

Commandes Hydrauliques

SOUPAPES D'ÉQUILIBRAGE

Introduction

La soupape dite d'équilibrage apporte des solutions élégantes aux problèmes posés par le mouvement des charges entraînant :

- Régularité de la vitesse.
- Freinage contrôlé.
- Maintien en position.
- Protection vis-à-vis des surpressions accidentelles.
- Contournement des surpressions naturelles.
- Rendement énergétique optimum

Exemple de surpression naturelle générée par un contrôle de la vitesse d'un vérin soumis à une charge entraînée

Le contrôle de la vitesse par un limiteur de débit peut donner satisfaction mais il peut aussi générer des problèmes de sécurité et des difficultés de réglages.ⁱ

Cas typique générateur d'une surpression. Figure 1.

La charge exerce une traction sur la tige du vérin. Les schémas sont en position dynamique.

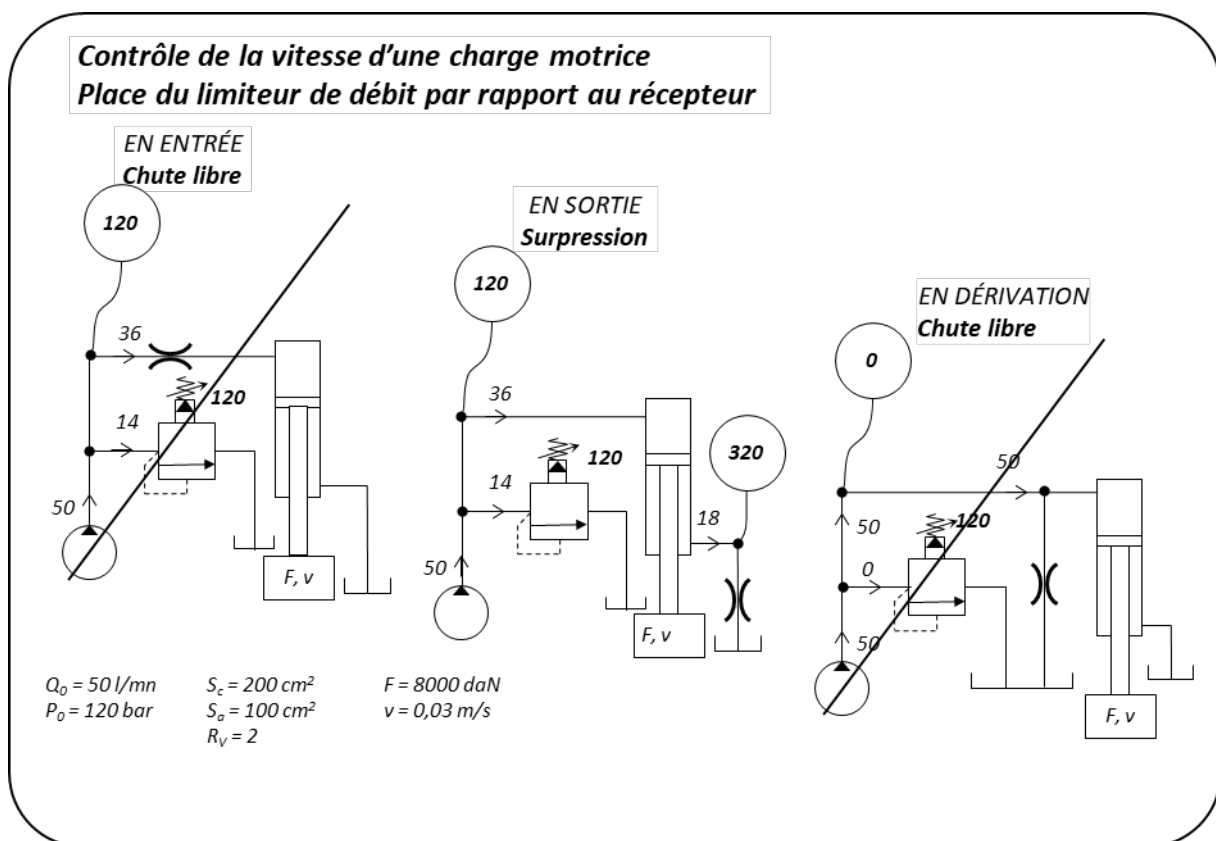


Figure 1

Les montages avec un limiteur de débit monté en entrée de vérin ou en dérivation conduisent à une descente non contrôlée de la charge. Seul le limiteur de débit placé en sortie du vérin semble convenir. Dans ce cas particulier la surpression dans la chambre de section annulaire atteint un niveau élevé, voire insupportable : 320 bar.

Réduction de la surpression

Une solution consiste à remplacer le limiteur de débit en sortie de vérin par une soupape qui, en l'absence d'alimentation du vérin, retient la charge.

Cette soupape ressemble à un limiteur de pression. Il est réglé à une valeur supérieure à la pression statique générée par la charge. Dans ces conditions il faudra monter en pression dans la chambre de pleine section du vérin pour engager le mouvement de descente.

Dans ce contexte diverses appellations sont données à la soupape : soupape de retenue, soupape de contre-pression et aussi soupape d'équilibrage.

Soupape d'équilibrage. Montage sur un plan de pose

Les premiers circuits hydrauliques étaient réalisés avec des soupapes dont le corps en fonte présente des orifices taraudés. Ces soupapes étaient reliées entre elles par des raccords et des tubes. Ces jonctions sont sujettes à de nombreuses sources de fuites.

Ultérieurement, l'usage d'embases et de blocs forés a conduit au développement de soupapes destinées à être fixées sur des plans de pose. Le tuyautage a été simplifié et les sources de fuites ont été réduites.

Figure 2. Une soupape d'équilibrage en sortie de vérin rend la charge virtuellement résistante.

Dans le cas de la figure 2, la vitesse maximale ne pourra excéder celle autorisée par le débit de la pompe.

Si nécessaire un limiteur de débit placé sur l'alimentation du vérin permettrait de réduire et de contrôler la vitesse de sortie de tige du vérin.

Pour permettre la rentrée de tige, la soupape d'équilibrage est contournée par un clapet anti-retour. Ce clapet est généralement incorporé à la soupape.

Pour que la sécurité de fonctionnement soit optimum il est souhaitable que la soupape d'équilibrage soit fixée sur le récepteur.

L'observation de la soupape permet de détailler la représentation symbolique et de déceler les particularités sur lesquelles il est possible d'agir.

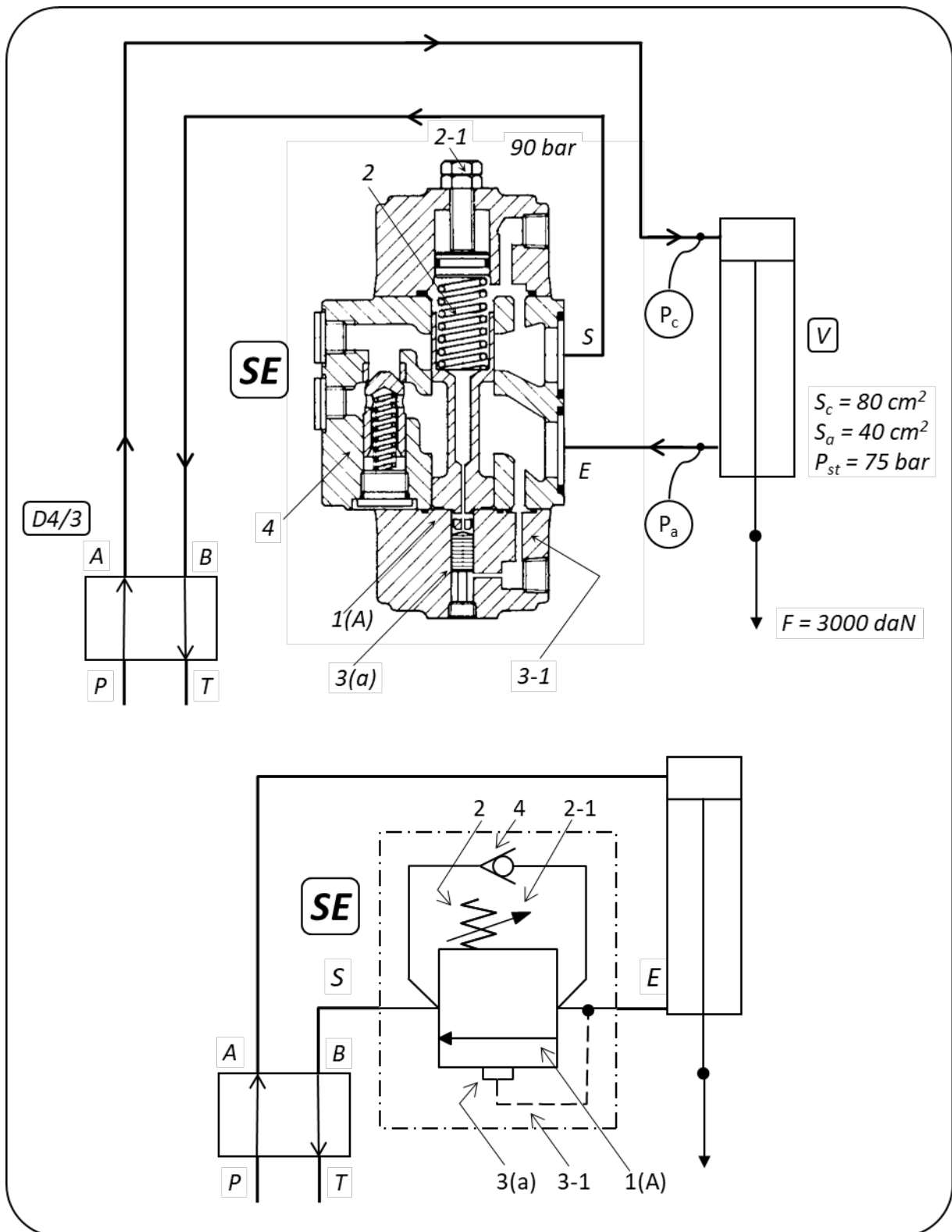


Figure 2

Soupapes d'équilibrage

Ce sont des soupapes normalement fermées au repos.

Elles ont une ou deux commandes d'ouverture. Une commande d'ouverture lorsque la charge est fixe. Deux commandes, souhaitables, lorsque la charge est variable.

SOUPAPE D'ÉQUILIBRAGE À UNE COMMANDE D'OUVERTURE (Avec clapet anti-retour intégré)

Figure 3. Le schéma de la soupape d'équilibrage est quasi conforme à la technologie présentée sur la figure 2. On observe que la commande d'ouverture est appliquée sur une section réduite (a) par rapport à celle (A) du tiroir. Il existe d'autres technologies où ces différences de sections sont présentes.

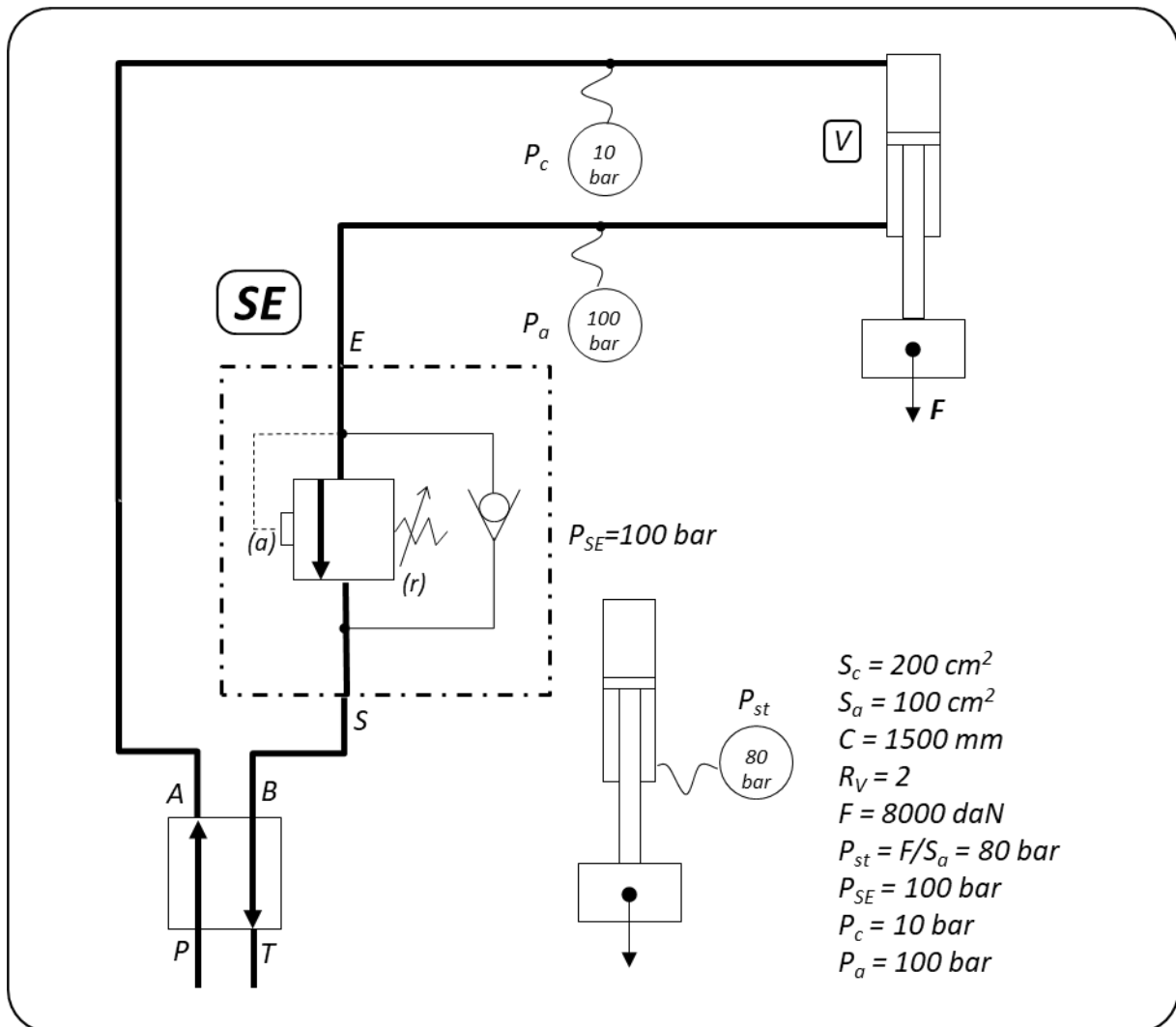


Figure 3

Objectif

Détermination de la pression P_c nécessaire pour engager le mouvement de descente de la charge.

Pression statique : P_{st}

En l'absence de toute alimentation, la traction de 8000 daN qui s'exerce sur la tige génère une pression statique de 80 bar dans la chambre de section annulaire.

$$P_{st} = \frac{F}{S_a} = \frac{8000 \text{ daN}}{100 \text{ cm}^2} = 80 \text{ bar}$$

$$P_{st} = 80 \text{ bar}$$

P_{SE} : pression affichée sur la soupape d'équilibrage

Pour que la soupape d'équilibrage fasse office de frein, elle doit être réglée à une valeur supérieure à la pression statique (P_{st}).

Exemple : $P_{SE} = 100 \text{ bar}$.

$$P_{SE} = 100 \text{ bar}$$

P_c : pression dans la chambre de pleine section

Équilibre des forces sur le vérin

$$(P_c)(S_c) + F = (P_a)(S_a)$$

En divisant par S_a

$(P_c) \left(\frac{S_c}{S_a} \right) + \frac{F}{S_a} = P_a$ Avec $\frac{S_c}{S_a} = R_V$ (rapport du vérin) et $\frac{F}{S_a} = P_{st}$ (pression statique) il vient $(P_c)(R_V) + P_{st} = P_a$

$$P_c = (P_a - P_{st}) / R_V$$

$$P_c = (100 - 80) / 2$$

$$P_c = 10 \text{ bar}$$

Remarques

1) Pression au refoulement de la pompe

Une pression de 10 bar dans la chambre de pleine section du vérin assure le mouvement à la vitesse due au débit de la pompe. En l'absence de limiteur de débit pour contrôler la vitesse, 10 bar c'est aussi, aux pertes de charges près, la pression la pression au refoulement de la pompe.

2) Distance de freinage

Une force constante s'oppose au mouvement. Cela se traduit par une distance de freinage lors de l'arrêt de la commande de mouvement. Elle sera d'autant plus courte que le tarage de la soupape est élevé.

3) Charge variable et rendement

Avec $F=0$, $P_c=50 \text{ bar}$.

En l'absence de charge il faut malgré tout vaincre le « frein permanent » que constitue la soupape d'équilibrage. La puissance hydraulique augmente quand la charge diminue.

Une soupape d'équilibrage à deux commandes d'ouverture permet de minimiser les effets négatifs de cette situation paradoxale.

Résumé de l'application

Soupape d'équilibrage à 1 commande d'ouverture. Analyse selon l'intensité de la force entraînante.	
1) $F=8000$ daN, $P_{st}=80$ bar $R_v=2$ $P_{SE}=100$ bar $P_c=10$ bar	2) $F=0$ daN, $P_{st}=0$ bar $R_v=2$ $P_{SE}=100$ bar $P_c=50$ bar

SOUPAPE D'ÉQUILIBRAGE À DEUX COMMANDES D'OUVERTURE (Avec clapet anti-retour intégré)

Figure 4. La charge exerce une traction sur la tige du vérin.

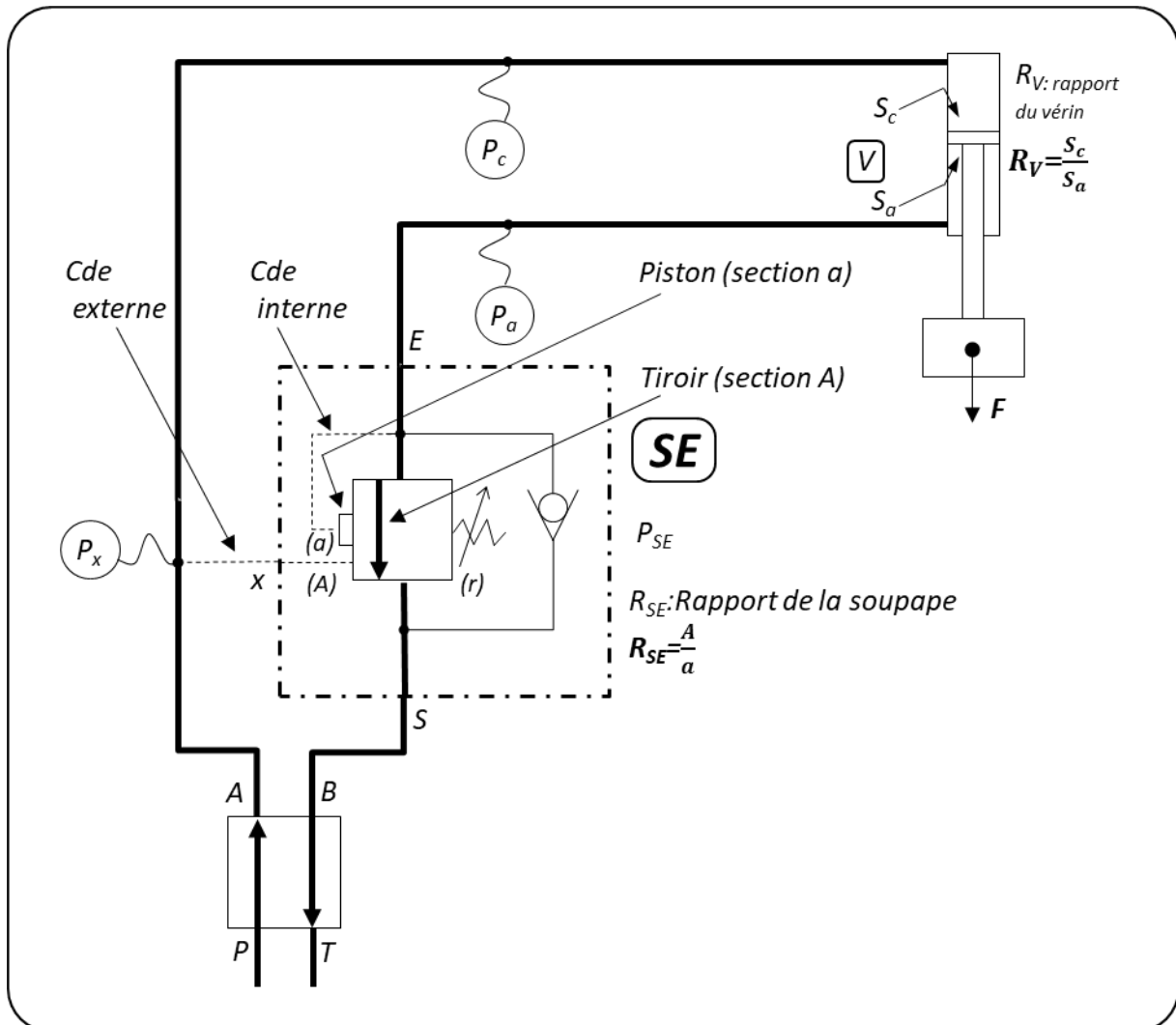


Figure 4

Objectif

Détermination de la pression P_c pour engager le mouvement de descente de la charge.

$$P_c = P_x$$

Orifices

E : entrée de la soupape.

S : sortie de la soupape.

x : commande d'ouverture externe.

Composition

Un corps de soupape.

Un tiroir et un piston de petite taille. Le tiroir et le piston sont cylindriques.

r : ressort réglable. Il exerce une force F_r sur le tiroir.

Fonctionnement

Le déplacement du tiroir permet d'établir une voie de passage entre les orifices E et S de la soupape.

En position de repos le tiroir bloque le passage entre E et S. Il s'agit donc d'une soupape normalement fermée.

A : section du tiroir.

a : section du piston de petite taille.

R_{SE} : rapport des sections de la soupape. $R_{SE} = \frac{A}{a}$

P_E : pression en entrée.

P_x : pression en x

Le tiroir est soumis, d'un côté, aux forces hydromécaniques dues aux pressions P_E appliquée sur la section a et P_x appliquée sur la section A . Sur le côté opposé il est soumis à la force F_r du ressort.

Équilibre du tiroir

$$(P_x)(A) + (P_E)(a) = (F_r)$$

En divisant par a , il vient :

$$P_x \left(\frac{A}{a} \right) + P_E = \frac{F_r}{a}$$

P_{SE} : pression affichée sur la soupape. $P_{SE} = \frac{F_r}{a}$

$$(P_x)(R_{SE}) + P_E = P_{SE}$$

$$\boxed{(P_x)(R_{SE}) = P_{SE} - P_E} \quad (1)$$

Équilibre du vérin

$(P_x)(S_c) + F = (P_E)(S_a)$. En divisant par S_a il vient :

$$P_x \left(\frac{S_c}{S_a} \right) + \frac{F}{S_a} = P_E$$

Avec $(S_c)/(S_a) = R_V$ (rapport du vérin) et $(F)/(S_a) = P_{st}$ (pression statique)

$$\boxed{P_x(R_V) + P_{st} = P_E} \quad (2)$$

(2) dans (1)

$$(P_x)(R_{SE}) = P_{SE} - P_x(R_V) - P_{st}$$

$$P_x(R_{SE} + R_V) = (P_{SE} - P_{st})$$

$P_x = (P_{SE} - P_{st}) / (R_{SE} + R_V)$	Relation applicable dans une configuration conforme à la figure 4
--	---

Application. La charge exerce une traction sur la tige du vérin

Soupape d'équilibrage à 2 commandes d'ouverture	
1) $F=8000$ daN, $P_{st}=80$ bar $R_{SE}=8$. $R_V=2$ $P_{SE}=100$ bar $P_x=P_c=2$ bar	2) $F=0$ daN, $P_{st}=0$ bar $R_{SE}=8$ $R_V=2$ $P_{SE}=100$ bar $P_x=P_c=10$ bar

Remarques relatives à la vitesse et à la présence d'un clapet anti-retour

La vitesse maximale ne pourra pas excéder celle fournie par le débit de la pompe. Une vitesse moindre sera possible avec un limiteur de débit placé sur l'alimentation du vérin.

Pour permettre la rentrée de la tige du vérin, la soupape d'équilibrage est contournée par un clapet anti-retour. Il est généralement intégré dans la soupape

SOUPAPE D'ÉQUILIBRAGE À DEUX COMMANDES D'OUVERTURE (Avec clapet anti-retour intégré)

Figure 5. La charge exerce une poussée sur la tige du vérin

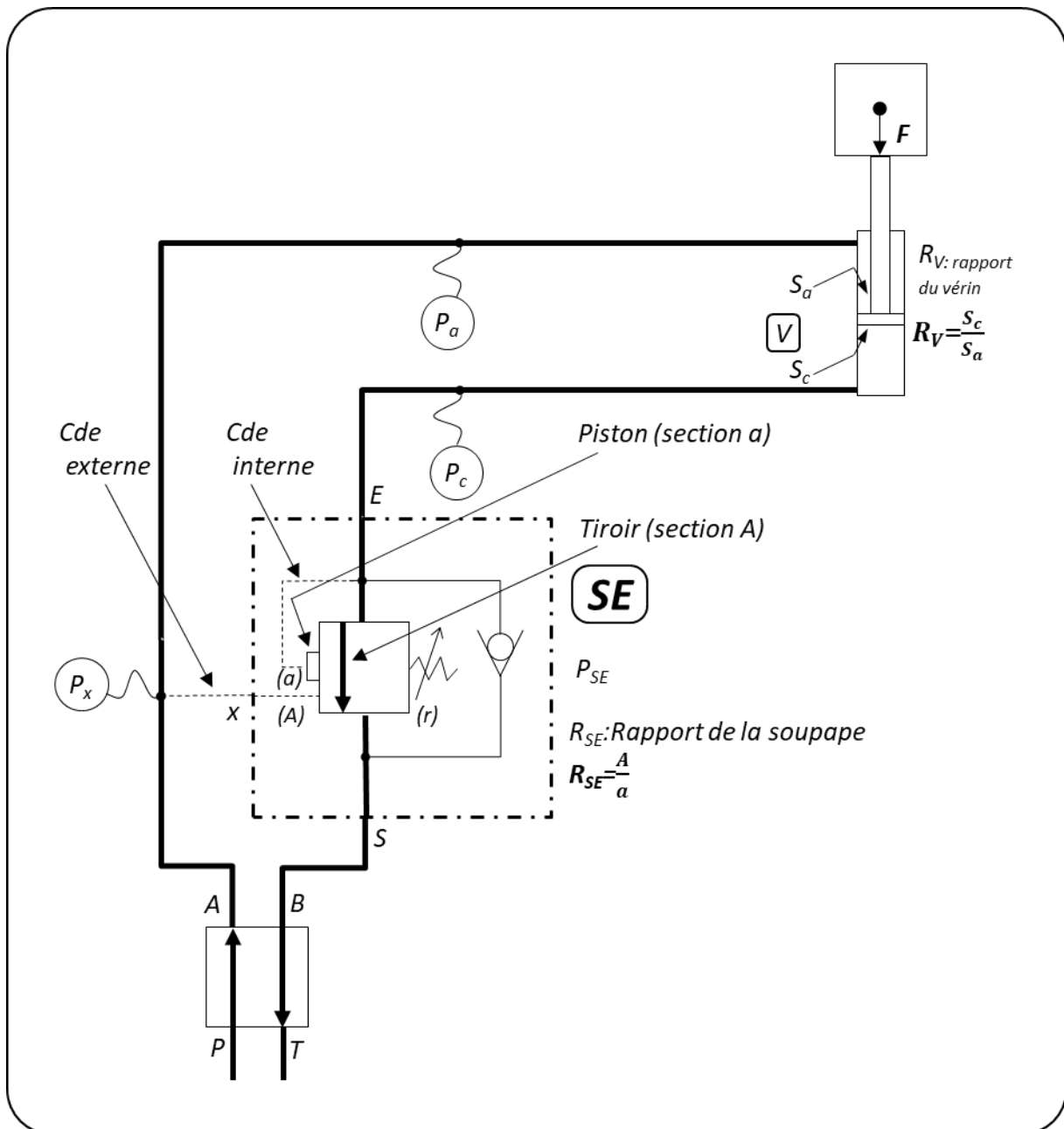


Figure 5

Équilibre du tiroir

$$(P_x)(A) + (P_E)(a) = (F_r)$$

En divisant par a , il vient :

$$P_x \left(\frac{A}{a} \right) + P_E = \frac{F_r}{a}$$

P_{SE} : pression affichée sur la soupape. $P_{SE} = \frac{F_r}{a}$

$$(P_x)(R_{SE}) + P_E = P_{SE}$$

$$(P_x)(R_{SE}) = P_{SE} - P_E \quad (1)$$

Équilibre du vérin

$(P_x)(S_a) + F = (P_E)(S_c)$. En divisant par S_c :

$$P_x \left(\frac{S_a}{S_c} \right) + \frac{F}{S_c} = P_E$$

$(F)/(S_c) = P_{st}$ (pression statique)

$$P_x \left(\frac{1}{R_V} \right) + P_{st} = P_E \quad (2)$$

(2) dans (1)

$$(P_x)(R_{SE}) = P_{SE} - P_x \left(\frac{1}{R_V} \right) - P_{st}$$

$$P_x \left(R_{SE} + \frac{1}{R_V} \right) = (P_{SE} - P_{st})$$

$$P_x = (P_{SE} - P_{st}) / \left(R_{SE} + \frac{1}{R_V} \right)$$

Relation applicable dans une configuration conforme à la figure 4

Application. La charge exerce une poussée sur la tige du vérin

Soupape d'équilibrage à 2 commandes d'ouverture

1) $F=6600$ daN, $P_{st}=33$ bar

$R_{SE}=8$ $R_V=2$

$P_{SE}=50$ bar

$P_x=P_c \approx 12$ bar

2) $F=0$ daN, $P_{st}=0$ bar

$R_{SE}=8$ $R_V=2$

$P_{SE}=50$ bar

$P_x=P_c \approx 6$ bar

Remarques relatives à la vitesse et à la présence d'un clapet anti-retour

Remarques identiques à celles évoquées lors de l'analyse de la figure 4.

SOUPAPE D'ÉQUILIBRAGE À DEUX COMMANDES D'OUVERTURE (Avec clapet anti-retour intégré)

Montage par soupape vissée dans un bloc.

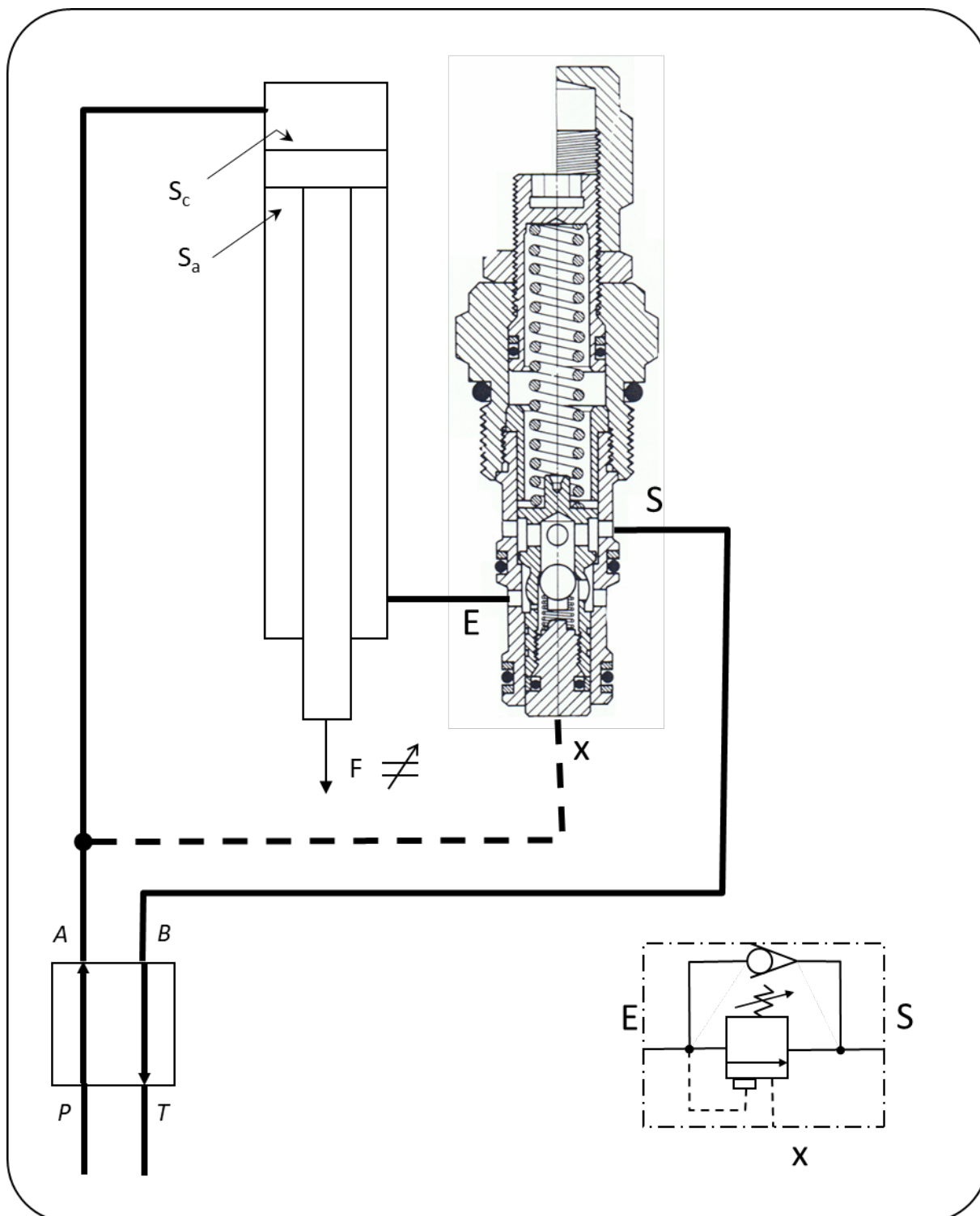


Figure 6

En matière de soupapes d'équilibrage, les technologies mises en œuvre étaient, dans un premier temps, réalisées à partir de composants incorporés dans une fonderie munies d'orifices taraudés. Par la suite ces mêmes composants ont été introduits

dans une fonderie destinées à être fixées sur des embases et des blocs forés présentant des plans de pose (figure 2).

L'étape suivante a consisté à incorporer des composants dans les blocs forés. D'où le développement de soupapes à visser dans des blocs forés.

Figure 6. La charge d'intensité variable exerce une traction sur la tige du vérin.

Fonctionnement de la soupape

L'observation en coupe de la soupape permet de détecter une surface différentielle sur laquelle s'applique la pression de commande d'ouverture interne et la surface sur laquelle s'applique la pression de commande d'ouverture externe. Nous retrouvons ainsi les surfaces a et A mentionnées sur la figure 2. La représentation symbolique peut rester inchangée.

À suivre. B.K. le 25/01/2024

ⁱ Lieu : Usine de production de panneaux en béton préfabriqués (70 installations identiques). Des vérins font osciller des châssis (9mx3m), dans lesquels on coule le béton. Position horizontale pour couler le béton. Position verticale pour l'enlèvement des châssis après séchage du béton. La force exercée sur les tiges de vérins est entraînée. Cette force est de plus en plus intense pendant le passage de la verticale à l'horizontale. Les limiteurs de débit placés à la sortie des vérins étaient difficilement réglables à cause d'un effet multiplicateur de pression (quasi 700 bars). Toutes les installations ont été modifiées avec, entre autres la mise en place de soupapes d'équilibrages.