

# AGRÉGATION

## SESSION 2006

### CONCOURS INTERNE

#### Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE

Option B : ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

#### ÉTUDE D'UN SYSTÈME INDUSTRIEL

DURÉE : 8 HEURES, COEFFICIENT : 1

*Aucun document n'est autorisé.*

*Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999)  
Convertisseur en Euro autorisé*

### ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Ce sujet comporte 3 dossiers distincts :

📁 Dossier de présentation, texte du sujet avec le travail demandé	16 pages
📁 Documents réponses N°1 à 5	5 pages
📁 Documents annexes	9 pages

Ce sujet comporte trois parties indépendantes :

- Partie **A** : Étude du fonctionnement de la station (barème indicatif 100 points sur 200).
- Partie **B** : Étude de l'alimentation électrique de la station (barème indicatif 70 points sur 200).
- Partie **C** : Planification des travaux de modification (barème indicatif 30 points sur 200).

#### **Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.**

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront chaque partie, le jury préférant une réflexion d'ensemble de la partie abordée à un éparpillement des réponses.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées. Chaque question est identifiée par une police **gras** et repérées par un numéro.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit :

- après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

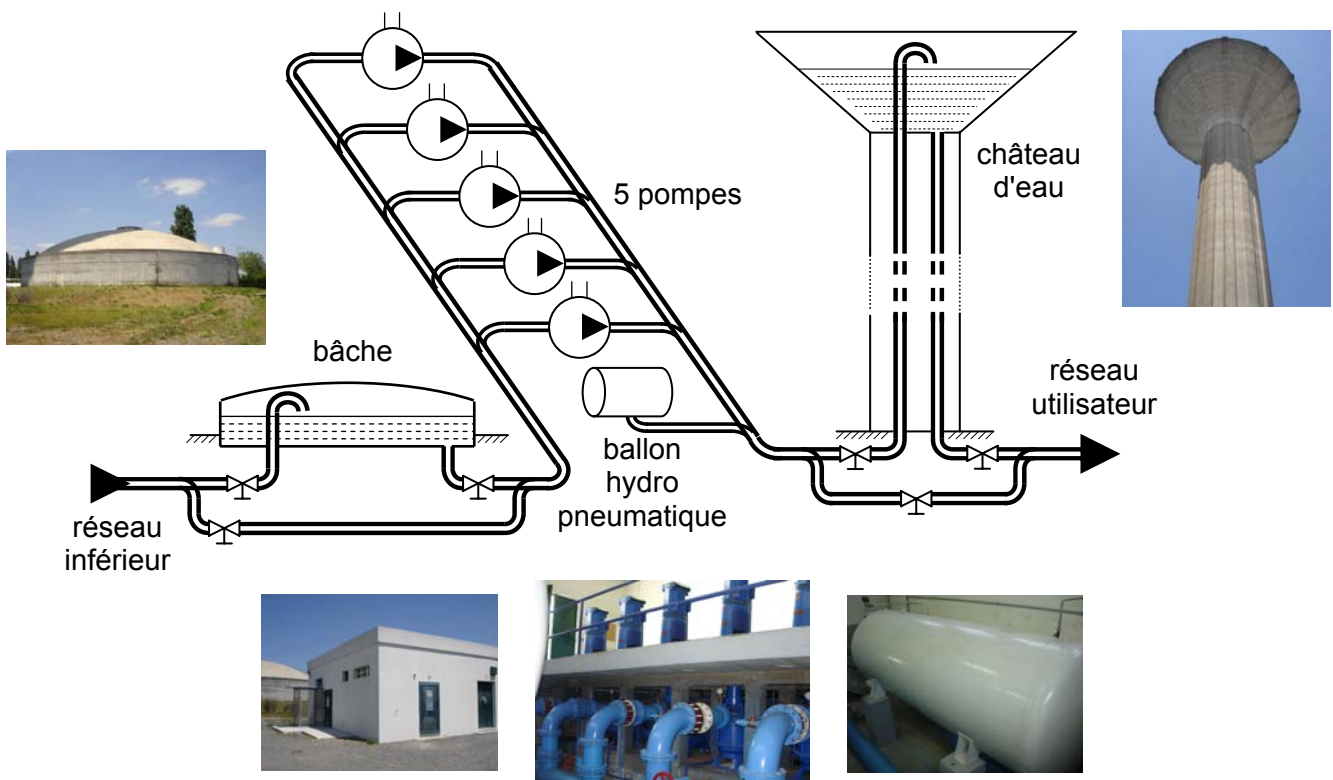
Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

# ALIMENTATION EN EAU POTABLE

## Présentation du contexte

Le terme « alimentation en eau potable » ou « adduction en eau potable » regroupe la production d'eau potable et sa distribution aux usagers. Ce sujet prend pour support l'alimentation en eau potable de l'agglomération nantaise (570 000 habitants). L'eau est pompée dans la Loire, traitée pour être rendue potable dans une usine et stockée dans divers réservoirs avant d'être distribuée aux usagers. La production moyenne de l'usine est de 110 000 m<sup>3</sup> par jour. Les besoins domestiques des habitants représentent environ les deux tiers de cette production.

Ce sujet s'intéresse au fonctionnement d'un des châteaux d'eau qui assurent le stockage et la mise en pression de l'eau potable distribuée. Voici un croquis de l'ensemble étudié :



Le château d'eau comprend un réservoir de 3 000 m<sup>3</sup> situé à 64 m du sol. Il est alimenté par la station de relevage située à proximité et qui comprend 5 pompes en parallèle. Actuellement, 3 pompes sont nécessaires et une permutation circulaire sur les 5 pompes est effectuée.

Ces pompes puisent dans une bâche de 3 000 m<sup>3</sup> située au niveau du sol.

La bâche, de diamètre égal à 28 m, est remplie par le réseau inférieur, une vanne régulée y maintenant un niveau d'eau quasi constant (entre 3,84 m et 4 m).

A la sortie des pompes et quasiment à la même altitude, un ballon hydropneumatique de 15 m<sup>3</sup> est placé en parallèle. Il assure une fonction antibélier en mode normal. Lors de l'entretien du château d'eau, ce ballon permet de maintenir la pression dans le réseau utilisateur. Ce mode est appelé surpression.

Deux compresseurs fonctionnant alternativement permettent entre autre d'assurer un niveau d'air comprimé suffisant dans le ballon.

L'ensemble est piloté par un automate programmable relié par modem à un poste de supervision distant. Ses principales informations proviennent de capteurs de niveau (« poires », sondes de niveau, capteurs analogiques) et de capteurs de pression (pressostats et transmetteurs de pression relative).

L'exploitant désire supprimer la bâche car celle-ci est trop facilement accessible pour des personnes malveillantes d'une part, et nécessite de l'entretien d'autre part.

Son service chargé des travaux confie à un groupe d'étudiants la mise en place d'un variateur de vitesse sur une des cinq pompes dans le but de valider le fonctionnement sans bache. Une fois ce fonctionnement validé, la mise en place des autres variateurs sera confiée à une entreprise.

## Présentation de l'épreuve

L'épreuve est constituée de 3 parties indépendantes :

- la partie A s'intéresse au fonctionnement de la station en mettant l'accent sur une approche énergétique ;
- la partie B s'intéresse aux incidences de la mise en place de variateurs sur l'alimentation électrique de la station ;
- la partie C concerne la planification des travaux de modification.

Pour les questions de nature scientifique, l'évaluation portera, au plus haut niveau, sur la maîtrise des connaissances, la qualité du raisonnement et sur l'exactitude des résultats attendus.

Les questions de nature didactique et pédagogique auront les supports suivants :

- le projet industriel en STS électrotechnique seconde année concernant la mise en place d'un variateur de vitesse ;
  - un sous système didactique (essais de systèmes en STS électrotechnique ou TP en Terminale STI).
- L'évaluation portera alors sur la capacité des futurs professeurs agrégés à transposer les notions techniques et scientifiques à un niveau d'enseignement donné en proposant des hypothèses de travail et des illustrations adaptées au niveau de la classe concernée. Elle portera aussi sur la capacité de mise en œuvre matérielle des situations d'enseignement et la capacité à gérer le travail d'un groupe d'étudiants.

## **A – ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT DE LA STATION**

Pour aborder l'étude, commençons par rappeler des éléments de mécanique des fluides.

L'équation de Bernoulli nous donne l'énergie  $W$  (J) à fournir pour déplacer un fluide incompressible d'un point 1 au point 2 d'une conduite, en régime permanent :

$$W = m.g.(z_2 - z_1) + m \cdot \frac{1}{\rho} \cdot (p_2 - p_1) + \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2) + J_s + J_r$$

- $m$  kg : masse du fluide ;
- $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$  : accélération due à la pesanteur ;
- $z_i$  m : altitude du centre de masse au point  $i$  considéré ;
- $\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$  : masse volumique du fluide (eau potable) ;
- $p_i$  Pa : pression au point  $i$  considéré ( $1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$ ) ;
- $v_i$   $\text{m.s}^{-1}$  : vitesse d'écoulement au point  $i$  considéré ;
- $J_s$  J : pertes de charges singulières, dues aux brusques variations de section et de direction de la conduite (clapets, coudes, vannes), proportionnelles à  $v_i^2$  ;
- $J_r$  J : pertes de charges régulières, dues aux frottements du fluide sur la conduite, proportionnelles à  $v_i^2$  et à la longueur de la conduite.

En divisant  $W$  par  $[m.g]$ , on obtient une équation en hauteur de liquide  $H_r$  (m) :

$$H_r = (z_2 - z_1) + \frac{1}{\rho.g} \cdot (p_2 - p_1) + \frac{1}{2.g} \cdot (v_2^2 - v_1^2) + j_s + j_r$$

- $j_s$  m : pertes de charges singulières ;
- $j_r$  m : pertes de charges régulières.

$H_r$  caractérise le réseau hydraulique, c'est-à-dire la charge des pompes.

En introduisant le débit  $Q$ , on peut écrire  $H_r = k_s + k_v \cdot Q^2$ , avec  $Q$  en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  et  $k_s$  en m.

## A.1 : fonctionnement avec le château d'eau et la bêche.

Ce fonctionnement correspond à la situation initiale.

Données du problème :

- $z_2 = 90,27$  m (côte IGN, *Institut Géographique National*) ;
- $z_1 = 28,19$  m (côte IGN) correspondant au niveau moyen d'eau dans la bêche ;
- $p_2 = 1$  bar ;
- $p_1 = 1$  bar en fonctionnement avec la bêche ;
- $v_2 = 1$  m.s<sup>-1</sup> lorsque le débit est égal à 0,125 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (450 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) ;
- $v_1 \approx 0$  en fonctionnement avec la bêche ;
- $j_s + j_r = 1,75$  m lorsque le débit est égal à 0,125 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

**Q1. Donner les valeurs numériques de  $k_s$  et de  $k_v$ .**

**Q2. Démontrer simplement que, pour un débit  $Q$  donné, l'expression de la puissance hydraulique s'écrit  $P_h = \rho \cdot g \cdot H_r \cdot Q$ .**

Chaque pompe centrifuge possède une caractéristique hauteur manométrique  $H_{1p,n}$  (m ou mCe) fonction du débit  $Q$  (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) et de la fréquence de rotation  $n$  de son arbre d'entraînement.

Le document annexe A1 donne la courbe de cette caractéristique  $H_{1p,n_0}(Q)$ , pour la fréquence de rotation  $n_0 = 1\,455$  tr.min<sup>-1</sup>.

Cette caractéristique peut être approchée par l'équation  $H_{1p,n_0} = a \cdot Q^2 + b \cdot Q + c$  avec  $a = -14\,640$ ,  $b = 278$ ,  $c = 80$  et  $Q$  exprimé en m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Le document annexe A1 donne aussi la courbe du rendement hydraulique de la pompe  $\eta_{h,n_0}(Q)$ , pour la fréquence de rotation  $n_0$ .

Ce rendement peut être approché par l'équation  $\eta_{h,n_0} = -421 \times (Q - Q_{RM})^2 + \eta_{hMAX}$

avec  $\eta_{hMAX} = 0,8$ ,  $Q_{RM} = 0,04361$  m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (157 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) et  $Q$  exprimé en m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

On admettra que quand plusieurs pompes fonctionnent en parallèle, les débits s'additionnent pour une hauteur donnée. Ceci est justifié par la proximité des pompes.

**Q3. Tracer sur le document réponse DR1 la caractéristique de deux pompes en parallèle  $H_{2p,n_0}(Q)$  puis celle de trois pompes en parallèle  $H_{3p,n_0}(Q)$ , et ce pour la fréquence de rotation  $n_0$ .**

**Représentez les points de fonctionnement pour une pompe seule, puis pour deux et trois pompes en parallèle, et ce pour un réseau hydraulique  $H_r$  considéré constant et égal à 64 m.**

Une approche algébrique peut être faite lorsque  $N$  pompes identiques sont en parallèle et que chacune débite  $Q/N$ ,  $Q$  étant le débit total :  $H_{Np,n_0} = a \times (Q/N)^2 + b \cdot (Q/N) + c$

**Q4. En exploitant l'équation  $H_{Np,n_0}(Q)$  ainsi que l'équation du réseau  $H_r = k_s + k_v \cdot Q^2$ , calculer le débit et la hauteur manométrique pour  $N = 1$ ,  $N = 2$  puis  $N = 3$ .**

Les moteurs asynchrones entraînant les pompes ont chacun une puissance nominale  $P_n = 45$  kW.

Leur rendement  $\eta_M = 89,5$  % pour  $P = P_n$ ,  $\eta_M = 89,6$  % pour  $P = 0,75 P_n$  et  $\eta_M = 89,1$  % pour  $P = 0,5 P_n$ .

On considère pour la suite  $H_r = 64$  m.

**Q5. Calculer la puissance mécanique au niveau de chaque moteur en considérant  $H_r = 64$  m.**

**Q6. Déduire la puissance électrique totale absorbée  $P_{3abs}$  par 3 pompes.**

Le niveau d'eau dans le château est maintenu entre 87,65 m et 88,05 m le jour et entre 88,35 m et 88,85 m la nuit. Le niveau d'eau moyen de jour correspond à un volume de 1 790 m<sup>3</sup> et le niveau moyen de nuit correspond à un volume de 2 180 m<sup>3</sup>.

On donne ci-dessous un extrait de la tarification de l'énergie électrique.

TARIF VERT A5 BASE version TLU			Prime fixe : 108,36 € / kW	
prix hors taxes de l'énergie (c € / kWh)				
HIVER			ETE (avril à octobre inclus)	
PTE	HPH	HCH	HPE	HCE
5,241	4,007	3,052	2,350	1,455
PTE : de 9 h à 11 h et de 18 h à 20 h, de décembre à février inclus				
HCH : de 22 h à 6 h et dimanche toute la journée			HCE : de 23 h à 7 h et dimanche toute la journée	

**Q7. Estimer l'économie annuelle en € (hors taxes) réalisée grâce à cette procédure.**

### EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

On propose en annexe (A2 à A6) un sous système pédagogique (« *Sous-système niveau-débit* » de chez GTI Systèmes) permettant d'aborder les questions énergétiques relatives à l'adduction d'eau. La question suivante se positionne aussi bien en terminale STI qu'en première année de STS électrotechnique. A l'aide d'abaques, les pertes de charge  $P_{dc}$  du circuit hydraulique pour un débit  $Q_0$  ont déjà été déterminées.

**Q8. Proposer le mode opératoire permettant de relever la courbe de la hauteur manométrique de la pompe en fonction de son débit.**

## A.2 : fonctionnement avec le château d'eau mais sans bête

L'exploitant désire ne plus utiliser la bête pour limiter les opérations d'entretien et réduire les risques d'actes malveillants. L'arrivée de l'eau dans les pompes viendra alors du réseau inférieur (amont de la bête) dont la pression peut varier entre 2 et 3 bar au dessus de la pression atmosphérique.

On négligera l'effet des pertes de charge  $j_s$  et  $j_r$ .

Données du problème :

- $z_2 = 90,27$  m (côte IGN) ;
- $z_1 = 23,65$  m (côte IGN) ;
- $p_2 = 1$  bar (pression atmosphérique) ;
- $p_1 = 3$  à 4 bars ;
- $v_2 = v_1$ .

**Q9. Donner la valeur numérique de  $H_r$  lorsque  $p_1 = 4$  bar. Déduire le débit et le rendement d'une pompe.**

L'exploitant désire conserver l'automatisme du château d'eau. Pour cela, chaque pompe en fonctionnement doit avoir un débit égal à 157 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> ( $Q_{RM}$ ).

Chaque pompe sera commandée par un variateur de vitesse distinct.

Une pompe en vitesse variable obéit au principe suivant :

- soit  $X = n / n_0$  avec  $n$  la fréquence de rotation et  $n_0 = 1\,455$  tr.min<sup>-1</sup> ;
- un point ( $Q_0, H_0$ ) de la caractéristique de la pompe à la fréquence  $n_0$  devient un point ( $X.Q_0, X^2.H_0$ ) à la fréquence  $n = X.n_0$  ;
- lorsque  $X$  varie, le point ( $X.Q_0, X^2.H_0$ ) se déplace le long d'une parabole passant par l'origine d'équation  $\beta.Q^2$  ( $\beta = H_0 / Q_0^2$ ) ;
- ( $Q_0, H_0$ ) et ( $X.Q_0, X^2.H_0$ ) ont le même rendement (hypothèse valable lorsque  $X > 2 / 3$ ).

Le document réponse DR1 montre la caractéristique  $H_{1p,n}(Q)$  d'une pompe lorsque  $X = 0,9$ .

**Q10.** Tracer sur ce graphique du document réponse DR1 la caractéristique  $H_{1p,n}(Q)$  d'une pompe pour avoir un débit de  $157 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , lorsque  $p_1 = 4 \text{ bar}$ .  
En déduire la fréquence de rotation  $n$ .

**Q11.** Montrer que la caractéristique  $H_{1p,n}(Q)$  de la pompe à la fréquence de rotation  $n$  s'écrit :  
 $H_{1p,n} = a.Q^2 + b.Q.X + c.X^2$

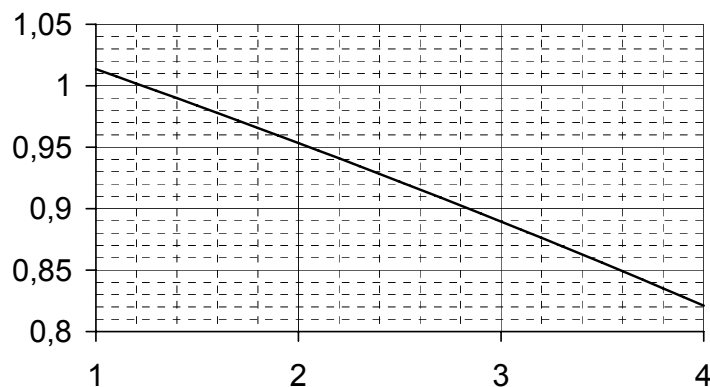
Le pilotage du dispositif dans ce mode de fonctionnement se fera en donnant au variateur une consigne de vitesse fonction de l'information de pression amont  $p_1$ .

**Q12.** Donner l'expression de  $X$  en fonction de  $p_1$ .

### EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Dans le cadre du projet industriel présenté en introduction, les étudiants doivent gérer la commande des variateurs.

On leur donne le tracé de  $X$  en fonction de  $p_1$  (issu d'un tableur) :



Cette courbe s'apparente fortement à une droite.

Un capteur de pression relié à une entrée analogique (E1) de l'automate mesure la pression relative amont ( $p_1 - 1$ ). La correspondance numérique est la suivante :

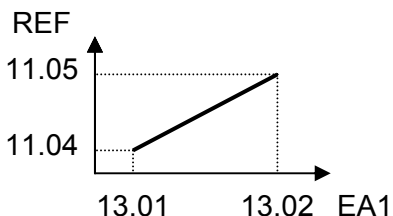
$E_1 = 0$  pour  $(p_1 - 1) = 0 \text{ bar}$  et  $E_1 = 10\ 000$  pour  $(p_1 - 1) = 10 \text{ bar}$ .

Chaque variateur de vitesse reçoit sa consigne fréquence de rotation (EA1) d'une sortie analogique de l'automate.  $S_i$  est la valeur numérique associée à une des sorties analogiques de l'automate.

Une première option consiste à réaliser le traitement numérique par l'automate, chaque variateur étant paramétré comme suit :  $0 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  lorsque  $S_i = 0$  (4 mA),  $1\ 500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  lorsque  $S_i = 10\ 000$  (20 mA).

**Q13.** Proposer le traitement numérique que doit réaliser l'automate et le paramétrage de chaque variateur pour la première option. Faites apparaître les difficultés de mise en œuvre de ce traitement.

La seconde option consiste à exploiter les paramètres suivants de chaque variateur (avec  $S_i = E_1$ ) :



- 13.01 : valeur minimale du signal d'entrée (EA1) correspondant à la valeur de référence vitesse (REF) mini paramétrée en 11.04 ;
- 13.02 : valeur maximale du signal d'entrée (EA1) correspondant à la valeur de référence vitesse (REF) maxi paramétrée en 11.05 ;
- Si 13.05 = OUI, 13.01 correspondra à 11.05 et 13.02 à 11.04 ;
- Si 13.05 = NON, 13.01 correspondra à 11.04 et 13.02 à 11.05 ;
- Plage de variation de 13.01 et 13.02 : 4 à 20 mA ou 0 à +10 V ;
- Plage de variation de 11.04 et 11.05 : 0 à  $18\ 000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .

**Q14.** Proposer ensuite le paramétrage de chaque variateur et le traitement numérique que doit réaliser l'automate pour la seconde option.

On désire connaître les économies réalisables en variation de vitesse.

L'étude va être menée avec  $p_1 = 3,7$  bar, valeur généralement constatée par l'exploitant.

L'été (avril à octobre inclus), 3 pompes sont nécessaires et l'hiver 2 pompes suffisent.

L'étude économique va être faite en supposant un débit utilisateur en aval du château d'eau  $Q_u = 3.Q_{RM}$  l'été et  $Q_u = 2.Q_{RM}$  l'hiver, et ce aux heures du jour. La nuit (aux heures creuses) on suppose que  $Q_u$  est 5 fois plus petit que durant la journée.

**Q15. Quel est le débit  $Q$  d'une pompe si on n'utilise pas de variateur de vitesse ? Calculer ensuite la puissance électrique absorbée  $P_{1abs}$  par cette pompe en fonctionnement.**

**Q16. Déduire la puissance électrique moyenne  $P_{1abs,MOY}$  absorbée par cette pompe.**

On montre que le rendement hydraulique en vitesse variable devient :

$$\eta_{h,n} = - 421 \times [(Q / X) - Q_{RM}]^2 + \eta_{hMAX}$$

avec  $\eta_{hMAX} = 0,8$ ,  $Q_{RM} = 0,04361 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $157 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) et  $Q$  exprimé en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Voici un extrait de la documentation constructeur donnant le rendement de chaque ensemble moteur variateur en fonction de la fréquence d'alimentation du moteur et de la charge du moteur :

AC Drive + Motor Typical Efficiency [%]												
		Load Torque [%]										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Frequency [Hz]	40,0	0,0	67,7	76,8	80,3	82,2	83,3	84,0	84,6	84,9	85,2	85,4
	42,5	0,0	68,0	77,1	80,6	82,4	83,5	84,2	84,8	85,1	85,4	85,6
	45,0	0,0	68,3	77,3	80,8	82,6	83,7	84,4	84,9	85,3	85,6	85,8
	47,5	0,0	68,6	77,5	81,0	82,8	83,9	84,6	85,1	85,5	85,7	85,9
	50,0	0,0	68,9	77,7	81,2	83,0	84,0	84,7	85,2	85,6	85,9	86,1

Avec le variateur de vitesse, le débit d'une pompe sera égal à  $Q_{RM}$ .

Les calculs donnent  $H_r = 39,1$  m et  $X = 0,842$ .

**Q17. Déterminer la puissance moteur, le couple moteur et le pourcentage de charge en couple du moteur.**

**Q18. Calculer la fréquence d'alimentation du moteur.**

**Q19. Déduire le rendement de l'ensemble moteur variateur et la puissance électrique absorbée  $P_{1abs}$ .**

**Q20. Déduire le gain en puissance moyenne absorbée par une pompe et calculer ensuite l'économie annuelle réalisée sur le prix hors taxes de l'énergie.**

**Q21. Calculer l'économie annuelle réalisée en tenant compte de la baisse possible de la prime fixe.**

On désire enfin connaître les économies d'énergie réalisables en remplaçant les moteurs existants par des moteurs de classe de rendement EFF1. Le rendement est supérieur de 5 % à celui des moteurs actuels.

**Q22. Calculer l'économie annuelle réalisable (en € hors taxes) avec la variation de vitesse associée à de tels moteurs.**

Une autre solution pour augmenter le rendement consiste à faire systématiquement travailler les pompes à leur rendement maximal  $\eta_{MAX}$ . Le point de fonctionnement doit alors se déplacer sur une parabole  $H = \beta \cdot Q^2$  passant par  $[0, 0]$  et  $[Q_{RM}, H_{1p,n0}(Q_{RM})]$ , c'est-à-dire par  $[157 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}, 64 \text{ m}]$ .

**Q23. Expliquer les traitements à réaliser pour commander les variateurs de vitesse.**

### EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Les deux questions suivantes se positionnent aussi bien en terminale STI qu'en première année de STS électrotechnique.

**Q24. Proposer le mode opératoire et les appareils de mesure nécessaires pour relever :**  
- la hauteur manométrique de la pompe en fonction du débit à vitesse variable ;  
- le rendement de l'ensemble {variateur, moteur, pompe} en vitesse variable.

**Q25. Comment peut-on mesurer séparément le rendement de la pompe de celui de l'ensemble {moteur, variateur} ?**

### A.3 : fonctionnement en mode surpression avec bête

Le château d'eau n'est pas utilisé dans ce mode, ce qui permet son entretien.

Le fonctionnement de la station s'adapte au débit demandé par l'utilisateur.

Dans la situation avec bête, les pompes sont à vitesse fixe. Elles ne peuvent pas fournir une pression constante avec un débit variable. Elles fonctionnent dans une fourchette de pression.

Le débit appelé par le réseau  $Q_u$  n'est en général pas égal au débit  $Q$  refoulé par les pompes.

Lorsque  $Q > Q_u$ , l'excédent de pompage est refoulé dans le ballon hydropneumatique qui se remplit en entraînant une augmentation de la pression. Quand la pression maxi  $P_{max}$  est atteinte, on retranche une pompe, ce qui rend le débit de pompage inférieur à celui du réseau.

Lorsque  $Q < Q_u$ , le déficit de pompage est fourni par le ballon hydropneumatique qui se vide en entraînant une diminution de la pression. Quand la pression mini  $P_{min}$  est atteinte, on ajoute une pompe, ce qui rend le débit de pompage supérieur à celui du réseau.

Les pressions mini et maxi déterminent des niveaux d'eau dans le ballon et donc un certain volume de marnage appelé réserve utile RU. Ce volume permet de calculer la fréquence de démarrage des pompes.

Dans ce mode de fonctionnement, le débit de chaque pompe en fonctionnement varie lorsque la pression varie. Le débit utilisateur subit aussi une variation lorsque la pression varie.

Une approche généralement utilisée consiste à supposer un débit constant de la pompe égal à sa valeur moyenne, soit  $Q = 147 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , et à considérer un débit utilisateur  $Q_u = \alpha \times Q$  avec  $\alpha \in [0, 1]$ .

On appelle  $t_{on}$  le temps de fonctionnement et  $t_{off}$  le temps d'arrêt de la pompe.

$T = t_{on} + t_{off}$  représente la durée séparant deux démarrages de pompe.

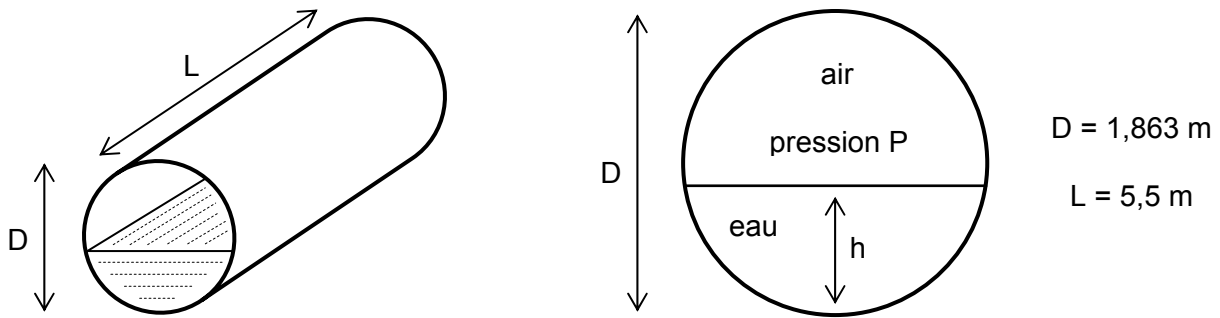
L'étude va être simplifiée en supposant l'utilisation d'une seule pompe (débit  $Q_u \leq 147 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ).

**Q26. Exprimer  $t_{on}$  et  $t_{off}$  en fonction de  $Q$ , RU et  $\alpha$ .**

**Q27. Déterminer la valeur minimale  $T_{min}$  de T en fonction de Q et RU.**

En fait, deux sondes de niveau RN1 et RN2 sont utilisées pour enclencher ou déclencher les pompes : RN1 détecte le niveau bas  $h_1$  correspondant à  $P_1$ , RN2 détecte le niveau haut  $h_2$  correspondant à  $P_2$ .

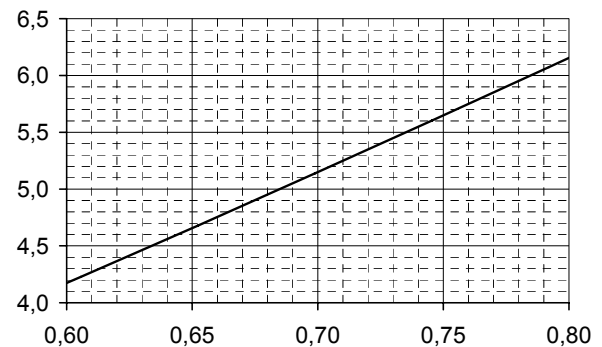
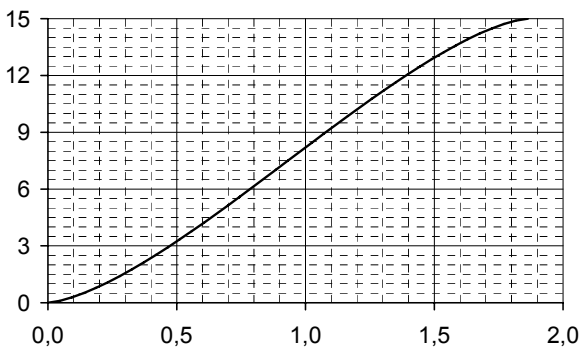
On désigne par  $V_e$  le volume d'eau et  $V_a$  le volume d'air dans le ballon hydropneumatique dont voici le croquis :



On désigne par  $R$  le rayon du cylindre.

**Q28. Exprimer le volume d'eau  $V_e$  en fonction de  $h$ ,  $L$  et  $R$ .**

L'utilisation d'un tableur donne les courbes  $V_e$  ( $m^3$ ) en fonction de  $h$  (m) suivantes :  
(la courbe de droite est un agrandissement de celle de gauche)



**Q29. Relever le volume  $V_{e1}$  pour  $h = h_1 = 63,4$  cm, puis  $V_{e2}$  pour  $h = h_2 = 76,5$  cm. Déduire le nombre maximal de démarrages par heure si une seule pompe est utilisée, puis si on tient compte de la permutation circulaire des 5 pompes. Conclusion.**

Lorsque  $h = h_2$ , la pression  $P = P_{\max} = 8,2$  bar (7,2 bar au dessus de la pression atmosphérique).  
On rappelle qu'à température constante,  $V_a$  est inversement proportionnel à  $P$  (Loi de Boyle-Mariotte).

**Q30. Calculer la pression  $P_{\min}$ .**

### EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Dans le cadre des essais de systèmes en STS électrotechnique, on désire montrer le lien entre le niveau d'eau et la pression dans le ballon. Celui du sous-système, de capacité égale à 150 l, cylindrique de section constante, est posé verticalement. Une règle graduée en % permet de visualiser le niveau ou le volume d'eau dans le ballon :  $N = 0\%$  lorsque le volume d'eau  $V_e = 50$  l et  $N = 100\%$  lorsque le volume d'eau  $V_e = 130$  l. La valeur  $P_r$  délivrée par le capteur de pression est la différence entre la pression  $P$  dans le ballon et la pression atmosphérique (1 bar).

**Q31. Montrer que  $P_r = [100 + 0,8 \times N] / [100 - 0,8 \times N]$  si  $P_r = 1$  bar lorsque  $N = 0\%$ .**

**Q32. Proposer le mode opératoire (réglages, états des commutateurs, des vannes,...) pour simuler sur le sous-système un château d'eau dont le niveau d'eau est régulé à une altitude de 20 m.**

**Q33. Proposer les modifications sur le sous système pour simuler un fonctionnement en mode surpression (sans château d'eau) asservi en pression.**

## A.4 : fonctionnement en mode surpression sans bête

Dans ce mode, chaque pompe est commandée par un variateur de vitesse distinct. On utilise un capteur de pression en aval des pompes et du ballon hydropneumatique. La pression sera ainsi maintenue constante, le ballon conservant une fonction anti-bélier. Une électrovanne permet d'injecter de l'air comprimé dans le ballon si nécessaire.

### EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Dans le cadre du projet industriel présenté en introduction, les étudiants doivent aussi gérer la commande des variateurs dans ce mode de fonctionnement. Les détecteurs de niveau RN1 et RN2 vont être utilisés pour gérer l'admission d'air comprimé dans le ballon.

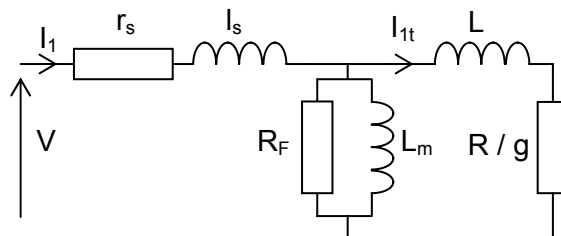
**Q34. Donner le schéma fonctionnel de l'asservissement de pression.**

**Q35. Expliquer le principe de la gestion de l'admission d'air comprimé.**

Dans le cadre d'une synthèse d'essais de systèmes, on désire justifier l'évolution du rendement d'un moteur associé à un variateur lorsque la vitesse varie.

Pour simplifier l'étude, on suppose une commande de type  $(V / f) = K = \text{constant}$ .

On propose d'utiliser le schéma équivalent pour une phase du moteur asynchrone suivant :



**Q36. Quels sont les éléments affectant le rendement du moteur asynchrone et quel type de perte représente chacun de ces éléments ?**

Dans la plage d'utilisation du moteur, le glissement  $g$  est faible ( $< 5\%$ ).

On appelle  $\Omega$  la vitesse de rotation ( $\text{rad.s}^{-1}$ ),  $\omega$  la pulsation du fondamental de la tension d'alimentation du moteur ( $\omega = 2\pi f$ ) et  $p$  le nombre de paires de pôles.

**Q37. En négligeant  $r_s$  et  $l_s$  et pour  $g$  faible, donner l'expression du couple électromagnétique  $C_{em}$  en fonction de  $[(\omega / p) - \Omega]$ .**

**Q38. Tracer l'allure de  $C_{em}$  en fonction de  $\Omega$ , pour  $f = 50 \text{ Hz}$  puis pour  $f = 40 \text{ Hz}$ , et ce pour  $g$  faible. Représenter les pertes Joule rotoriques sur ce tracé.**

**Q39. Montrer alors que, pour  $C_{em}$  donné, les pertes Joule au rotor dégradent le rendement quand  $\omega$  décroît.**

**Q40. Comment évoluent les autres pertes du moteur quand  $\omega$  décroît ?**

## B – ÉTUDE DE L'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE DE LA STATION

Nous allons nous intéresser à l'incidence des variateurs de vitesse sur l'installation.

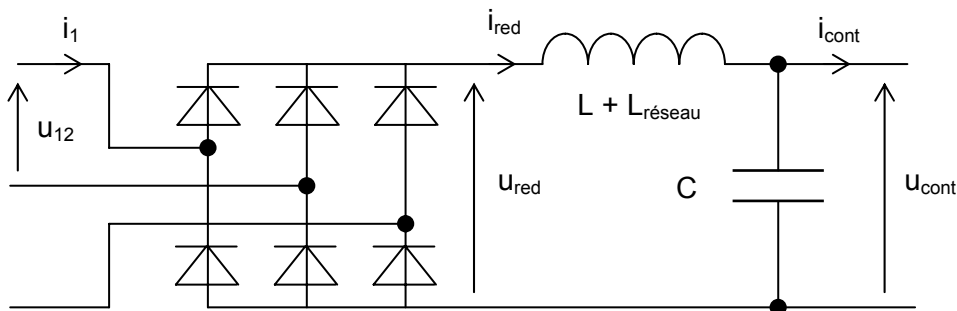
Les variateurs de vitesse proposés ont une structure de puissance classique : redressement hexaphasé par pont de diodes PD3, filtrage par condensateur suivi d'un onduleur à modulation de largeur d'impulsion. Une inductance triphasée de 330  $\mu\text{H}$ , placée en amont du redresseur, est fournie avec chaque variateur. Cette inductance permet de limiter les courants harmoniques ainsi que la valeur crête du courant absorbé par le variateur.

### B.1 : analyse du courant en amont du variateur

Pour dimensionner les éléments en amont du variateur, il est important de connaître l'amplitude crête et les harmoniques du courant en amont de celui-ci.

On va analyser l'influence de l'inductance  $L$  sur ce courant.

Par souci de simplification didactique, nous allons adopter le schéma suivant :



Le courant  $i_1$  a la même allure si on remplace  $(L + L_{\text{réseau}})$  par une inductance triphasée placée en amont. La puissance côté continu  $P_{\text{cont}}$  sera prise égale à 30 kW.

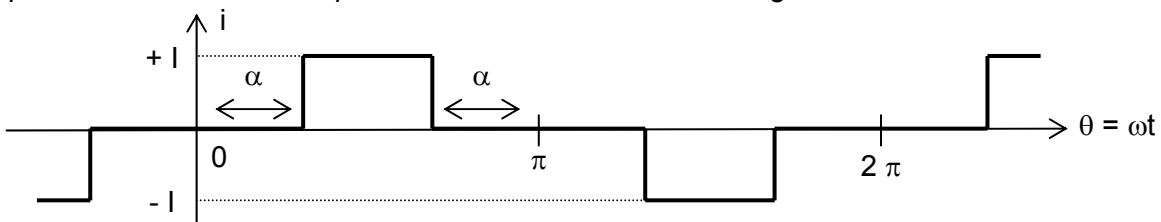
En supposant  $L$  suffisamment élevée de telle sorte que l'ondulation de  $i_{\text{red}}$  soit négligeable :

**Q41. Tracer sur le document réponse DR2 les formes d'onde de  $u_{\text{red}}$  et  $i_1$  ;**

**Q42. Déterminer la valeur crête  $\hat{I}_1$  du courant  $i_1$  ;**

**Q43. Déterminer les valeurs efficaces du fondamental et des harmoniques du courant  $i_1$ , et ce jusqu'au rang 13 inclus.**

On rappelle à cet effet la décomposition en série de Fourier du signal suivant :



$$i(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \frac{4 \cdot I}{\pi} \cdot \frac{\cos((2.k + 1).\alpha)}{2.k + 1} \cdot \sin((2.k + 1).\omega.t)$$

En l'absence d'inductance  $L$  (seule subsiste la réactance du réseau amont), on observe une conduction interrompue du pont redresseur. Le document réponse DR2 montre une partie de la forme d'onde de  $i_{\text{red}}$ . La valeur de l'amplitude crête de ce courant est égale à 154 A.

**Q44. Compléter sur le document réponse DR2 la forme d'onde de  $i_{red}$  et tracer celle de  $i_1$ .**

Pour estimer le niveau des harmoniques, on propose de modéliser la forme d'onde de  $i_{red}$  par un signal rectangulaire dont chaque rectangle a une hauteur appelée  $\hat{I}_{1,mod}$  et une largeur de  $26^\circ$  (une période du réseau valant  $360^\circ$ ).

**Q45. Estimer la valeur  $\hat{I}_{1,mod}$  sachant que la valeur moyenne de la tension  $u_{cont}$  est égale à 550 V.**

**Q46. Déterminer les valeurs efficaces du fondamental et des harmoniques du courant  $i_1$  lorsque  $i_{red}$  est approximé par ce signal rectangulaire, et ce jusqu'au rang 13 inclus.**

**Q47. Conclure sur les incidences au niveau des contacteurs et du transformateur dont la puissance apparente est égale à 315 kVA.**

## **B.2 : incidence sur les condensateurs de relèvement du facteur de puissance.**

Dans un premier temps, nous allons déterminer la puissance réactive  $Q_C$  de la batterie de condensateurs permettant de compenser l'énergie réactive.

Le transformateur possède les caractéristiques suivantes ;

- $S_N = 315$  kVA
- À vide :  $P_0 = 0,77$  kW et  $Q_0 = 6,3$  kVAR
- En charge, pertes cuivre  $P_{cu} = 4,1 \times (S / S_N)^2$  en kW et  $Q_T = Q_0 + 12,1 \times (S / S_N)^2$  en kVAR, avec S la puissance apparente transitée.

En vitesse fixe (avec château d'eau et bêche), on suppose que la charge est composée de 3 moteurs absorbant 40 kW chacun sous un  $\cos\varphi = 0,87$ .

En vitesse variable (avec château d'eau mais sans bêche), on suppose le cas le plus défavorable : 3 moteurs et  $p_1 = 3$  bar ; dans ce cas, les calculs donnent une puissance absorbée en amont de chaque variateur égale à 30 kW avec un  $\cos\varphi = 0,98$  et un facteur de puissance  $F_p = 0,859$ .

**Q48. Déterminer la puissance réactive totale  $Q_{VF}$  en vitesse fixe. Déduire la valeur de  $Q_C$  à installer pour obtenir  $\tan\varphi = 0,4$ .**

**Q49. Déterminer la puissance réactive totale  $Q_{VV}$  en vitesse variable. Montrer alors que  $\tan\varphi < 0,4$ .**

## **EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE**

Dans le cadre du projet industriel, l'implantation d'un variateur provoquera des soucis pour la batterie de condensateurs en place. Celle-ci est du type standard et sa valeur est égale à 30 kVAR.

Les courants harmoniques générés par le variateur vont circuler dans les condensateurs, amplifiés par un effet de résonance avec la réactance du réseau amont.

Nous proposons pour les étudiants l'utilisation d'un logiciel de simulation (« *PSIM* » de POWERSYS par exemple) pour analyser ces phénomènes.

Deux cas vont être étudiés :

- premier cas : un variateur en fonctionnement et  $Q_C = 30$  kVAR ;
- second cas : un variateur en fonctionnement et une batterie de condensateurs intégrant une self antiharmonique.

### **Premier cas :**

Le schéma de simulation est proposé en annexe A7.

L'élément réseau représente la somme de l'impédance du réseau en amont du transformateur ramené au secondaire de celui-ci, l'impédance du transformateur lui-même et l'impédance de la liaison triphasée (câbles monoconducteurs) reliant le transformateur au jeu de barres. La batterie de condensateurs ( $C_{comp}$ ) est câblée au niveau du jeu de barres.

Voici les caractéristiques du réseau jusqu'au jeu de barres :

- résistance en amont du transformateur ramené au secondaire :  $R_Q = 0,035 \text{ m}\Omega$  ;
- réactance en amont du transformateur ramené au secondaire :  $X_Q = 0,35 \text{ m}\Omega$  ;
- tension de court-circuit  $u_{kr} = 4 \%$  ;
- câbles entre transformateur et jeu de barres : section =  $185 \text{ mm}^2$ , longueur =  $15 \text{ m}$ , résistivité =  $23,69 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ , réactance =  $0,09 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^{-1}$ .

Pour déterminer la résistance  $R_T$  et la réactance  $X_T$  du transformateur, on utilise les formules de la norme UTE C 15-500 :

$$R_T = 0,31 \times Z_T \text{ et } X_T = 0,95 \times Z_T \text{ avec } Z_T = [u_{kr} / 100] \times [(420)^2 / S_N]$$

**Q50. Déterminer la résistance  $R_R$  et l'inductance  $L_R$  du réseau.**

**Q51. Déterminer la valeur de  $C_{comp}$ .**

**Q52. Donner un ordre de grandeur de la valeur du générateur de courant  $I_{dc}$  modélisant le courant absorbé par l'onduleur du variateur.**

Les résultats de la simulation sont présentés en annexes A7 et A8.  
L'ordonnée du spectre est en valeur crête.

**Q53. Établir le schéma équivalent à la fréquence du réseau et justifier l'amplitude de la composante fondamentale du courant  $I_{comp}$ .**

**Q54. Établir le schéma équivalent pour les fréquences multiples du réseau.**

**Q55. Montrer que  $I_{comp} = I_{1h} \times [1 / 1 - (1 / L_R \cdot C_{comp} \times h^2 \times \omega^2)]$  avec  $\omega = 2 \times \pi \times 50$ .**

**Q56. Justifier l'amplitude des harmoniques du courant  $I_{comp}$  et calculer la valeur efficace de  $I_{comp}$ .**

**Q57. Justifier la forme d'onde de  $I_{comp}$ .**

**Q58. Conclure sur les contraintes subies par les condensateurs de compensation.**

**Second cas :**

En vitesse variable, l'exploitant désire néanmoins compenser le  $\cos\phi$  pour diminuer la puissance active. Le choix s'est porté sur un modèle intégrant une self en série avec chaque condensateur. La fréquence de résonance de cette self avec le condensateur en série avec elle est égale à  $135 \text{ Hz}$ . La puissance réactive totale de la batterie est égale à  $12,5 \text{ kVAR}$ . Le schéma de simulation est proposé en annexe A9.

**Q59. Déterminer la valeur de  $C_{comp}$  et de  $L_{ah}$ .**

**Q60. Conclure en analysant les résultats de la simulation présentés en annexe A9.**

**Q61. Citer d'autres solutions technologiques permettant de réduire ces harmoniques.**

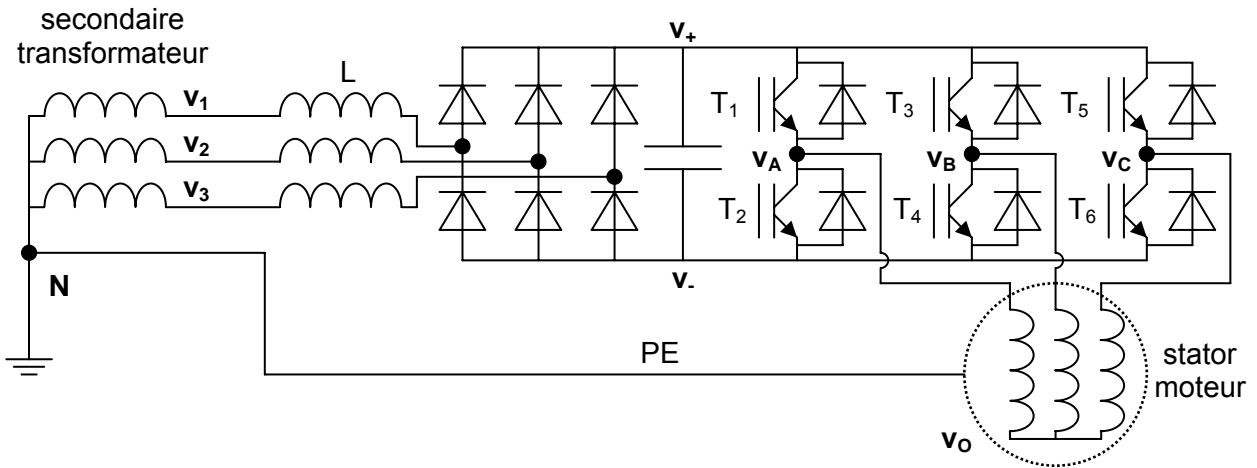
### B.3 : analyse des courants haute fréquence dans l'installation

Les variateurs électroniques de vitesse modernes délivrent en sortie des impulsions de tension à fronts très raides. Des courants impulsionnels de haute fréquence, proportionnels aux fronts des tensions de sortie, prennent naissance et s'écoulent via les capacités de fuite de tous les composants du circuit de sortie (IGBT, câble de liaison, bobinage moteur). Ces courants reviennent à la source via le conducteur de protection PE.

Une des premières incidences est de déclencher intempestivement certains dispositifs de détection de courant de défaut situés en amont du variateur.

Une autre incidence plus grave est l'usure prématurée des roulements du moteur (piquage des pistes de roulement) dont une des causes est la suivante : la majeure partie de la capacité de fuite du moteur se forme entre les enroulements statoriques et la carcasse du moteur ; cette capacité est répartie sur la circonférence et la longueur du stator ; comme le courant s'écoule le long des bobines du stator, il se crée une différence de potentiel de haute fréquence aux extrémités du moteur ; des courants traversent alors les roulements pour se reboucler par le rotor.

Soit le schéma de l'ensemble permettant d'étudier les tensions à l'origine de des courants :



Les tensions représentées sont référencées par rapport au point N.

On appelle  $u_{AB}$ ,  $u_{BC}$  et  $u_{CA}$  les tensions entre les phases d'alimentation du moteur. On appelle  $u_{cont}$  la tension redressée et  $v_O$  la tension au point commun des bobines du stator.

Pour simplifier l'étude, on suppose  $v_+$  et  $v_-$  constants et égaux respectivement à leur valeur moyenne.

La tension entre phases au secondaire du transformateur  $U = 400$  V.

On suppose enfin que le pont redresseur est en conduction ininterrompue.

**Q62. Déterminer les valeurs moyennes de  $v_+$ ,  $v_-$ , et  $u_{cont}$ , respectivement désignées  $V_+$ ,  $V_-$  et  $U_{cont}$ .**

Le document réponse DR3 fait apparaître les tensions  $u_{AB}$ ,  $u_{BC}$ ,  $u_{CA}$  et  $v_A$ .

**Q63. Quels sont les transistors commandés lorsque  $u_{BC} = +U_{cont}$  puis lorsque  $u_{BC} = -U_{cont}$ . Déduire alors les tensions  $v_B$  et  $v_C$ .**

**Q64. Quels sont les transistors commandés lorsque  $u_{BC} = 0$ . Déduire alors les tensions  $v_B$  et  $v_C$ .**

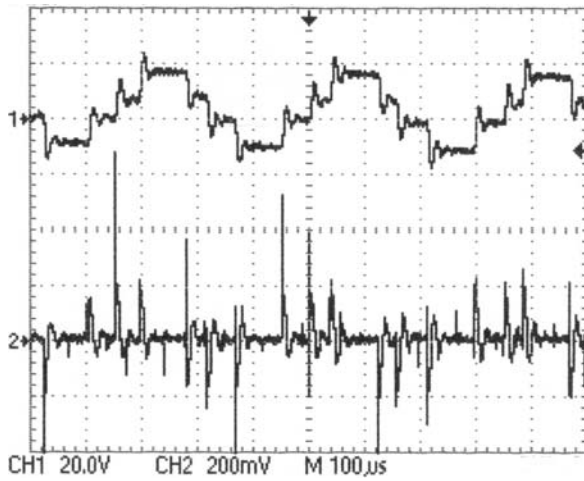
**Q65. Compléter le document réponse DR3 en traçant les formes d'ondes de  $v_B$  et  $v_C$ .**

**Q66. Exprimer  $v_O$  en fonction de  $v_A$ ,  $v_B$  et  $v_C$ .**

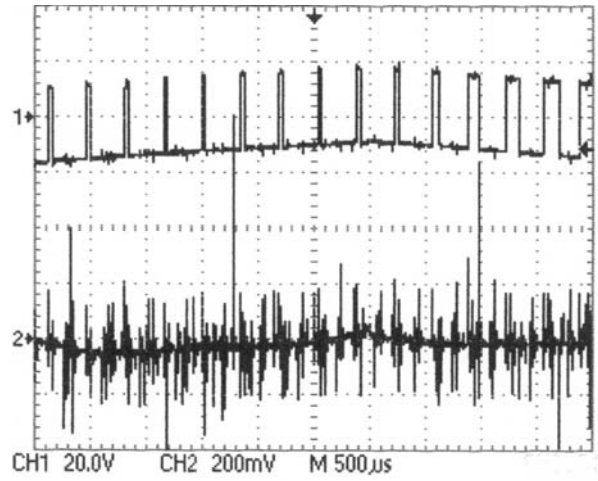
**Q67. Tracer sur le document réponse DR3 la forme d'onde de  $v_O$ .**

## EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

Soient les relevés suivants effectués en essais de systèmes sur un ensemble moto variateur :



Tension  $v_O$  et courant dans le PE



Tension  $v_A$  et courant dans le PE

CH1 : sonde de tension calibre 1 / 200      CH2 : sonde de courant calibre 100 mV/A

**Q68. Commenter ces relevés.**

**Q69. Proposer des solutions pour réduire ces courants.**

Dans les laboratoires d'essais de systèmes, une protection par disjoncteur différentiel 30 mA est obligatoire. Ce dernier a tendance à déclencher intempestivement lors de la mise en service d'un variateur de génération récente.

**Q70. Proposer des solutions pour éviter ces déclenchements intempestifs.**

**Q71. Quelle autre incidence sur l'environnement peuvent avoir ces courants ?**

## C – PLANIFICATION DES TRAVAUX DE MODIFICATION

### Rappel du contexte :

L'exploitant désirent supprimer la bête, son service chargé des travaux confie à un groupe d'étudiants la mise en place d'un variateur de vitesse sur une des cinq pompes. Cette réalisation, objet d'un projet technique industriel, permettra de valider le fonctionnement sans bête. Une fois ce fonctionnement validé, la mise en place des autres variateurs sera confiée à une entreprise.

**Q72. Qui représente la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage dans ce projet ?**

**Q73. Quels documents administratifs vous semblent nécessaires pour la réalisation de ce projet par vos étudiants ?**

Dans ce projet, l'automate ne donnera que des ordres de marche et le capteur de pression sera relié directement au variateur.

On utilisera les fonctions évoluées qu'offrent les variateurs de vitesse actuels : fonctions d'asservissement, configurations multiples dont le choix se fait par entrée TOR.

Voici la liste des tâches recensées avec le client (service chargé des travaux) :

- T1 : contact initial sur le site
- T2 : analyse du mode château d'eau sans bête (mode 1)
- T3 : analyse du mode surpresseur (mode 2)
- T4 : détermination de la puissance du variateur
- T5 : environnement variateur (contacteurs, sectionneurs, fusibles, selfs de lissage)
- T6 : devis variateur (2 variateurs de marque différente doivent être proposés)
- T7 : câblage variateur au lycée
- T8 : recherche des paramètres variateur pour le mode 1
- T9 : recherche des paramètres variateur pour le mode 2
- T10 : essais et paramétrage variateur au lycée (hors puissance)
- T11 : essais variateur sur site (présence du fournisseur)
- T12 : essais hydrauliques sur site (présence des agents d'exploitation)
- T13 : comptes rendus d'essais
- T14 : choix des câbles de puissance
- T15 : vérification compatibilité et choix éventuel du disjoncteur de tête
- T16 : devis câbles (et disjoncteur éventuel)
- T17 : schéma implantation câbles sur site (pose des câbles réalisée par les agents)
- T18 : vérification câblage sur site
- T19 : choix armoire et plan d'implantation interne
- T20 : étude thermique armoire et choix éventuel d'un dispositif de refroidissement
- T21 : devis armoire
- T22 : préparation (perçages) et câblage armoire (hors variateur)
- T23 : vérification câblage général (au lycée)
- T24 : schéma d'implantation armoire sur site (préparation sur site effectuée par les agents)
- T25 : montage armoire sur site
- T26 : planification des essais de l'armoire sur site (mise en service, ...)
- T27 : vérification électriques armoire sur site
- T28 : vérification thermique armoire sur site
- T29 : choix capteur de pression et câble de liaison
- T30 : devis capteur
- T31 : schéma d'implantation capteur sur site (pose du capteur effectué par les agents)
- T32 : essais du capteur sur site
- T33 : schémas électriques réalisés sous logiciel compatible avec celui du client
- T34 : validation des devis par le client et commande
- T35 : validation des travaux demandés aux agents par le client et ordre de lancement

Le client impose les contraintes suivantes :

- La validation des devis se fait lors d'une seule réunion et le délai de livraison du matériel est d'environ 3 semaines ;
- La validation des travaux demandés aux agents se fait aussi lors d'une seule autre réunion et le délai de réalisation est d'environ 3 semaines.

On vous propose d'organiser le projet sur 12 semaines de 16 heures chacune.

Le document réponse DR4 fait apparaître la durée estimée de chaque tâche.

Une analyse avec un logiciel de gestion de projet a fait apparaître le chemin critique suivant :

T1, T2, T3, T4, T5, T19, T20, T21, T34, T22, T7, T23, T10, T25, T27, T11, T12, T13.

**Q74. Que représente ce chemin critique ? Quelle sera la durée minimale du projet ?**

**Q75. Compléter le planning du document réponse DR4 en grisant les cases adéquates.**

On propose la réalisation du projet par un groupe de 3 étudiants.

Le client désire qu'un étudiant soit chargé des réunions de chantier : organisation et comptes rendus.

Un autre étudiant sera chargé de centraliser les commandes et d'en assurer le suivi. Le troisième étudiant sera responsable des schémas.

**Q76. Proposer sur le document réponse DR5 une répartition des tâches pour chaque étudiant, sachant qu'il est préférable d'effectuer certaines tâches en commun. Vous ferez apparaître le nombre total d'heures en veillant à ce qu'il soit à peu près identique pour les 3 étudiants.**

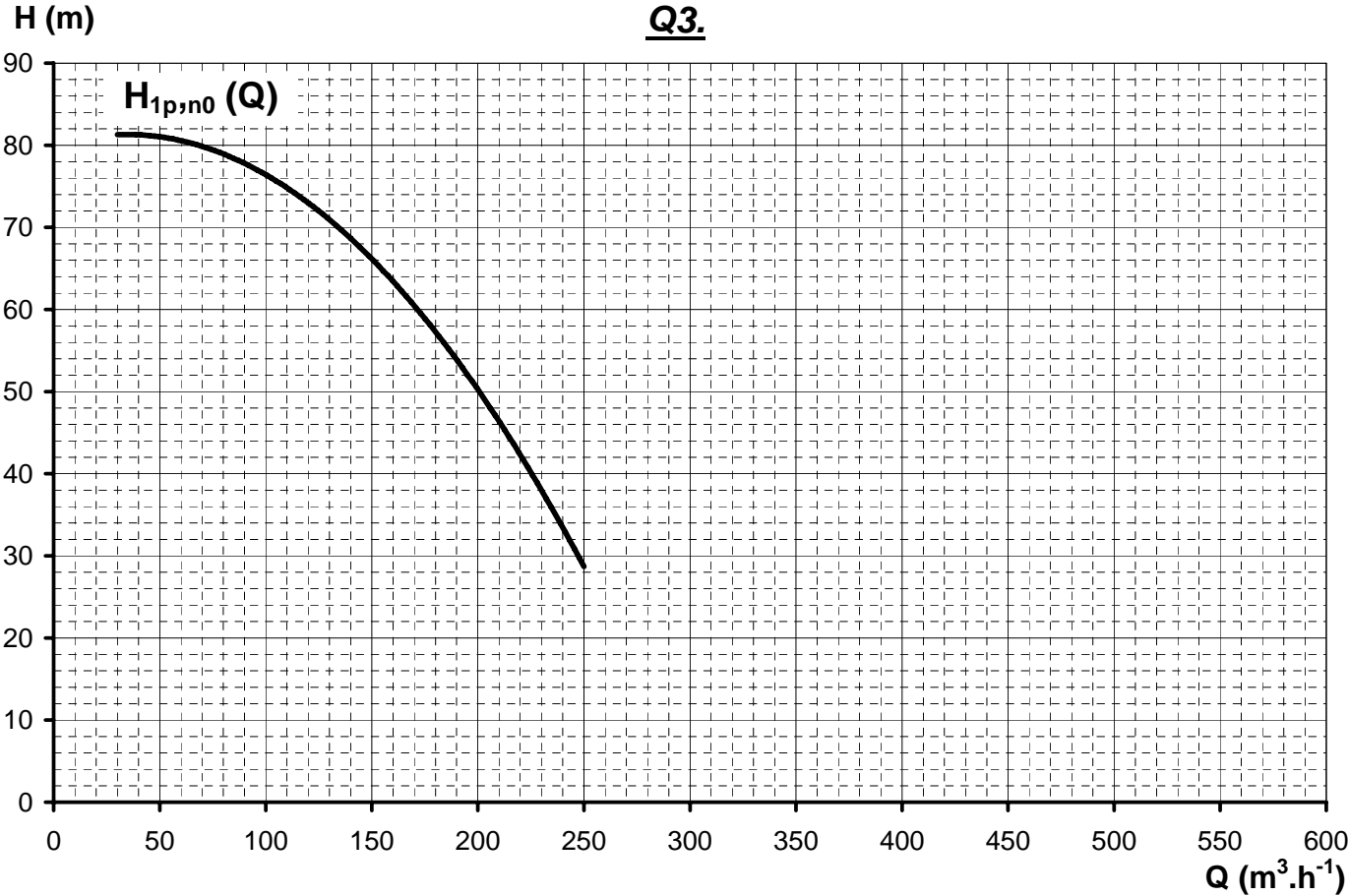
Trois revues de projet d'une durée de 20 min chacune doivent être insérées dans le planning :

- une revue d'organisation du projet permettant de vérifier l'aptitude de l'étudiant à :
  - participer à l'élaboration d'un cahier des charges,
  - rechercher et exploiter des documents,
  - déterminer les coûts du matériel et des ressources,
  - déterminer et planifier les tâches.
- une revue de conception du projet permettant de vérifier l'aptitude de l'étudiant à :
  - suivre l'organisation et la réalisation d'une production,
  - concevoir des plans, schémas et organigrammes,
  - déterminer les grandeurs à contrôler et identifier les paramètres réglants,
  - dialoguer et échanger des informations avec les membres d'une équipe.
- une revue de mise en œuvre du projet permettant de vérifier l'aptitude de l'étudiant à :
  - élaborer et suivre une procédure de mesure ou d'essai,
  - choisir le matériel de mesurage adapté,
  - réaliser des mesures ou des essais qualitatifs en toute sécurité,
  - interpréter les résultats obtenus,
  - traduire l'écriture d'un processus de fonctionnement en langage compatible avec un système programmable industriel,
  - réaliser tout ou partie d'un ouvrage, un équipement ou un produit,
  - procéder à la mise en service d'un appareillage,
  - analyser les causes de dysfonctionnement.

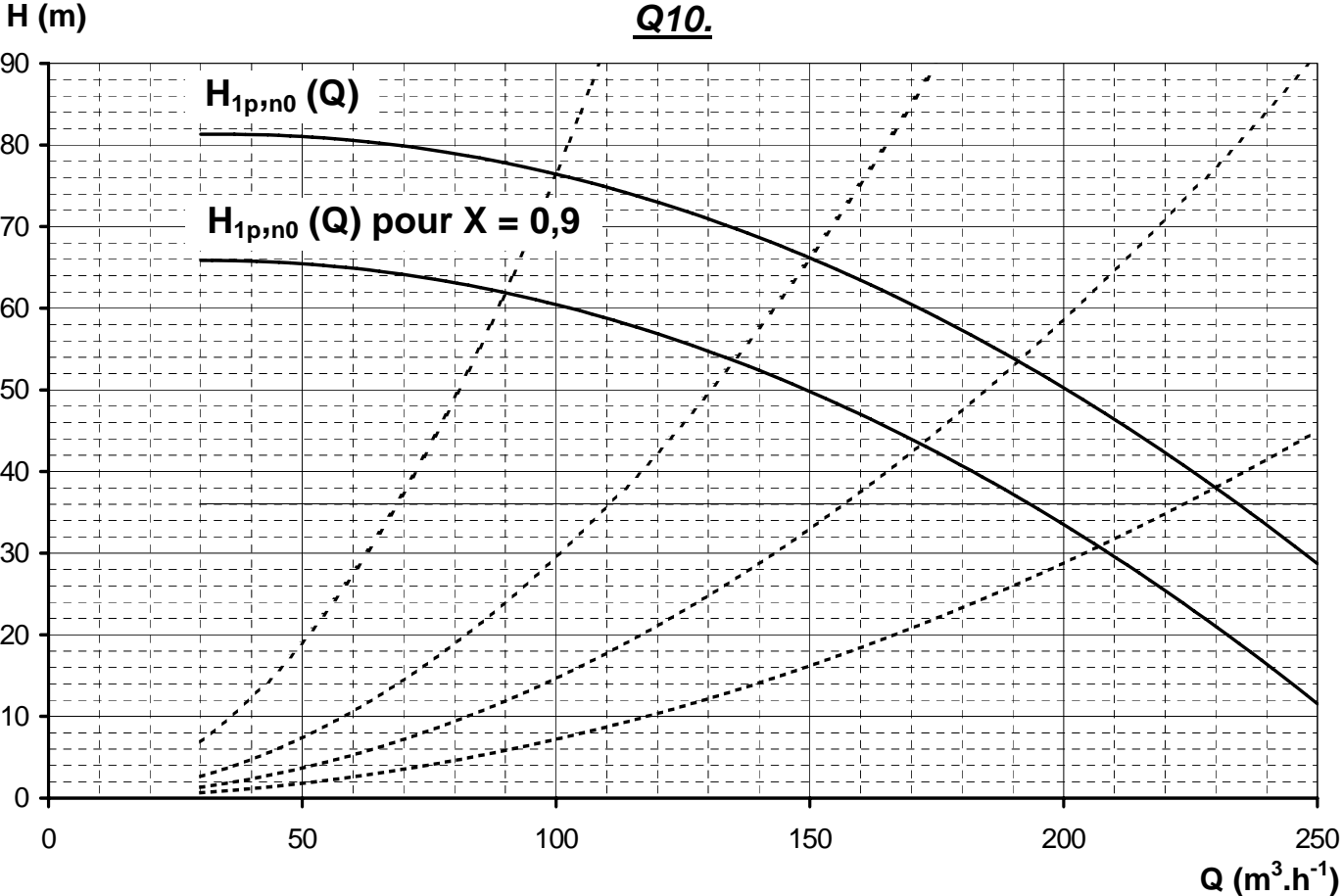
**Q77. Proposer des dates de revues de projet. Ces dates seront exprimées relativement au début du planning.**

DOCUMENT RÉPONSE DR1

Q3.

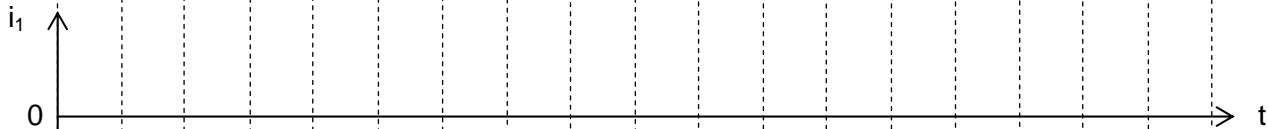
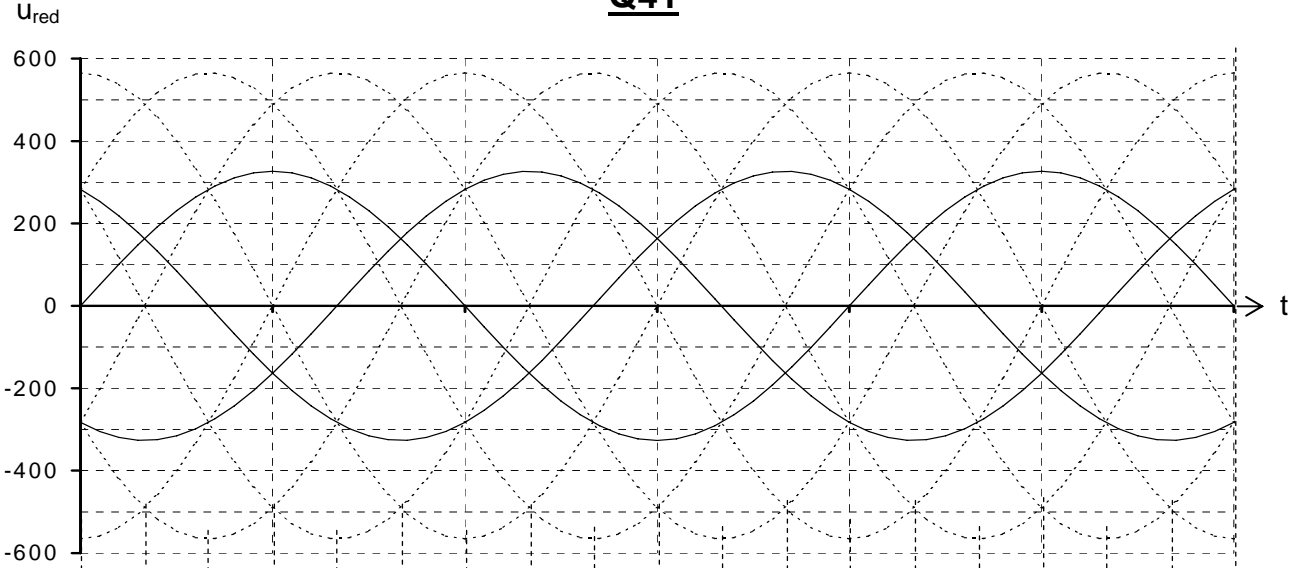


Q10.

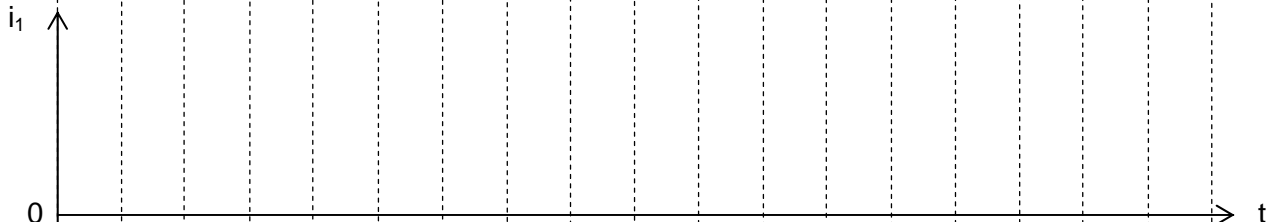
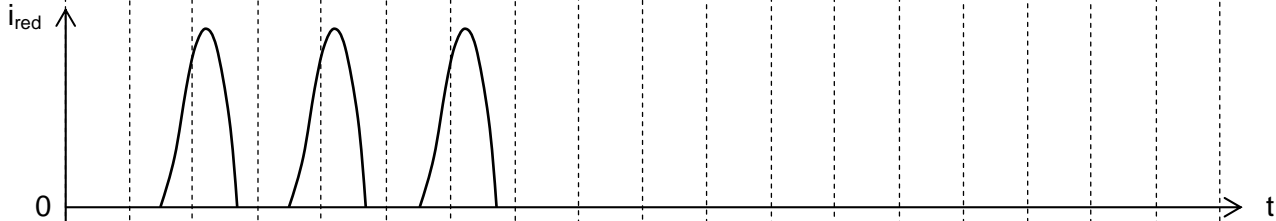


DOCUMENT RÉPONSE DR2

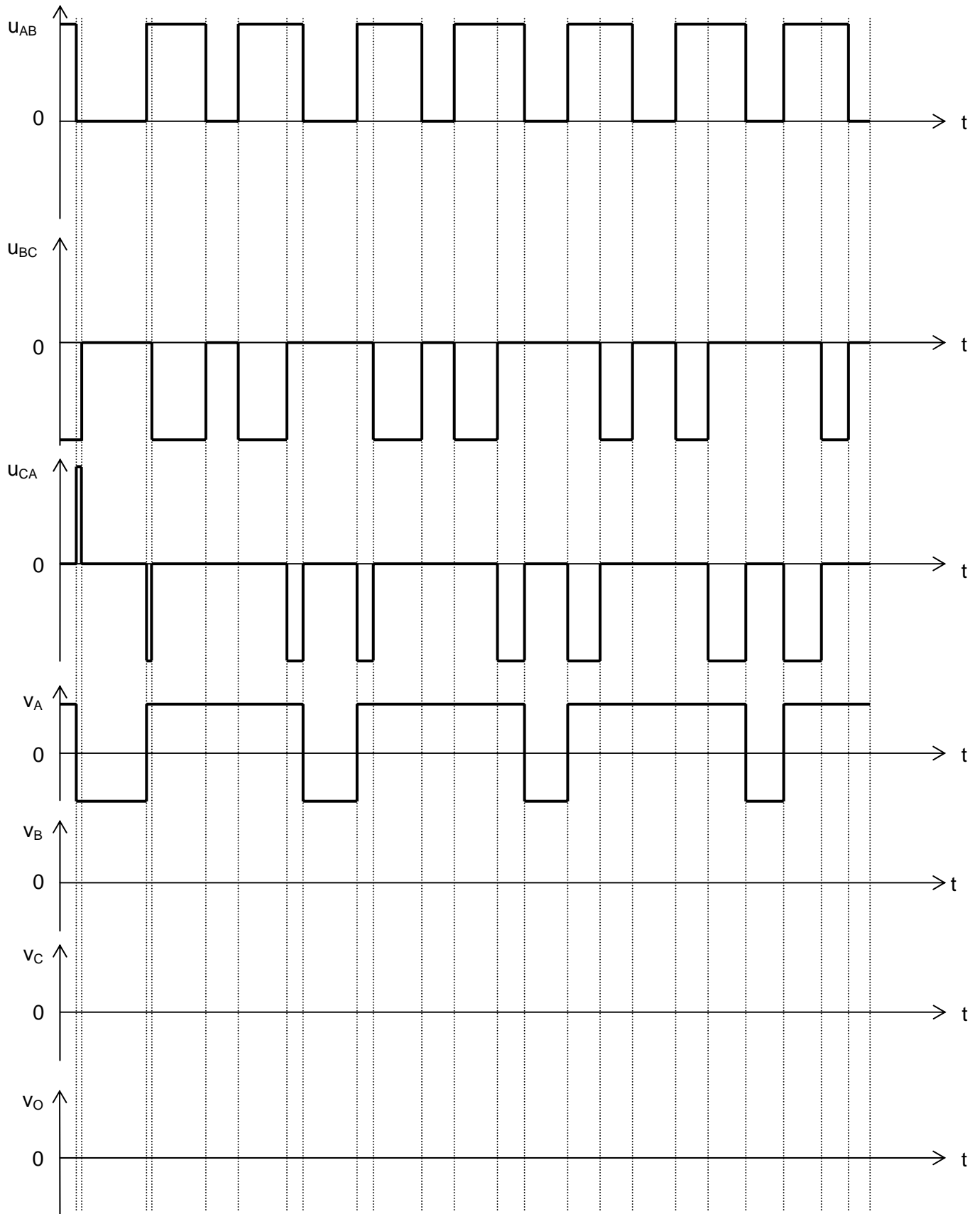
**Q41**



**Q44**



# DOCUMENT RÉPONSE DR3

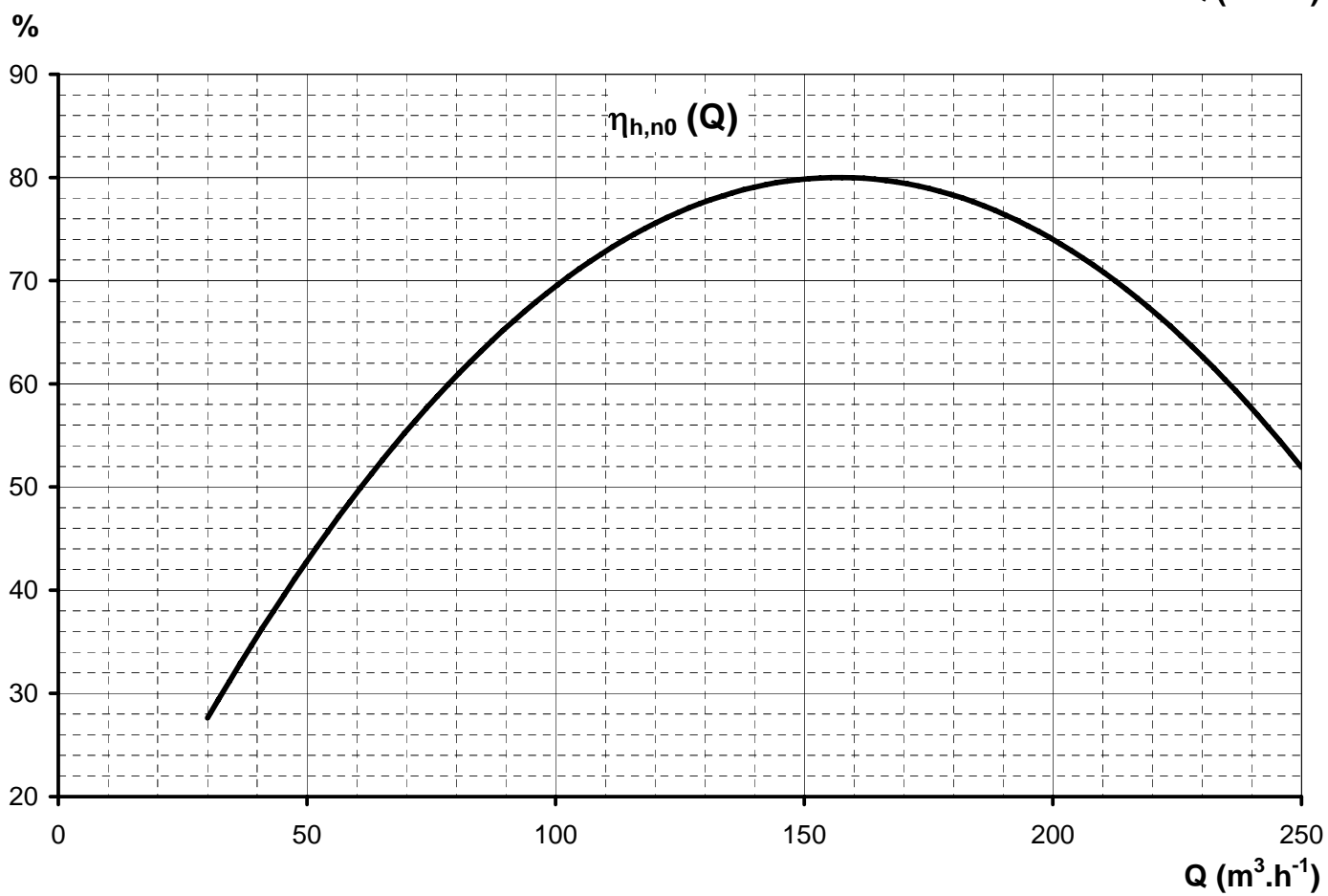
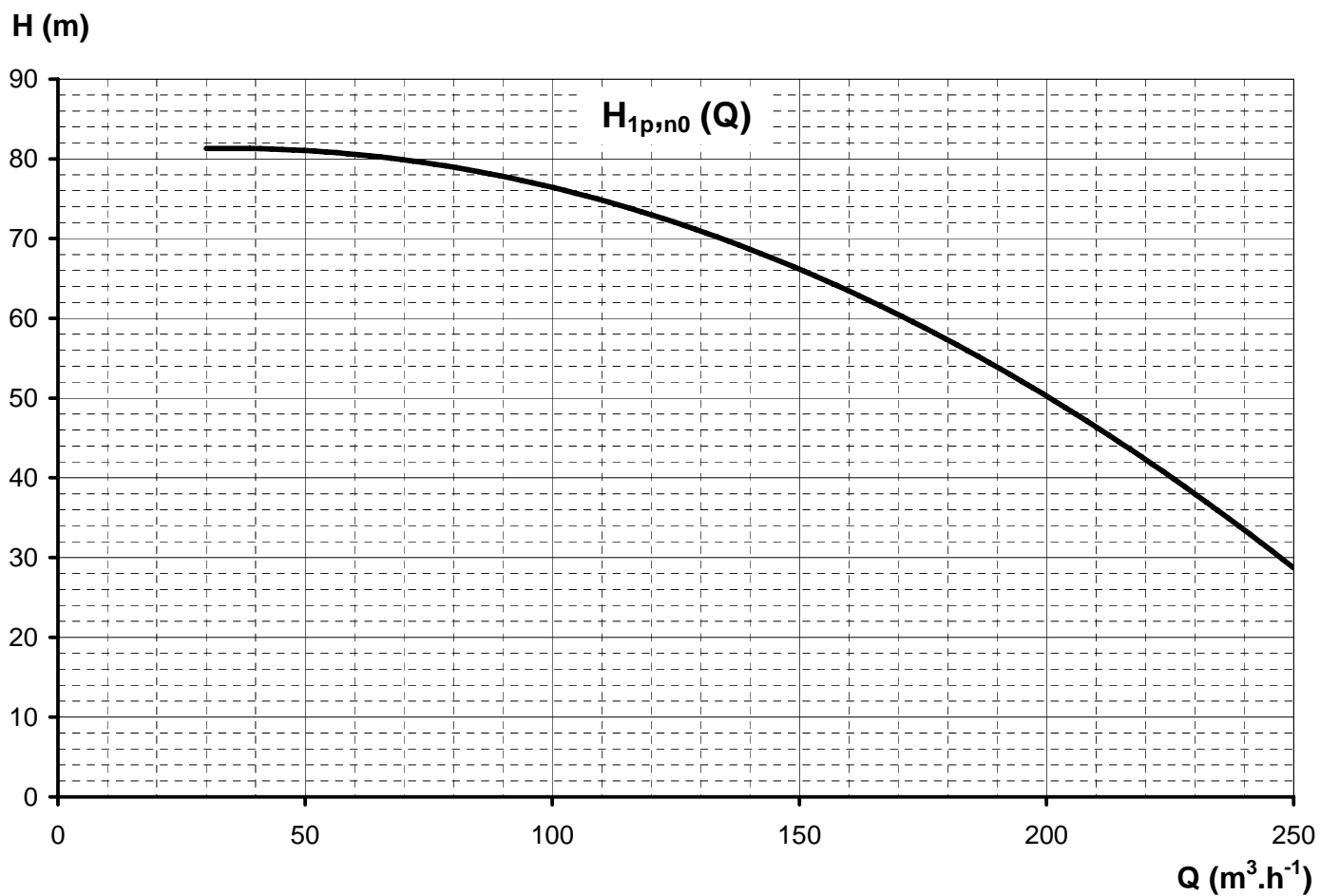




## DOCUMENT RÉPONSE DR5

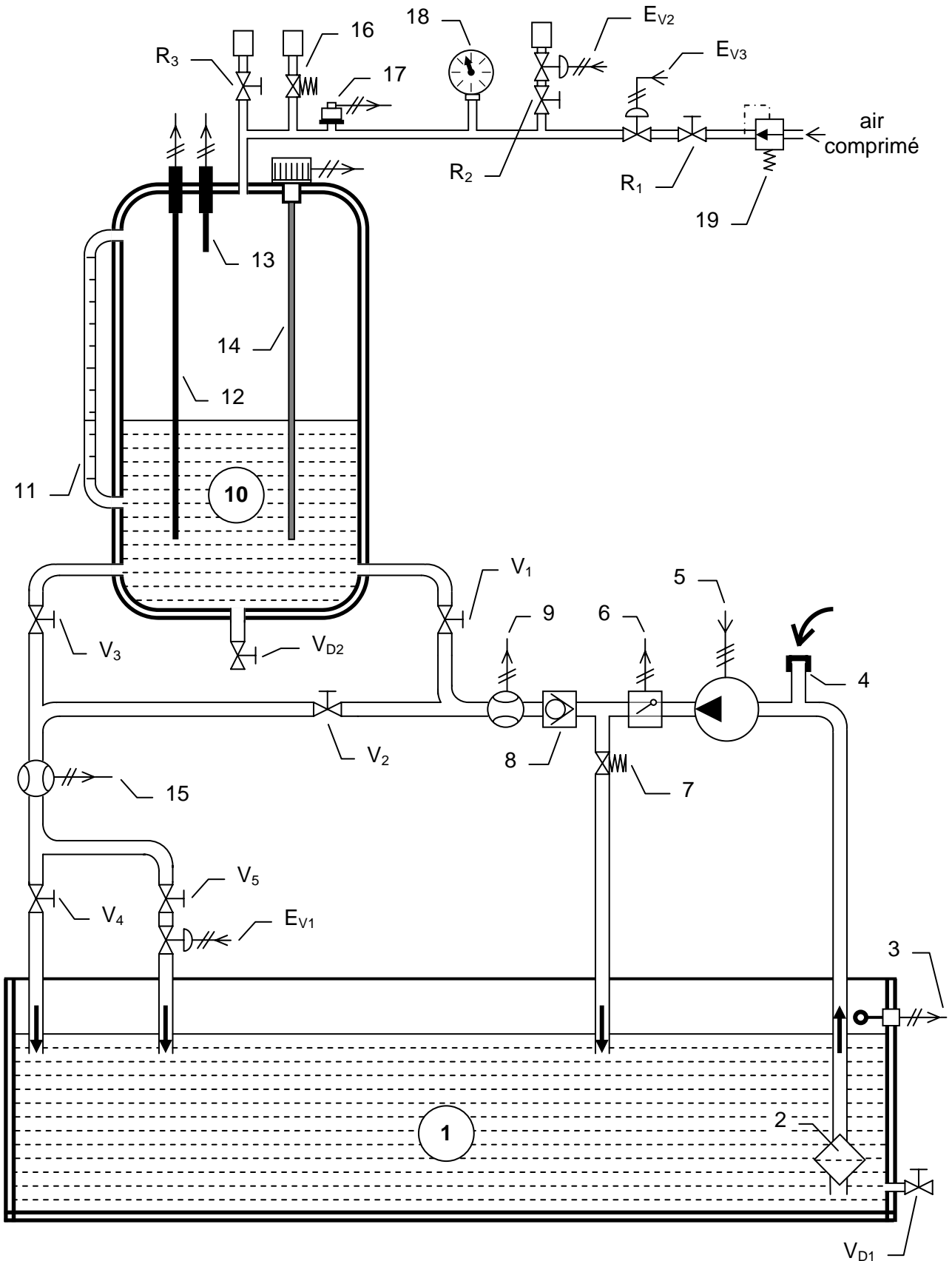
	Étudiant 1	Étudiant 2	Étudiant 3
<b>Étude technique et économique</b>			
<b>Analyse du cahier des charges</b>			
T1 : contact initial sur le site			
T2 : analyse du mode château d'eau sans bâche (mode 1)			
T3 : analyse du mode surpresseur (mode 2)			
<b>Concevoir des solutions techniques</b>			
T4 : détermination de la puissance du variateur			
T5 : environnement variateur			
T14 : choix des câbles de puissance			
T15 : disjoncteur de tête			
T19 : choix armoire et plan d'implantation interne			
T20 : étude thermique armoire			
T29 : choix capteur de pression et câble de liaison			
T8 : recherche des paramètres variateur pour le mode 1			
T9 : recherche des paramètres variateur pour le mode 2			
<b>Élaboration d'une offre adaptée</b>			
T6 : devis variateur			
T16 : devis câbles (et disjoncteur éventuel)			
T21 : devis armoire			
T30 : devis capteur			
<b>Dossiers de fabrication et d'exécution d'un chantier</b>			
T17 : schéma implantation câbles sur site			
T24 : schéma d'implantation armoire sur site			
T31 : schéma d'implantation capteur sur site			
T33 : schémas électriques réalisés sous logiciel			
<b>Réalisation et exécution</b>			
T22 : préparation et câblage armoire (hors variateur)			
T7 : câblage variateur au lycée			
T25 : montage armoire sur site			
<b>Planification, suivi technique et maîtrise des coûts</b>			
T26 : planification des essais de l'armoire sur site			
Centraliser les commandes et en assurer le suivi			
<b>Essais, mise en service et contrôle</b>			
T23 : vérification câblage général (au lycée)			
T10 : essais et paramétrage variateur au lycée			
T18 : vérification câblage sur site			
T32 : essais du capteur sur site			
T27 : vérification électriques armoire sur site			
T11 : essais variateur sur site (présence du fournisseur)			
T12 : essais hydrauliques sur site			
T28 : vérification thermique armoire sur site			
T13 : comptes rendus d'essais			
<b>Relations clients - fournisseurs</b>			
T34 : validation des devis par le client et commande			
T35 : validation des travaux demandés aux agents			
Réunions de chantier : organisation et comptes rendus			
<b>TOTAL</b>			

# DOCUMENT ANNEXE A 1



# DOCUMENT ANNEXE A2

## SOUS-SYSTEME NIVEAU – DÉBIT : schéma hydraulique



## DOCUMENT ANNEXE A3

### SOUS-SYSTEME NIVEAU – DÉBIT : nomenclature

#### Schéma hydraulique

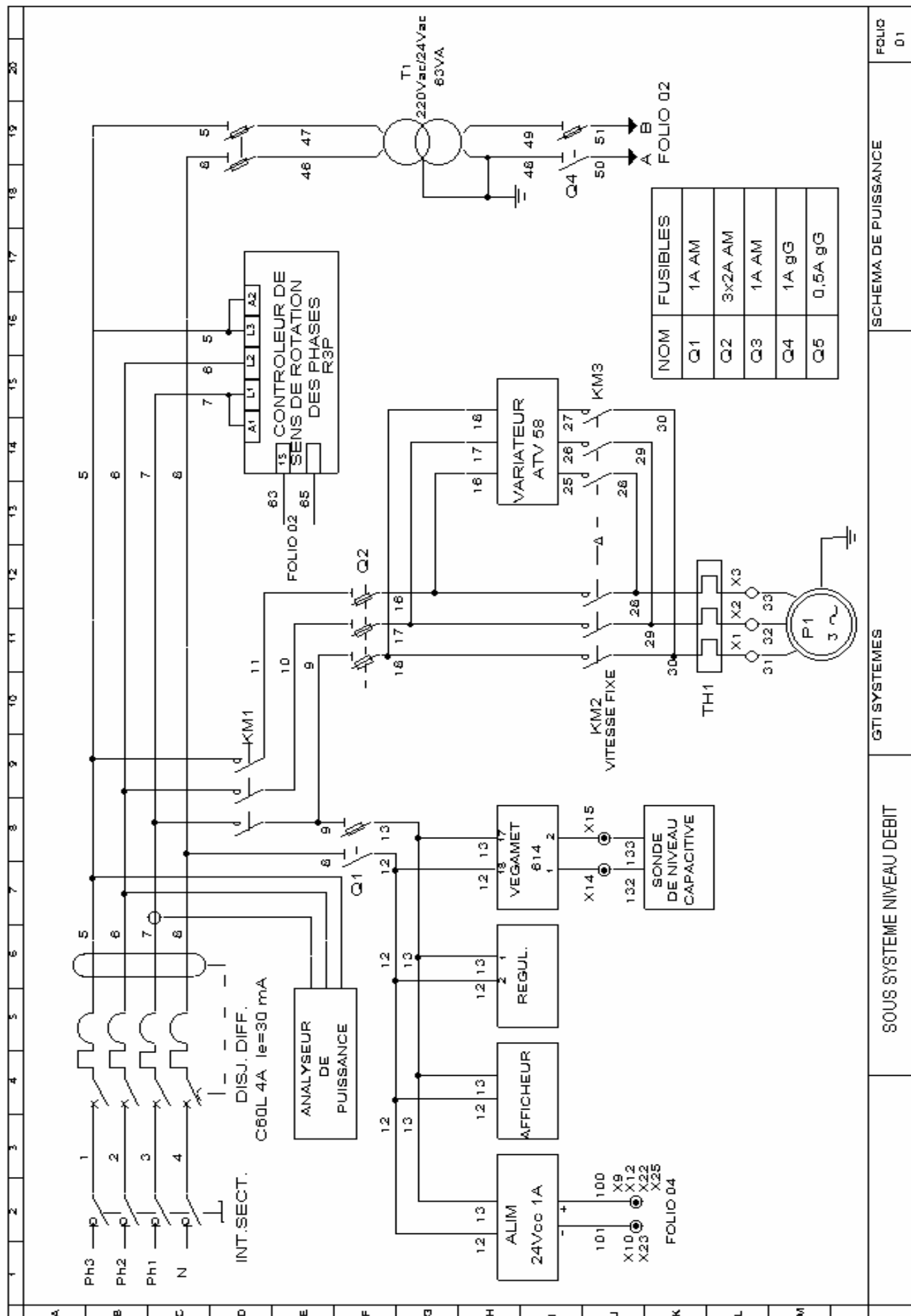
1	Bâche	V <sub>1</sub>	Vanne d'entrée du réservoir
2	Crépine	V <sub>2</sub>	Vanne by-pass du réservoir
3	Niveau bâche	V <sub>3</sub>	Vanne de sortie du réservoir
4	Amorçage de la pompe	V <sub>4</sub>	Vanne de réglage de l'utilisation
5	Pompe	V <sub>5</sub>	Vanne de réglage de la perturbation
6	Contrôle de débit		
7	Soupape de sécurité pression d'eau	E <sub>V1</sub>	Électrovanne de perturbation
8	Clapet anti retour	E <sub>V2</sub>	Électrovanne d'évacuation d'air
9	Capteur de débit d'entrée (sortie 4-20 mA)	E <sub>V3</sub>	Électrovanne d'admission d'air
10	Réservoir de stockage		
11	Indicateur de niveau	R <sub>1</sub>	Robinet d'arrivée d'air
12	Sonde de niveau bas	R <sub>2</sub>	Robinet d'échappement d'air
13	Sonde de niveau haut	R <sub>3</sub>	Robinet de mise à l'air libre
14	Capteur de niveau (sortie 4-20 mA)		
15	Capteur de débit de sortie (sortie 4-20 mA)	V <sub>D1</sub>	Vidange de la bâche
16	Soupape de sécurité pression d'air	V <sub>D2</sub>	Vidange du réservoir
17	Capteur de pression d'air		
18	Manomètre		
19	Détendeur d'air comprimé		

#### Schémas électriques

KM1	Contacteur de ligne	DNRT – NBH	Niveau ballon haut
KM2	Pompe vitesse fixe	DNRT – NBB	Niveau ballon bas
KM3	Pompe vitesse variable	DMR1	Seuil d'admission
KA1	Admission d'air	DMR2	Seuil d'échappement
KA2	Échappement d'air	DEBIT	Présence débit
DT1	Tempo désamorçage	NIVEAU	Niveau bâche
EV1	Électrovanne perturbation	R3P	Rotation des phases
EVA	Électrovanne admission	TH1	Thermique pompe
EVE	Électrovanne échappement	RD1	Altivar OK
VTE	Voyant présence tension	X13	sortie 4-20 mA du capteur de pression d'air

Circuit mesure du débit d'entrée non représenté.

# DOCUMENT ANNEXE A4



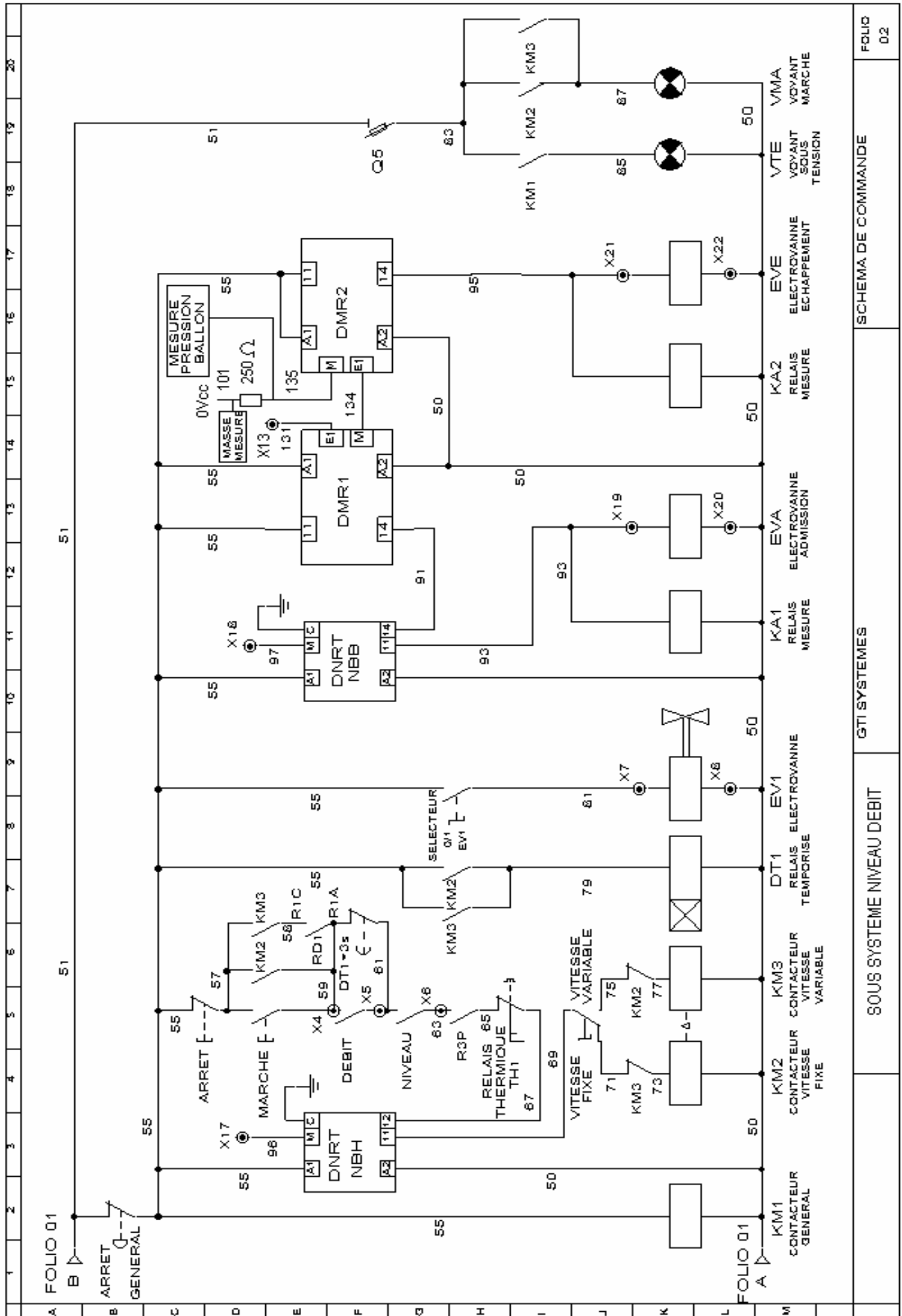
GTI SYSTEMES

SOUS SYSTEME NIVEAU DEBIT

SCHEMA DE PUISSANCE

FOLIO  
01

# DOCUMENT ANNEXE A5



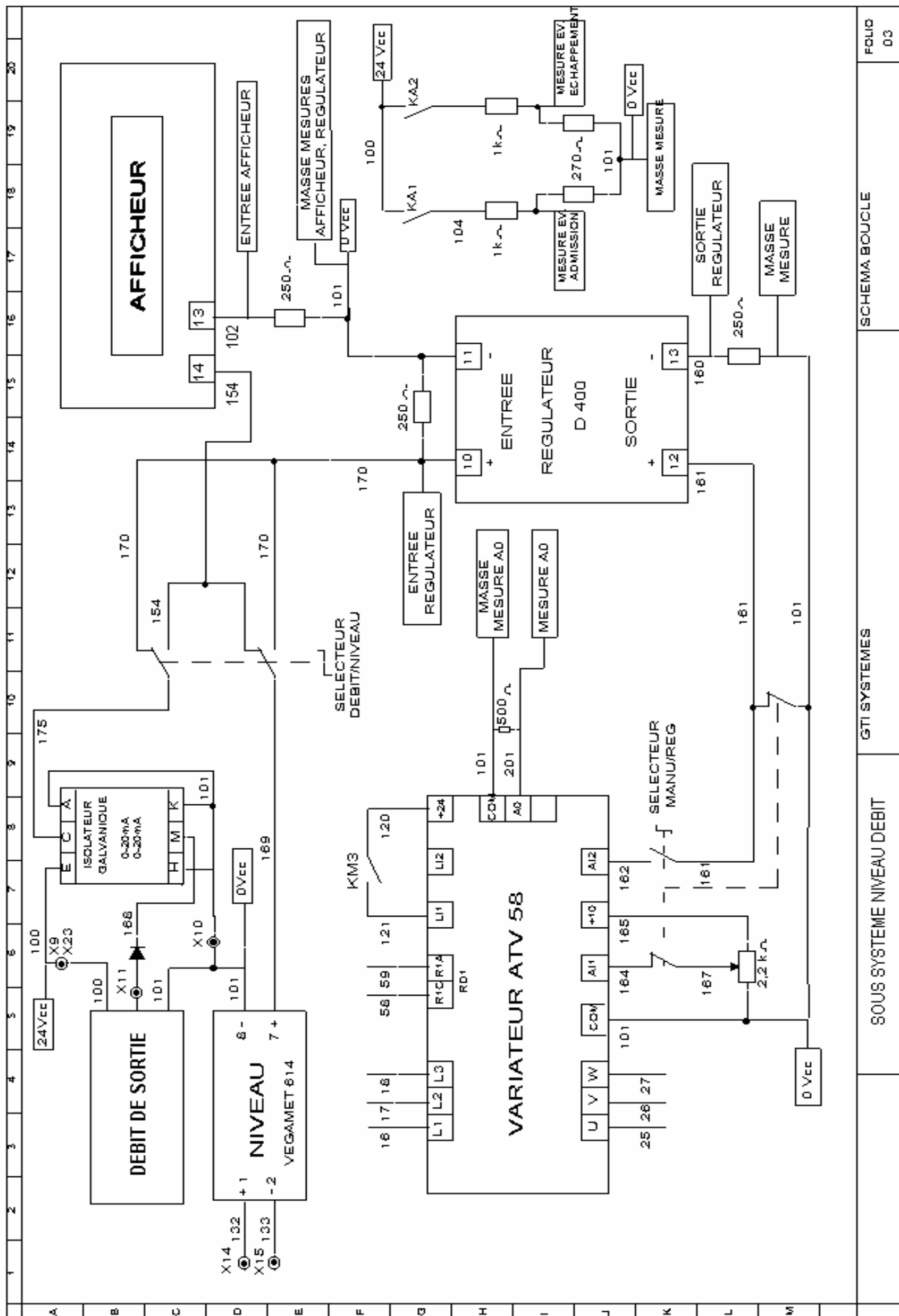
FOLIO  
02

SCHEMA DE COMMANDE

GTI SYSTEMES

SOUS SYSTEME NIVEAU DEBIT

# DOCUMENT ANNEXE A6



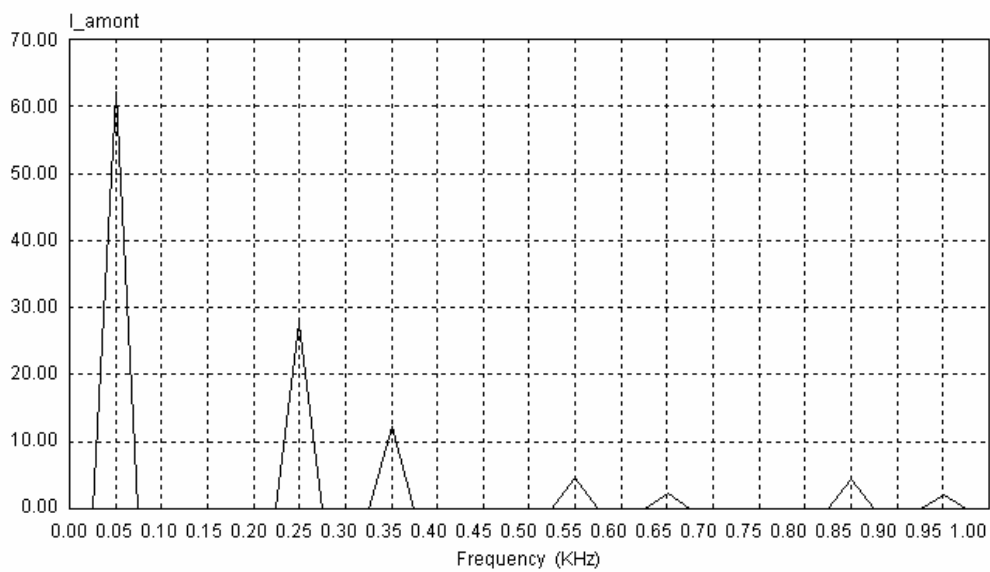
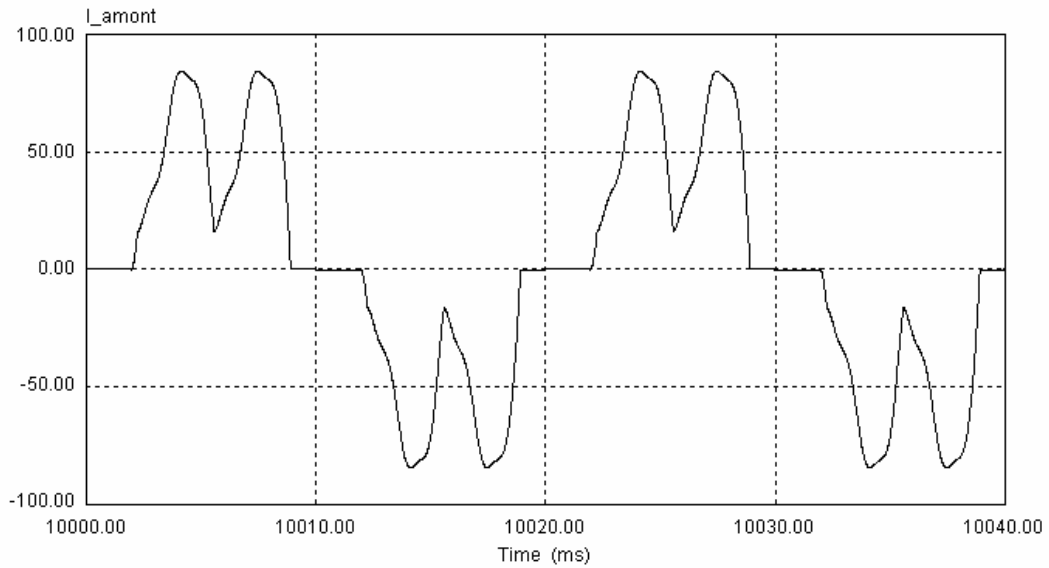
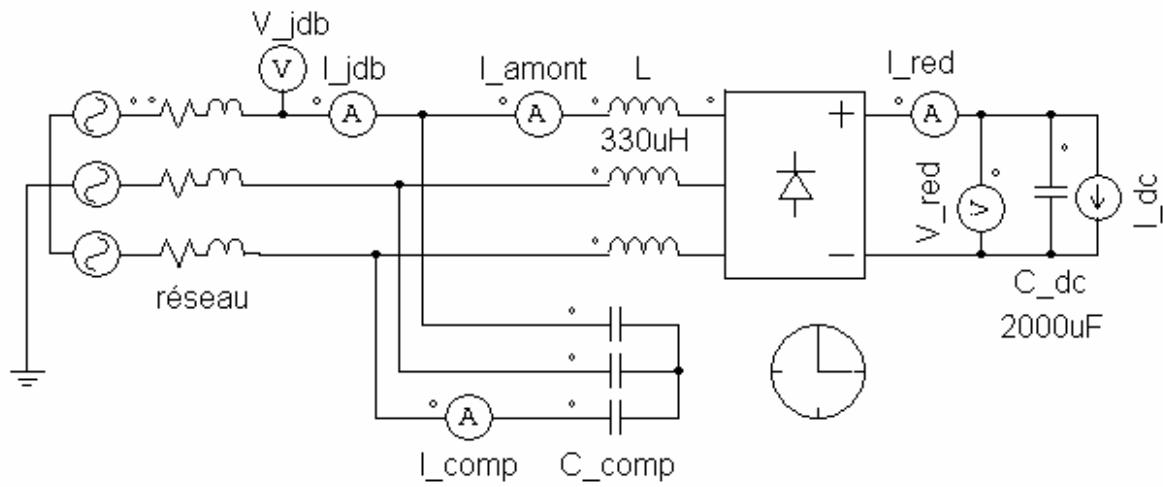
FOLIO  
03

SCHEMA BOUCLE

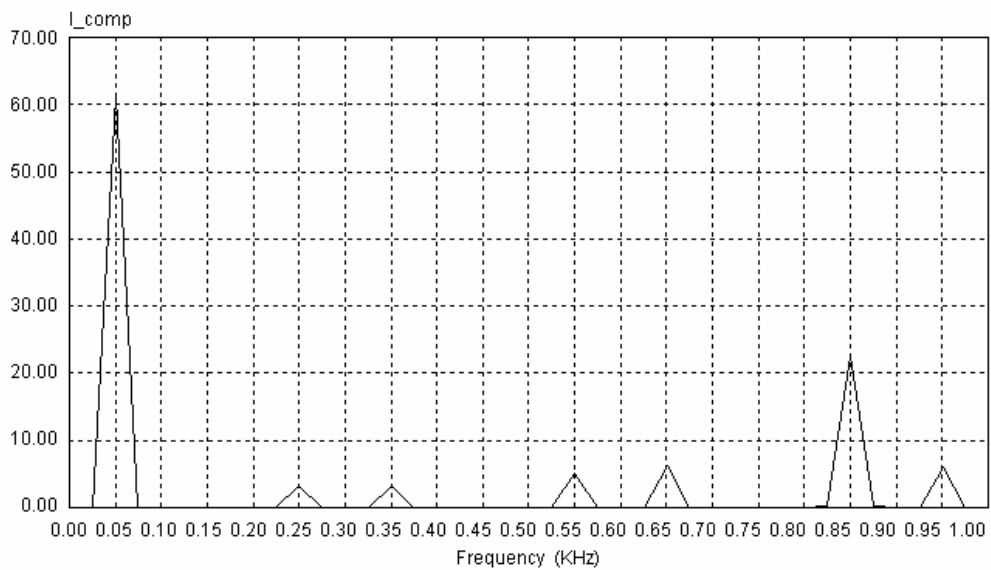
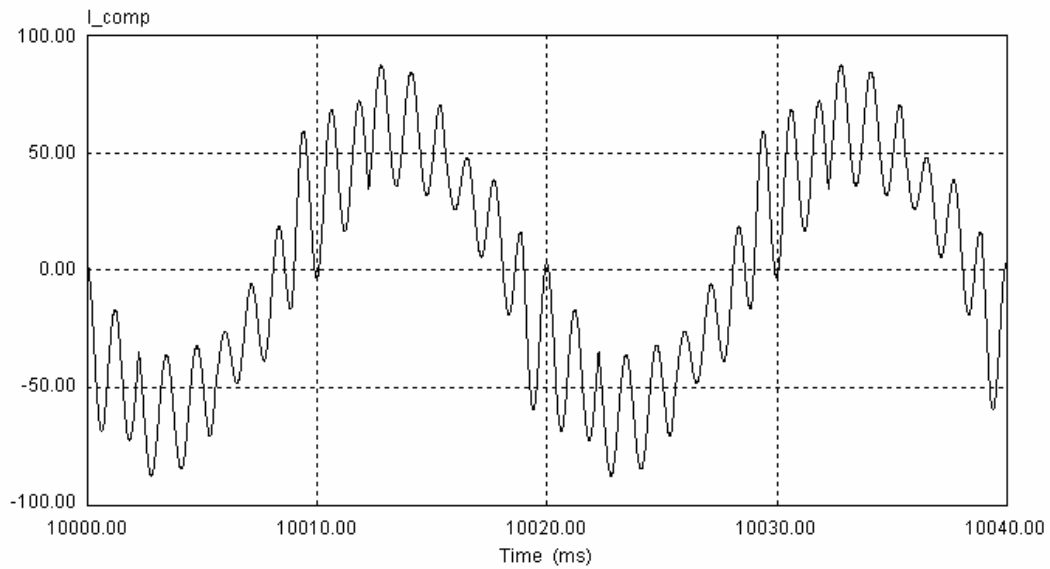
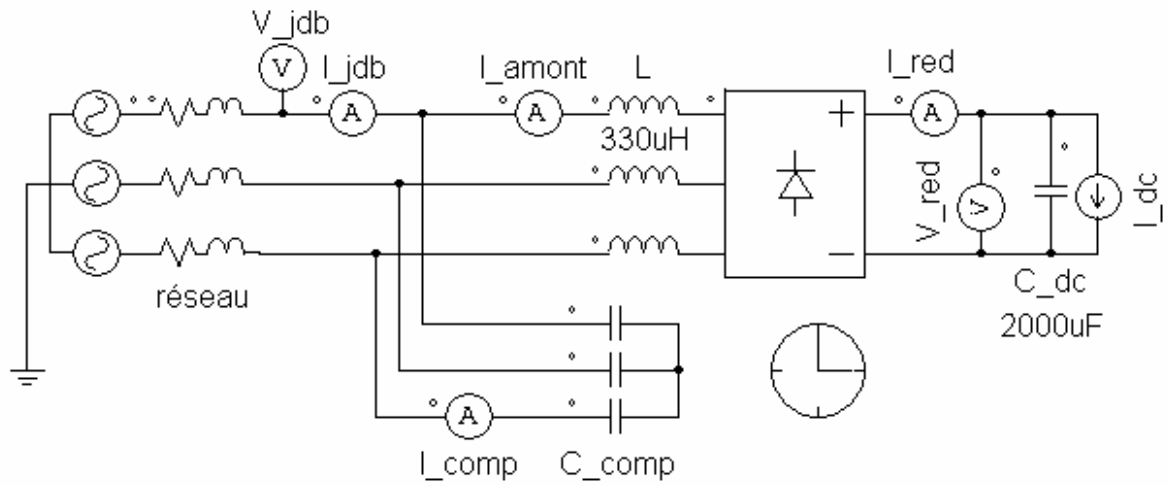
GTI SYSTEMES

SOUS SYSTEME NIVEAU DEBIT

# DOCUMENT ANNEXE A7



# DOCUMENT ANNEXE A8



# DOCUMENT ANNEXE A9

