

MACHINES DE NETTOYAGE À SEC SUSPENDUES

Ce titre peut paraître étrange aux yeux de certains lecteurs... Il désigne des machines de nettoyage à sec dont la cuve (dans laquelle tourne le tambour) est suspendue par l'intermédiaire de ressorts.



↳ Pourquoi une telle solution technique ?

Il faut tout d'abord remonter à une époque où l'on utilisait principalement des solvants « lourds », fluorés ou chlorés, pour comprendre que l'essorage ne mettait pas en jeu des vitesses de rotation élevées du tambour.

L'essorage, ou « extraction » de tels solvants (des matières textiles nettoyées) dont les densités se situaient entre 1,49 et 1,62 grammes par cm^3 (à titre indicatif), était une opération effectuée à des vitesses maximum de l'ordre de 400 tr/min pour un diamètre de tambour de 900 mm (exemple : machine d'environ 18 kg de capacité).

En effet, la force d'extraction n'est autre que la force centrifuge exercée sur le solvant contenu dans la masse textile nettoyée, force proportionnelle à la masse en jeu, et d'autant plus élevée pour un volume de solvant donné (et pour une vitesse de rotation donnée), que la masse par unité de volume (ou densité) de celui-ci est élevée :

- E : force d'extraction exercée en Newton par cm^3 (N/cm^3) de solvant
- d : densité du solvant en g/cm^3
- ω : vitesse angulaire de rotation du tambour en radian par seconde (rad/s)
- D : diamètre du tambour (m)

Dans les conditions ci-dessus, par exemple pour le perchloréthylène, l'essorage se montrait ainsi efficace, avec une force d'extraction de 1,28 N/cm^3 de solvant (facteur $G = 80$).

↳ Les nouveaux solvants :

Avec l'apparition des hydrocarbures (principaux solvants alternatifs¹) dont la densité est légèrement inférieure à 0,8 g/cm^3 , une force d'extraction équivalente, pour un même diamètre de tambour, impliquerait une vitesse de rotation sensiblement plus élevée, proche de 580 tr/min (60 rad/s ; facteur $G = 167$).

En pratique, les constructeurs se limitent à un niveau de vitesse inférieur, mais tout de même significativement supérieur à 400 tr/min ; par exemple, 520 tr/min, pour un même diamètre de tambour (900 mm), ce qui induit dans l'exemple considéré, une force d'extraction qui reste limitée à 1,04 N/cm^3 (Facteur $G = 136$).

- La densité des autres solvants alternatifs est aussi inférieure à 1.

En effet, raisonnablement, aller au-delà suppose de sécuriser la machine sur le plan mécanique.

Mais n'ont été évoquées jusqu'ici que des machines à cuve fixe, non suspendue.

Or, il ne faut pas oublier que le tambour ne tourne pas à vide, évidemment. Et à l'essorage, même s'il existe une phase d'accélération progressive, avec un programme visant à répartir au mieux la charge textile sur toute la virole du tambour, un risque de balourd excessif existe.

Or, chacun sait que le balourd, c'est la « calamité » des machines tournantes, quelles qu'elles soient (il suffit de constater les désagréments que peut induire à vitesse élevée, une roue de véhicule automobile mal équilibrée, pourtant « parfaitement cylindrique et homogène » en apparence, outre la valve de gonflage...).

De manière à contrôler le balourd dans les meilleures conditions dans le domaine de l'entretien des textiles (lavage ou nettoyage à sec), les constructeurs disposent des leviers suivants :

- Répartir au mieux la masse textile (phase d'accélération adaptée) ;
- Limiter la vitesse de rotation et/ou « suspendre » la cuve ;
- Détecter automatiquement les balourds excessifs avec, instantanément, l'arrêt ou le ralentissement du tambour.

↳ Machine de nettoyage à sec à cuve suspendue :

La souplesse conférée à la structure de la machine par le système suspension (ressorts + amortisseurs) autorise le déplacement de l'ensemble cuve-tambour-moteur. L'énergie mécanique induite par la force centrifuge générée par le balourd, quel qu'il soit, fort ou faible, est transformée en énergie cinétique (mouvement de l'ensemble cuve-tambour-moteur à une certaine vitesse, à un instant t).

Cette énergie cinétique est absorbée par les ressorts qui l'emmagasinent sous la forme d'une énergie élastique, elle-même dissipée à son tour par les amortisseurs.



MACHINES DE NETTOYAGE À SEC SUSPENDUES

Ces éléments ne présentent rien de « révolutionnaire ». Dans le domaine du lavage, les fabricants de lave-linge domestiques ou de machines à laver professionnelles et industrielles, mettent en œuvre ces éléments et ce, de très longue date. Les vitesses d'essorage étant souvent élevées pour parvenir à un taux d'essorage optimal, l'ensemble cuve-tambour-moteur est suspendu.

Exemple d'une laveuse-essoreuse de 20 kg de capacité (Eau : $d = 1 \text{ g/cm}^3$) :

$n = 920 \text{ tr/mn}$

$D = 770 \text{ mm}$

Force d'extraction $E = 3,57 \text{ N/cm}^3$ d'eau
(Facteur $G = 364$)

↘ Machine de nettoyage à sec à cuve suspendue :

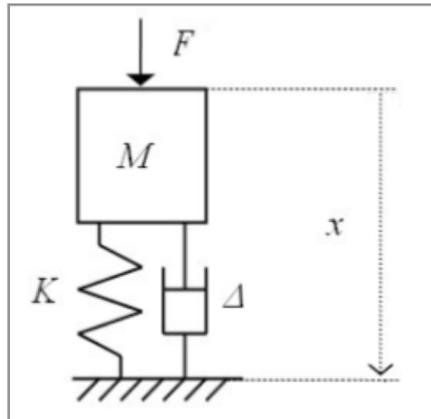
Pour le nettoyage à sec, les fabricants proposent donc certains modèles de machines, à partir d'une certaine capacité de chargement, dotées de vitesses d'essorage nettement plus élevées que dans le dernier exemple cité (exemple caractérisé par une vitesse de rotation de 520 tr/mn).

L'objectif est d'optimiser l'essorage afin d'écourter le temps de séchage, sachant qu'il est plus long pour les solvants alternatifs (hydrocarbures compris), dans la mesure où ces solvants sont nettement moins volatils que le perchloréthylène, par exemple (sachant qu'une machine suspendue peut aussi présenter un intérêt afin de limiter les vibrations transmises au sol).

Certaines machines se caractérisent donc par un facteur G qui se situe au-delà de 300, avec des vitesses d'essorage maximum de près de 800 tr/mn . Dans la même configuration que les exemples précédents ($n = 800 \text{ tr/mn}$; $D = 900 \text{ mm}$), la force d'extraction peut atteindre près de $2,5 \text{ N/cm}^3$ de solvant.

De telles machines sont donc dotées d'un système de suspension.

↘ Peut-être faut-il rappeler le principe de fonctionnement du système de suspension ...

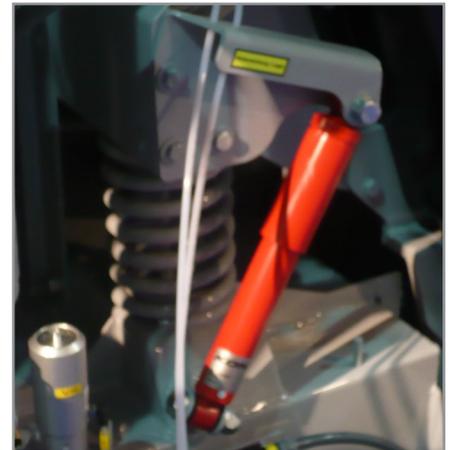


Pour simplifier, l'ensemble constitué de la cuve, du tambour, du moteur principal et de la transmission sont représentés par la masse M dans le schéma ci-dessus. La suspension de cette masse est assurée (schématiquement ici) par un ressort K et un amortisseur Δ .

Dans le cadre de ce schéma, l'ensemble M est soumis à des forces dont la résultante est représentée par F .

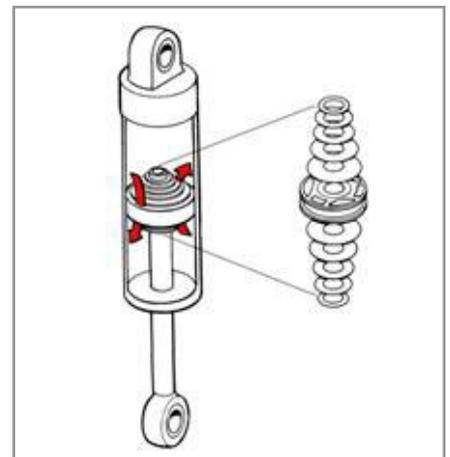
Outre le poids de l'ensemble M , la principale origine de cette force F est la force centrifuge F_c engendrée par une masse m en balourd (partie de la masse textile nettoyée, mal répartie au sein du tambour, et concentrée en un point : voir schéma ci-après).

Ce balourd, par la force centrifuge qu'il génère, met l'ensemble M en mouvement (ici selon l'axe x : une seule dimension pour simplifier l'approche), avec une vitesse de déplacement, une certaine énergie cinétique et une certaine amplitude.



Le ressort K (de raideur k) a pour fonction d'absorber cette énergie cinétique en la transformant en énergie élastique. Selon la raideur du ressort, l'amplitude du mouvement est ainsi contrôlée.

Mais le propre d'un ressort étant de restituer naturellement une énergie élastique emmagasinée par compression ou extension, l'amortisseur Δ intervient. Son coefficient d'amortissement (par laminage de l'huile qu'il contient, selon un type classique d'amortisseur) permet en effet de dissiper cette énergie élastique sous la forme d'énergie thermique, elle-même dissipée dans la structure de la machine. Le mouvement de la masse M et son énergie cinétique, générés par le balourd, sont ainsi contrôlés et limités.



MACHINES DE NETTOYAGE À SEC SUSPENDUES

Mais outre cette **approche énergétique** qui correspond à la réalité et permet d'éviter à l'ensemble M un « emballement », l'**approche dynamique** montre, dans le schéma ci-dessus, qu'à la force F s'opposent :

- la **résistance du ressort** :

$$R = k \times x$$

(k = raideur du ressort ; x = amplitude de déplacement de l'ensemble M), et

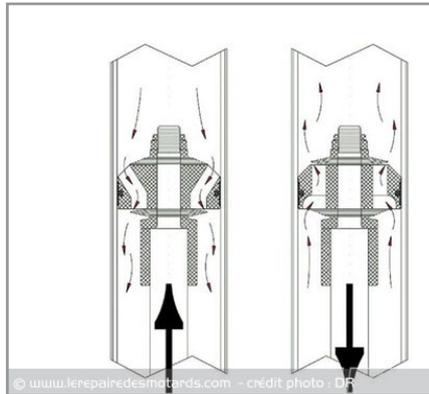
- la **résistance de l'amortisseur** Δ :

$$A = C \times V$$

(C = coefficient d'amortissement caractéristique de l'amortisseur ; V = vitesse de déplacement atteinte par l'ensemble M selon l'axe x) ;

NB : numériquement, $F = R + A$

La dissipation de l'énergie cinétique conférée à l'ensemble M par le phénomène de balourd, évite les chocs trop importants, les vibrations et les déformations excessives d'éléments mécaniques tels que les points d'ancrage des ressorts et des amortisseurs, lesquelles déformations pourraient conduire à leur rupture. En revanche, cette dissipation d'énergie ne supprime pas les efforts directement induits par le balourd.



Or ces efforts, quelles que soient les caractéristiques du ressort et de l'amortisseur, s'exercent sur la structure de la machine (et sur le sol également).

De la même façon, ces efforts sont transmis au sol qui supporte la machine, la suspension n'ayant pour effet que de limiter les vibrations et les chocs transmis à celui-ci.

La suspension, lorsque les vitesses d'essorage sont élevées, a bien un rôle prépondérant ; elle sécurise la machine d'un point de vue mécanique, mais ne fait pas pour autant de « miracle ».

↳ Effets du balourd :

Il faut en effet limiter le balourd et surtout qu'un balourd excessif soit détecté efficacement et quasiment instantanément. En effet, les facteurs k et C n'étant pas modulables ici, en étant toutefois définis à un certain niveau adéquat, ressorts et amortisseurs ne peuvent faire face efficacement à toute valeur de balourd. A contrario, k et C ne peuvent être trop élevées. Il ne s'agit pas de disposer d'une suspension « trop rigide » qui ne dissiperait pas suffisamment d'énergie.

- Le balourd s'exprime ainsi :

$$B = m \times R \text{ (kg.m)}$$

m = masse en balourd

R = distance entre cette masse et l'axe autour duquel elle est en rotation

La force centrifuge engendrée par le balourd est :

$$F_c = B \times \omega^2 = m \times R \times \omega^2 \text{ (N ou kg.m.s}^{-2}\text{)}$$

Il s'agit d'une force tournante, à la vitesse angulaire (ou vitesse de rotation) ω . Elle induit donc des efforts de direction variables, sur différents éléments de la structure de la machine.

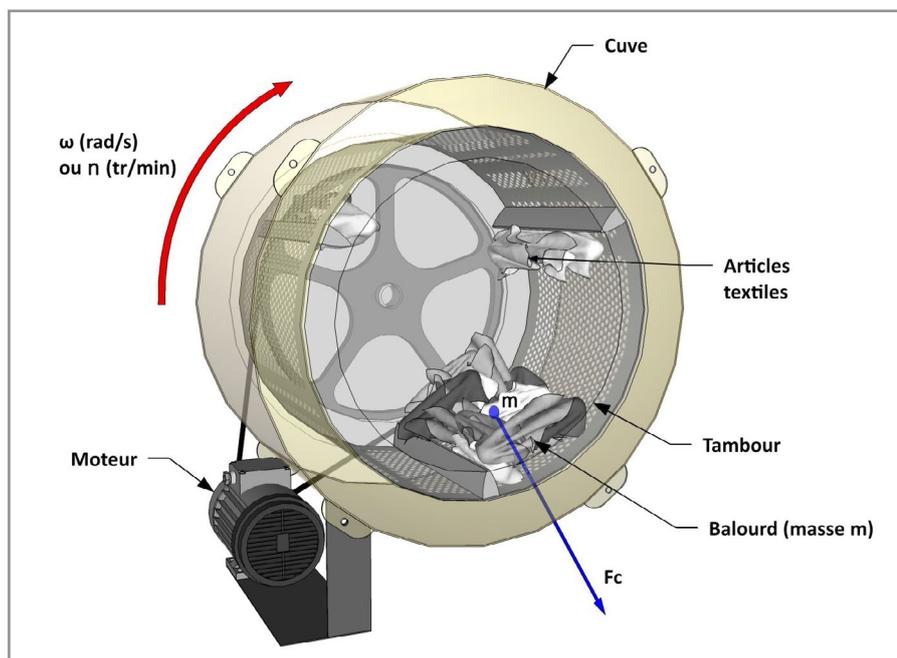
Ces éléments, ancrages des ressorts et des amortisseurs, tambour, arbre du tambour, palier de guidage du tambour, ... travaillent donc dans toutes les directions et pour certains d'entre eux, aussi bien en compression, en traction et même en cisaillement.

Or, selon le balourd, cette force F_c peut être importante :

Machine de 18 kg de capacité

Diamètre de tambour D = 900 mm

n max. = 800 tr/mn



MACHINES DE NETTOYAGE À SEC SUSPENDUES

Exemple 1 :

On suppose que la charge textile placée dans le tambour, imprégnée de solvant, mal répartie, présente une masse en balourd de 1 kg, dont le centre des masses (ou centre de gravité) se situe en un point, à une distance $R = 440$ mm de l'axe du tambour. A la vitesse maximum : **Fc = 302 daN**

Exemple 2 :

Masse en balourd : 2 kg
 $R = 435$ mm de l'axe du tambour.
 A la vitesse maximum : **Fc = 610 daN**

Exemple 3 :

Masse en balourd : 3 kg
 $R = 430$ mm de l'axe du tambour.
 A la vitesse maximum : **Fc = 905 daN**

Dans le cadre de l'exemple 3, pour une machine à cuve fixe, avec $n = 520$ tr/mn max., Fc est ramenée à 382 daN max. En effet, Fc varie selon le carré de la vitesse angulaire ω .

Ces exemples de simulations montrent bien que **potentiellement**, des forces importantes peuvent être générées, pour une masse en balourd qui peut paraître relativement faible.

Pour fixer les idées, le poids d'une machine de 18 kg de capacité est de l'ordre de 2500 daN (ce chiffre équivaut à une masse 2548 kg).

Dans la pratique, grâce à la détection de balourd, de tels efforts ne sont pas atteints ou seulement un très court instant. Cela suppose une détection fiable, avec aussi un dimensionnement et une conception adaptés des pièces susceptibles d'encaisser ces efforts.

Il convient de rappeler aussi, d'une façon générale, qu'il est préférable de ne pas trop sous charger le tambour, et d'autant moins que sa capacité de chargement est grande.

Un sous chargement à l'excès génère fatalement un balourd significatif. Le risque d'un balourd excessif est moindre avec une charge textile en cohérence avec la capacité de chargement, sans qu'elle corresponde nécessairement au maximum. Et bien sûr, les machines doivent être scellées au sol.

Une charge textile **uniformément répartie** (schéma ci-dessous, zone colorée en bleue) à l'intérieur du tambour, génère une **force centrifuge unitaire (par unité de masse textile) fc** (schéma ci-dessous) qui s'applique de manière homogène à toute la périphérie du tambour : **absence de balourd** (cas idéal).

Ces forces unitaires s'annulent deux à deux. C'est l'équilibre des masses que l'on cherche à obtenir (par exemple en procédant à l'équilibrage d'une roue de véhicule...). Elles ne font donc que contraindre la structure du tambour, en particulier sa virole.

Mais il faut garder à l'esprit que cette uniformité parfaite n'est jamais effective dans la réalité...

