

Caractéristiques des procédés industriels

2.1 Procédés de fabrication continu et discontinu.	42
2.2 Représentation d'un procédé et terminologie.....	43
2.3 Procédés monovarié et multivarié.....	44
2.4 Procédés stable et instable.....	48
2.5 Paramètres de la réponse d'un procédé.....	49
2.6 Caractéristique statique d'un procédé, linéarisation.....	52
2.7 Caractéristiques des vannes de régulation.....	56

NOTATIONS UTILISÉES DANS LE CHAPITRE 2

C	: Consigne, signal de consigne.
C_v	: Coefficient de débit d'une vanne.
d	: Rapport entre la perte de charge dans une vanne et la perte de charge totale du circuit.
E	: Entrée, grandeur d'entrée.
G_s	: Gain statique du procédé.
K	: Coefficient d'intégration.
M	: Mesure, signal de mesure.
N	: Niveau.
P	: Pression.
Q	: Débit.
R	: Coefficient de réglage (rangeabilité).
S	: Sortie, grandeur de sortie.
t	: Variable temps.
t_e	: Temps d'établissement ou temps de réponse.
t_r	: Temps mort ou retard pur.
T	: Température.
V	: Signal vanne.
ΔC	: Variation de consigne.
ΔM	: Variation de mesure.
ΔP_r	: Perte de charge circuit résistif.
ΔP_v	: Perte de charge vanne.
Δt	: Variation de temps.
ΔV	: Variation du signal vanne.

Pour le technicien de régulation le terme procédé désigne une partie ou un élément d'une unité de production industrielle ; par exemple un échangeur thermique qui comporte une régulation de température ou un ballon dont le niveau est régulé.

Procédé et régulation forment un tout indissociable. Le choix du type de boucle de régulation et leur mise au point impliquent une bonne connaissance du comportement du procédé. Le niveau du ballon ou de la température sortie échangeur présentent-ils une grande inertie ? sont-ils stables ou instables ? Voilà quelques critères communs à tous les types de procédés que le technicien doit savoir déterminer et exploiter. C'est le but de ce chapitre qui traite également des vannes de régulation, partie intégrante du procédé.

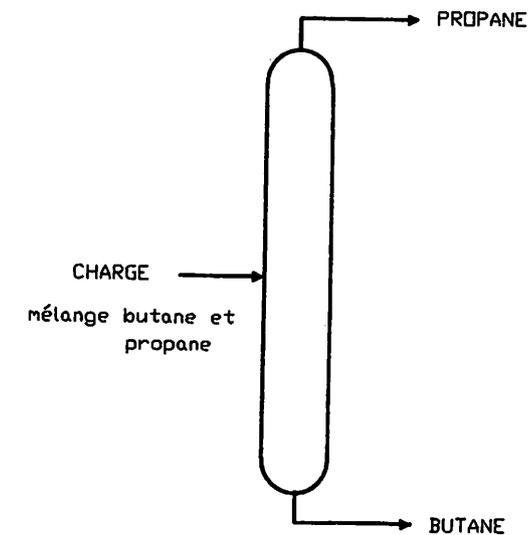


Fig. 2.1 : Dépropaniseur.

2.1 PROCÉDÉS DE FABRICATION CONTINUS ET DISCONTINUS

2.1.1 PROCÉDÉ CONTINU

Dans un procédé continu le produit fini est élaboré d'une façon ininterrompue, c'est le cas du dépropaniseur de la figure 2.1 où à partir d'une charge butane/propane, introduite en continu dans la colonne de fractionnement, on soutire de façon continue, le propane en tête et le butane en fond de colonne.

2.1.2 PROCÉDÉ DISCONTINU

Un procédé discontinu est un procédé où le produit fini est obtenu en quantité déterminée lors d'une seule procédure de fabrication complète. C'est le cas de l'autoclave de la figure 2.2 où les principales étapes de la procédure sont :

- Introduction des produits A, B et C.
- Chauffage pendant une durée limitée.
- Vidange du produit fini.

Les procédés discontinus sont également appelés « Batch » ou « par lot ».

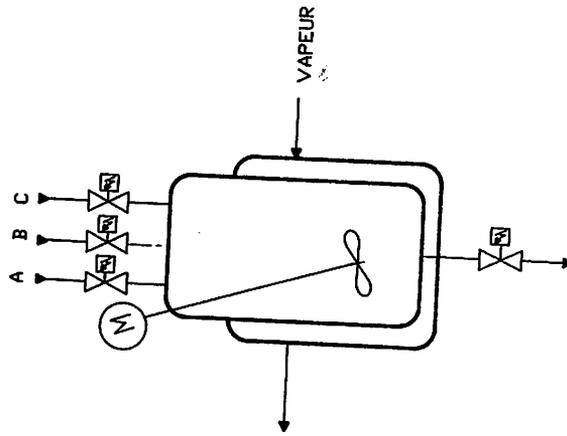


Fig. 2.2 : Autoclave.

Remarque : Dans cet ouvrage, seuls sont traités les procédés continus. Cependant dans les deux types de procédés les boucles de régulation sont identiques.

2.3 REPRÉSENTATION D'UN PROCÉDÉ ET TERMINOLOGIE

2.2.1 SCHEMA DE PRINCIPE ET SCHEMA BLOC

Le schéma de la figure 2.3 représente un bac, une pompe et les tuyauteries. Tous ces éléments constituent le procédé.

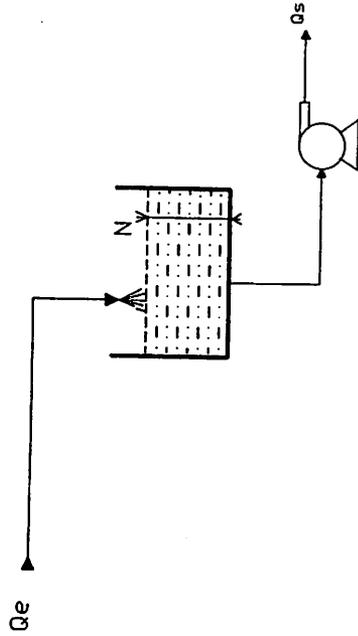


Fig. 2.3 : Schéma de principe.

Les grandeurs physiques figurent également sur le schéma :

- le débit d'entrée : Q_e
- le débit de sortie : Q_s
- le niveau dans le bac : N

Les débits Q_e et Q_s sont indépendants du procédé ; on les appelle des grandeurs d'entrées. Elles ont une action sur le niveau N qui est appelé grandeur de sortie, car il dépend des grandeurs d'entrées et du procédé.

Le schéma de la figure 2.3, peut être remplacé par celui de la figure 2.4 appelé schéma bloc, dans lequel le rectangle représente symboliquement le procédé.

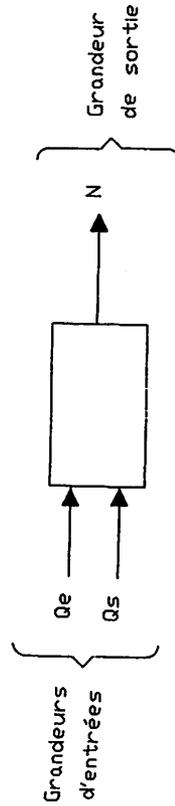


Fig. 2.4 : Schéma bloc du procédé de la figure 2.3.

Le choix des grandeurs physiques est dicté par le rôle qu'elles jouent en mesure et régulation. Dans l'exemple précédent d'autres grandeurs (température, pression, ...) auraient pu figurer sur le schéma bloc.

La figure 2.5 représente le schéma bloc d'un procédé constitué de plusieurs entrées et de plusieurs sorties.

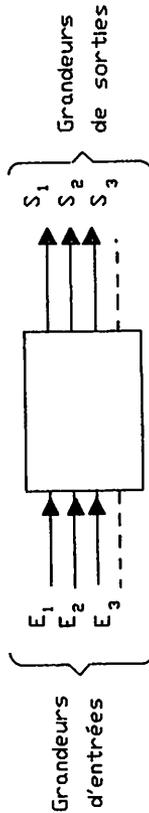


Fig. 2.5 : Schéma bloc d'un procédé à plusieurs entrées et sorties.

2.2.2 PROCÉDÉ ET INSTRUMENTATION

Reprenons le schéma du bac de la figure 2.3 et complétons le par une régulation de niveau comme le montre la figure 2.6. Ce schéma a plusieurs appellations :

- plan de circulation des fluides (PCF).
- flow sheet (plan de débit).
- process and instrument diagram (P & ID, schéma de procédé et d'instrumentation).

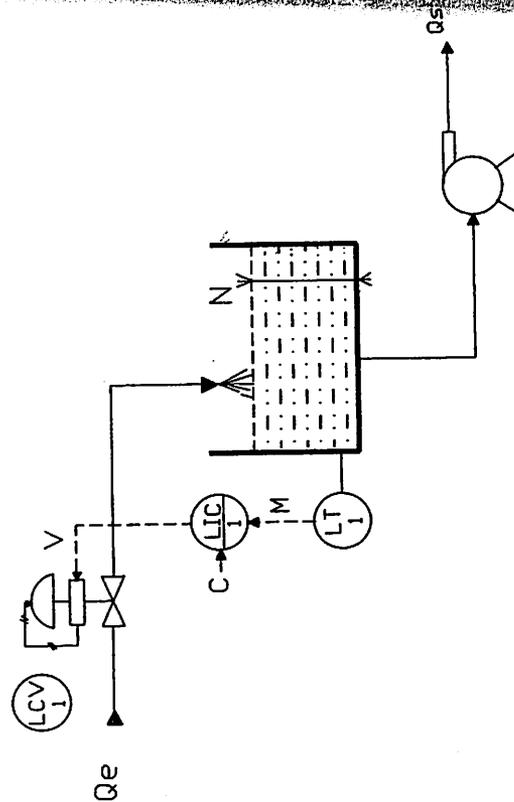


Fig. 2.6 : Plan de circulation des fluides.

Dans le cas de la figure 2.6 la grandeur d'entrée Q_e est réglable. Elle est appelée grandeur réglante. C'est elle qui permet, par l'intermédiaire de la boucle de régulation, de maintenir la grandeur de sortie N , appelée grandeur réglée, constante, malgré les variations de l'autre grandeur d'entrée Q_s , appelée grandeur perturbatrice.

Pour différencier grandeur réglante et grandeur perturbatrice, on utilise la représentation de la figure 2.7.

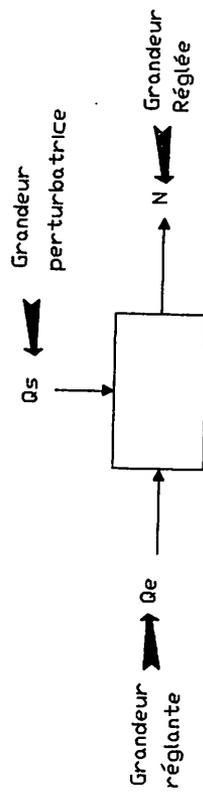


Fig. 2.7.

Si on prend en compte le fait que la vanne et le transmetteur font partie du procédé, le schéma bloc devient celui de la figure 2.8 (b) où les signaux V de commande de vanne et M issu du transmetteur, représentent les nouvelles grandeurs d'entrée et de sortie.

Le schéma de la figure 2.8 (a) est utilisé lorsque l'on fait figurer l'instrumentation.

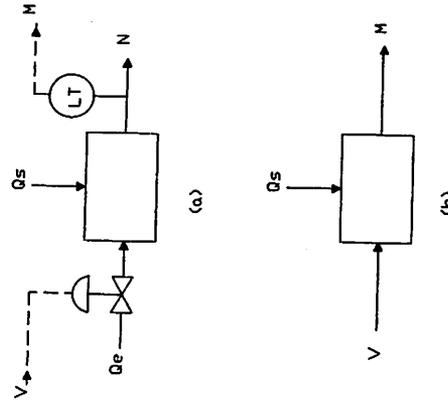


Fig. 2.8 : Différentes représentations d'un schéma bloc.

2.3 PROCÉDÉS MONOVARIABLE ET MULTIVARIABLE

Le bac de la figure 2.9 sert à réchauffer une charge liquide, au moyen d'une résistance R dont la tension d'alimentation U est réglable grâce à l'élément de puissance TY1B.

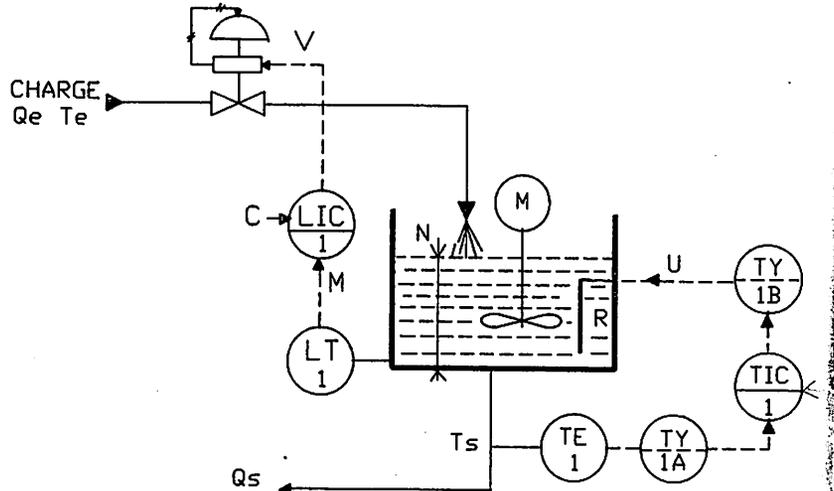


Fig. 2.9 : Régulation monovariable d'un bac de chauffage.

Le schéma bloc de la figure 2.10 (a) met en évidence :

- Les grandeurs réglées :**
- Niveau N dans le bac.
 - Température T_s de sortie du fluide.
- Les grandeurs réglantes :**
- Débit Q_e d'entrée charge.
 - Tension U d'alimentation de la résistance.
- Les grandeurs perturbatrices :**
- Température T_e d'entrée charge.
 - Débit de sortie Q_s .

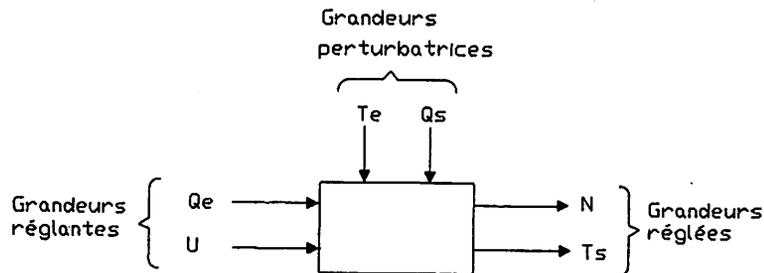


Fig. 2.10 (a).

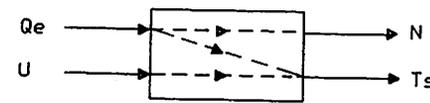


Fig. 2.10 (b) : Schémas blocs du bac de chauffage.

Le schéma bloc de la figure 2.10 (b) montre les interactions entre les grandeurs réglantes et les grandeurs réglées.

On observe que la chauffe U n'agit que sur la température de sortie T_s , alors que le débit d'entrée Q_e agit simultanément sur la température T_s et le niveau N. Pour cette raison le procédé est dit multivariable.

D'une façon générale, un procédé est dit multivariable lorsqu'une grandeur réglante agit sur plusieurs grandeurs réglées. Un procédé monovariable est un procédé où chaque grandeur réglante agit uniquement sur sa grandeur réglée, ce qui n'est jamais le cas dans les procédés industriels.

Dans le cas de la figure 2.9, la régulation est réalisée comme si le procédé était monovariable, c'est-à-dire que chaque boucle de régulation correspond à une

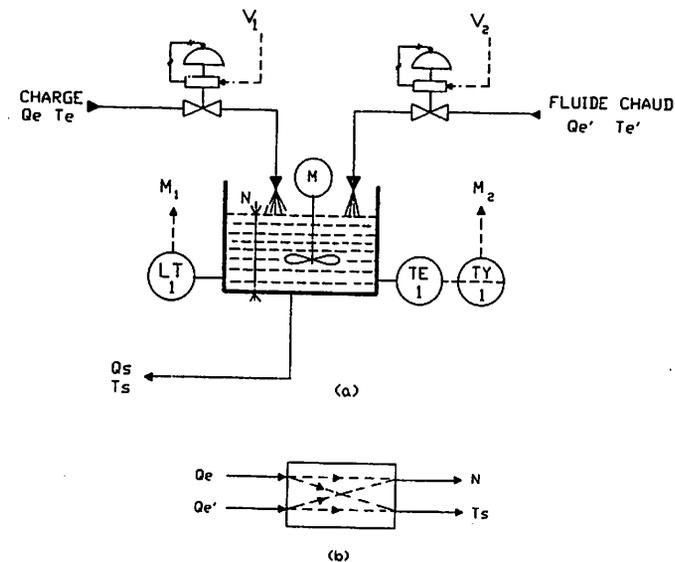


Fig. 2.11 : Procédé multivariable.

grandeur réglée et à la grandeur réglante qui lui est associée. Cette régulation dite monovariante n'est satisfaisante que dans un cas semblable à celui de la figure 2.9 où le débit Q_e a peu d'influence sur la température T_s .

La figure 2.11 (a) reprend le bac de chauffage, mais cette fois le réglage de la température est obtenu au moyen d'un liquide chaud de débit Q_e' et de température T_c' . Dans ce cas les interactions (fig. 2.11 (b)) entre les grandeurs réglantes et réglées sont telles que la régulation monovariante n'est plus satisfaisante. Il est alors nécessaire d'utiliser une régulation multivariante que nous développons au chapitre 10.

2.4 PROCÉDÉS STABLE ET INSTABLE

2.4.1 PROCÉDÉ STABLE (ou naturellement stable)

Considérons le niveau N d'un bac (fig. 2.12). Le débit de sortie Q_s est fonction du niveau N ($Q_s = K\sqrt{N}$). Si N est constant, ceci implique que Q_s est égal à Q_e . A l'instant t_0 , provoquons un échelon de vanne, le niveau monte dans le bac ce qui provoque l'augmentation du débit de sortie Q_s . Ce phénomène se prolonge

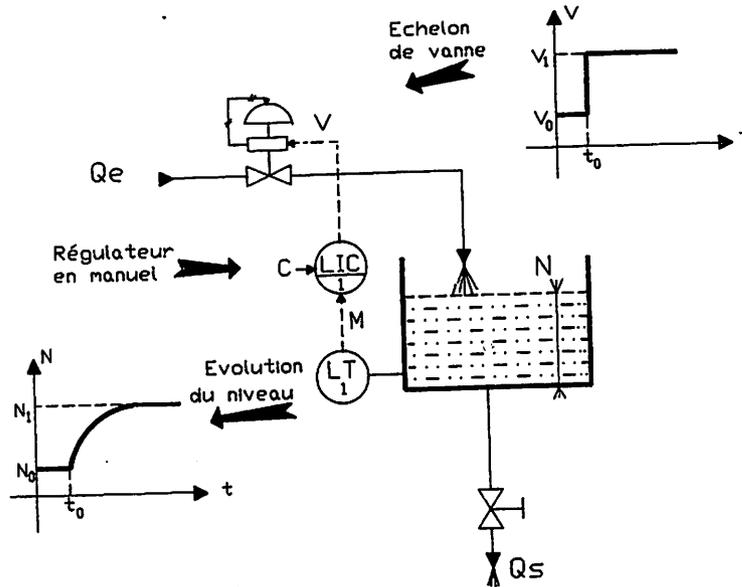


Fig. 2.12 : Exemple de procédé stable.

jusqu'à ce que le niveau soit tel qu'il provoque un débit Q_s de nouveau égal à Q_e . On constate donc que suite à une variation de la grandeur réglante Q_e , la grandeur réglée N retrouve un nouvel état d'équilibre N_1 . Le procédé est dit stable.

Insistons sur le fait qu'il s'agit bien du procédé seul puisque le régulateur est en manuel.

2.4.2 PROCÉDÉ INSTABLE (ou intégrateur)

Modifions le procédé précédent en remplaçant l'écoulement naturel par un écoulement forcé, obtenu par une pompe de débit Q_s constant (fig. 2.13). En répétant l'essai précédent, on observe que cette fois le niveau ne se stabilise pas. Le procédé est dit instable.

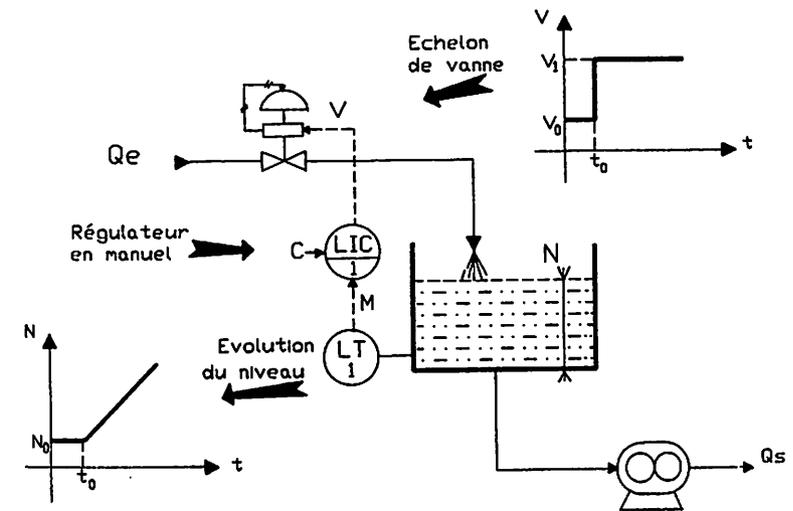


Fig. 2.13 : Exemple de procédé instable.

2.5 PARAMÈTRES DE LA RÉPONSE D'UN PROCÉDÉ

Nous avons précédemment observé la réponse d'un procédé pour déterminer s'il était stable ou instable. Dans ce paragraphe, nous allons déterminer les paramètres caractéristiques du procédé à partir de cette même réponse. La connaissance de ces paramètres aide à la mise au point de la boucle de régulation.

2.51 PROCÉDÉ STABLE

Considérons le PCF de l'échangeur thermique de la figure 2.14. Le régulateur étant en manuel provoquons un échelon ΔV sur le signal vanne et observons l'évolution de la température T_s . La réponse obtenue est celle de figure 2.15 (b).

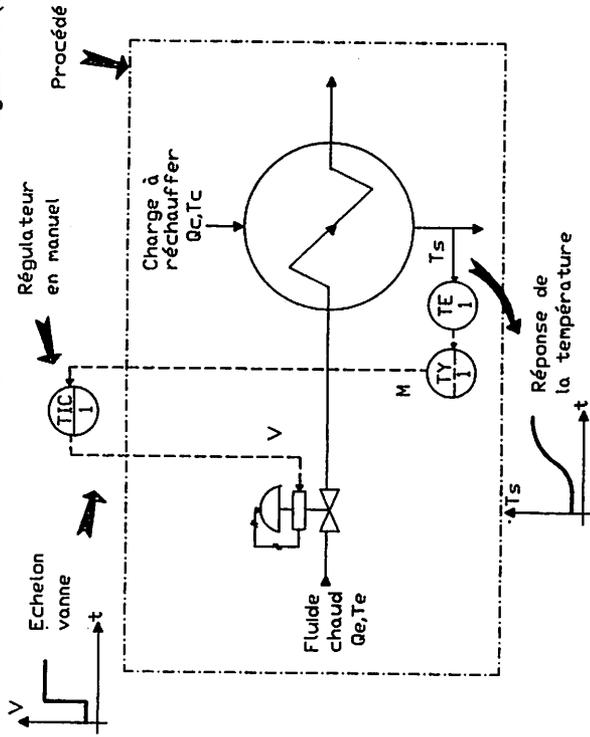


Fig. 2.14.

Cette forme en S est la réponse type d'un procédé stable. Le régime transitoire (ou simplement transitoire) est l'intervalle de temps entre l'instant t_0 d'origine de l'échelon et l'instant t_3 où la mesure atteint sa valeur finale M_m . La réponse à un échelon est caractérisée par les paramètres du tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Paramètres de la réponse à un échelon d'un procédé stable.

Paramètres	Appellation	Définition
t_r	Temps mort ou retard pur.	Intervalle de temps entre l'application de l'échelon et le début d'évolution de la mesure : $t_r = t_1 - t_0$.
t_t	Temps de réponse ou d'établissement.	Intervalle de temps entre l'application de l'échelon et le temps où la mesure atteint les 95 % de sa valeur finale M_m . On considère que ce temps est pratiquement égal à la durée du régime transitoire : $t_t = t_2 - t_0$.
G_s	Gain statique.	Rapport entre la variation de mesure ΔM et la variation du signal vanne ΔV correspondant.

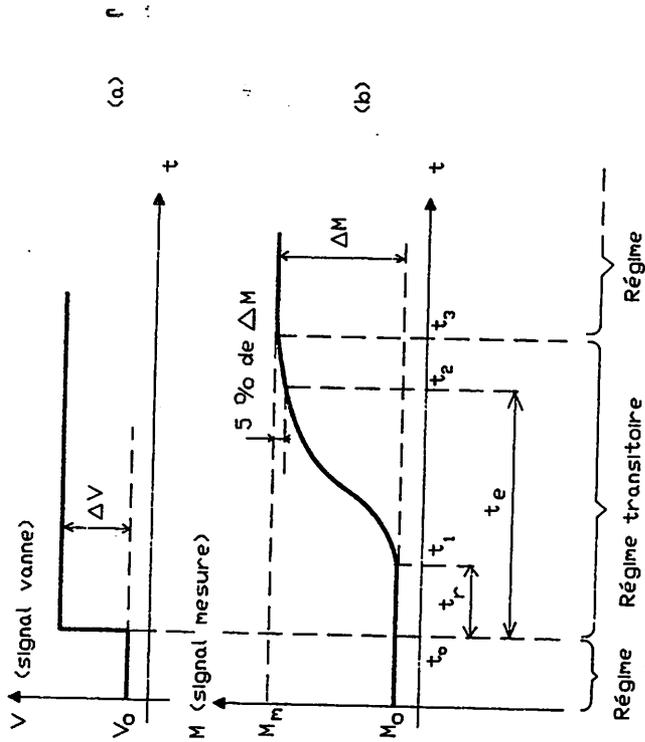


Fig. 2.15 : Réponse à un échelon d'un procédé stable.

Nous verrons par la suite (chapitre 4) que la connaissance de G_s , t_r et t_t est utile pour la détermination des actions P, I et D à afficher sur le régulateur.

2.52 PROCÉDÉ INSTABLE

La réponse à un échelon est donnée par la figure 2.16 (b). Les paramètres qui caractérisent cette réponse sont donnés par le tableau 2.2.

Tableau 2.2 : Paramètres de la réponse à un échelon d'un procédé instable.

Paramètres	Appellation	Définition
t_t	Temps mort ou retard pur.	Intervalle de temps entre l'application de l'échelon et le début d'évolution de la mesure : $t_t = t_1 - t_0$.
K	Coefficient d'intégration.	Coefficient caractéristique du procédé. $K = \frac{\Delta M}{\Delta t \cdot \Delta V}$ unité de K en l/mn ou l/s

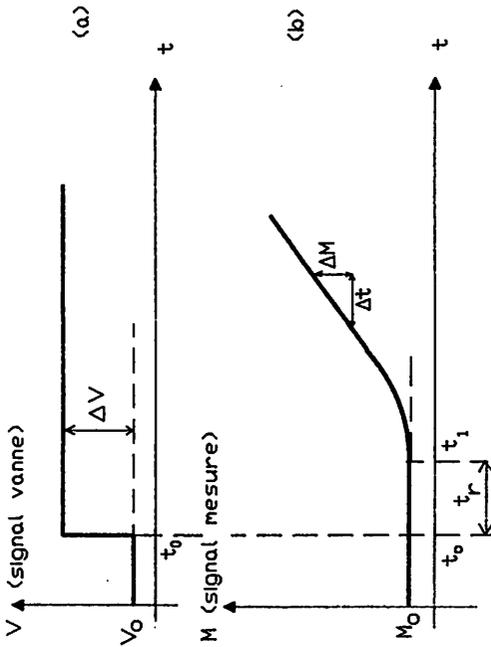


Fig. 2.16 : Réponse à un échelon d'un procédé instable.

2.6 CARACTÉRISTIQUE STATIQUE D'UN PROCÉDÉ, LINÉARISATION

2.61 SYSTÈME LINÉAIRE

Considérons un système quelconque (électrique, hydraulique...). Provoquons une succession d'échelons identiques sur la grandeur d'entrée E. Si les réponses sont toutes identiques, c'est qu'en tous points le système a les mêmes paramètres G_s , t_r et t_c ; dans ce cas le procédé est dit linéaire (fig. 2.17). Les procédés industriels ne sont jamais des systèmes linéaires.

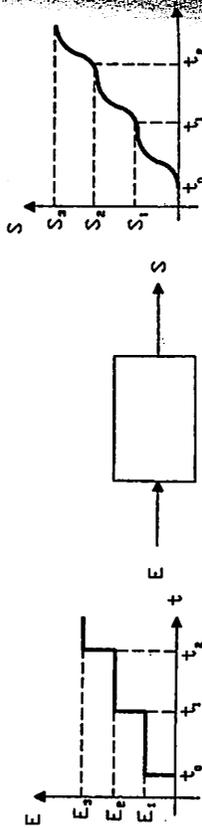


Fig. 2.17 : Système linéaire.

2.62 CARACTÉRISTIQUE STATIQUE

2.621 Caractéristique statique d'un système non linéaire

La figure 2.18 (a) représente les réponses d'un système non linéaire à des échelons d'entrée successifs. Prenons uniquement en compte les valeurs de sortie en régime stable. Traçons la courbe de ces valeurs en fonction des valeurs d'entrée correspondantes (fig. 2.18 (b)). Cette courbe est appelée la caractéristique statique du système.

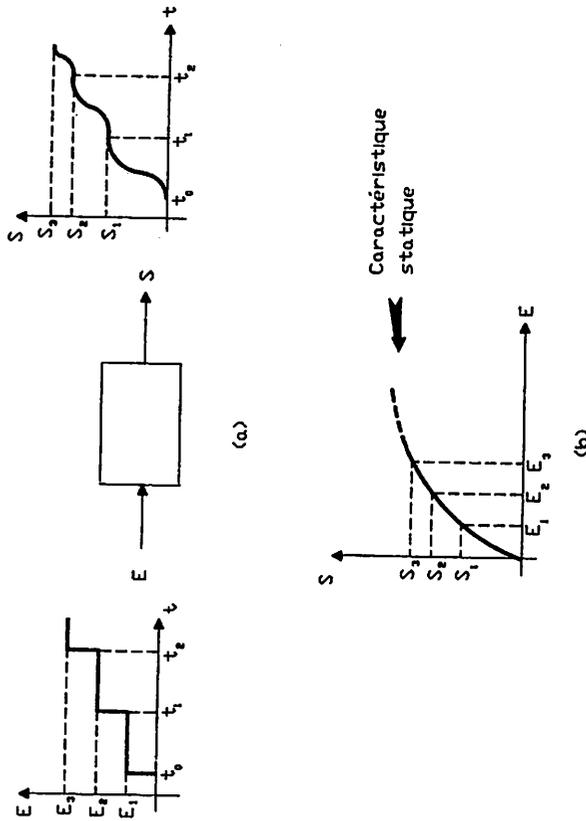


Fig. 2.18 : Système non linéaire.

2.622 Caractéristique statique d'un procédé industriel

Le procédé vu par le régulateur comprend le procédé seul, la vanne de régulation, et le transmetteur. La boucle de régulation est représentée par la figure 2.19.

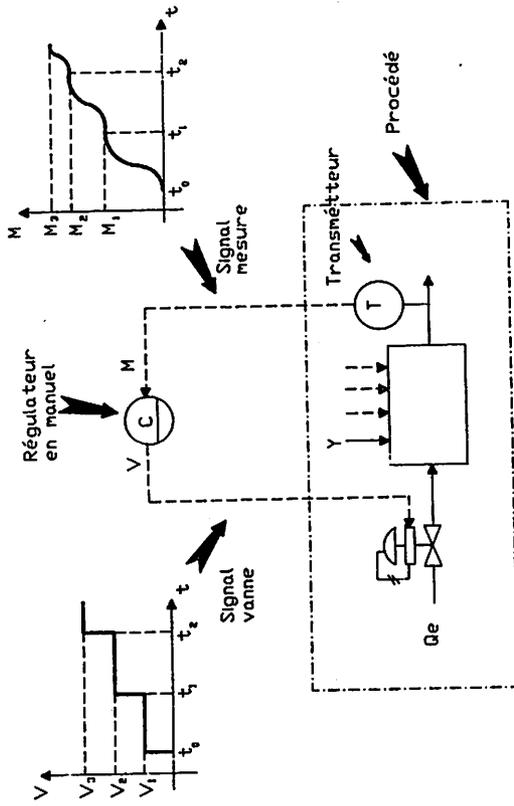


Fig. 2.19 : Relevé statique d'un procédé.

Provoquons des échelons de vanne ΔV identiques, par la commande manuelle du régulateur, en prenant soin d'attendre avant chaque nouvel échelon que la mesure se soit stabilisée. Traçons la caractéristique statique du procédé, c'est-à-dire la courbe montrant l'évolution de la mesure M en fonction de la position de vanne V . Elle peut avoir l'allure de la figure 2.20.

Cette courbe montre que le gain statique ($G_s = \frac{\Delta M}{\Delta V}$) du procédé n'est pas constant.

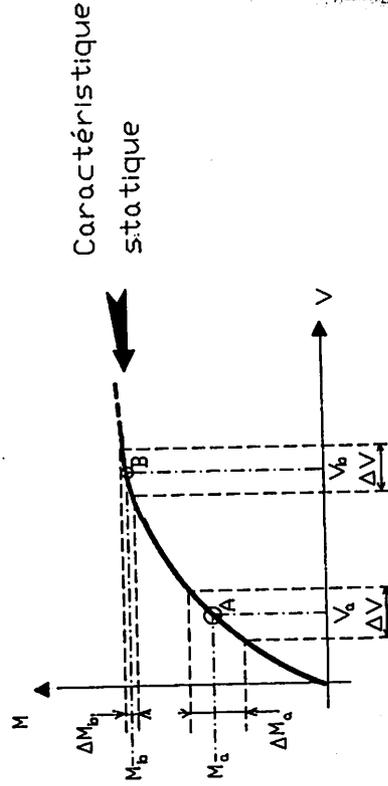


Fig. 2.20 : Caractéristique statique du procédé figure 2.19.

Ce gain statique varie suivant la valeur de mesure (M_a, M_b, \dots) correspondant à l'ouverture de vanne (V_a, V_b, \dots) définissant les points de fonctionnement A et B. Dans l'exemple de la figure 2.20, le gain statique au point de fonctionnement A est supérieur à celui du point B. La mise au point des boucles de régulation montre que le gain du régulateur G_r dépend du gain statique G_s . Si l'on veut éviter de reprendre le gain du régulateur lors d'un changement du point de fonctionnement, il faut un gain statique de procédé G_s constant. Pour cela la caractéristique statique de ce procédé doit-être linéarisée. La caractéristique de la figure 2.20 correspond à des valeurs choisies et constantes, pendant l'essai, des grandeurs perturbatrices. On peut relever la caractéristique statique du procédé pour différentes valeurs de la grandeur perturbatrice principale Y , comme le montre la figure 2.21.

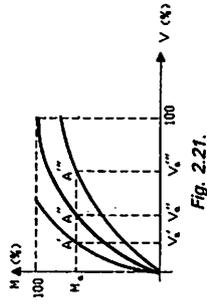


Fig. 2.21.

Cette figure met aussi en évidence le déplacement du point de fonctionnement.

2.623 Linéarisation de la caractéristique statique

La linéarisation de la caractéristique statique du procédé est réalisée par la vanne automatique. Le principe est illustré par la figure 2.22 où la caractéristique installée (1) de la vanne (paragraphe 2.73) est telle qu'associée à celle du procédé seul (2), on obtient une caractéristique linéaire du procédé (ensemble procédé seul et instrumentation).

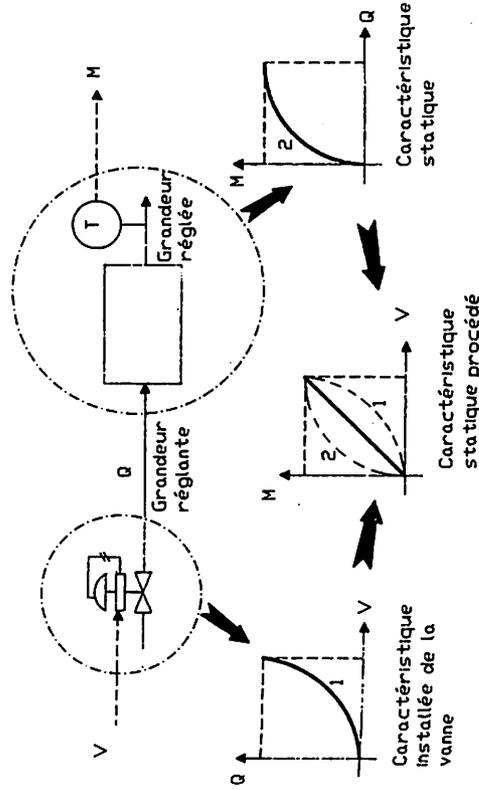


Fig. 2.22 : Linéarisation de la caractéristique statique.

La caractéristique installée de la vanne s'obtient le plus souvent par le choix de sa caractéristique intrinsèque (paragraphe 2.71).

Une autre solution consiste à traiter le signal V qui commande la vanne à l'aide d'un caractérisateur (générateur de fonction) ce qui permet une linéarisation plus fine.

Précisons que la linéarisation ne concerne que le gain statique et que les paramètres dynamiques (temps d'établissement, temps mort) changent également en fonction du point de fonctionnement ce qui nécessite de modifier les actions.

Ce problème se résout dans certains systèmes numériques par l'adaptation des actions.

2.7 CARACTÉRISTIQUES DES VANNES DE RÉGULATION

2.71 CARACTÉRISTIQUE INTRINSÈQUE DE DÉBIT

C'est la loi entre le débit Q et le signal de vanne V, la pression différentielle ΔP_v aux bornes de la vanne étant maintenue constante.

Nous traitons dans ce qui suit uniquement des caractéristiques linéaire et égal pourcentage qui sont les plus couramment utilisées en régulation.

2.711 Caractéristique de débit linéaire

Le débit évolue linéairement en fonction du signal. La caractéristique est une droite (fig. 2.23 (a)). Des accroissements égaux du signal vanne provoquent des accroissements égaux de débit.

En fait la caractéristique part de Q_0 qui est le débit minimum réglable par la vanne (fig. 2.23). Q_0 est calculé à partir du coefficient intrinsèque de réglage (ou rangeabilité) donné par le constructeur.

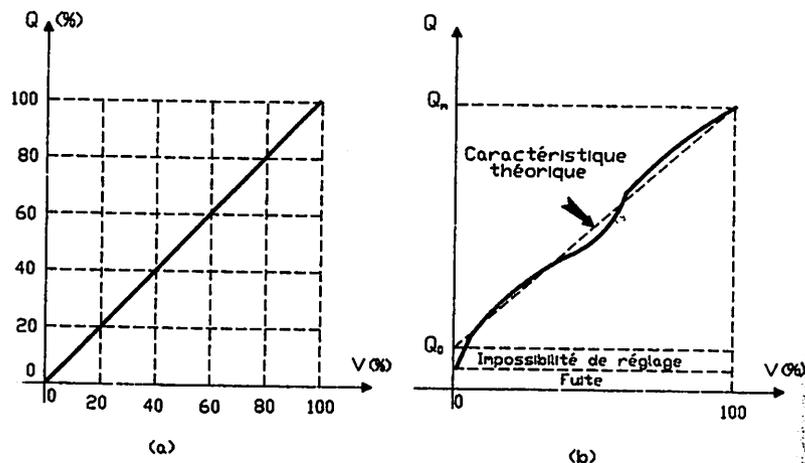


Fig. 2.23 : Caractéristique intrinsèque linéaire.

$$R = \frac{Q_m}{Q_0}$$

R : Coefficient de réglage (rangeabilité).

Q_m : Débit maximum réglable.

Q_0 : Débit minimum réglable.

Nota : R = 100 est une valeur moyenne de rangeabilité.

2.712 Caractéristique de débit égal pourcentage (= %)

La caractéristique est une exponentielle (fig. 2.24 (a)). Des accroissements égaux du signal vanne provoquent des accroissements égaux de débit relatif (fig. 2.24 (b)).

$$\frac{\Delta Q_1}{Q_1} = \frac{\Delta Q_2}{Q_2}$$

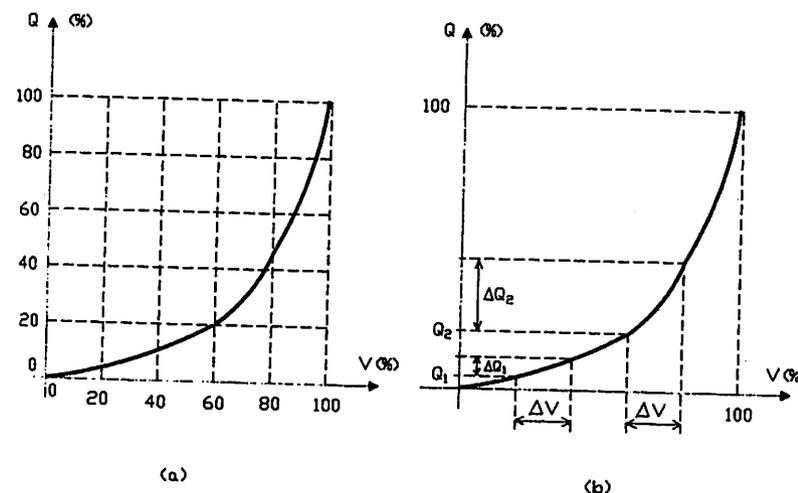


Fig. 2.24 : Caractéristique intrinsèque égal pourcentage.

2.72 VANNE ET CIRCUIT

Considérons l'installation figure 2.25 (a) ; les longueurs droites et accessoires (coudes, réductions...) de tuyauterie, la vanne de régulation et l'échangeur constituent un circuit résistif. Le passage d'un débit Q provoque dans chacun de ces éléments une chute de pression ΔP (perte de charge) qui est proportionnelle au carré du débit (écoulement turbulent : $\Delta P = K \cdot Q^2$).

Le schéma figure 2.25 (b) fait apparaître les résistances hydrauliques R_1 et R_2 du circuit. On considère les tuyauteries horizontales et de section constante.

Désignons par ΔP_1 et ΔP_2 les pertes de charge en amont et en aval de la vanne.

ΔP_r : perte de charge du circuit résistif ($\Delta P_r = \Delta P_1 + \Delta P_2$)

ΔP_v : perte de charge dans la vanne

P_a : pression refoulement pompe

A chaque ouverture de vanne, il s'établit dans le circuit un débit Q qui provoque une perte de charge égale à la pression de refoulement de la pompe.

$$\Delta P_r + \Delta P_v = P_a$$

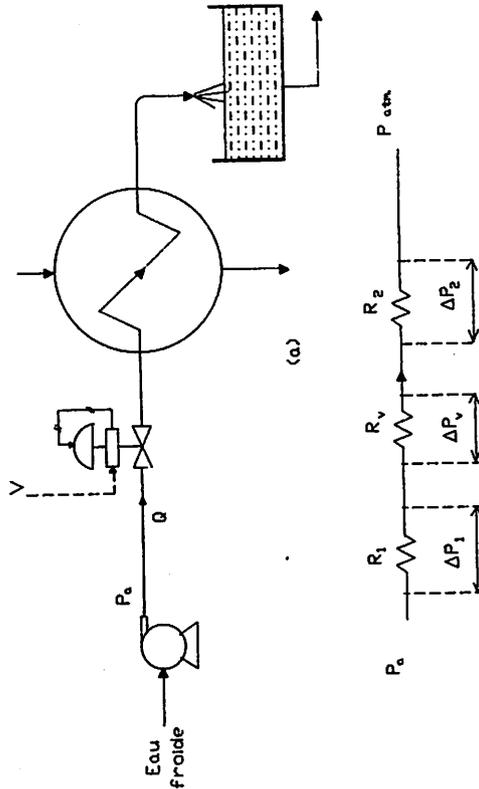


Fig. 2.25 : Vanne et circuit.

La figure 2.26 représente les variations de pression en fonction du débit. La courbe (1) représente l'évolution type de la pression P_a de refoulement d'une pompe. La courbe (2) représente la perte de charge ΔP_r dans le circuit résistif.

La différence entre les deux courbes, correspond à la perte de charge ΔP_v dans la vanne.

La vanne grande ouverte provoque une perte de charge ΔP_{v_0} qui fixe le débit maximum Q_m .

L'influence de la vanne sur le circuit est exprimée par le rapport d entre la perte de charge de la vanne ΔP_v et la perte de charge totale du circuit ($\Delta P_v + \Delta P_r$), ceci au débit maximum réglable.

$$d = \frac{\Delta P_v}{\Delta P_v + \Delta P_r}$$

Une règle pratique veut qu'au débit maximum à régler, la perte de charge dans la vanne soit égale à 50% de la perte de charge dans le circuit résistif, ce qui correspond à $d = 0,33$.

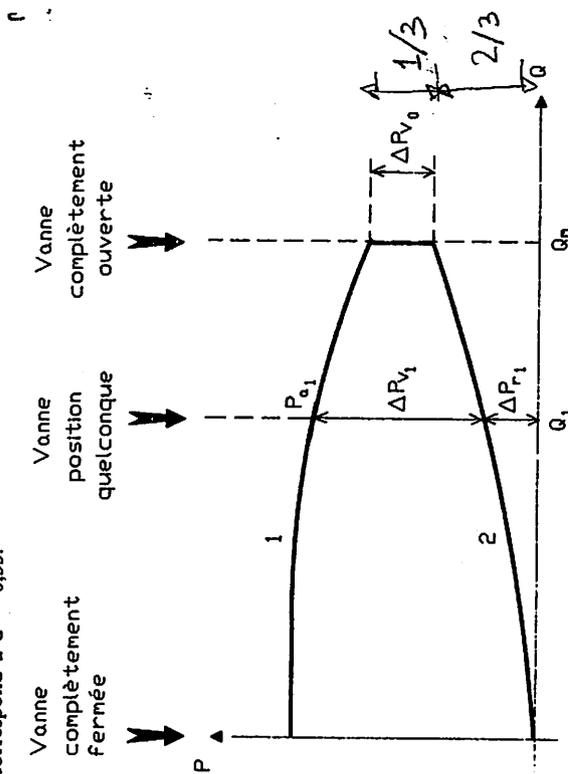


Fig. 2.26 : Pressions en fonction du débit.

2.73 CARACTÉRISTIQUE INSTALLÉE

C'est la loi de variation du débit en fonction du signal de commande. Cette caractéristique est fonction :

- de l'installation, c'est-à-dire du rapport d ;
- de la vanne, c'est-à-dire de sa caractéristique intrinsèque de débit.

La figure 2.27 montre les caractéristiques installées pour des vannes à caractéristiques intrinsèques, linéaire et égal pourcentage, correspondant à un circuit série identique à celui de la figure 2.25.

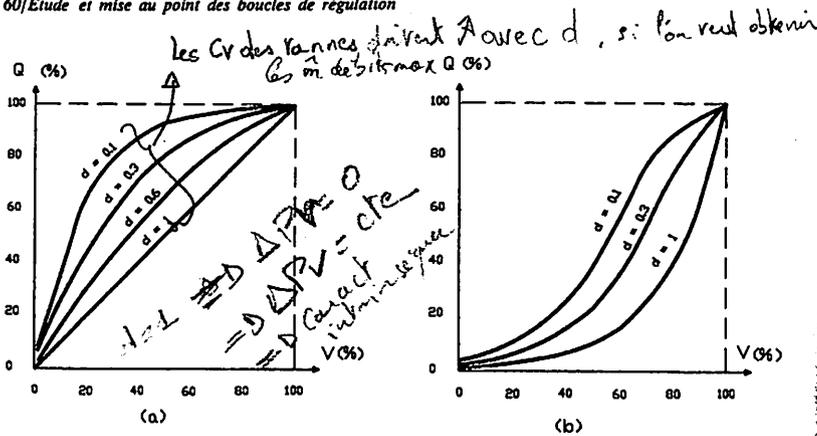


Fig. 2.27 : Caractéristique installée en fonction de d , pour des vannes à caractéristique intrinsèque linéaire (a) et égal pourcentage (b).

Ces courbes permettent de choisir la caractéristique intrinsèque d'une vanne. Reprenons, figure 2.28, l'exemple de la figure 2.22 où le gain du procédé seul est positif et décroissant.

Le résultat à obtenir nous impose une vanne à caractéristique intrinsèque égal pourcentage. La linéarisation ne sera effectuée que si le d de l'installation est fort.

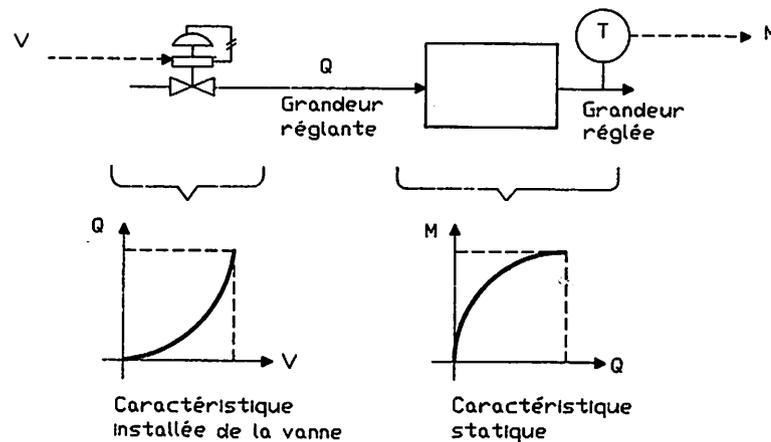


Fig. 2.28 : Linéarisation d'un procédé à gain statique décroissant.

Dans le cas où le procédé seul a un gain statique positif et croissant (fig. 2.29), on choisit une vanne de caractéristique intrinsèque linéaire, mais la linéarisation du procédé ne sera bonne que si le d de l'installation est faible.

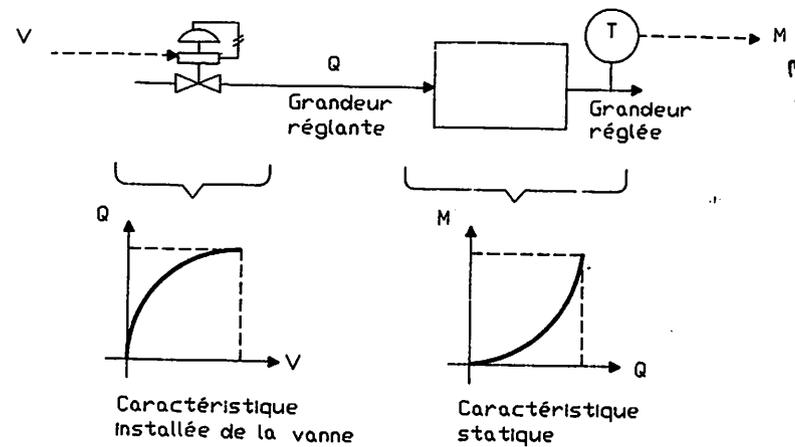


Fig. 2.29 : Linéarisation d'un procédé à gain statique croissant.

Dans le cas où le procédé seul a un gain statique constant et positif (fig. 2.30), on choisit une vanne à caractéristique intrinsèque linéaire, si le d de l'installation est fort et égal pourcentage si le d est faible.

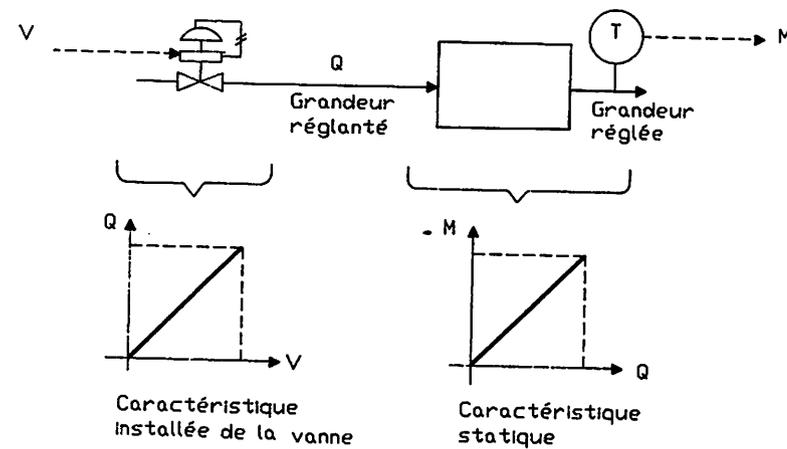
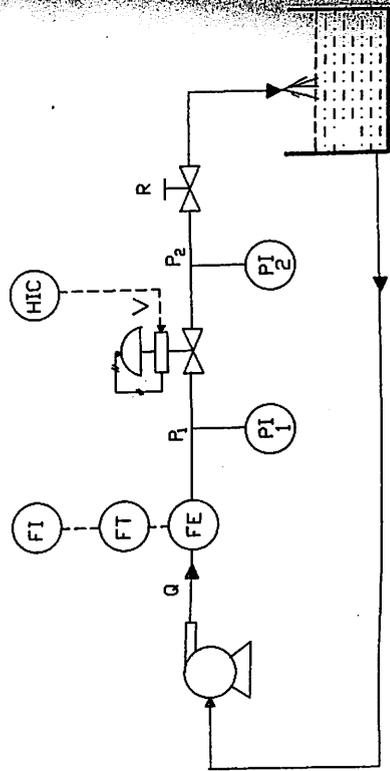


Fig. 2.30 : Linéarisation d'un procédé à gain statique constant.

2.74 APPLICATION

Les essais ont été effectués sur l'installation représentée figure 2.31 où la vanne R est réglée de telle sorte que le débit d'eau, vanne grande ouverte, soit de $4 \text{ m}^3/\text{h}$.



FE : débitmètre électromagnétique

Fig. 2.31 : Circuit d'essai.

La perte de charge en amont de la vanne est considérée comme négligeable. La tuyauterie est horizontale et de section constante. La pression de refoulement de la pompe P_1 représente donc la perte de charge totale du circuit et la pression P_2 est la perte de charge (ΔP_v) du circuit en aval de la vanne. La perte de charge dans la vanne est : $\Delta P_v = P_1 - P_2$

Le changement de caractéristique intrinsèque de débit de la vanne se fait par le positionneur.

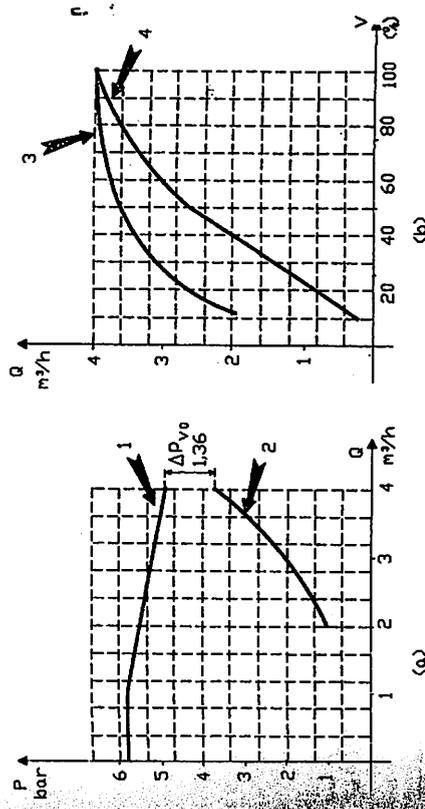
Le débit est lu sur un débitmètre électromagnétique. Pour différentes valeurs du signal vanne V délivré par la commande manuelle HIC, on relève la valeur du débit Q et les pressions P_1 et P_2 .

Pour une vanne dont le coefficient de débit (voir remarque fin du paragraphe) est de 3,8, les résultats sont représentés par les courbes de la figure 2.32.

On observe que la perte de charge dans la vanne, représentée par la différence entre les courbes 1 et 2, varie entre 5,75 et 1,36 bar (perte de charge ΔP_v vanne grande ouverte).

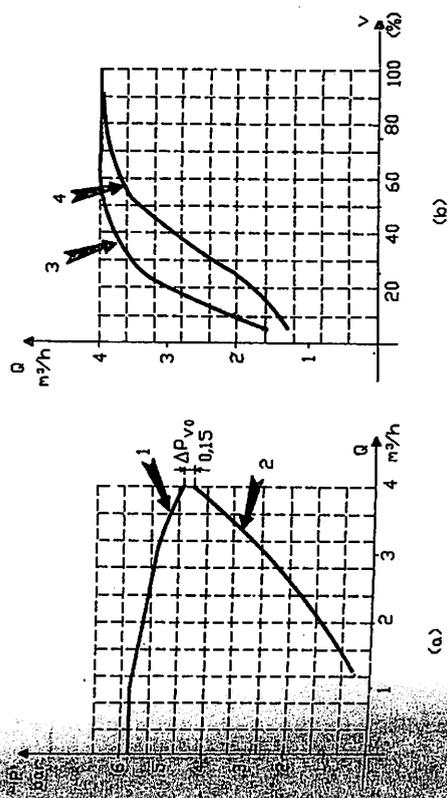
Les courbes 3 et 4 montrent la déformation des caractéristiques intrinsèques conduisant aux courbes de la figure 2.33.

Pour obtenir le même débit vanne grande ouverte, on augmente la charge du circuit par la vanne R , donc le rapport d diminue. Ceci nécessite la modification des courbes par rapport à celles obtenues précédemment.



(1) évolution de la pression P_1 .
 (2) évolution de la pression P_2 .
 (3) caractéristique installée avec vanne réglée pour une caractéristique intrinsèque linéaire.
 (4) caractéristique installée avec vanne réglée pour une caractéristique intrinsèque égal pourcentage.

Fig. 2.32.



(1) évolution de la pression P_1 .
 (2) évolution de la pression P_2 .
 (3) caractéristique installée avec vanne réglée pour une caractéristique intrinsèque linéaire.
 (4) caractéristique installée avec vanne réglée pour une caractéristique intrinsèque égal pourcentage.

Fig. 2.33.

Remarque : Le coefficient de débit CV représente le nombre de Gallon US par minute d'eau à 15 °C qui s'écoule dans une vanne grande ouverte avec une pression différentielle égale à 1 PSI.