



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**session 2011**

Brevet de Technicien Supérieur

## CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

### U41 – Instrumentation et Régulation

*Durée : 3 heures*

*Coefficient : 4*

**Matériel autorisé :**

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

**Tout autre matériel est interdit.**

**Aucun document autorisé.**

**Documents à rendre avec la copie :**

Les **documents réponses 1, 2, 3 et 4** sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.

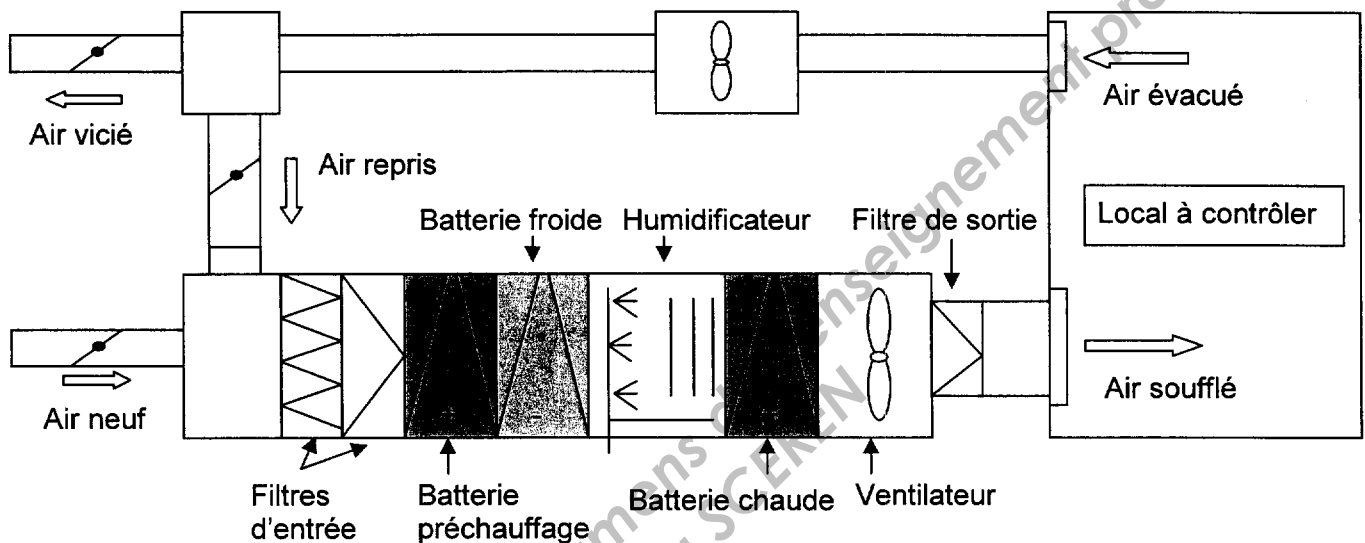
Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 16 pages, numérotées de 1/16 à 16/16.

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE		Session 2011
INSTRUMENTATION ET RÉGULATION	Code : CAE4IR	Page 1/16

## CENTRALE DE TRAITEMENT DE L'AIR (CTA)

Le rôle d'une CTA est de renouveler l'air ambiant d'un local en maintenant la température et le taux d'hygrométrie de celui-ci à des valeurs constantes mais ajustables.

La CTA est située à l'extérieur du bâtiment, généralement en toiture. Elle peut être affectée à la climatisation d'une seule pièce ou de plusieurs (multi-zoning) suivant le volume d'air à traiter.



### Principe :

La CTA étudiée fonctionne à débit d'air constant et traite  $5\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ .

Elle est affectée à un atelier comportant des instruments de précision nécessitant un contrôle précis de la température et de l'humidité.

L'air neuf est mélangé, à l'aide de registres, à de l'air repris dans le local afin de préchauffer l'air neuf et travailler en récupération d'énergie.

Ce mélange est ensuite filtré par les deux filtres mécaniques à poussière, puis chauffé ou refroidi par la batterie chaude ou la batterie froide.

La batterie de préchauffage ne sert qu'à maintenir l'installation hors gel.

La batterie froide est alimentée en eau glycolée par un groupe froid.

La batterie chaude est alimentée en eau chaude par une chaudière.

Le groupe froid et la chaudière alimentent plusieurs CTA dans l'entreprise.

Un humidificateur par pulvérisation de vapeur permet de modifier l'hygrométrie du local.

<b>INSTRUMENTATION (8 POINTS)</b>
-----------------------------------

Les mesures de température et d'humidité sont assurées par une sonde d'ambiance Siemens QFA66 (extrait de la documentation constructeur en **annexe n° 1**).

### 1. Mesure de la température dans l'atelier

La sonde d'ambiance utilise un capteur dénommé Pt100, montage 2 fils.

**1.1** Que signifie Pt100 ? Quel est le principe de ce type de capteur ?

Le transmetteur est relié à un système numérique de contrôle commande (SNCC) Siemens acceptant des entrées en tension et à un enregistreur numérique également à entrées tension.

La plage de température que l'on désire utiliser est 0 – 50°C.

**1.2** En s'aidant de l'**annexe n° 1**, réaliser le schéma de câblage de la mesure de température sur le **document réponse n° 1** en indiquant les polarités des appareils, ainsi que les valeurs des tensions, des courants et des résistances éventuelles mises en œuvre.

**1.3** Pourquoi, dans ce cas, un capteur montage 3 fils n'est-il pas nécessaire ?

### 2. Mesure de l'humidité relative dans l'atelier

Cette humidité est mesurée par un capteur capacitif de capacité :  $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{e}$

**2.1** Dans cette formule, quel est le paramètre modifié par l'humidité de l'air ?

**2.2** À partir de la **documentation constructeur en annexe n° 1**, calculer la sensibilité (s en V.%<sup>-1</sup>) de cette sonde.

### 3. Choix et dimensionnement de la vanne de régulation TV1

Cette vanne est une vanne Masoneilan série 21000.

**3.1** Le corps de vanne est de type « fluide tendant à ouvrir la vanne ».

Justifier cette expression et compléter le document réponse (page 10/16) par 2 flèches indiquant le sens de circulation du fluide.

**3.2** Quel servomoteur doit-on associer au corps de vanne (type 37 ou type 38) pour obtenir une vanne FMA ? Préciser sur le schéma de la vanne la position de l'arrivée d'air pour commander cette vanne.

Répondre sur le **document réponse n° 1**.

L'association corps de vanne / servomoteur a une caractéristique « installée » dite : « égal pourcentage ».

**3.3** Préciser la signification de cette expression.

La vanne est à clapet tourné non équilibré et à siège pincé.

**3.4** Fournir la codification correspondant à cette vanne.

Répondre sur le **document réponse n° 2**.

On souhaite obtenir une vanne à caractéristique linéaire entre l'ouverture (en %) et le signal de commande Yr (en %). Pour cela, on équipe la vanne d'un positionneur intelligent.

**3.5** Pour le positionneur, placer les points correspondants à la course de la tige du clapet pour les commandes Yr suivantes : 0%, 20%, 50%, 80% et 100%.

Tracer la caractéristique course (%) en fonction de la commande Yr (%).

Répondre sur le **document réponse n° 2**.

## CAE4IR

### Calcul du CV de la vanne :

Données :

- Type de fluide : eau.
- $\rho = 1\,000 \text{ kg.m}^{-3}$  pour les conditions de fonctionnement.
- Tension de vapeur de l'eau est égale à 2 bar à la température de fonctionnement.
- Débit d'eau maximal =  $20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ .
- La chute de pression dans la vanne est estimée à 3 bar.
- La pression amont de la vanne est de 6 bar.
- Le facteur de débit critique de la vanne ( $C_f$ ) est de 0,9.
- Documentation constructeur en **annexe n° 2**.

3.6 Donner la définition précise du coefficient de vanne CV.

3.7 Déterminer le type d'écoulement (critique ou non). Utiliser la relation  $\Delta P_s = P_1 - P_v$ .

3.8 Calculer numériquement la valeur du CV de la vanne.

## RÉGULATION (12 POINTS)

### 4. Étude de la boucle « courte » de température dans l'atelier

Le schéma TI de la boucle simple de température est fourni en **annexe n° 3 (page 8/16)**. Pour un régulateur TIC2 en fonctionnement manuel, une réponse indicielle en boucle ouverte est réalisée à partir du point de fonctionnement de 20°C. (**Document réponse n° 3**)

4.1 Identifier la fonction de transfert  $H(p)$  du procédé sous la forme d'un premier ordre retardé, par la méthode de Broïda ( fournir les valeurs des paramètres  $K$ ,  $T$ ,  $\tau$ ).

**Les traits de construction devront être visibles sur le document réponse n° 3.**

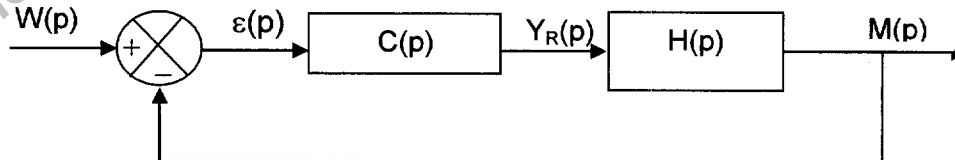
Pour la suite, on admet que  $H(p) = \frac{0,3.e^{-23p}}{1+150.p}$

On associe au procédé un régulateur PI de correcteur :  $C(p) = \frac{A.(1+T_i.p)}{T_i.p}$

4.2 Quelle est la structure de ce correcteur ?

4.3 Quel doit être le sens d'action de ce régulateur ? Justifier.

Le schéma fonctionnel de la boucle de température est le suivant :



On souhaite calculer les marges de gain et de phase de cette boucle.

Dans un premier temps, on règle  $A = 1$  et  $T_i = 150\text{s}$ .

4.4 Déterminer  $T(p) = \frac{M(p)}{\varepsilon(p)}$ , fonction de transfert en boucle ouverte du système.

4.5 Déterminer le module de  $\underline{T}(j\omega)$  en fonction de  $\omega$ .

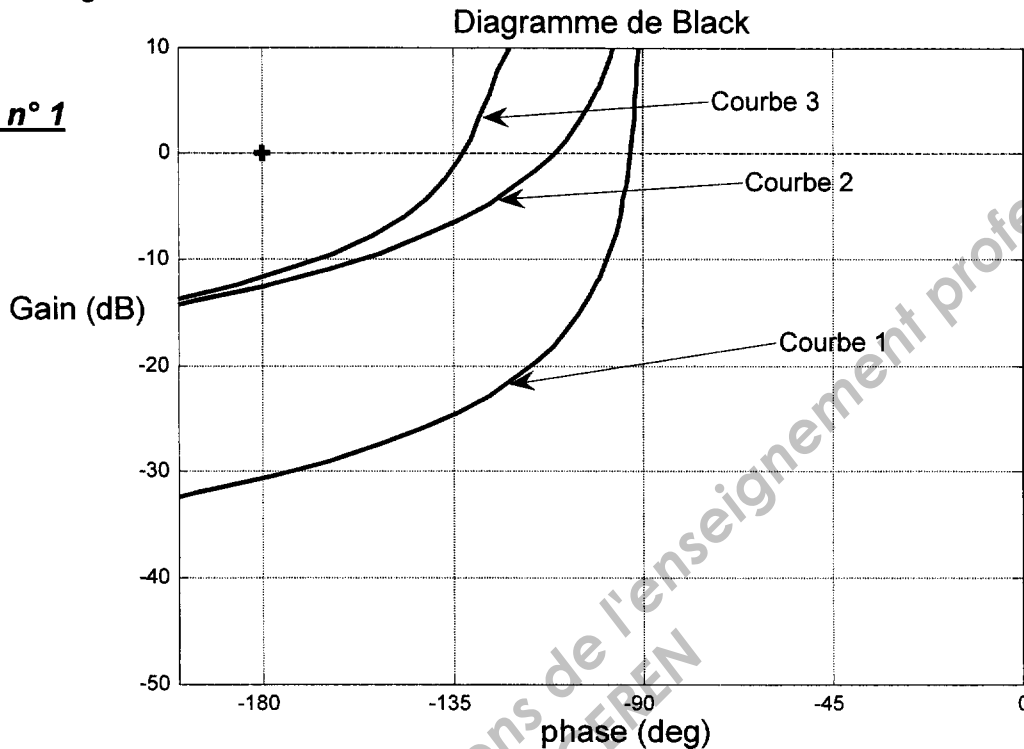
4.6 Déterminer l'argument de  $\underline{T}(j\omega)$  en fonction de  $\omega$ .

4.7 Calculer la marge de gain  $G_m$  du système.

À l'aide d'un logiciel de simulation, il est possible de tracer le diagramme de Black de  $\underline{T}(j\omega)$ , pour différents réglages du correcteur  $C(p)$ .

Avec les valeurs précédentes ( $A = 1$ ,  $T_i = 150s$ ), on obtient la courbe n° 1 de la **figure n° 1**. Les valeurs des marges de stabilités étant trop importantes, on décide de modifier les réglages du régulateur.

**Figure n° 1**



- 4.8 Pour obtenir la courbe n° 2, un paramètre du régulateur a été modifié, lequel, et dans quel sens ?
- 4.9 Pour obtenir la courbe n° 3, un autre paramètre du régulateur a été modifié. Lequel et dans quel sens ?
- 4.10 Mesurer la marge de gain  $G_m$  et la marge de phase  $\phi_m$  pour la courbe n° 3.

**5. Régulation à partage d'échelle**

En réalité, la régulation de température est une régulation à partage d'échelle (ou split range) agissant sur la batterie chaude et la batterie froide. Le bloc de partage est réalisé dans le SNCC et aboutit à 2 sorties standards  $Y_{Chaud}$  et  $Y_{Froid}$ , les équations de partage étant :

$$Y_{Chaud} = A.Y + B = 2.Y - 100$$

$$Y_{Froid} = C.Y + D = -2,5.Y + 100$$

$Y$  étant la valeur de sortie du correcteur  $C(p)$ .

$Y$ ,  $Y_{Chaud}$  et  $Y_{Froid}$  sont exprimés en %.

- 5.1 Quelle est la particularité de cette stratégie de régulation ? Quels sont les avantages apportés par celle-ci par rapport à une boucle simple ?
- 5.2 Tracer le diagramme de partage en signaux de commande :  
 $Y_{Chaud} = f(Y)$   
 $Y_{Froid} = f(Y)$  sur le même schéma.

Quelle est la particularité de ce diagramme ? Quel en est l'intérêt ?

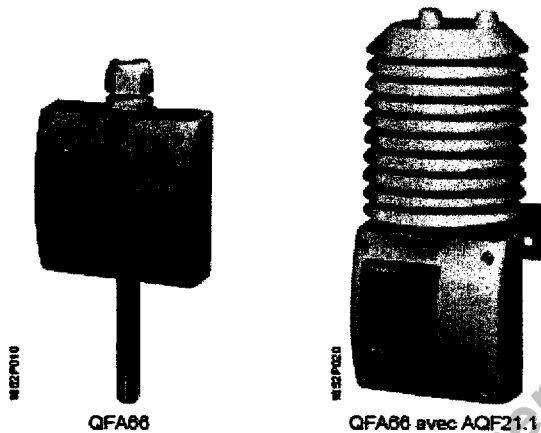
- 5.3 Réaliser le schéma TI de cette régulation sur le **document réponse n° 4**.

## CAE4IR

- 5.4 Compte tenu du diagramme de partage ci-dessus, déterminer par un raisonnement clair le sens d'action du régulateur TIC 02.
- 5.5 Pour obtenir la régulation de température du local mesurée par le transmetteur TT 01, déterminer la stratégie nécessaire. Compléter le **document réponse n° 4**.

### Annexe n° 1

#### Extrait de la documentation constructeur de la sonde d'ambiance Siemens QFA66



#### Sonde d'ambiance

pour humidité relative (haute précision) et température

#### QFA66

#### Technique

##### Humidité relative

La sonde enregistre l'humidité relative à l'aide d'un élément de mesure d'humidité capacitif dont la capacité électrique varie avec l'humidité relative de l'air ambiant.

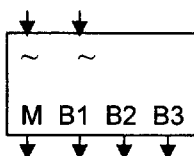
Un circuit de mesure électronique transforme le signal de la sonde en un signal progressif de 0...10 V-, qui correspond à une humidité relative de 0...100 %.

##### Température

La sonde enregistre la température avec un élément de mesure Pt100 à couche mince dont la résistance électrique varie avec la température de l'air ambiant.

Cette variation est transformée en deux signaux 0...10 V- agissant indépendamment l'un de l'autre. L'un de ces signaux 0...10 V- correspond à la plage de 0...50 °C et l'autre à la plage de -35...+35 °C.

#### Bornes de raccordement



- ~ Alimentation très basse tension alternative 24 V
- M Zéro du système (masse)
- B1 Sortie signal 1 – 10 V pour humidité relative 0 - 100%
- B2 Sortie signal 0 – 10 V pour plage de température 0 – 50 °C
- B3 Sortie signal 0 – 10 V pour plage de température -35 – +35 °C

## Annexe n° 2

## Dimensionnement des vannes de réglage (Document Masoneilan)

LIQUIDES <sup>(1)</sup>

A. Écoulement non critique	B. Écoulement critique (cavitation ou vaporisation)
Si : $\Delta P < C_v^2 \Delta P_c$	Si : $\Delta P \geq C_v^2 \Delta P_c$

Débit-volume :

$$C_v = 1,16q \sqrt{\frac{G_r}{\Delta P}} \quad C_v = \frac{1,16q}{C_1} \sqrt{\frac{G_r}{\Delta P_c}} \quad (\text{Réf. 1})$$

Débit-masse :

$$C_v = \frac{1,16W}{\sqrt{G_r \Delta P}} \quad C_v = \frac{1,16W}{C_1 \sqrt{G_r \Delta P_c}} \quad \begin{matrix} *(\text{Réf. 2}) \\ (\text{Réf. 7}) \end{matrix}$$

$$\Delta P_c = P_1 - \left(0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}}\right) P_v \quad \begin{matrix} *(\text{Réf. 2}) \\ (\text{Réf. 7}) \end{matrix}$$

ou pour simplifier, si  $P_v < 0,5P_1$ ,  $\Delta P_c = P_1 - P_v$ .

- $C_1$  = Facteur de débit critique  
 $C_v$  = Coefficient de débit nécessaire  
 $G_r$  = Densité à la température de l'écoulement, calculée par rapport à l'eau (1 à 15,6 °C)  
 $P_1$  = Pression en amont, bar abs.  
 $P_2$  = Pression en aval, bar abs.  
 $P_c$  = Pression au point critique thermodynamique, bar abs. (voir page 4)  
 $P_v$  = Tension de vapeur du liquide à la température en amont, bar abs.  
 $\Delta P$  = Chute de pression  $P_1 - P_2$ , bar  
 $\Delta P_c$  = Chute de pression utilisée pour le dimensionnement en écoulement critique, bar  
 $q$  = Débit-volume du liquide, m<sup>3</sup>/h  
 $W$  = Débit-masse du liquide, t/h

\*NOTE :  $C_v^2 \Delta P_c$  est la valeur de la chute de pression à partir de laquelle l'écoulement est critique (le débit n'augmente alors plus lorsque la chute de pression croît).

Cette formule permettant le calcul de  $\Delta P_c$  est suffisamment précise pour les cas de calcul habituels.

Cas spéciaux de calcul :

- cavitation (page 9)
- viscosité importante, écoulement laminaire (page 13)
- influence des convergents-divergents (page 10)
- écoulement biphasique (page 14)

## GAZ ET VAPEUR D'EAU (formules simplifiées)

A. Écoulement non critique	B. Écoulement critique
Si : $\Delta P < 0,5C_v^2 P_1$	Si : $\Delta P \geq 0,5C_v^2 P_1$

Gaz (débit-volume) :

$$C_v = \frac{Q}{295} \sqrt{\frac{GT}{\Delta P(P_1 + P_2)}} \quad C_v = \frac{Q\sqrt{GT}}{257C_1 P_1}$$

Gaz (débit-masse) :

$$C_v = \frac{47,2W}{\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)} G_r} \quad C_v = \frac{54,5W}{C_1 P_1 \sqrt{G_r}}$$

Vapeur d'eau saturée (débit-masse) :

$$C_v = \frac{72,4W}{\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)}} \quad C_v = \frac{83,7W}{C_1 P_1}$$

Vapeur d'eau surchauffée (débit-masse) :

$$C_v = \frac{72,4(1 + 0,00126T_{\text{sn}})W}{\sqrt{\Delta P(P_1 + P_2)}} \quad C_v = \frac{83,7(1 + 0,00126T_{\text{sn}})W}{C_1 P_1}$$

- $C_1$  = Facteur de débit critique  
 $C_v$  = Coefficient de débit nécessaire  
 $G$  = Densité du gaz à 15,6 °C et 1013 mbar abs., calculée par rapport à celle de l'air prise égale à 1  
 $G_r$  = Densité du gaz à la température de l'écoulement et 1013 mbar abs., calculée par rapport à celle de l'air prise égale à 1  
 $= G \frac{288}{T}$   
 $P_1$  = Pression en amont, bar abs.  
 $P_2$  = Pression en aval, bar abs.  
 $\Delta P$  = Chute de pression  $P_1 - P_2$ , bar  
 $Q$  = Débit-volume du gaz à 15,6 °C et 1013 mbar abs., st. m<sup>3</sup>/h  
 $T$  = Température absolue du gaz, K = 273 + °C  
 $T_{\text{sn}}$  = Surchauffe de la vapeur d'eau, °C  
 $W$  = Débit-masse du gaz ou de la vapeur d'eau, t/h

Cas spéciaux de calcul :

- influence des convergents-divergents (page 10)
- correction de compressibilité (page 14)

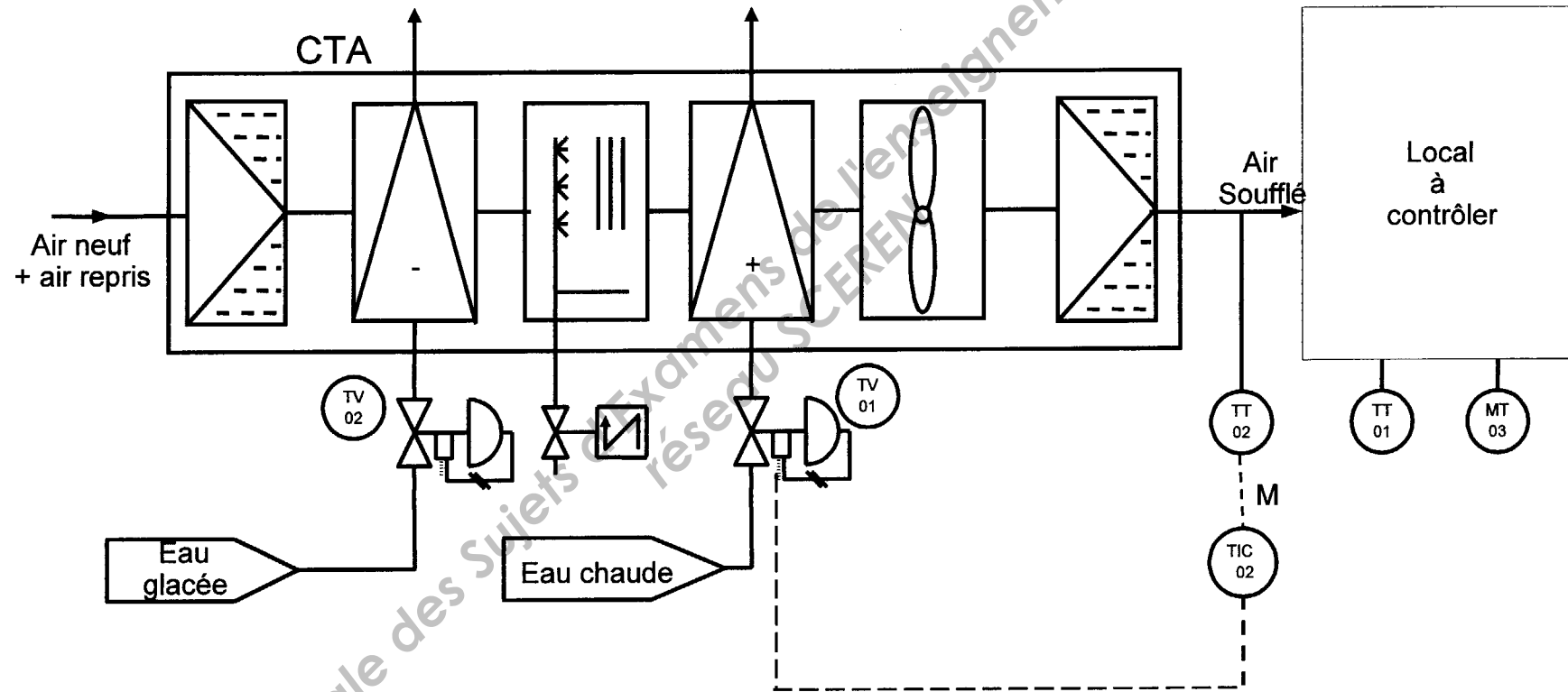
(1) Ces formules sont compatibles avec celles préconisées par l'I.S.A. (Instrument Society of America) qui utilise :

$$F_L = C_1 \quad \text{et} \quad F_F = 0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$



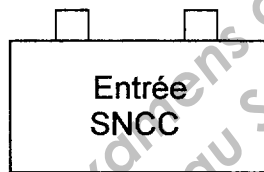
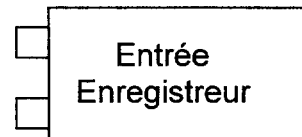
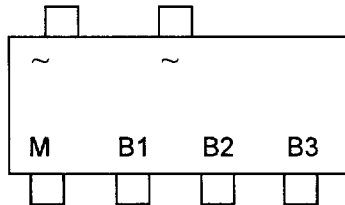
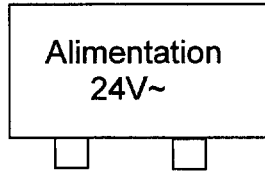
### Schéma TI de la boucle simple de température

Remarque : Les vannes TV01 et TV02 sont fermées par manque d'air (NF).

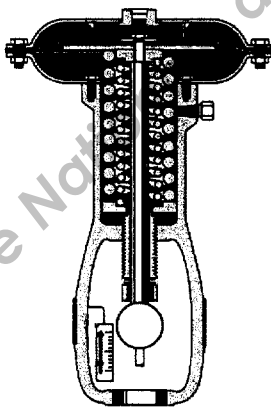


**Document réponse n° 1**

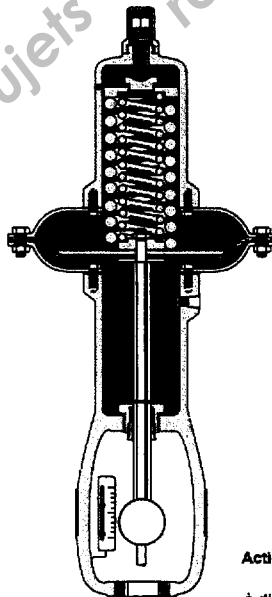
**Question 1.3 : Câblage du transmetteur (Indiquer les polarités avec précision)**



**Question 3.2 : Choix du servomoteur**

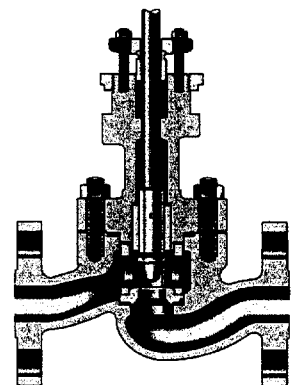


Type 37  
Actionneur à tige sortant par  
augmentation de pression



Type 38  
Actionneur à tige rentrant par  
augmentation de pression

Vanne Série 21000  
DN 20 à 50 mm (3/4" à 2")  
Classe 900, 1500, 2500 ANSI



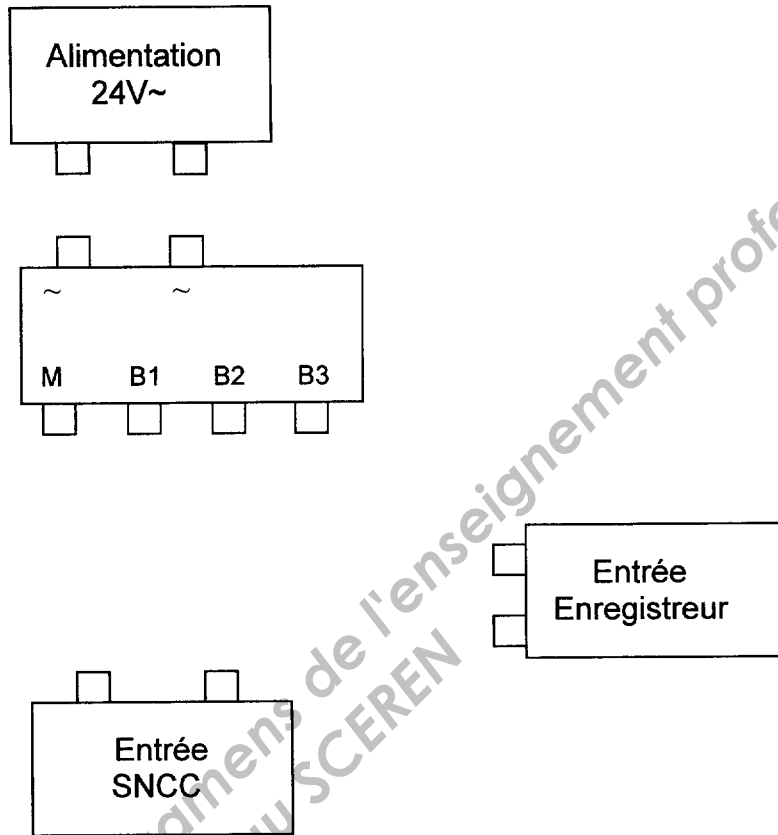
Corps de vanne

Actionneurs Masonellan  
types 37/38  
à diaphragme & ressort

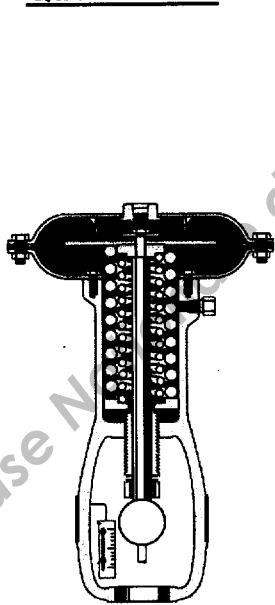
**Cocher la case correspondant à votre choix.**

**Document réponse n° 1**

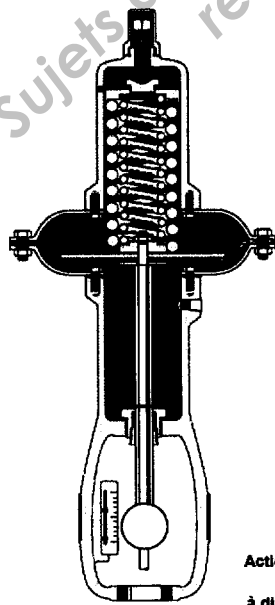
**Question 1.3 : Câblage du transmetteur (Indiquer les polarités avec précision)**



**Question 3.2 : Choix du servomoteur**



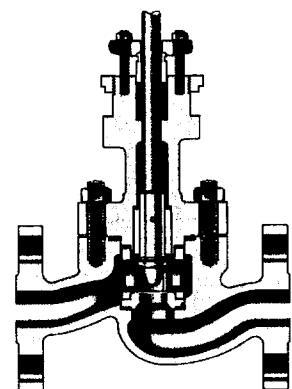
Type 37  
Actionneur à tige sortant par augmentation de pression



Type 38  
Actionneur à tige rentrant par augmentation de pression

Actionneurs Masonellan types 37/38 à diaphragme & ressort

Vanne Série 21000  
DN 20 à 50 mm (3/4" à 2")  
Classe 900, 1500, 2800 ANSI



Corps de vanne

**Cocher la case correspondant à votre choix.**

**Document réponse n° 2**

**Question 3.4 : Codification**

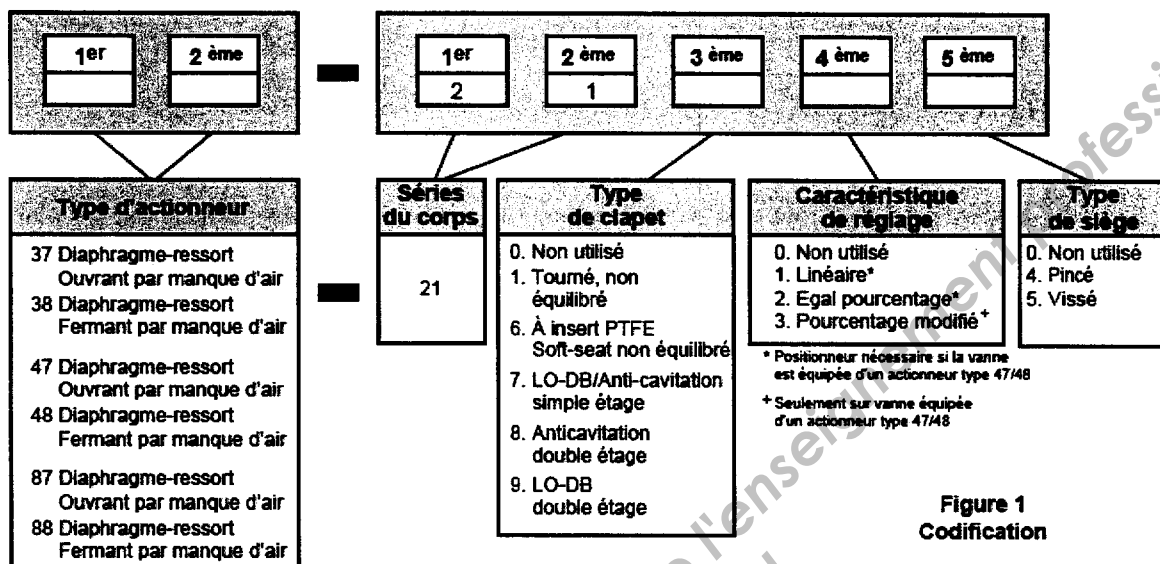
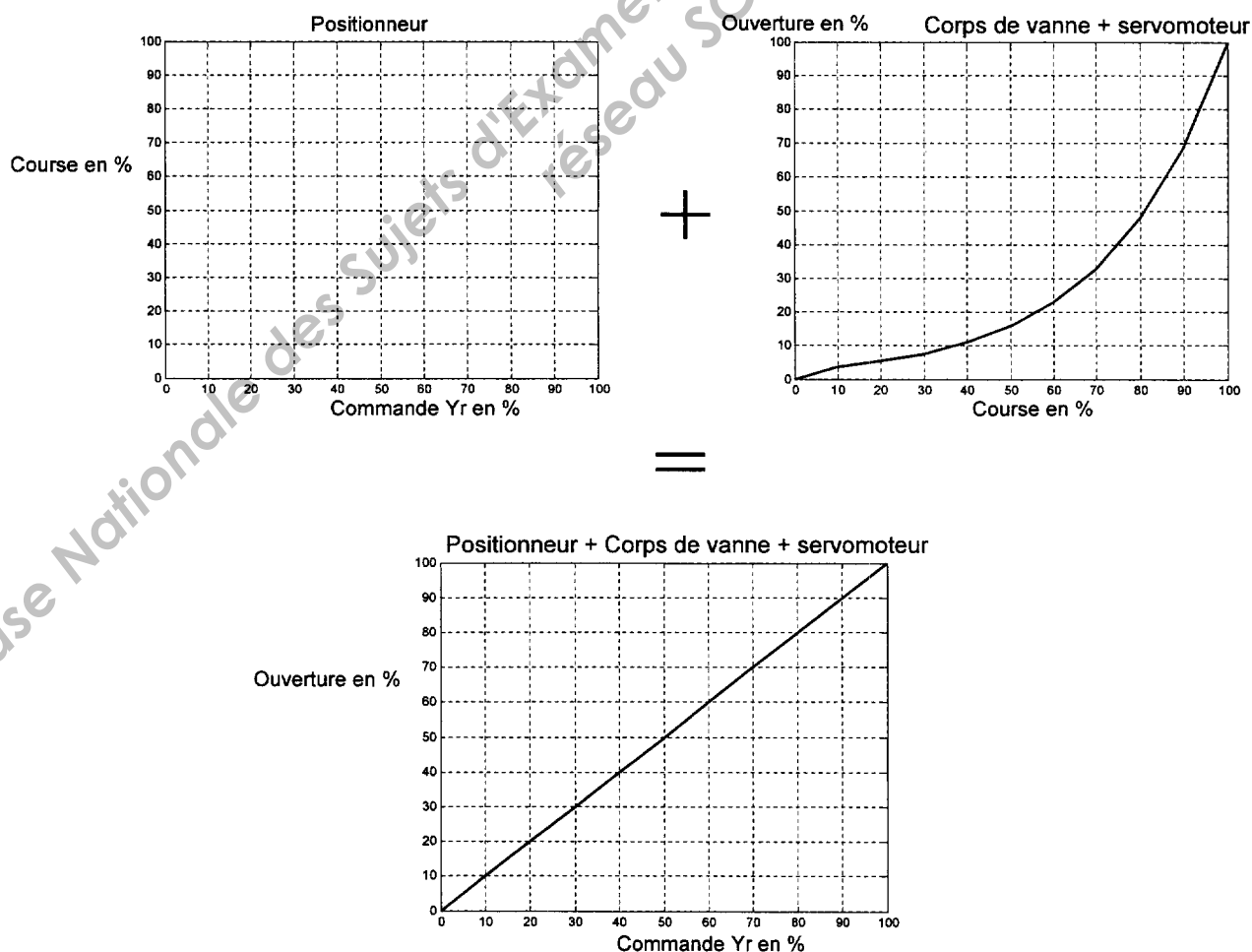


Figure 1  
Codification

**Question 3.5 : Caractéristique du positionneur**



**Document réponse n° 2**

**Question 3.4 : Codification**

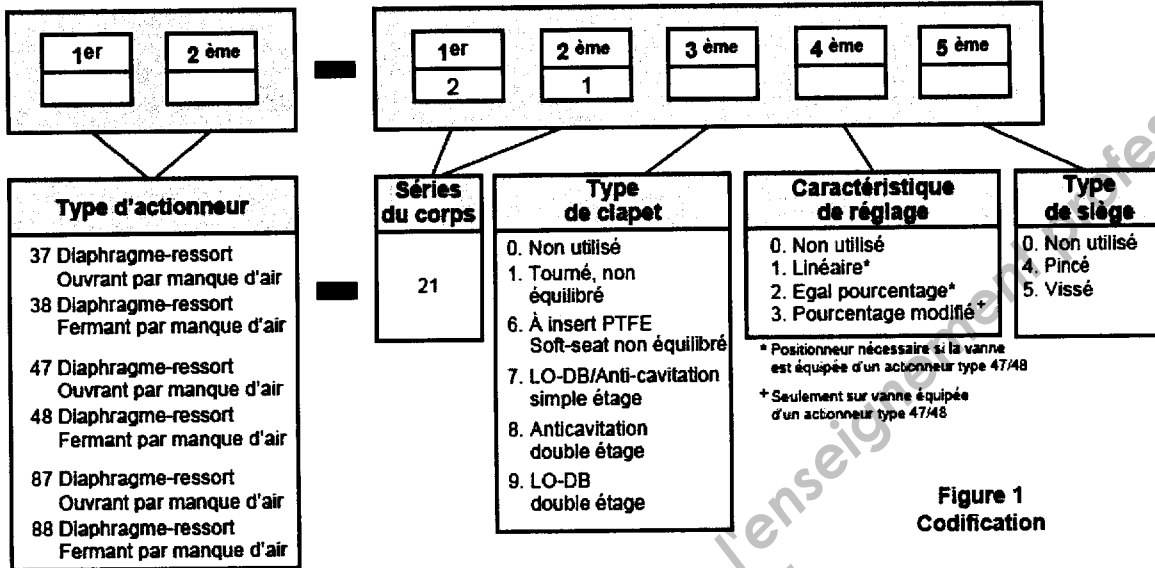
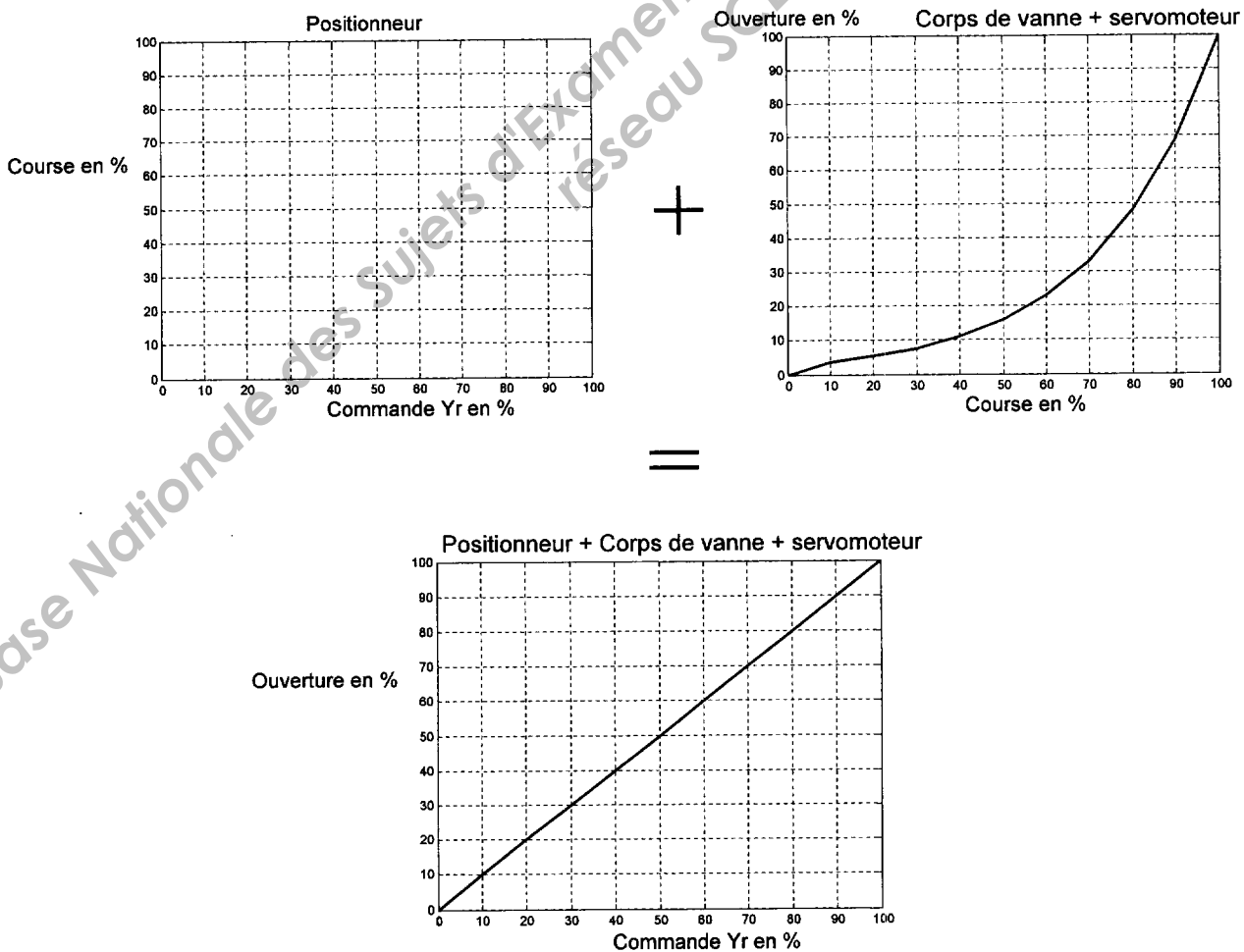


Figure 1  
Codification

**Question 3.5 : Caractéristique du positionneur**

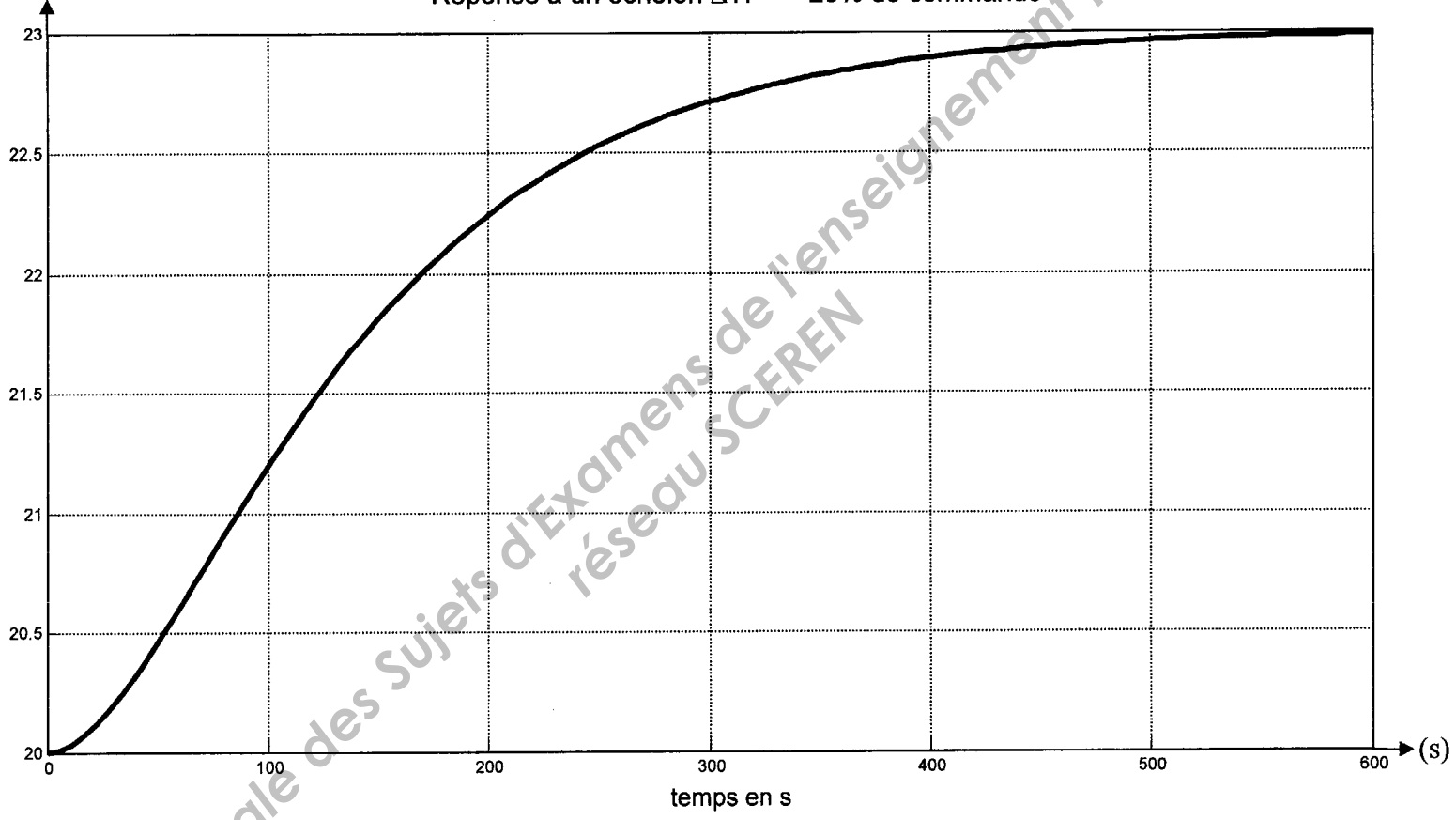


Document réponse n° 3

Identification du procédé

Température en °C

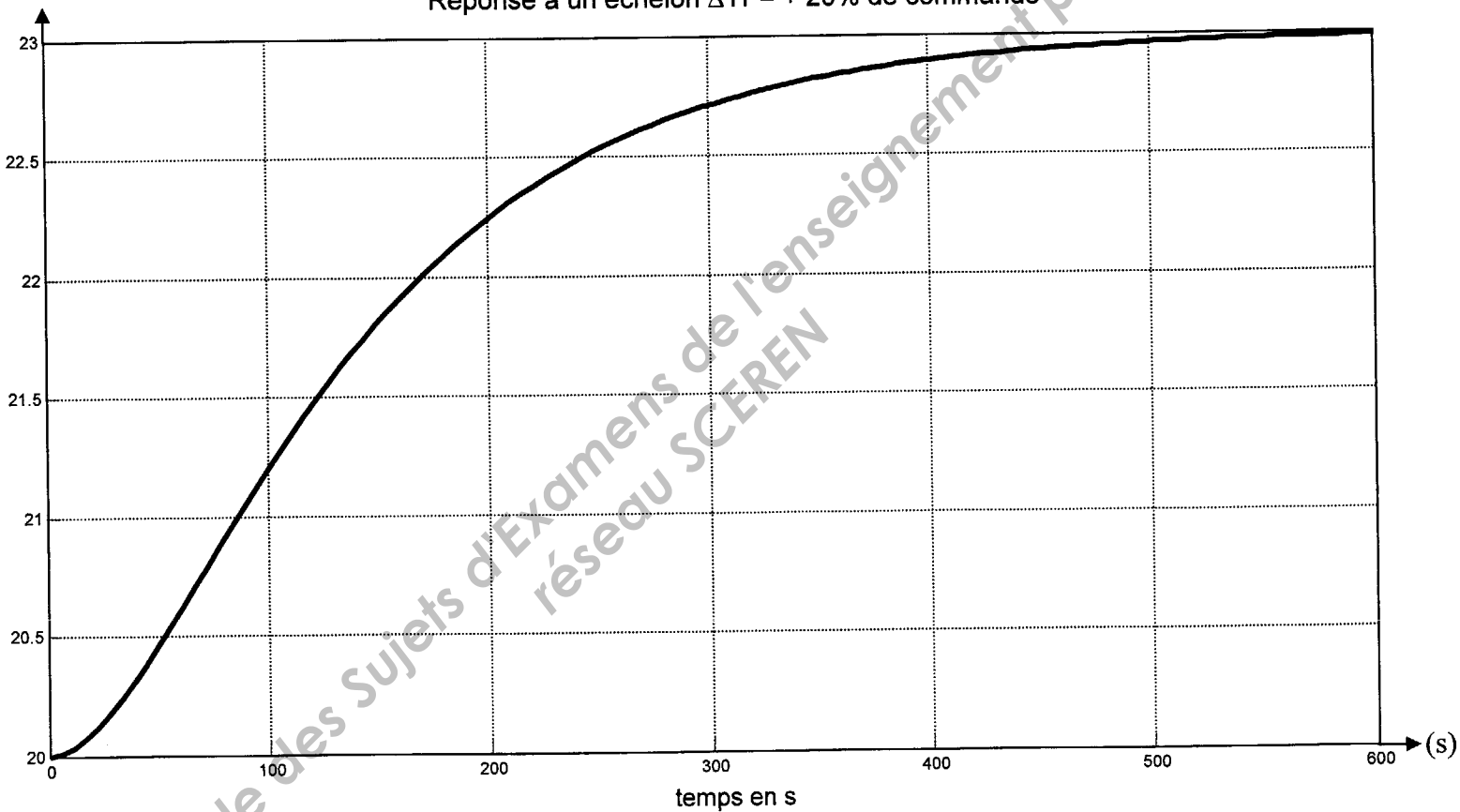
Réponse à un échelon  $\Delta Yr = + 20\%$  de commande



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel  
réseau SCEREN

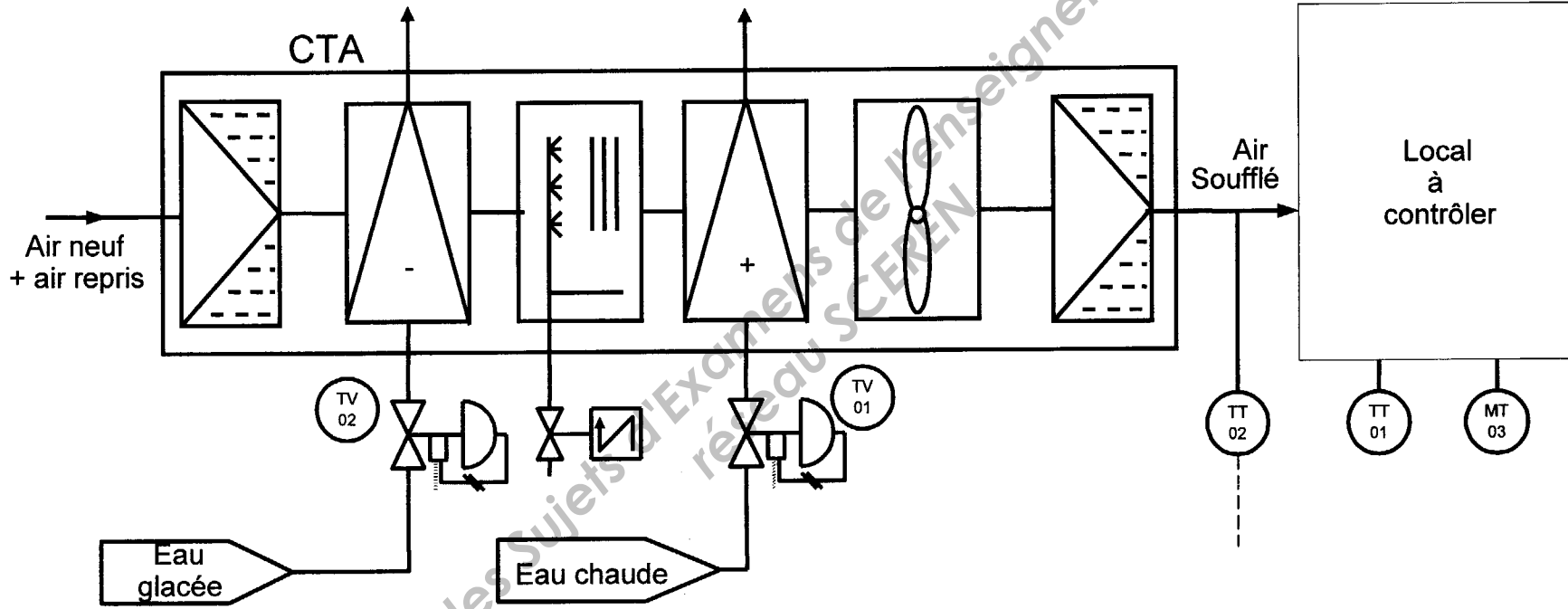
Document réponse n° 3Identification du procédé

Température en °C

Réponse à un échelon  $\Delta Yr = + 20\%$  de commande

### Schéma TI de l'installation

Remarque : Les vannes TV01 et TV02 sont fermées par manque d'air (NF)



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel



### Schéma TI de l'installation

Remarque : Les vannes TV01 et TV02 sont fermées par manque d'air (NF)

