

SESSION 1999

BTS CONTRÔLE INDUSTRIEL ET RÉGULATION AUTOMATIQUE

INSTRUMENTATION ET RÉGULATION

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

L'utilisation d'une calculatrice réglementaire est autorisée.

Note : Il est recommandé de lire l'intégralité du sujet avant de traiter les différentes parties.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

(La page 11/11 est à rendre agrafée avec la copie d'examen)

Étude et compréhension du procédé

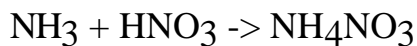
On considère une installation destinée à la fabrication de nitrate d'ammonium de formule chimique NH_4NO_3 . Le schéma de cette installation, utilisant un procédé par voie humide, est fourni en annexe 1 page 7.

L'installation comporte un réacteur de neutralisation appelé saturateur.

Une boucle dite de "montée en thermosiphon" permet d'injecter les deux réactifs dans le saturateur, à savoir :

- de l'ammoniac NH_3 à l'état gazeux sous une pression de 4 bar et à une température de 80°C
- de l'acide nitrique (HNO_3), en solution aqueuse, concentré à 60 % en masse (1 kg de solution contient 0,6 kg d'acide pur) à une température de 60°C .

Son équation-bilan est :



La réaction est fortement exothermique.

La chaleur de réaction est suffisante pour vaporiser le mélange réactionnel, y compris l'eau de dilution de l'acide nitrique. Le saturateur comporte donc un équilibre liquide-vapeur, avec une phase gazeuse plus ou moins acide appelée buée. Ces buées sont recueillies, condensées et traitées dans une partie de l'installation non représentée.

La phase liquide est une solution concentrée en nitrate d'ammonium NH_4NO_3 .

L'eau de la solution est éliminée dans des évaporateurs (non représentés). On incorpore finalement le nitrate d'ammonium dans une charge d'argile pour obtenir des granulés commerciaux.

Les débits d'ammoniac et d'acide nitrique sont réglés par des boucles dont les régulateurs sont repérés FIC4 et FIC5 . Le niveau de la phase liquide du saturateur est maintenu constant par une boucle dont le régulateur est repéré LIC6.

1. Étude de la ligne HNO_3 (4 points)

1.1. Calculs préliminaires

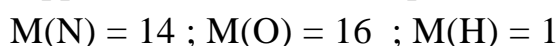
Le débitmètre FT4 est réglé de 0 à 12 t/h. Pour un débit maximal d'ammoniac NH_3 (12 t/h), utiliser l'équation-bilan pour déterminer :

1.1.1. Le débit massique horaire Q_5 d'acide PUR nécessaire.

1.1.2. Le débit massique horaire Q_{m5} de solution acide à 60%.

1.1.3. Le débit volumique horaire Q_{v5} de solution acide à 60%, sachant que sa masse volumique est $\rho = 1367 \text{ kg.m}^{-3}$.

On rappelle les masses atomiques molaires, en g.mol^{-1} :



1.2. Étude du débitmètre

Le débit d'acide nitrique concentré est mesuré par un débitmètre électromagnétique.
On demande :

- 1.2.1. De rappeler le phénomène physique mis en jeu dans l'appareil.
- 1.2.2. De préciser les avantages et inconvénients liés à l'utilisation de ce type d'appareil.
- 1.2.3. Pour cette question (et les suivantes) l'échelle de mesure du capteur FTS est 0-90 t/h. En utilisant les informations de l'annexe 2 page 8 issue du catalogue d'un constructeur, déterminer le diamètre nominal du débitmètre nécessaire.

2. Étude de la ligne NH₃ (5 points)

L'ammoniac, sous forme gazeuse, est obtenu à partir de l'ammoniac à l'état liquide. Ce changement d'état est réalisé dans un ensemble évaporateur-surchauffeur dont le schéma est fourni sur le document réponse page ii (à rendre avec la copie). L'ammoniac, à l'état gazeux, doit être fourni au reste de l'installation à la pression constante de 4,4 bar et à la température constante de 80°C.

2.1. Dimensionnement de la vanne V1

Sa caractéristique est linéaire et elle doit être prévue pour fonctionner avec un débit maximum de 12 t/h.

Les caractéristiques physiques de l'ammoniac sont les suivantes :

- pression critique $P_c = 113$ bar
- masse volumique en phase liquide : 647 kg.m^{-3} .

La pression de vapeur saturante P_v de l'ammoniac est liée à la température :

t en °C	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
P en bar	0,72	1,2	1,9	2,91	4,29	6,15	8,57	11,66	15,54

On rappelle qu'à l'entrée de la vanne l'ammoniac est à $P_1 = 6$ bar et $t_1 = -10$ °C. En sortie de vanne, les conditions sont les suivantes : $P_2 = 4,8$ bar et $t_2 = -10$ °C.

Les données techniques de la vanne, extraites du catalogue d'un constructeur, sont données en annexe 3 page 9. Le coefficient du débit critique de la vanne vaut $C_f = 0,8$.

Remarque : toutes les pressions sont des pressions absolues, y compris dans l'annexe 3.

On demande :

- 2.1.1. La vanne fonctionne-t-elle en écoulement critique ? Justifier la réponse.
- 2.1.2. Calculer le C_v et choisir, dans le tableau de l'annexe 3, la référence la mieux adaptée.

2.2. Schéma T.I. (Tuyauterie instrumentation).

Pour réaliser l'ensemble des contraintes de fonctionnement et de sécurité du procédé évaporateur-surchauffeur, trois vannes de réglage V1, V2 et V3 sont installées (voir document réponse page 11).

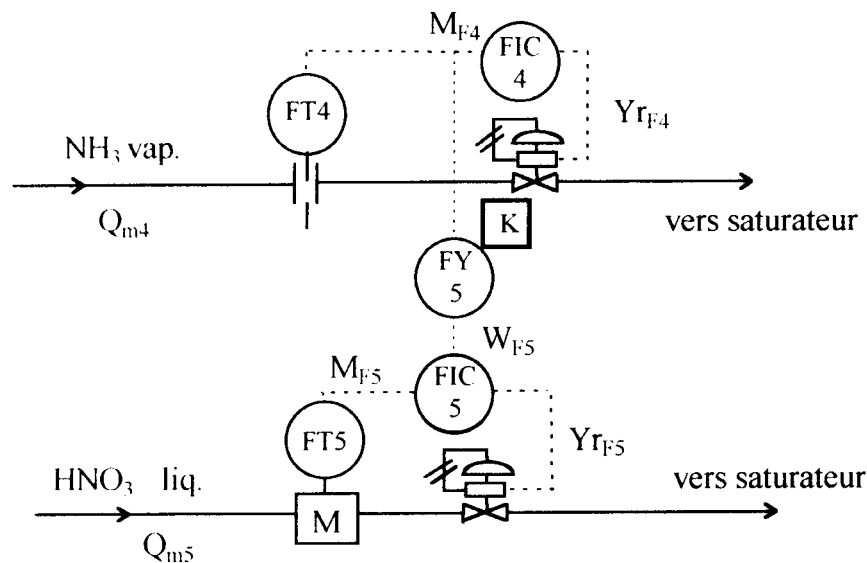
2.2.1. Ces trois vannes permettent de réaliser trois boucles fermées.

2.2.2. Indiquer la grandeur réglée de chaque boucle.

2.2.3. Compléter le document réponse page 11 pour y faire figurer les trois boucles.

3. Régulation de proportion (3 points)

Pour effectuer la réaction dans les conditions stoechiométriques, on réalise la régulation de proportion représentée sur le plan ci-dessous :



Les masses volumiques de l'acide et de l'ammoniac étant constantes, les signaux normalisés M_{F4} et M_{F5} (0 à 1) sont les images des débits massiques Q_{m4} et Q_{m5} .

Le bloc de calcul FY5 travaille avec des signaux normalisés (0 - 1). Son équation est : $W_{F5} = K.M_{F4}$ où K est le ratio.

On pose $R = \frac{Q_{m5}}{Q_{m4}}$, où les débits massiques sont exprimés en t/h.

Soient K4 et K5 les constantes de proportionnalité liant M_{F4} à Q_{m4} et M_{F5} à Q_{m5} .

3.1. Montrer qu'en régime permanent (mesure = consigne), R s'exprime en fonction de K, K4 et K5 .

3.2. Calculer la valeur de K de façon à respecter une proportion correcte entre les débits.

Pour un débit $Q_{m4} = 12$ t/h on doit obtenir $Q_{m5} = 74,11$ t/h.

4. Régulation de PH (2 points)

La concentration de l'acide nitrique ne peut être maîtrisée que dans une plage de $\pm 10\%$.

On remarque que le pH des buées est un paramètre très sensible aux variations de cette concentration. La stratégie de régulation finalement adoptée est celle du plan de l'annexe 4 page 10.

Le régulateur AIC7 vient agir sur la vanne AV7, montée en parallèle sur FV5.

Le Cv maximum de la vanne AV7 est vingt fois plus faible que celui de la vanne FV5.

Afin de rendre cette régulation efficace, on choisit d'adopter une valeur de K légèrement inférieure à la valeur calculée à la question précédente et de faire passer une faible quantité d'acide par la vanne AV7.

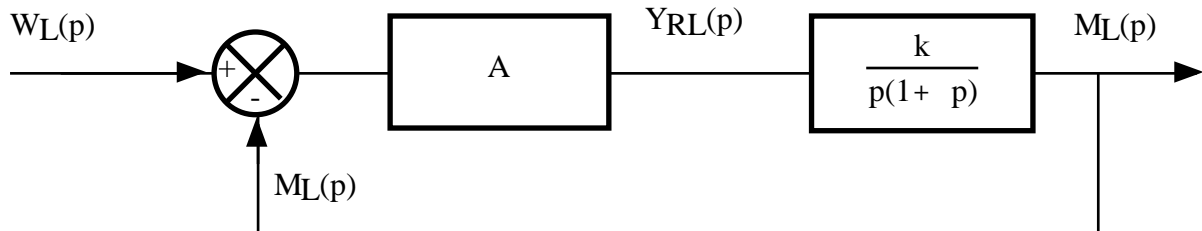
4.1. Le transmetteur AT7 étant de type direct (signal de même sens de variation que la grandeur mesurée) et la vanne AV7 étant de type fermée par manque d'air (FMA), représenter le schéma fonctionnel détaillé de la boucle de régulation de pH.

4.2. Préciser le sens d'action du régulateur AIC7. Justifier votre réponse.

5. Régulation de niveau LIC6 (6 points)

La vanne LV6 est de type FMA. Le régulateur LIC6 est à action proportionnelle seule.

Le schéma fonctionnel équivalent à la boucle de régulation de niveau peut être représenté par le schéma suivant :



avec : k et p positifs. (régulateur à action proportionnelle seule)

- 5.1. Désirant obtenir une marge de phase M égale à 45° , calculer la valeur de A en fonction de τ et k .
- 5.2. Une actualisation de la boucle de régulation de niveau impose pour seule modification matérielle, que la vanne LV6 soit de type OMA (ouverte par manque d'air).

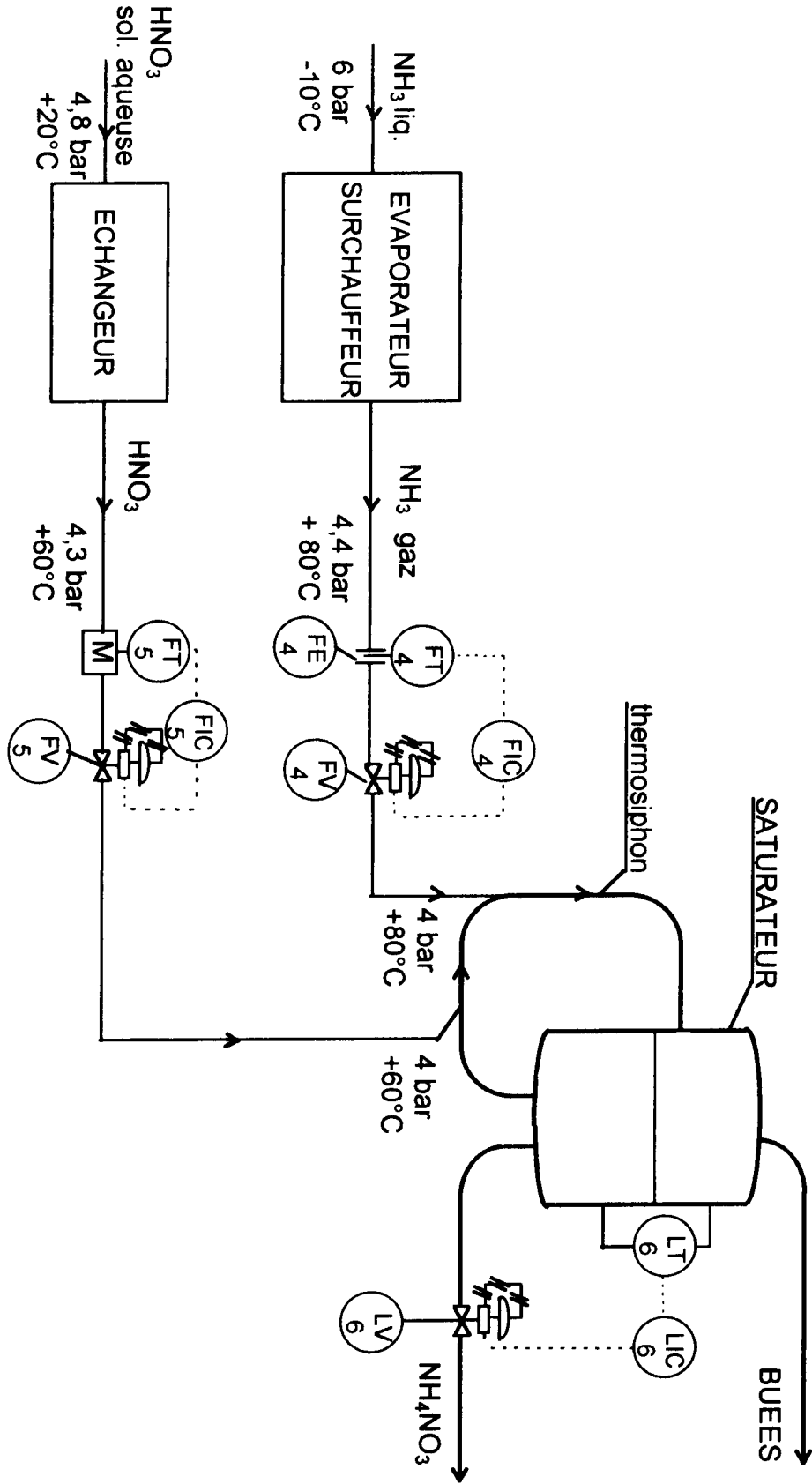
Dans ces conditions :

- exprimer $H(p) = \frac{M_L(p)}{Y_{RL}(p)}$

- en déduire le sens d'action du régulateur

- représenter le schéma fonctionnel de la boucle de régulation de niveau.

Annexe 1

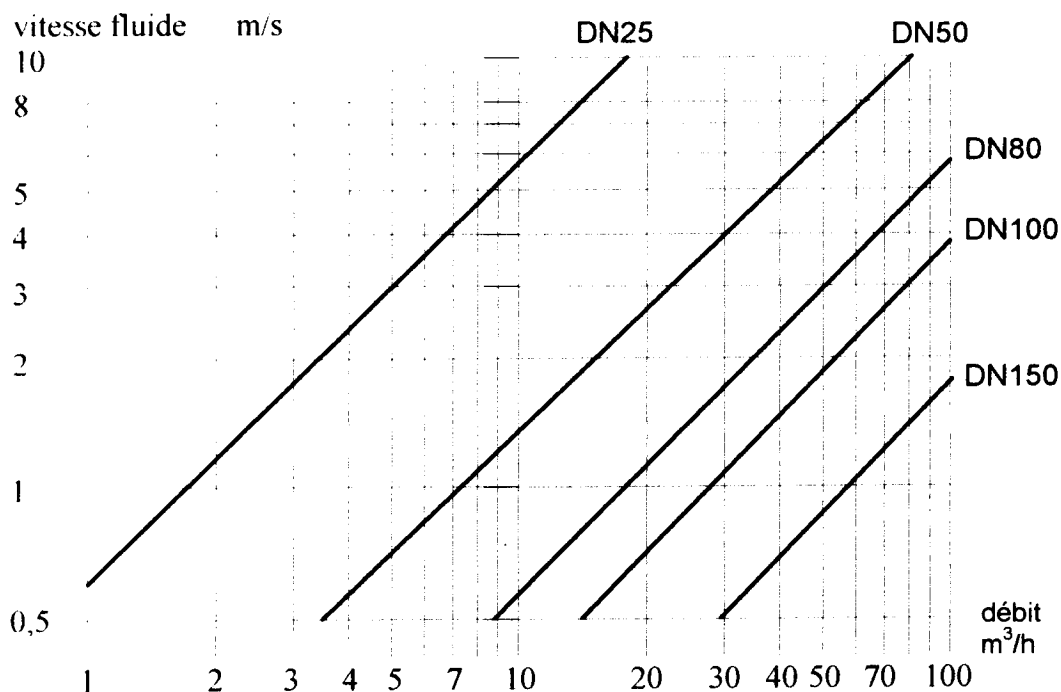


Annexe 2

SÉLECTION DU DIAMÈTRE NOMINAL D'UN DÉBITMÈTRE ÉLECTRO.MAGNÉTIQUE

Le diamètre nominal (DN) en mm du capteur de mesure est à déterminer de telle sorte qu'en fin d'échelle de mesure on obtienne une vitesse de circulation comprise entre 2 et 3 m/s. Dans le cas de liquides chargés de particules solides, la vitesse pourra être comprise entre 3 et 5 m/s pour éviter les dépôts dans les canalisations.

DIAGRAMME DES DIMENSIONS/VITESSE D'ECOULEMENT/DEBIT.



Annexe 3

SÉLECTION DU DIAMÈTRE NOMINAL D'UNE VANNE AUTOMATIQUE.

DIMENSIONNEMENT POUR UN LIQUIDE

Écoulement non critique si $P < C_f^2 P_s$	Écoulement critique si $P > C_f^2 P_s$
Débit en volume $C_v = 1,16Q_v \sqrt{\frac{d}{P}}$	Débit en volume $C_v = \frac{1,16Q_v}{C_f} \sqrt{\frac{d}{P_s}}$
Débit en masse $C_v = \frac{1,16Q_m}{\sqrt{d P}}$	Débit en masse $C_v = \frac{1,16Q_m}{C_f \sqrt{d P_s}}$

$$P_s = P_1 - (0,96 - 0,28 \sqrt{\frac{P_1}{P_c}}) P_v$$

- Cv : Coefficient de débit.
- Cf : Coefficient de débit critique.
- d : Densité du fluide par rapport à l'eau.
- P1 : Pression amont en bar
- P2 : Pression aval en bar
- Pc : Pression critique en bar.
- Pv : Pression de vapeur saturante à la température de l'écoulement en bar
- P : Chute de pression en bar
- PS : Chute de pression maximum en bar, utilisable pour le dimensionnement
- Qv : Débit volumique en m³/h
- Qm : Débit massique en t/h

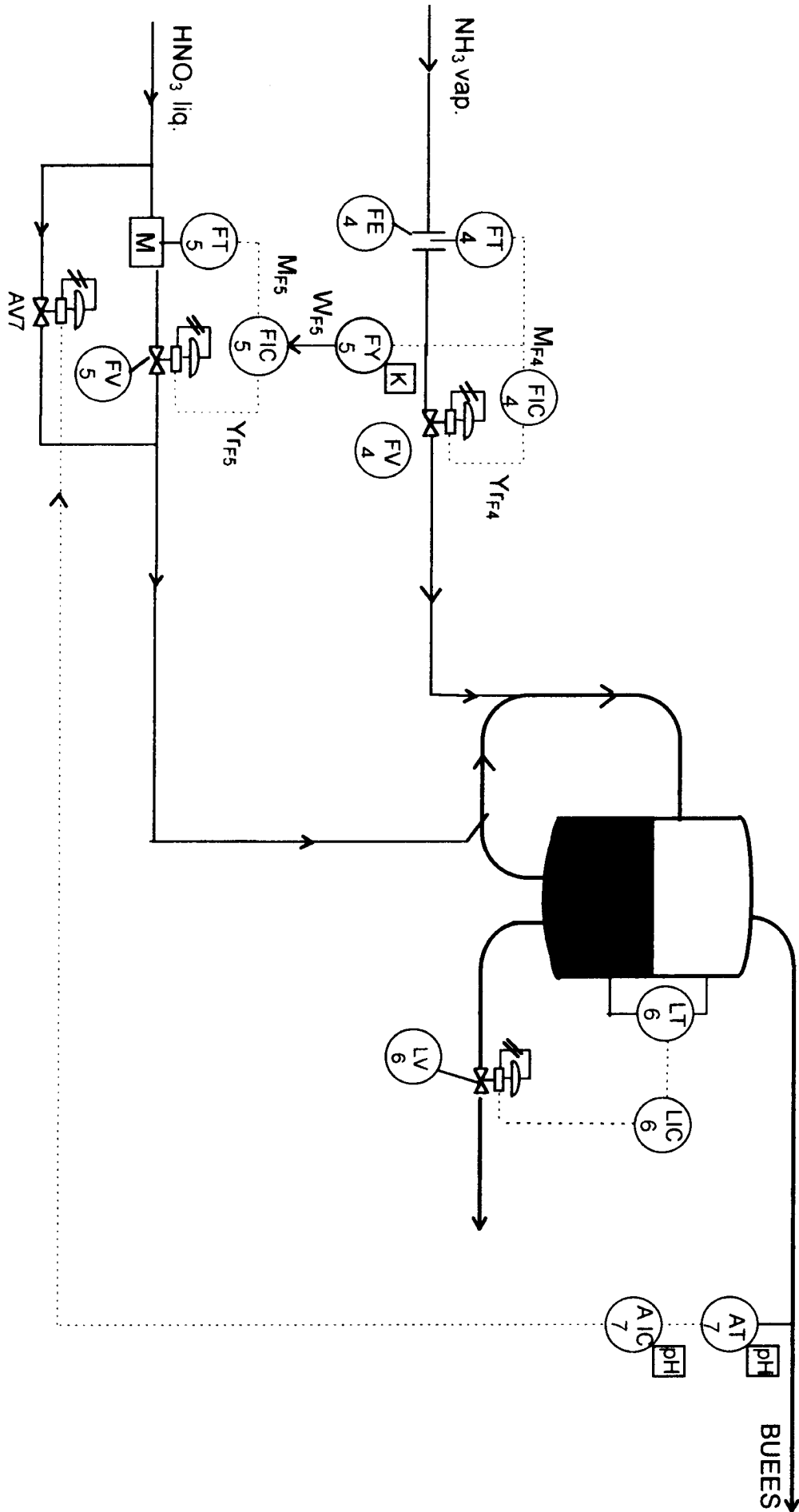
TABLEAU DES Cv

DN en mm	Vc d'un orifice normal	Cv d'un orifice réduit
25	14	5,6
40	30	12
50	50	20
80	135	54
100	230	92

Dans un corps de même DN on peut installer, au choix, soit un orifice normal, soit un orifice réduit. Ce qui conduit à 2 Cv maximum pour un même corps de vanne.

(EXTRAIT CATALOGUE MASONEILAN)

Annexe 4



DOCUMENT RÉPONSE (à rendre avec la copie)

