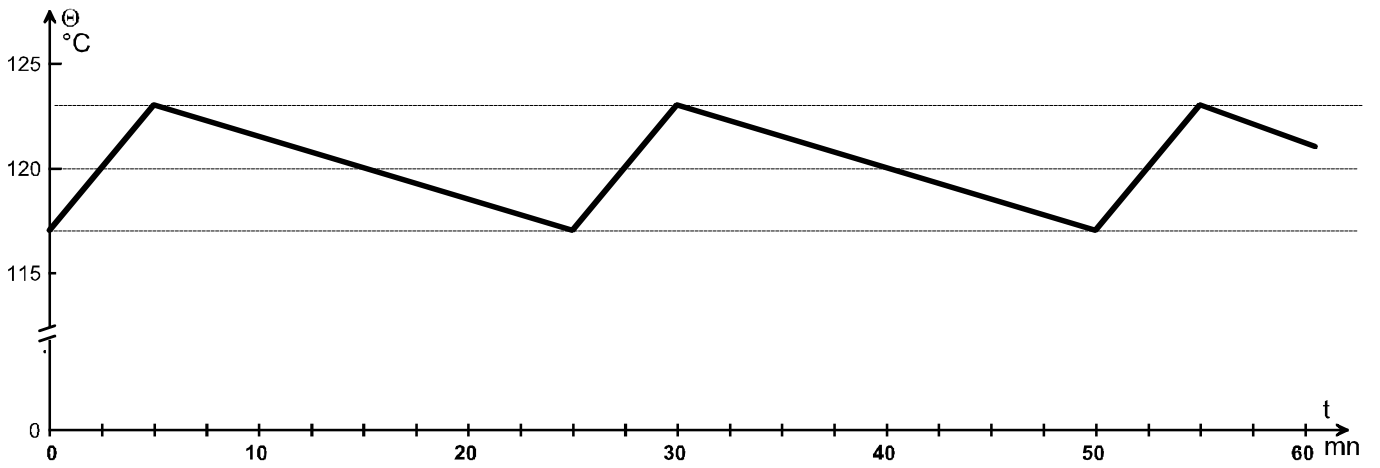
cas n°1 :  $\Psi \# 120^\circ$ : impulsion courte (1ms)



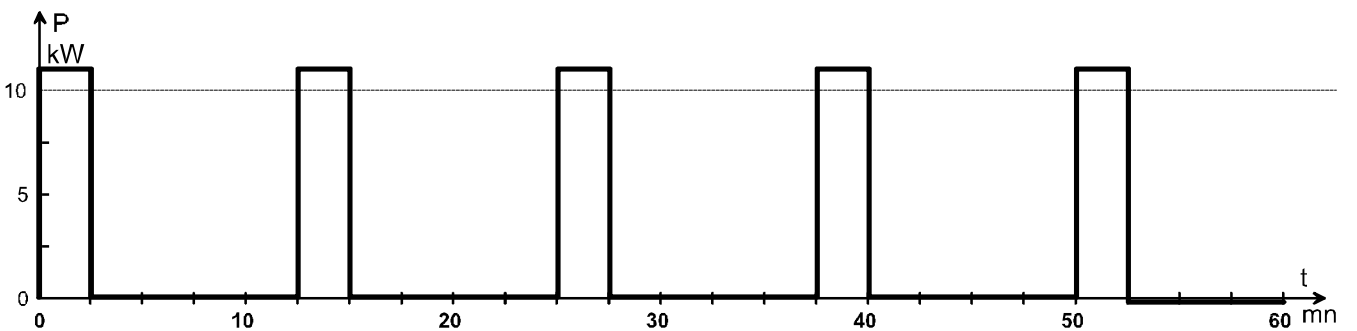
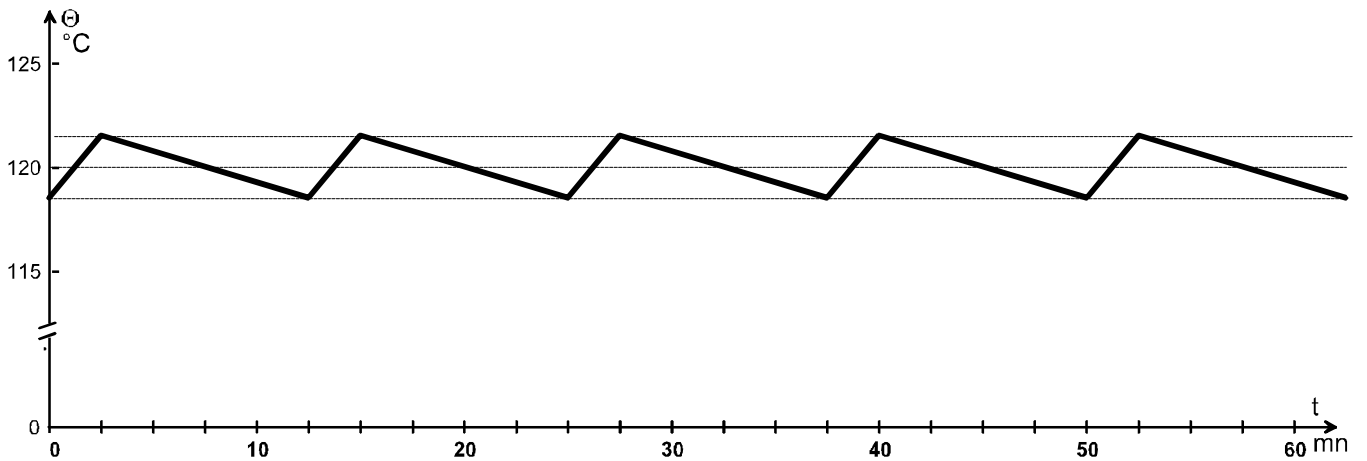
cas n°2 :  $\Psi \# 18^\circ$ : impulsion courte (1ms)



**CORRIGE -- Document Réponse 3 : Question 3.2.1 (thermostat réglé à 120°C +/- 3°)**

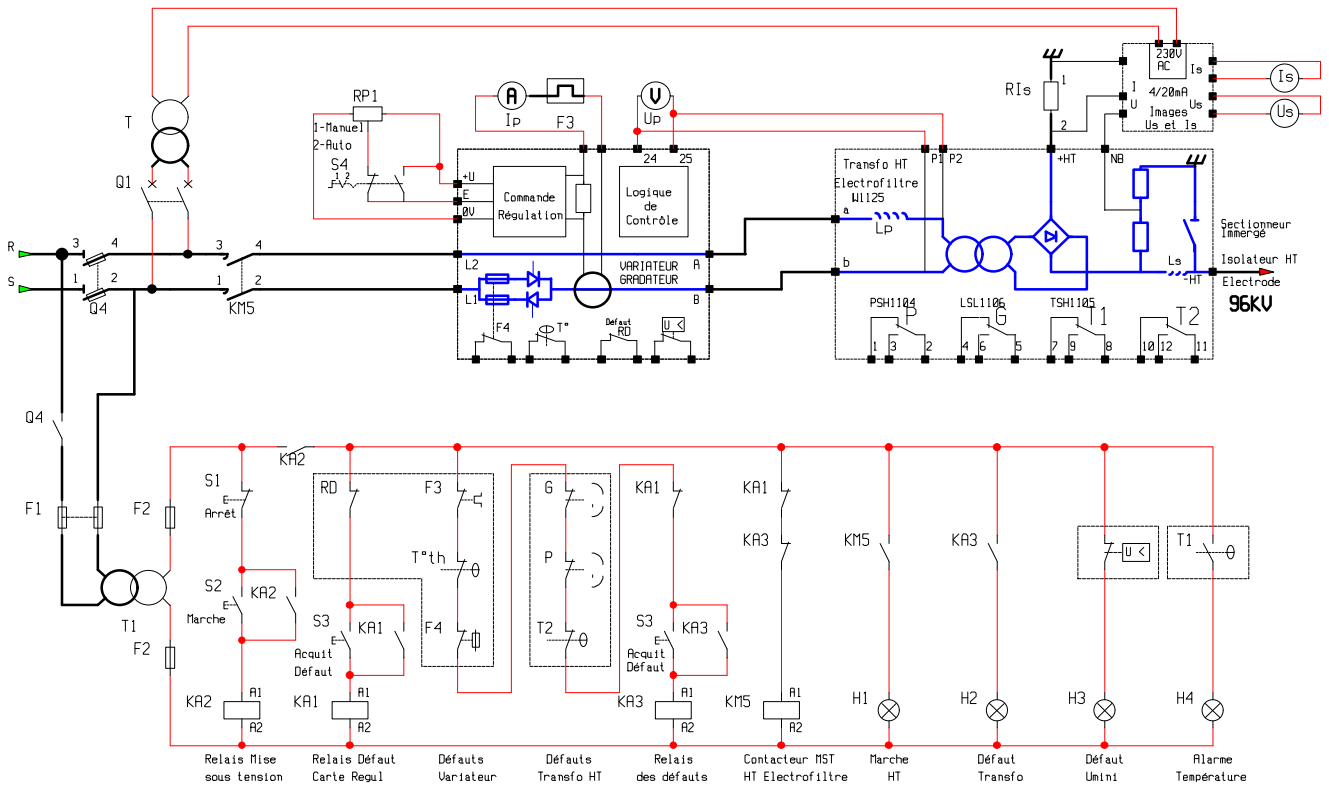


**CORRIGE -- Document Réponse 4 : Question 3.2.2 (thermostat réglé à 120°C +/- 1,5°)**



Menu	Groupe	PARAMETRES	Réglage Usine	Votre Réglage	Commentaires	
EX PL OI TA TI ON	Don nées	A Langue	English	Français	---	
		B Application	Usine	Usine	---	
		C Récup prog B	Non	Non	Pas de micro-programme chargé	
		D Tension Réseau	400	400	Tension nominale du réseau	
	Géné rales	E Nb pôles moteur	4	6	Nombre de pôles du moteur	
		F Inom moteur (IM)	480	384	Intensité nominale du moteur	
		G Pnom moteur (PM)	250	220	Puissance nominale du moteur	
		H Cos phi moteur	0,83	0,87	cos phi nominal du moteur	
10  C h o i x  C O M M A N D E S	11	1 Validation Marche	Oui	ENT LOG 3	La marche est validée par l'entrée logique 3 (0V = arrêt ; +2;	
		2 Sél R1/R2 ext	Local	LOCAL	La sélection de la commande de variateur dépend de ext R1	
		3 Attr EL ext R1	EL 1,2	ENT LOG 1	Sélection de la référence de vitesse 1 par l'entrée logique 1	
		4 Attr EL ext R2	Pas select	ENT LOG 2	Sélection de la référence de vitesse 2 par l'entrée logique 2	
		5 Sel ref1 ext	Ent ana1	ENT ANA 1	Entrée analogique de commande sélectionnée si ENT LOG	
		6 Sel ref2 ext	Local	ENT ANA 2	Entrée analogique de commande sélectionnée si ENT LOG	
		7 Sel vitesse constante	Ent log 3,4	PAS SELECT	Pas besoin de vitesse constante	
		8 Sens de rotation	Inv par EL	AVANT	Sens de rotation unique : avant	
		9 Entrée réarm défaut	Pas Select	ENT LOG 5	Réarmement variateur	
		10 Sel acc/déc 1 ou 2	Ent Log6	ENT LOG 6	Choix Rampe acc/déc selon état de cette entrée : (0V : acc/	
		11 Verrouillage program	Local	LOCAL	Le programme sera verrouillé selon paramètre 23	
	12	Ent ana	1 Filtre ent ana1	0,1s	0,1s	Léger filtrage
			2 Mini ent ana1	0V/0mA	0V/0mA	Tension de commande appliquée 0 - 10V (potentiomètre)
			3 Invers ent ana1	Non	Non	pas d'inversion (maxi vitesse si 0V)
			4 Filtre ent ana2	0,1s	0,1	Léger filtrage
			5 Mini ent ana2	0V/mA	2V/4mA	liaison 4-20mA ; consigne délivrée par l'API
			6 Invers ent ana2	Non	non	pas d'inversion du sens de rotation
	13	Ech ent ana	1 Mini ref ext1	0Hz	0	limites d'excursion de la fréquence pour la consigne en mod
			2 Maxi ref ext1	50Hz	55	réglage 0/10V)
			3 Mini ref ext2	0Hz	22	limites d'excursion de la fréquence pour la consigne en mod
			4 Maxi ref ext2	50Hz	55	(API réglage 4-20mA : 4mA = 22Hz, 20mA = 55Hz)
	14	Attr sort log ana	1 Fct sortie ana1	F sortie	F sortie	indiquer fréquence image de la vitesse : sortie 0-20mA
			2 Fct sortie ana2	I sortie	I sortie	indiquer image de l'intensité moteur : sortie 0-20mA
3 Fct relais 1			Prêt	Prêt	affection des relais inchangées	
4 Fct relais 2			Marche	Marche	****	
5 Fct relais 3			Défaut	Défaut	****	
10	Sort Ana	1 Filtre sort ana1	2s	2s	filtrage (constante de temps)	
		2 Mini sort ana1	0V/0mA	0V/0mA	Sorties 0 - 20mA pour mesure vitesse ( fréquence)	
		3 Inv sort ana1	Non	Non		
		4 Filtre sort ana2	2s	2s		
		5 Mini sort ana2	0V/0mA	0V/0mA	" " intensité	
		6 Inv sort ana2	Non	Non		
16	Echel	1 Ech sortie ana1	100%	100%	pleine échelle	
		2 Ech sortie ana2	100%	100%	" "	
20  C o n f g	acc/ déc	1 type rampe acc/déc	Linéaire	Linéaire	rampe d'accélération et décélération	
		2 Temps accéléré 1	3s	100	rampe d'accélération et décélération en mode manuel	
		3 Temps décélé 1	3s	100	****	
		4 Temps accéléré 2	60s	0,1	pas de rampe ou mini en mode automatique : le bloc régulateur	
		5 Temps décélé 2	60s	0,1	l'intégration	
		6 Temps accél ref 2	60s	60s	xxxxxxxxxxxx	
		7 Temps décél ref 2	60s	60s	xxxxxxxxxxxx	

V a r i a t e u r	22 Limit fréq courant	1 Fréquence mini	0Hz	0	xxxxxxxxxxxx	
		2 Fréquence maxi	50Hz	55Hz	xxxxxxxxxxxx	
		3 I <sub>max</sub> de sortie	1,5 I <sub>n</sub>	<b>1,3</b>	<b>Courant de sortie limité à 500A soit 500/384#1,3</b>	
		4 Plage fréq max	120Hz	<b>60</b>	<b>on peut se limiter à 60Hz</b>	
	23 Sauts fréq	1 Sélect saut de fréq	Non	<b>Oui</b>	<b>Il faut effectuer un saut de fréquence pour éviter le phénomène</b>	
		2 Fréq basse SF1	0Hz	<b>15</b>	<b>éviter zone 300 à 340 t/mn, soit environ 15 et 17Hz</b>	
		3 Fréq haute SF1	0Hz	<b>17</b>	<b>****</b>	
		4 Fréq basse SF2	0Hz	<b>0</b>	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
		5 Fréq haute SF2	0Hz	<b>0</b>	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	
	Contr moteur	27	1 Fréq de découpage	3.0kHz	<b>3.0kHz</b>	fréquence de découpage
			2 U <sub>maxi</sub> SAMI	100%*U <sub>n</sub>	<b>100%*U<sub>n</sub></b>	Tension sortie du fondamental
3 Puissance Moteur			Normal	<b>Normal</b>	Dimensionnement moteur par rapport au variateur	
4 Rapport U/f			Linéaire	<b>Quadratique</b>	Relation tension-fréquence du convertisseur	
5 Point affaib champ			50Hz	<b>50Hz</b>	Fréquence à partir de laquelle la tension reste constante	
6 Choix comp RI			Non	Non	pas de compensation de la chute de tension statorique	
7 Ref U RI man			0,01*U <sub>n</sub>	0,01*U <sub>n</sub>	" "	
8 Ref F RI man			0Hz	0Hz	" "	
9 Comp glissement			Non	<b>oui</b>	Compensation du glissement moteur	
10 Glissement			4%	<b>1,30%</b>	Valeur du glissement nominal : 987t/mn => g=1,3	
11 Régul Ucc			oui	OUI	Réguler la tension continue	



CORRIGE Question 2.6

Schéma de Principe de l'armoire de commande HT

18/12/95 Nov. fl.

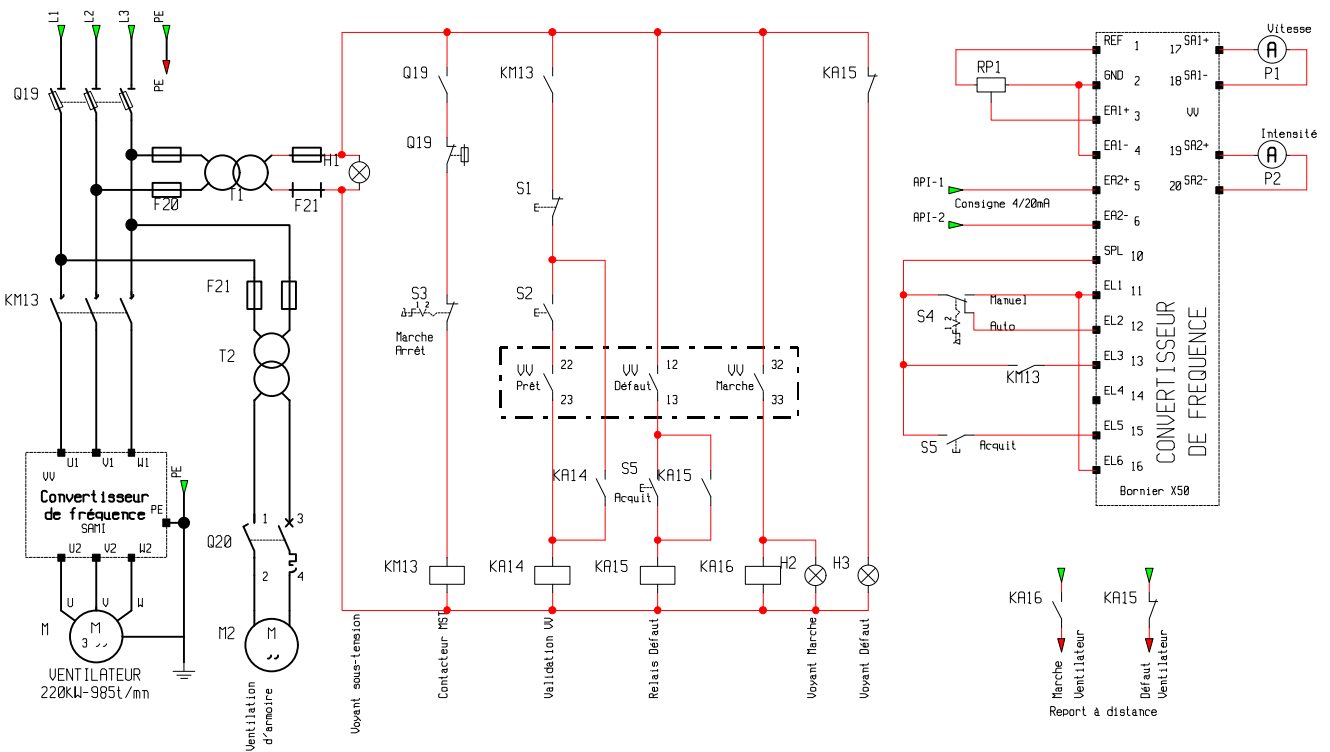
Valorys Alim HT Electrofiltre  
CO1 TRAITEMENT DES FUMÉES

LE DANTEC F.

95-08-059

BZ22-95-14

A 003



CORRIGE - Question 4.2.4

Valorys VENTILATEUR DE TIRAGE  
CO1 TRAITEMENT DES FUMÉES

LE DANTEC Félix

95-08-069

BZ22-95-14

A 004