

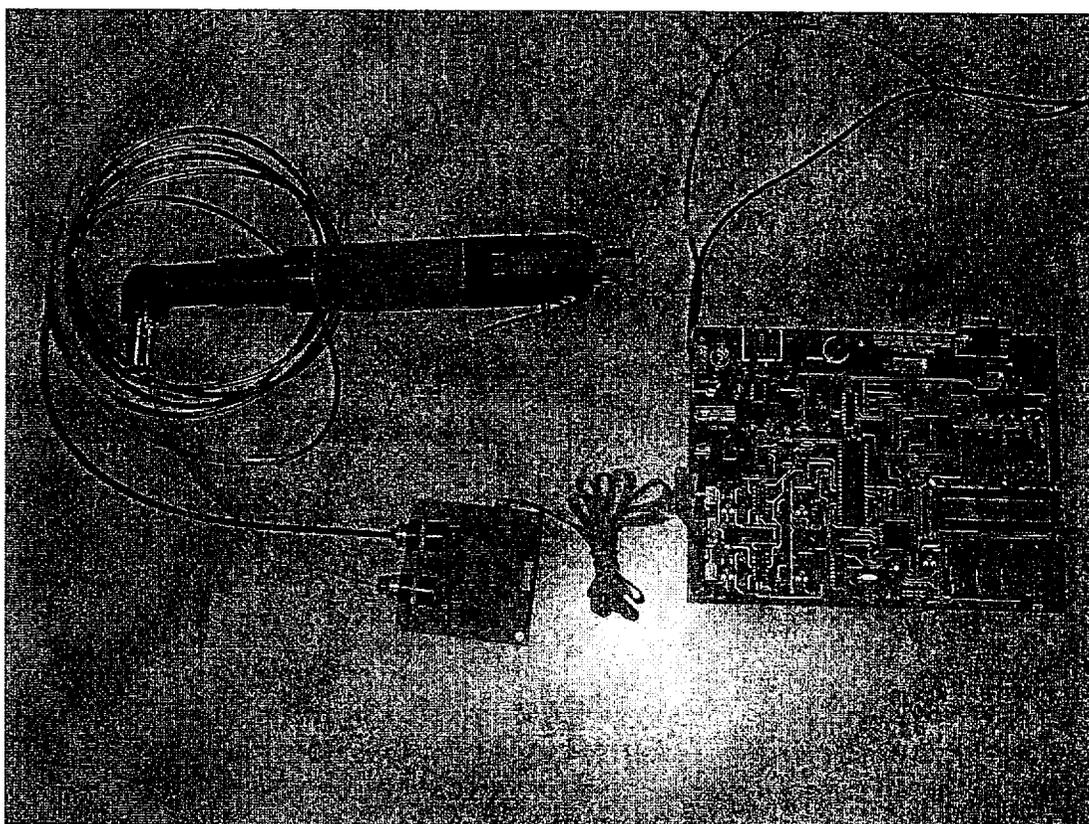
Académie d'Orléans Tours, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Limoges, Poitiers

B.E.P des métiers de l'électronique

DOSSIER SUPPORT EP2 – EP3

SESSION 2005

Assemblage de pièces par vissage dans l'industrie automobile Société : F.F.D.M – PNEUMAT



⇒ Remarques :

⇒ Ce dossier est autorisé et indispensable pour le passage des épreuves ponctuelles EP2 et EP3 : **vous l'apporterez donc obligatoirement le jour des épreuves.**

⇒ Cependant, il ne doit comporter **aucune annotation personnelle** (en particulier, pas de découpage des fonctions sur le schéma structurel.)

Sommaire

1°) Mise en situation	Page 2
1-1°) Présentation du système technique	Page 2
1-2°) Généralité sur l'assemblage par vissage	Page 2
1-3°) Fonction d'usage et matière d'œuvre	Page 3
1-4°) Diagramme sagittal	Page 4
1-5°) Principe de fonctionnement du système technique	Page 5
2°) Objet technique visseuse	Page 10
2-1°) Principe mécanique de la visseuse	Page 10
2-2°) Courbes représentatives de la pression levier et de la pression clapet lors du vissage	Page 11
2-3°) Cahier des charges relatif à la fonction d'usage du coffret de contrôle	Page 12
2-4°) Définitions	Page 12
2-4-1°) Durée du vissage	Page 12
2-4-2°) Durée d'appui levier	Page 12
2-4-3°) Prises d'information	Page 13
2-4-4°) Pression levier	Page 13
2-4-5°) Pression clapet	Page 13
2-4-6°) Paramètres de réglage	Page 13
2-4-7°) Paramètres de sécurité	Page 13
2-4-8°) Paramétrage du coffret	Page 13
2-4-9°) Phase d'auto apprentissage	Page 13
2-4-10°) Remarques sur les courbes de la page 11	Page 14
2-5°) Critères d'un bon vissage	Page 14
2-5-1°) Premier critère : la durée d'appui levier doit être supérieure à la durée du vissage	Page 14
2-5-2°) Second critère : la durée du vissage ne doit être ni trop longue, ni trop courte	Page 14
2-5-3°) Cas des courbes de la page 11	Page 14
2-6°) Principe de détection des mauvais vissages	Page 15
2-6-1°) Durée d'appui levier et durée du vissage	Page 15
2-6-2°) Détection des mauvais vissages	Page 16
2-6-3°) Exemple	Page 16
3°) Etude de l'objet technique "coffret de contrôle VC02"	Page 18
3-1°) Plan d'implantation de la carte électronique (version pédagogique)	Page 19
3-2°) Fonction d'usage du coffret de contrôle	Page 20
3-3°) Paramétrage du coffret de contrôle VC02	Page 20
3-3-1°) Introduction	Page 20
3-3-2°) Paramétrage	Page 20
3-3-3°) Mode opératoire	Page 21
3-4°) Description des programmes	Page 22
4°) Analyse fonctionnelle de premier degré	Page 27
5°) Schéma fonctionnel de second degré de FP1 et étude de la structure associée	Page 30
5-1°) Schéma fonctionnel de second degré de FP1	Page 30
5-2°) Conversion d'une pression en une tension différentielle	Page 31
5-3°) Fonction secondaire FS1-1	Page 32
5-4°) Fonction secondaire FS1-2	Page 32
5-5°) Fonction secondaire FS1-3	Page 33
5-6°) Fonction secondaire FS1-4	Page 33
6°) Schéma structurel de la carte didactique VC02	Page 35

Etude du système technique *Assemblage de pièces par vissage dans l'industrie automobile*

1) Mise en situation :

1-1) Présentation du système technique :

Dans l'industrie automobile, la fabrication de véhicules doit répondre à des critères précis de fiabilité, de productivité et de réduction des coûts. Tous les stades de fabrication sont concernés, notamment l'assemblage des pièces.

Fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'un produit à remplir une fonction déterminée pendant un temps prolongé sans défaillance et avec un niveau de performance précis. Elle est donc directement liée à la qualité.

La fiabilité des véhicules joue un rôle important dans la réputation et l'image de marque d'un constructeur auprès des consommateurs. Les niveaux de qualité que s'impose le constructeur lors de la conception d'un véhicule et lors de sa fabrication, permettent de garantir cette fiabilité.

une enquête réalisée à la suite de défauts de vissage sur des motocycles Peugeot a révélé que 50 % de ces défauts étaient dus à l'opérateur.

Le système que nous allons étudier contrôle la qualité du serrage sur un poste d'une chaîne de montage.

L'assemblage réalisé sur ce poste comporte des ensembles vis/écrous de mêmes longueurs et de mêmes diamètres serrés avec la même pression.

Le système technique étudié est proposé par la société F.F.D.M.-PNEUMAT et permet le vissage de pièces avec une garantie de qualité et sans nécessiter un investissement important pour l'industriel.

1-2) Généralité sur l'assemblage par vissage

Pour assembler plusieurs pièces par vissage et que cet assemblage soit de bonne tenue, il est nécessaire de contrôler la pression du serrage.

Trop de pression, la vis risque de se casser ou de déformer les pièces à assembler

Pas assez de pression la vis risque de se desserrer et l'assemblage se désolidariser dans le temps à cause, entre autre, des vibrations.

Pour contrôler une petite quantité d'assemblages lors d'une réparation par exemple, un technicien peut vérifier chaque assemblage à l'aide d'une clé dynamométrique.

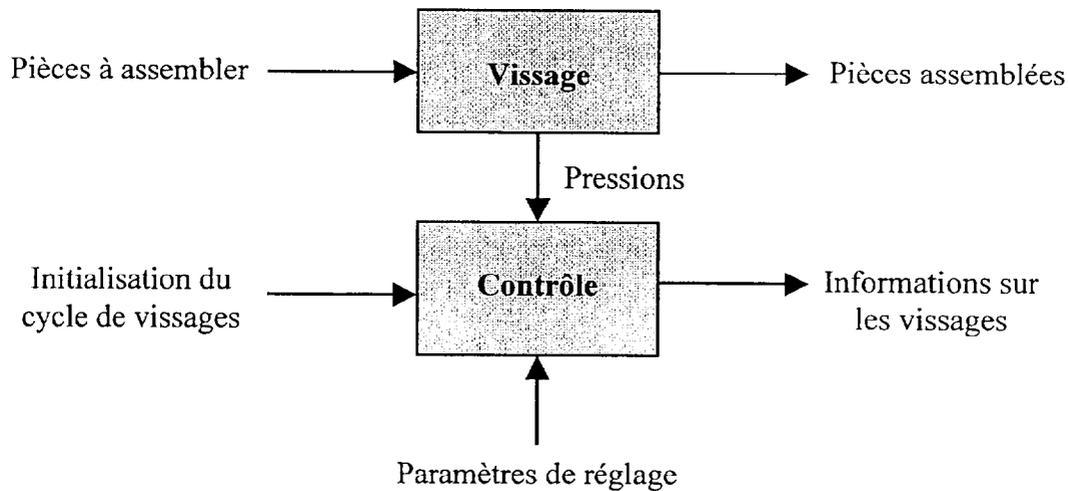
Pour des assemblages en grandes séries, sur une chaîne de montage, cette méthode s'avèrerait trop lente et trop coûteuse.

**L'objet de cette étude portera sur la solution apportée par la société
F.F.D.M.-PNEUMAT à l'assemblage de pièces par vissage
dans une chaîne de production de l'industrie automobile**

1-3) Fonction d'usage :

Le système technique permet l'assemblage de pièces par vissage et contrôle la qualité d'un cycle complet de vissages.

Schéma fonctionnel de niveau II :

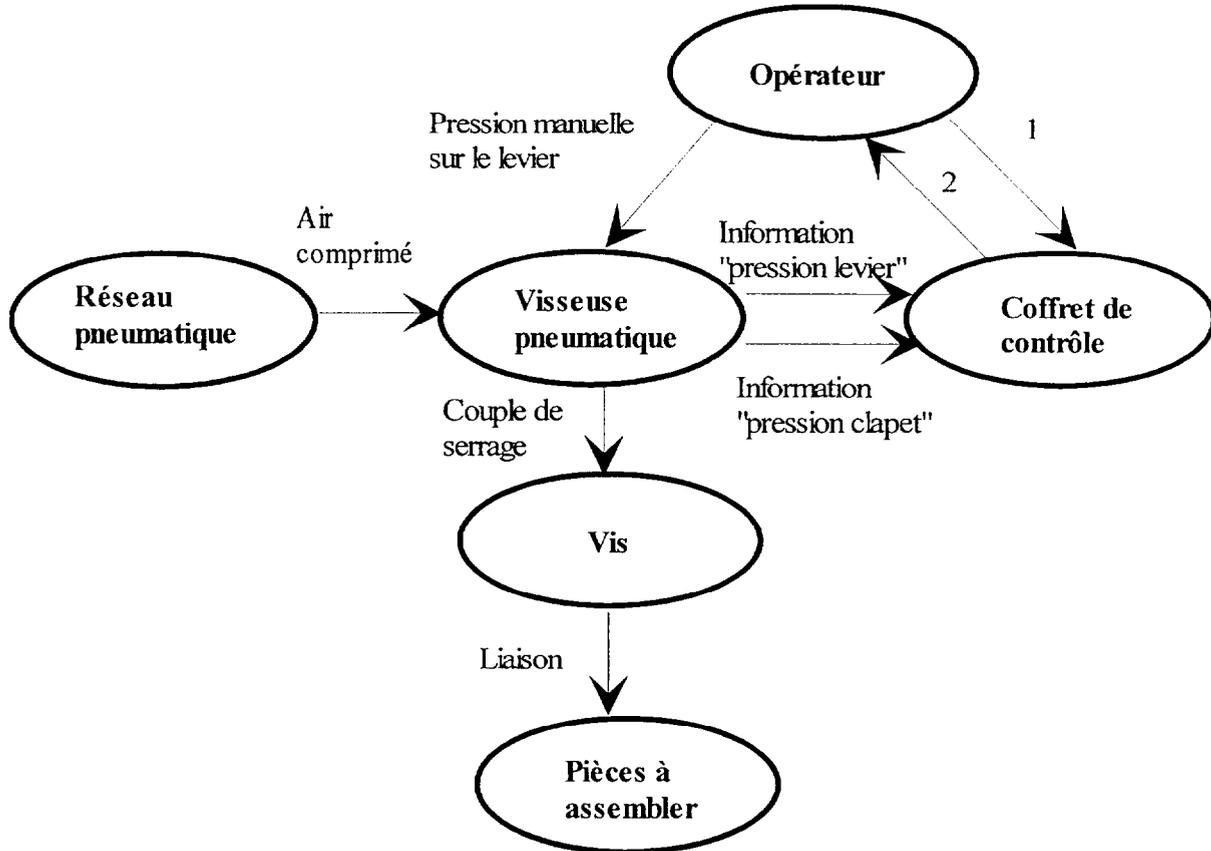


Matière d'œuvre :

- ⇒ La matière d'œuvre de la fonction **Vissage** est matérielle.
- ⇒ La matière d'œuvre de la fonction **Contrôle** est informationnelle.

1-4) Diagramme sagittal :

L'objet technique qui réalise la fonction **Vissage** est la visseuse pneumatique.
L'objet technique qui réalise la fonction **Contrôle** est le coffret de contrôle.



1 : actions de l'opérateur sur le coffret de contrôle :

- **Saisie du code opérateur ;**
- **Remise à zéro Vissage** (effacement d'un mauvais vissage) ;
- **Remise à zéro Comptage** (passage au cycle de vissage suivant ou interruption du cycle de vissage en cours).

2 : informations sur les vissages fournies à l'opérateur par le coffret de contrôle :

- information **Fenêtre de vissage** indiquant l'intervalle de temps pendant lequel le vissage doit s'achever pour être considéré bon ;
- information **Vissage OK / vissage non-OK** indiquant si un bon vissage vient d'être effectué ;
- information **Comptage OK** indiquant que tous les vissages du cycle sont bons.
- information **Fin de cycle** indiquant le passage d'un cycle de vissage au suivant.

1-5) Principe de fonctionnement du système technique :

Le système technique fait la différence entre un bon et un mauvais vissage grâce au temps de vissage et à la pression mesurés.

Les principaux éléments constituant un poste du système sont :

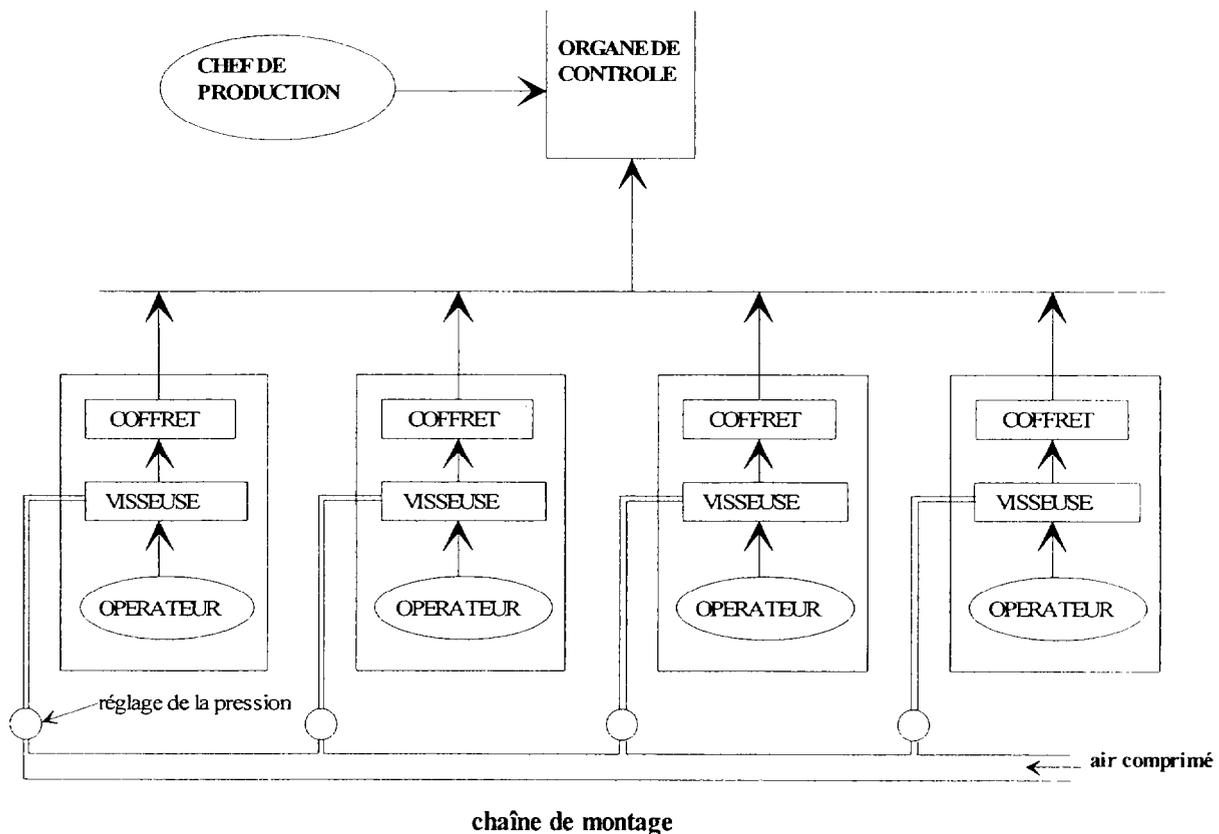
- ⇒ une visseuse pneumatique avec 2 sorties de contrôle de pression.
- ⇒ un coffret de contrôle qui analyse les pressions, les compare à des paramètres préalablement établis en déduit les temps d'appui sur le levier et rotation du moteur et signale si le cycle de vissage s'est déroulé correctement ou non.
- ⇒ un opérateur.

Le système est constitué de plusieurs postes réalisant ainsi une chaîne de montage.

Tous ces postes sont reliés par un organe central supervisé par un chef de production.

Chaque coffret ne peut contrôler qu'un type de vissage (même durée et même pression).

La pression d'air comprimé sera réglée sur chaque poste en fonction du couple de serrage désiré.

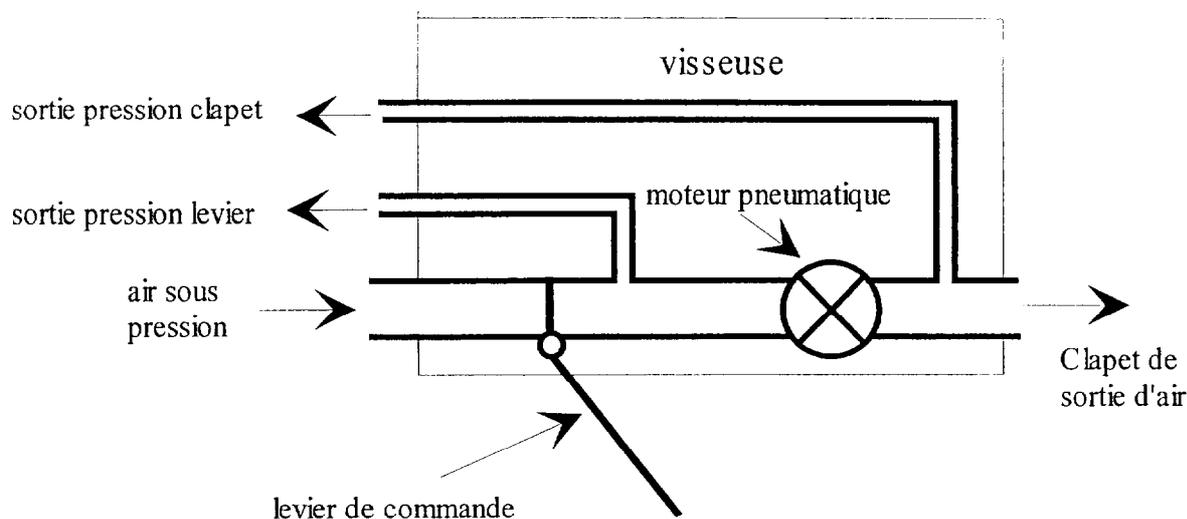


FINALITE DU SYSTEME

Le système a pour finalité de vérifier la qualité de chaque vissage effectué sur la chaîne de montage, donc de signaler les mauvaises opérations.

METHODE DE VERIFICATION D'UN VISSAGE

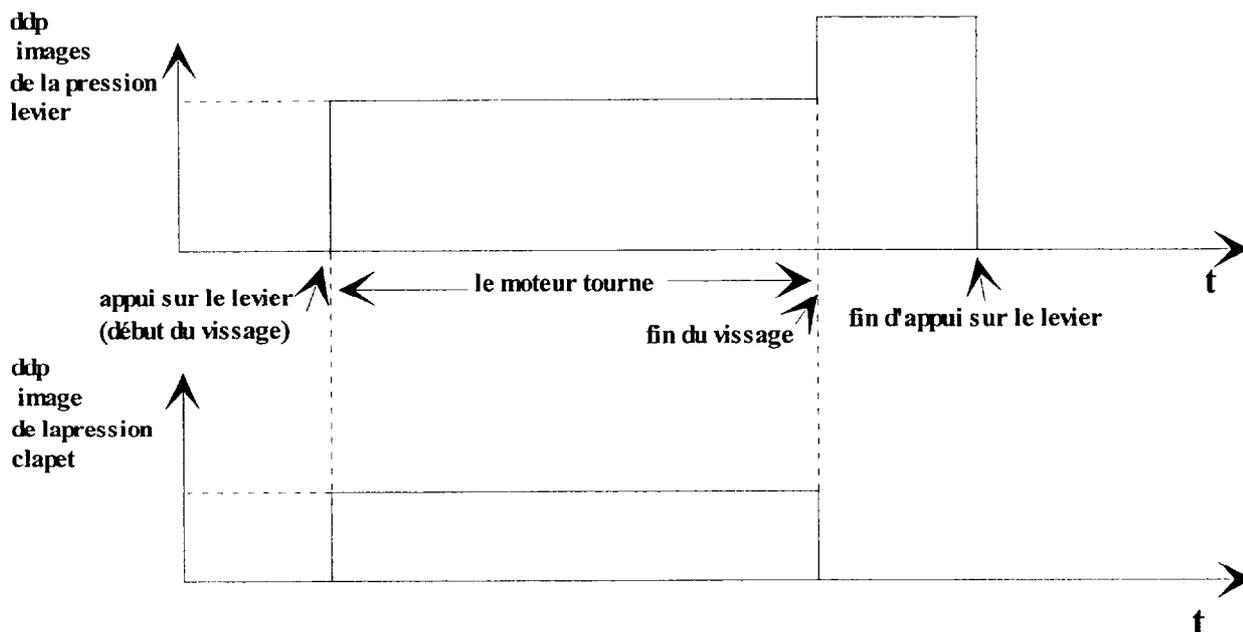
Principe mécanique de la visseuse



Evolution des pressions levier et clapet lors d'un vissage

On règle la pression d'entrée d'air pour obtenir le couple serrage voulu.
On mesure les pressions levier et clapet.

Une fois mis en forme, on obtient les ddp (images des pressions) suivantes :

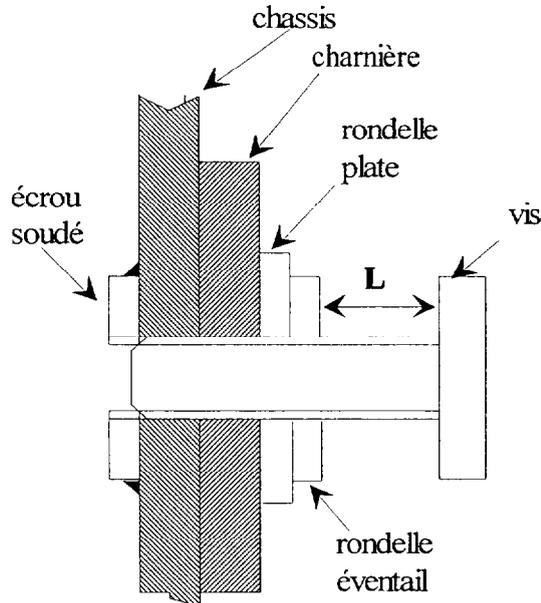


les paramètres relatifs à la qualité du vissage à entrer dans le coffret de contrôle sont donc les suivants :

- ⇒ durée du vissage
- ⇒ pressions minimum clapet et levier

EXEMPLE

Nous prendrons pour exemple la fixation d'une porte de voiture sur le châssis à l'aide de quatre vis (deux par charnière). Les quatre vissages devront impérativement être constitués d'éléments identiques (rondelles...) Les durées et pressions de vissages seront donc sensiblement identiques (à quelques % près)..



- ⇒ Vis 8mmx20mm
- ⇒ Epaisseur châssis : 4.mm
- ⇒ Epaisseur charnière: 4.mm
- ⇒ Epaisseur rondelle plate : 2mm
- ⇒ Epaisseur rondelle éventail : 2mm

Calcul de la longueur à visser L

- ⇒ $L = 20 - (4 + 4 + 2 + 2)$
- ⇒ $L = 8\text{mm}$

La pression du réseau pneumatique est réglée à 6 bars

Acquisition de paramètres

- ⇒ On se sert du mode « auto » (acquisition de paramètres) du coffret pour mesurer les temps de serrage et les pressions levier et clapet.
- ⇒ Les résultats sont les suivants :
 - ⇒ Temps de vissage : 2 secondes
 - ⇒ Pression levier : 5,5 bars
 - ⇒ Pression clapet : 1,2 bars

Calcul des temps à paramétrer

Le vissage se faisant d'une manière linéaire (la vis tourne toujours à la même vitesse), on peut calculer les temps minimal et maximal de vissage pour que celui ci soit considéré comme bon.

Erreur due à un mauvais empilage

⇒ L'erreur que peut commettre l'opérateur consiste en l'adjonction ou la suppression d'un élément.

⇒ L'élément le plus petit à détecter est une rondelle (épaisseur 2mm).

⇒ Le temps nécessaire de vissage correspondant à l'épaisseur de la rondelle peut être calculé de la manière suivante :

8mm —————> 2 secondes

2mm —————> 2 secondes x 2/8 = 0,5 secondes

On prendra 0,2 secondes par sécurité.

Les données à paramétrer seront donc les suivantes :

⇒ Temps mini : $2s - 0,2s = 1,8$ secondes

⇒ Temps maxi : $2s + 0,2s = 2,2$ secondes

Si le temps de vissage est en dehors de cette fourchette, le système détectera une erreur et le signalera à l'opérateur et au chef de production via l'organe de contrôle.

Erreur due à un grippage de la vis

Si la vis se grippe, le temps de vissage sera inférieur au temps minimal paramétré et l'erreur sera déclarée.

Erreur due au relâchement prématuré du levier par l'opérateur

Si l'opérateur relâche le levier pendant la fourchette des temps autorisée mais que le moteur tourne encore (couple de vissage non atteint), le système détectera que lorsque la pression clapet tombe à zéro, la pression levier est déjà à zéro, l'erreur sera déclarée.

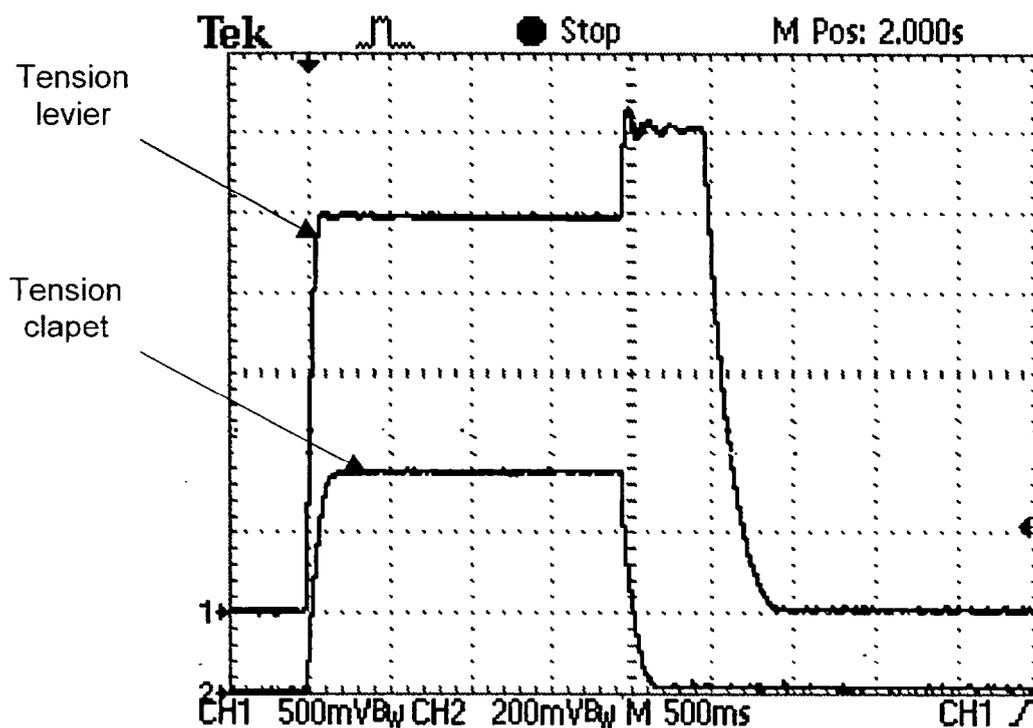
Etablissement des paramètres pression

Oscillogrammes de la tension levier et de la tension clapet

1 Volt correspond à une pression de 2 bars

Relevé des tensions V_l (Vk4) et V_c (Vk8)

Courbes représentatives d'un vrai vissage :



- ⇒ Tension levier : 5 carreaux * 0,5 volts / carreau = 2,5 volts
- ⇒ Pression levier : 2,5 volts * 2 bars / volts = 5 bars
- ⇒ Pression levier maximale = pression réseau : 3 volts * 2 bars / volts = 6 bars
- ⇒ Tension clapet : 3 carreaux * 0,2 volts / carreau = 0,6 volts
- ⇒ Pression clapet : 0,6 volts * 2 bars / volts = 1,2 bars

La pression d'air délivrée à la visseuse pneumatique est très importante puisque c'est elle qui déterminera le couple de serrage des vis du poste de montage, voir « Généralité sur l'assemblage par vissage ».

Le système contrôle donc les pressions à chaque serrage.

Le chef de production choisira des seuils de pression qui devront tenir compte du couple de serrage minimal désiré et de la pression minimale délivrée par le réseau.

Dans le cas de notre mesure Pression levier : 5 bars, Pression clavier : 1,2 bars

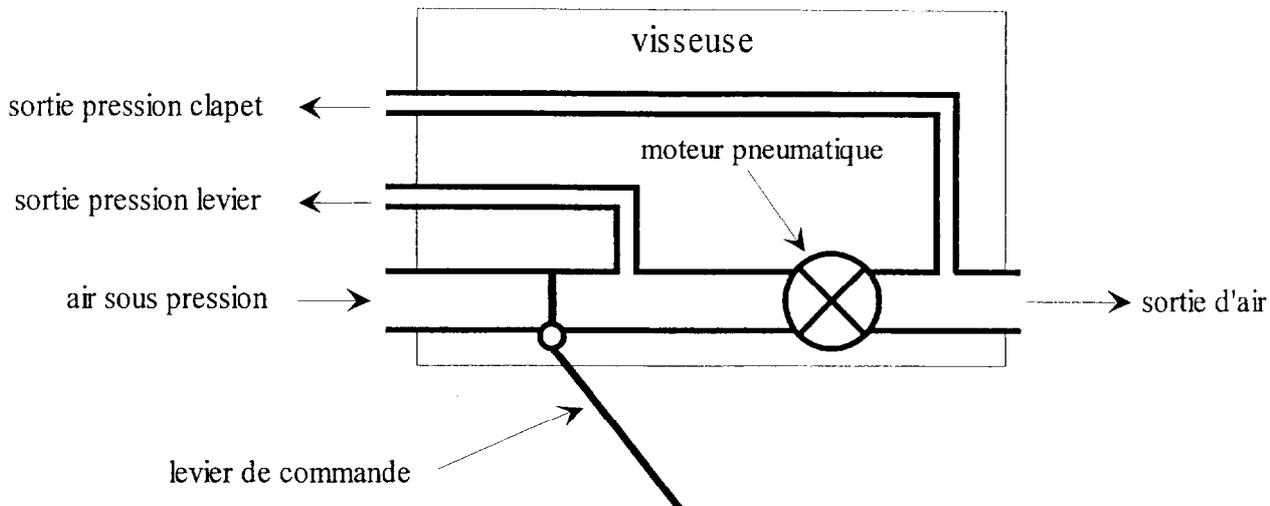
On pourra paramétrer les valeurs suivantes, Pression levier min : 4 bars, Pression clavier min : 1 bars

Si aucune erreur n'est commise (4 vissages corrects), le programme du coffret revient à zéro et on passe à la portière suivante.

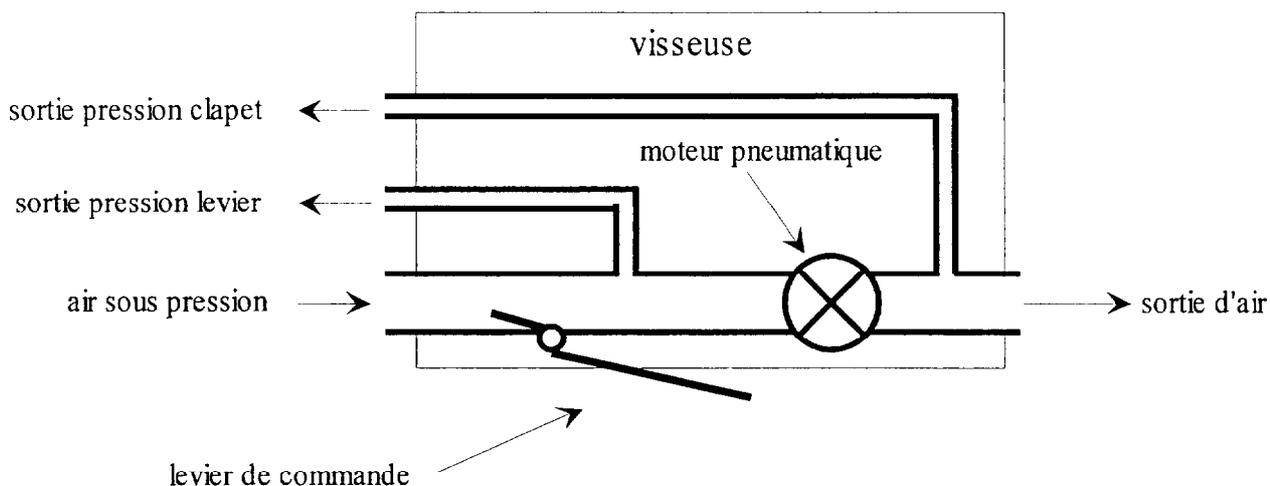
En cas de problème soit l'opérateur connaît le code de remise à zéro du coffret, il est donc autorisé à annuler la mauvaise opération,, soit il y a intervention du chef de production.

2°) OBJET TECHNIQUE VISSEUSE

2-1°) PRINCIPE MECANIQUE DE LA VISSEUSE



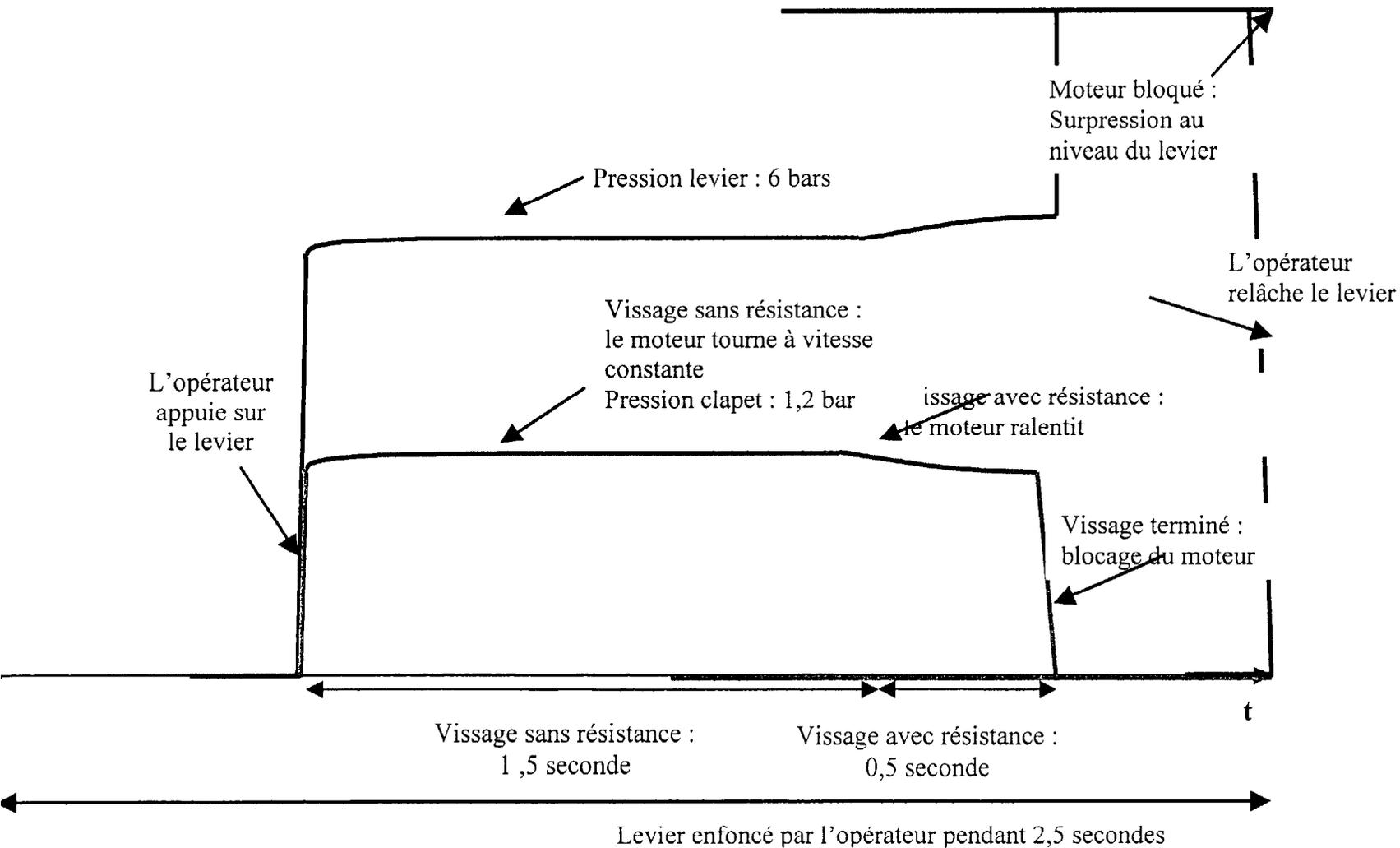
- ↪ Le levier n'est pas actionné, l'air ne passe pas, le moteur ne tourne pas.
- ↪ Les pressions de sortie levier et clapet sont nulles.



- ↪ Le levier est actionné, l'air passe
- ↪ Le moteur tourne (vissage sans résistance) :
 - ⇒ La sortie pression levier est moyenne (6 bars)
 - ⇒ La sortie pression clapet est égale à 1,2 bar
- ↪ Le moteur ralentit (vissage avec résistance) :
 - ⇒ La sortie pression levier augmente
 - ⇒ La sortie pression clapet diminue
- ↪ Le moteur est arrêté (vissage terminé) :
 - ⇒ La sortie pression levier est maximale
 - ⇒ La sortie pression clapet est nulle

Les images électriques des pressions levier et clapet (obtenues grâce à des capteurs de pression) permettent au coffret contrôle d'analyser la qualité des vissages.

2-2°) COURBES REPRESENTATIVES DE LA PRESSION LEVIER ET DE LA PRESSION CLAPET LORS DU VISSAGE



2-3°) CAHIER DES CHARGES

⇒ Comptage du nombre de bons vissages jusqu'à ce que le cycle de vissages soit achevé.

⇒ Détection des mauvais vissages :

- ⇒ vissages trop courts (dus par exemple à un grippage ou à un resserrage)
- ⇒ vissages trop longs (dus par exemple à un empilage incomplet des pièces à assembler)
- ⇒ levier relâché trop tôt (avant le blocage de l'écrou)

⇒ Contrôle des démarrages intempestifs (fonctionnement à vide) : ils ne doivent être interprétés ni comme de bons vissages, ni comme de mauvais vissages.

⇒ Détection des défauts de pression (baisse de pression du réseau pneumatique ou d'une rupture d'un tuyau de raccordement).

⇒ **Limites d'emploi de l'objet technique :**

⇒ Nombre de vissages dans un même cycle : de 1 à 99.

⇒ Durée d'un vissage : de 0,1 à 10 secondes avec une résolution de 10 ms.

2-4°) DEFINITIONS

2-4-1°) DUREE DU VISSAGE

Dans le système technique étudié, on appelle "durée du vissage" l'intervalle de temps entre l'appui sur le levier de la visseuse et le blocage de l'écrou. C'est l'intervalle de temps pendant lequel le moteur tourne.

La durée du vissage dépend :

- ⇒ de la course de la vis sur l'écrou.
- ⇒ du taux de serrage.

La durée du vissage est un critère pour distinguer un bon vissage d'un mauvais vissage.

2-4-2°) DUREE D'APPUI LEVIER

C'est le temps pendant lequel l'opérateur actionne le levier de la visseuse.

La durée d'appui levier doit être supérieure à la durée du vissage car l'opérateur ne doit relâcher le levier qu'après l'arrêt du moteur de la visseuse. C'est aussi un critère pour identifier un bon vissage.

2-4-3°) PRISES D'INFORMATION

On appelle "prises d'information" deux sorties pneumatiques présentes sur la visseuse, l'une au niveau de l'admission, l'autre au niveau de l'échappement. Elles permettent de mesurer la pression à l'intérieur de la visseuse. Dans la gamme de visseuses proposées par la F.F.D.M.-PNEUMAT, seules celles qui sont dotées de prises d'information peuvent s'adapter au système technique étudié. On désigne ces visseuses par "PI".

2-4-4°) PRESSION LEVIER

On appelle "pression levier" la pression obtenue au niveau de la première prise d'information de la visseuse : l'admission. La pression levier est représentative de l'état du levier de la visseuse. Lorsque le levier est relâché, la pression levier est nulle. Lorsque le levier est enfoncé, la pression levier est d'environ 5 bars. Elle dépend de la pression dans le réseau pneumatique.

2-4-5°) PRESSION CLAPET

On appelle "pression clapet" la pression obtenue au niveau de la deuxième prise d'information de la visseuse : l'échappement. La pression clapet est représentative de la vitesse à laquelle tourne le moteur de la visseuse. Lorsque le moteur est arrêté, la pression clapet est nulle. Plus le moteur tourne vite, plus la pression clapet est élevée. A vitesse normale, la pression clapet est d'environ 1 bar.

2-4-6°) PARAMETRES DE REGLAGE

Ce sont les paramètres stockés en mémoire qui permettent au coffret de contrôle de remplir sa fonction d'usage. Il s'agit par exemple :

- ⇒ du nombre de vissages dans un cycle.
- ⇒ de valeurs temporelles.
- ⇒ de valeurs représentatives d'une pression.

2-4-7°) PARAMETRES DE SECURITE

Ce sont les paramètres de réglage qui influent sur l'accès à la procédure Vissage et sur son déroulement en cas de mauvais vissage.

2-4-8°) PARAMETRAGE DU COFFRET

C'est l'opération qui permet de définir manuellement ou automatiquement les paramètres de réglage.

Elle est réalisée par le responsable des méthodes usine et n'est pas accessible à l'opérateur.

2-4-9°) PHASE D'AUTO APPRENTISSAGE

C'est la phase qui permet de définir automatiquement une partie des paramètres de réglage. Elle facilite le travail du responsable des méthodes usine. Elle consiste à réaliser deux fonctionnements à vide de la visseuse, puis un vrai vissage. Au cours de ces trois étapes, le coffret de contrôle mesure des durées et des pressions et calcule des paramètres. Les valeurs mesurées ou calculées sont stockées en mémoire.

2-4-10°) **REMARQUES SUR LES COURBES DE LA PAGE 7**

La durée du vissage est ici de 1,5 secondes. C'est, par définition, le temps pendant lequel le moteur de la visseuse tourne. La durée d'appui levier est ici de 2,5 secondes. La durée d'appui levier est supérieure à la durée du vissage car l'opérateur a attendu l'arrêt du moteur pour relâcher le levier.

2-5°) **CRITERES D'UN BON VISSAGE**

2-5-1°) **PREMIER CRITERE : LA DUREE D'APPUI LEVIER DOIT ETRE SUPERIEURE A LA DUREE DU VISSAGE**

Si l'opérateur relâche le levier avant l'arrêt du moteur, c'est à dire avant le blocage de l'écrou, le vissage est forcément de mauvaise qualité. Le serrage est incomplet.

L'opérateur doit donc attendre l'arrêt du moteur pour relâcher le levier.

Ce premier critère est respecté si la durée d'appui levier est supérieure à la durée du vissage.

2-5-2°) **SECOND CRITERE : LA DUREE DU VISSAGE NE DOIT ETRE NI TROP LONGUE, NI TROP COURTE**

Rappelons que sur une chaîne de fabrication, une visseuse effectue toujours les mêmes vissages. On peut donc définir la durée idéale du vissage ainsi qu'une tolérance. Cela revient à définir la durée minimale et la durée maximale du vissage.

Si l'opérateur oublie l'une des pièces à assembler, le vissage sera plus long.

Si l'écrou est placé en porte-à-faux, le blocage sera très rapide.

Il suffit donc de fixer une tolérance telle que :

⇒ dans le cas d'un empilage incomplet, la durée du vissage soit supérieure à la durée maximale.

⇒ dans le cas d'un grippage, la durée du vissage soit inférieure à la durée minimale.

Ce second critère est respecté si la durée du vissage est comprise entre la valeur minimale et la durée maximale définies par rapport à la durée idéale.

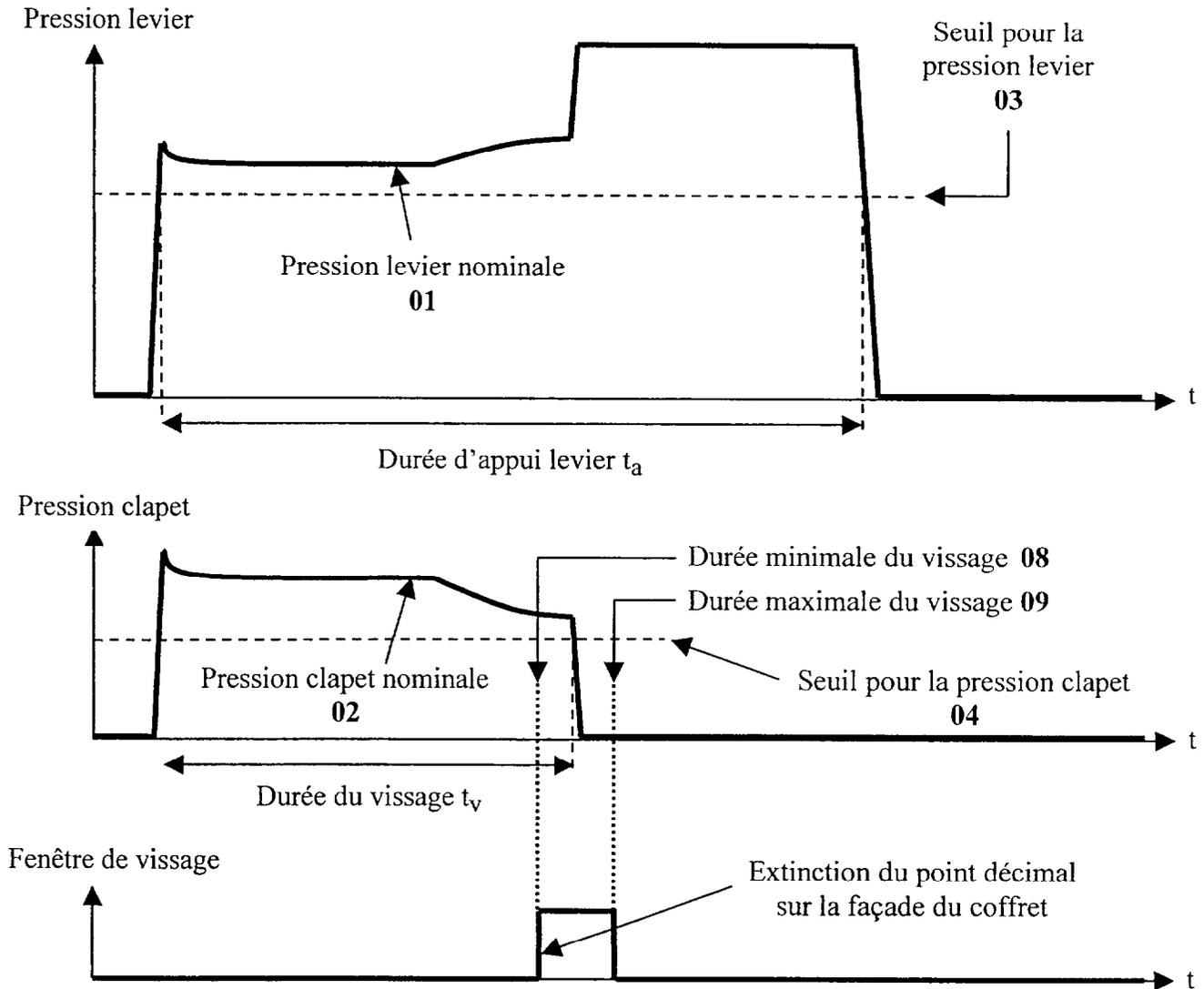
2-5-3°) **CAS DES COURBES DE LA PAGE 11**

On constate que le premier critère est respecté.

Si la durée idéale du vissage est de 2 seconde et que la tolérance est fixée à 10 %, le second critère est respecté. En effet la durée minimale du vissage est de 1,8 seconde et la durée maximale de 2,2 secondes. Le vissage durant ici 2 seconde, sa durée est correcte.

2-6°) PRINCIPE DE DETECTION DES MAUVAIS VISSAGES

Pour contrôler la qualité d'un vissage, le coffret de contrôle doit vérifier si les deux critères énoncés au paragraphe 2-5 sont respectés. Pour cela, le coffret de contrôle utilise les paramètres enregistrés manuellement ou lors de la phase d'auto-apprentissage. Chaque paramètre porte un numéro qui permet de l'identifier. Ces numéros sont indiqués en caractères gras sur les courbes de pression ci-dessous.



2-6-1°) DUREE D'APPUI LEVIER ET DUREE DU VISSAGE

La pression levier est supérieure au seuil 03 tant que le levier de la visseuse est enfoncé. Cela permet de mesurer la durée d'appui levier t_a .

La pression clapet est supérieure au seuil 04 tant que le moteur de la visseuse tourne. Cela permet de mesurer la durée du vissage t_v .

Les seuils **03** et **04** peuvent être réglés manuellement ou calculés lors de la phase d'auto apprentissage.

Si l'on choisit de faire un auto-apprentissage, le seuil pour la pression levier et le seuil pour la pression clapet sont calculés en faisant les soustractions suivantes :

$$\Rightarrow \text{Seuil } \mathbf{03} = \text{Paramètre } \mathbf{01} - 0,5 \text{ bar}$$

$$\Rightarrow \text{Seuil } \mathbf{04} = \text{Paramètre } \mathbf{02} - 0,1 \text{ bar}$$

2-6-2°) DETECTION DES MAUVAIS VISSAGES

Un vissage est bon si les conditions suivantes sont respectées :

⇒ la pression levier doit être supérieure au seuil **03** à l'instant où la pression clapet descend au dessous du seuil **04**, ce qui revient à respecter le premier critère.

⇒ la durée du vissage t_v doit être comprise entre les valeurs limites **08** et **09**, ce qui revient à respecter le second critère.

Les durées **08** et **09** peuvent être réglées manuellement ou calculées lors de la phase d'auto apprentissage.

Si l'on choisit de faire un auto-apprentissage, la durée minimale et la durée maximale du vissage sont calculées à partir de la **durée idéale du vissage** (paramètre **07**) et de la **tolérance sur la durée du vissage** (paramètre **13**). La durée idéale du vissage est exprimée en secondes et la tolérance sur la durée du vissage en %. La durée minimale et la durée maximale du vissage sont calculées en faisant les opérations suivantes :

$$\Rightarrow \text{Durée } \mathbf{08} = \text{paramètre } \mathbf{07} \times (1 - \text{Paramètre } \mathbf{13})$$

$$\Rightarrow \text{Durée } \mathbf{09} = \text{paramètre } \mathbf{07} \times (1 + \text{Paramètre } \mathbf{13})$$

2-6-3°) EXEMPLE

- ↳ Pression nominale au niveau du levier : 4,6 bars = paramètre 01.
- ↳ Pression nominale au niveau du clapet : 0,7 bar = paramètre 02.
- ↳ Durée nominale du vissage : 0,5 seconde.
- ↳ Tolérance sur la durée du vissage : 10% de la durée nominale du vissage.
- ↳ Temps d'ajustement : 60 ms.
- ↳ On en déduit les seuils :

$$\Rightarrow 4,1 \text{ bars au niveau de la pression levier} = \text{seuil } \mathbf{03}.$$

$$\Rightarrow 0,6 \text{ bars au niveau du clapet} = \text{seuil } \mathbf{04}.$$

↳ ainsi que les valeurs limites de la durée du vissage :

$$\Rightarrow \text{durée minimale} : 0,45 \text{ seconde} = \text{durée } \mathbf{08}.$$

$$\Rightarrow \text{durée maximale} : 0,55 \text{ seconde} = \text{durée } \mathbf{09}.$$

Remarque : la tolérance sur la durée du vissage vaut 0,05 seconde.

↳ Le vissage est bon si :

⇒ la pression levier est supérieure à 4,1 bars à la date $t_v + 50$ ms, ce qui signifie que l'opérateur n'a pas relâché le levier avant la fin du vissage (le premier critère est respecté)

⇒ la pression clapet est supérieure à 0,4 bar pendant une durée t_v comprise entre 0,45 et 0,55 seconde, ce qui signifie que le vissage n'est ni trop court ni trop long (le second critère est respecté).