Commentaires du Comité de Lecture concernant l'article:

Sur un principe de suspension semi-active d'ordre non entier

(par G. MONTSENY)

Cet article, qui fait référence à une communication[1] à la conférence CIFA 2002, entre dans le cadre d'une controverse à propos de la "suspension Crone". Un droit de réponse a donc été proposé, au nom du Comité de lecture, à l'équipe[2] à l'origine de cette théorie; il est reproduit ci-après[3]:

Chers Collègues,

Veuillez trouver ci-joint l'article de G. Montseny à paraître au workshop ''Représentation Diffusive et applications'' qui se déroulera à Toulouse, au LAAS/CNRS, le 24 octobre prochain (http://www.laas.fr/gt-opd/ASTI_RD.html).

De par son contenu scientifique, cet article, attentivement examiné par le comité de lecture, s'avère d'une part original, la question étudiée n'ayant pas, à notre connaissance, été abordée auparavant; d'autre part, compte tenu de sa teneur, il nous a semblé naturel de vous proposer un droit de réponse, à l'instar de CIFA 2002 citée en référence. Le document scientifique que vous nous ferez parvenir sera alors juxtaposé à l'article de G. Montseny, afin que tout lecteur puisse disposer en même temps des deux documents de façon indissociable.

Je vous invite bien sûr à assister à ce workshop (libre de frais d'inscriptions): vous pourriez alors y défendre vos points de vue oralement, complétant ainsi, le cas échéant, votre réponse écrite.

NB: Les actes seront publiés peu de temps après le workshop : merci de me communiquer votre réponse éventuelle aussitôt que possible. Le format recommandé est un fichier PDF.

En espérant vous voir prochainement à Toulouse,

Bien cordialement,
le Comité de Lecture.

A ce jour[4], aucune suite n'a été donnée à cette proposition. L'article de G. Montseny, qui a fait l'objet de quatre expertises compte tenu de sa teneur, figure donc tel qu'il a été communiqué lors du workshop, après corrections demandées par le Comité de lecture.

[1] G. Montseny, G. Salut, "A propos de la suspension CRONE", Conférence Internationale Francophone d'Automatique (CIFA02), pp 361-381, Nantes, 8-10 Juillet 2002. URL: www.laas.fr/gt-opd/Pdf02/p361.pdf

[2] P. Lanusse, P. Melchior, X. Moreau, A. Oustaloup, J. Sabatier

[3] Courrier électronique adressé à tous les membres de l'équipe Crone le 8 octobre 2002.

[4] 5 novembre 2002.

Sur un principe de suspension semi-active d'ordre non entier

G. Montseny
LAAS du CNRS
7 avenue du Colonel Roche, 31077 Toulouse cedex 4, France
E-mail: `montseny@lass.fr`

Résumé *On rappelle sommairement le principe général de la suspension automobile dite "semi-active" ainsi que ses limitations intrinsèques. On montre ensuite que l'objectif avancé dans le cas d'une approche particulière visant à l'obtention d'une transmittance non standard de type pseudo-différentiel (d'ordre non entier) débouche en fait sur un problème sans solution.*

Abstract - "On a concept of semi-active automotive suspension of non integer order" - *We recall the basic principle of semi-active automotive suspension, as well as its intrinsic limitations. We then show that the purpose of a specific approach based on a non standard suspension transfer function of pseudodifferential type (with non integer order) in fact leads to a problem with no solution.*

1 Introduction

Le principe de la suspension automobile dite "semi-active" (parfois improprement dénommée "active") constitue un compromis intéressant entre la suspension traditionnelle "passive", constituée pour l'essentiel d'un ressort couplé à un amortisseur de type visqueux (de coefficient déterminé une fois pour toutes), et la suspension "active", dans laquelle la force développée par le système est produite directement à partir d'une source externe d'énergie, en général via un calculateur qui détermine en temps réel au moins une partie de l'effort à fournir.

La suspension active est à ce jour peu répandue, à cause de sa complexité, de son coût, de sa consommation d'énergie et du risque potentiel d'instabilité, inhérent à tout système actif et particulièrement pénalisant dans un domaine touchant à la sécurité routière. En revanche, elle offre en théorie le meilleur compromis possible entre confort et tenue de route, d'autant qu'elle se prête naturellement au contrôle de type "feedforward" qui permet d'anticiper les sollicitations de la chaussée et du véhicule grâce à des capteurs variés.

A noter une exception notoire : la suspension hydropneumatique Citroën, pour laquelle la partie active prend en charge la seule régulation de la hauteur de caisse. La lenteur de la boucle de contre-réaction permet d'obtenir un comportement dynamique inconditionnellement stable, par découplage entre les mouvements lents (régulation de hauteur) et rapides (sollicitations de la chaussée et du véhicule lors des phases d'accélérations). Il s'agit donc d'une suspension active seulement aux très basses fréquences, qui reste passive dans le domaine fréquentiel concernant le confort et la tenue de route, où l'action du correcteur de hauteur est parfaitement négligeable. En ce sens, cette suspension ne relève pas du domaine des systèmes purement actifs. En revanche, la variation de raideur des ressorts pneumatiques en fonction du cas de chargement permet l'obtention d'un excellent compromis confort-tenue de route, qui a fait le succès de cette suspension devenue légendaire.

Comme pour toute suspension destinée à l'Automobile, c'est ce même compromis qui est visé dans le cas de la suspension semi-active qui, pour un coût modique, offre des possibilités de réglage (éventuellement en temps réel) bien plus souples que la suspension passive traditionnelle, tout en préservant la propriété de stabilité inconditionnelle inhérente à son principe même et qui en fait en réalité une suspension passive (au sens donné à ce terme en analyse des systèmes dynamiques).

Le schéma fonctionnel d'une suspension semi-active standard est donné dans la figure ci-dessous:

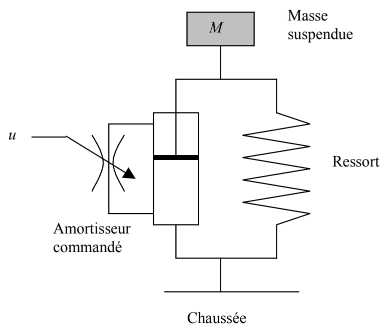

Fig. 1 - Principe d'une suspension semi-active

Une telle suspension diffère d'une suspension traditionnelle par la présence d'un amortisseur *commandé* par le coefficient u, en général continûment variable, borné et *essentiellement positif*. Le problème de conception consiste alors à déterminer u, en général par l'intermédiaire d'un calculateur temps réel. Dans tous les cas, le choix de la stratégie de commande d'une telle suspension semi-active est basé sur un problème visant un compromis optimal, étant bien entendu qu'une infinité de solutions sont possibles, bénéficiant toutes de la propriété de stabilité induite par la positivité de $u(t)$ qui implique la dissipation de l'énergie emmagasinée par le ressort[1] (résultat classique):

Théorème 1 *Le système décrit en figure 1 est stable; il est exponentiellement stable s'il existe* $\varepsilon > 0$ *et* $q < +\infty$ *tels que:*

$$\varepsilon \leqslant u(t) \leqslant q \quad \forall t. \tag{1}$$

Au delà de cette propriété fondamentale qui garantit un fonctionnement "physiquement correct" de la suspension aussitôt que (1) est vérifiée (avec ε et q convenablement fixés, ce qui est le cas en pratique), deux situations qualitativement différentes sont a priori possibles, selon que la fonction $u(t)$ varie *lentement* (il s'agit alors, en quelque sorte, d'une suspension passive traditionnelle, mais de coefficient adaptable en fonction de l'état de la chaussée, du cas de chargement du véhicule ou de consignes choisies par le pilote), ou *rapidement*, c'est-à-dire à une vitesse comparable aux sollicitations de la chaussée et du véhicule (reports de charges).

L'approche analysée dans ce document relève de la seconde catégorie de suspensions semi-actives, du fait que l'objectif est de conférer au système un comportement dynamique de type linéaire invariant, mais non standard au sens où la fonction de transfert est non rationnelle, de dimension infinie, en fait de nature pseudo-différentielle avec propriété de dissipativité (opérateur diffusif positif [3]).

[1] Qui peut être en acier ou pneumatique, selon les technologies utilisées.

2 L'approche analysée

Le principe de suspension semi-active avancé dans [4, 6, 5] a pour but d'offrir une transmittance de suspension non rationnelle, "d'ordre non entier", de la forme:

$$D(p) = D_0 \left(\frac{1 + \frac{p}{\omega_{tb}}}{1 + \frac{p}{\omega_{th}}} \right)^m , \; 0 < m < 1 \tag{2}$$

(où D_0 est une constante et ω_{tb}, ω_{th} les fréquences "transitionnelles" respectivement "basse" et "haute"), ce au moyen d'un système dynamique linéaire du premier ordre (ressort - amortisseur) à coefficient d'amortisseur continûment variable (voir [4]), décrit par la figure suivante, extraite de [6]:

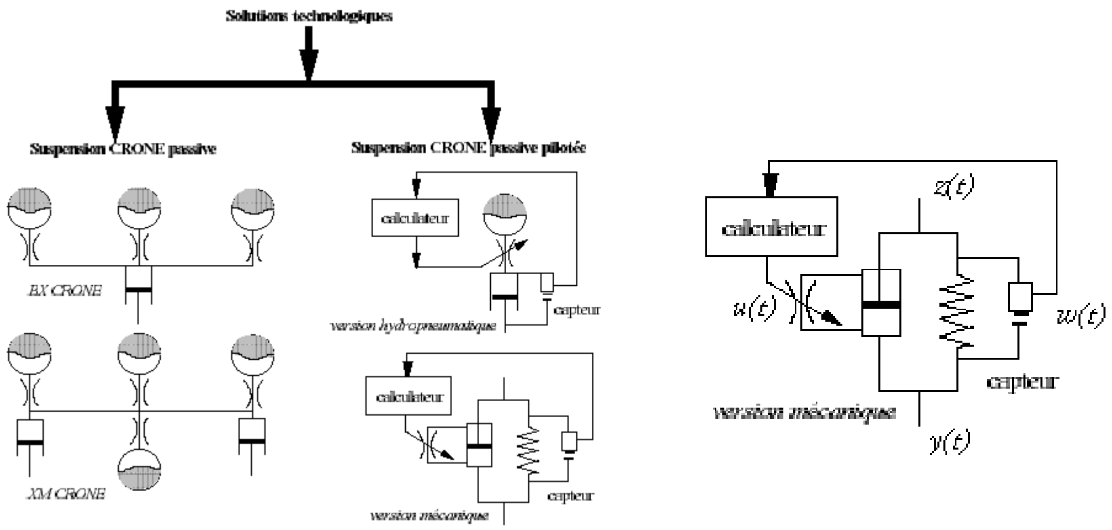

Fig. 2 - Solutions technologiques proposées dans [6]

A partir de la donnée $w = y - z$ fournie par un capteur, le calculateur doit donc déterminer en temps réel la valeur (positive par essence) du coefficient $u(t)$ de l'amortisseur, de telle sorte que l'ensemble soit équivalent du point de vue entrée-sortie[2], à la fonction de transfert désirée (2) (voir [2]).

L'analyse qui suit démontre que ceci est rigoureusement impossible.

[2] Déplacement → force.

3 Impossibilité inhérente au système "ressort - amortisseur commandé"

Théorème 2 *Une suspension semi-active telle que décrite dans la figure 2 ne peut présenter une transmittance*[3] *autre que* $C(p) = C_0 + kp,\ k = cte \geqslant 0$.

Preuve. On note u la commande de l'amortisseur pour une sollicitation y. S'agissant d'un amortisseur de type visqueux, délivrant une force de sens toujours opposé au mouvement $\dot{w}$ (organe essentiellement dissipatif), il vient:

$$u(t) \geqslant 0,\ \forall y, t.$$

1. On note $C(\partial_t)$ l'opérateur "transmittance" de la suspension (censée être égale à (2) [4, 5, 6]). Pour toute sollicitation[4] $w = y - z$, l'opérateur de la même suspension s'exprime également:
$$C(\partial_t)w = (C_0 + u(t)\,\partial_t)w.$$
D'où:
$$\forall w,\ \forall t > 0,\ u(t)\,\partial_t w = (C(\partial_t) - C_0)\,w,$$
ce qui entraîne que l'opérateur $w \to u(t)\,\partial_t w$ est linéaire invariant.

2. On considère alors une excitation y sinusoïdale, ce qui, en considérant le régime permanent, peut s'exprimer: $w(t) = \sin(\omega t)$. On note $u_\omega(t)$ la fonction ainsi obtenue (par le biais du calculateur, en boucle fermée[5]); de ce qui précède (c'est-à-dire $w \to u(t)\partial_t w$ linéaire invariant), la force $f := u_\omega(t)\,\partial_t w$ est aussi sinusoïdale, de même pulsation ω, et se met donc sous la forme:
$$f(t) = a(\omega)\,\sin\left(\omega t + \varphi(\omega)\right) = u_\omega(t)\,\partial_t \sin(\omega t) = \omega\, u_\omega(t)\cos(\omega t),\ \forall \omega > 0,\ \forall t > 0;$$
il vient, pour tout $\omega > 0$:
$$\begin{aligned}\omega\, u_\omega(t)\cos(\omega t) &= a(\omega)\,\sin\left(\omega t + \varphi(\omega)\right),\ \forall t > 0\\ &\Rightarrow u_\omega(t) = \frac{a(\omega)}{\omega}\frac{\sin\left(\omega t + \varphi(\omega)\right)}{\cos(\omega t)} \geqslant 0,\ \text{pour tout } t > 0 \text{ tel que } \cos(\omega t) \neq 0\\ &\Rightarrow |\varphi(\omega)| = \frac{\pi}{2},\ \forall \omega > 0.\end{aligned}$$
On en déduit que la transmittance $(C(p) - C_0)$ présente nécessairement un déphasage de $\pm\frac{\pi}{2}$ à toute pulsation; la solution admissible est alors unique et s'exprime:
$$C(p) - C_0 = kp,\ k \geqslant 0.$$

■

On en déduit immédiatement:

Corollaire 3 *La suspension semi-active décrite dans la figure 2 ne peut pas présenter un transfert tel que (2).*

---

[3] En tant qu'opérateur linéaire invariant.

[4] $y(t)$ et $z(t)$ désignent respectivement la hauteur relative de la route et la hauteur relative du véhicule (voir figure 1).

[5] **Cas où u serait déterminée** *a priori* (en boucle "ouverte") - L'invariance dans le temps s'exprime:

$$\begin{aligned}&[u(t)\partial_t]\ w(t-\tau) = [(u(t)\partial_t)\ w]\,(t-\tau),\ \forall t > 0,\ \forall \tau > 0\ ,\\ &\Rightarrow (u(t) - u(t-\tau))\ \dot{w}(t-\tau) = 0,\ \forall t > 0,\ \forall \tau > 0.\end{aligned}$$

Avec $\dot{w} \neq 0$ pour presque tout $t > 0$, on obtient $u(t) = u(t-\tau)$ pour presque tous $t, \tau > 0$, ce qui entraîne que u est constante pour tout $t > 0$. Ainsi, $C(\partial_t) - C_0 = k\,\partial_t$, avec k constante positive.

4 Conclusion

Le concept théorique analysé dans [2], basé sur une transmittance *passive*[6] de la forme $k\,p^\alpha$, $0 < \alpha < 1$, est inadéquat dans le contexte de la suspension automobile, pour deux raisons principales inhérentes à l'approche même:

- L'emploi d'une telle transmittance nécessite une simplification (de type pôle-zéro) illicite car instable aux perturbations extérieures: en ce sens, le système est non robuste (voir [2]).
- Une telle transmittance ne présente aucune raideur statique, ce qui ne permet pas d'offrir une force statique pouvant s'opposer au poids, le système étant alors instable également de ce point de vue (voir [2] et annexe 2).

La version *semi-active* de ce concept, décrite en figure 2, présenterait bien évidemment (si elle était praticable) les mêmes défauts dans le cas où la transmittance (2) serait voisine[7] de l'idéal $k\,p^\alpha$. De l'analyse qui précède, on conclut qu'outre les problèmes d'instabilité susdits, cette version renferme en elle-même un défaut supplémentaire, rédhibitoire car d'origine conceptuelle (voir les compléments d'analyse en annexe 1): le problème de la réalisation au moyen du système décrit en figure 2 d'une transmittance différente de $C_0 + k\,p$ est *essentiellement* mal posé, car n'admettant pas de solution *même* approximative[8] (cf. théorème 2).

Concernant la mise en œuvre présentée dans [4], il découle du théorème 1 que la *stabilité inconditionnelle* du système dynamique : $y \to z$ garantit dans tous les cas un fonctionnement "physiquement correct" de la suspension[9]. La présente analyse démontre cependant que le résultat obtenu ne saurait avoir aucun rapport avec la théorie censée en être à l'origine, laquelle s'avère sans objet (théorème 2, corollaire 3).

[6] On peut montrer en effet, par l'analyse sous représentation diffusive [3], que la propriété de passivité est bien vérifiée par une telle transmittance.

[7] Ce qui est précisément le but, en raison des propriétés idéales recherchées qui sont spécifiques à la fonction puissance p^α [2].

[8] En termes plus techniques, ce problème *n'est pas régularisable* au sens d'une approximation convergente (critère pénalisé).

[9] Au sens, précisément, de la stabilité exponentielle.

5 ANNEXE 1 - Sur le problème général défini en figure 2

Tout opérateur ($w \to$force) obtenu par $u(t)$ *non constante* est, de façon générale:

- non linéaire et/ou
- non invariant,

et ne peut donc être assimilé à une *transmittance* (linéaire invariante), donc en particulier à une transmittance telle que (2).

Dans le cas (irréaliste!) où $u(t)$ pourrait prendre toute valeur réelle, tenter de réaliser ainsi (en boucle nécessairement fermée) une transmittance différente de $C_0 + k\,p$ conduirait immanquablement à une instabilité explosive. En effet:

$$u = \frac{C(\partial_t)w - C_0\,w}{\partial_t w};$$

si $C(\partial_t) \neq C_0 + k\,\partial_t$, alors: $\exists w, t_0,\ (C(\partial_t)w)(t_0) - C_0\,w(t_0) \neq k\,(\partial_t w)(t_0) = 0$, ce qui entraîne: $u(t_0) = \pm\infty$.

A défaut d'infinité, toute "régularisation" (nécessairement non linéaire) du problème conduirait à des valeurs excessives de $|u(t)|$: la sensibilité aux perturbations resterait prohibitive quand bien même le processus en boucle fermée serait stable.

Cette propriété de stabilité est d'ailleurs illusoire en soi, notamment à cause de la forte non linéarité de l'opérateur permettant de déterminer u, de surcroît avec présence d'un *dérivateur.* En fait, on peut montrer que réaliser par un tel moyen une transmittance différente de $C_0 + k\,p$, en particulier telle que (2) dont le comportement à hautes fréquences est différent du premier ordre, s'apparente à un problème *non causal,* au sens d'une dépendance *non continue* par rapport aux causes (en violation du second principe de la thermodynamique[10] au point de vue physique). Pour s'en convaincre facilement, il suffit de considérer $w = \mathbf{1}_{\mathbb{R}_+}$ (fonction "échelon[11]"); le problème s'écrit alors:

$$u(t)\,\delta(t) = (C\,(\partial_t) - C_0)\ \mathbf{1}_{\mathbb{R}_+}(t),$$

qui n'a clairement aucune solution[12] dès que $C\,(\partial_t) \neq C_0 + k\partial_t$, du fait que $\mathrm{supp}(u\,\delta) \subset \{0\}$.

Dans un problème régularisé, cette non causalité conduirait, en boucle fermée, à un cercle dont la conséquence pratique (par exemple numérique) serait une instabilité explosive[13] sur $u(t, w)$ (et donc également sur w dès que $u \ngeq 0$, par antidissipation[14]).

[10] Le problème rétrograde serait de même "non anti-causal".

[11] Pour un système linéaire invariant, n'importe quelle entrée est mathématiquement admissible. La fonction échelon est en outre une fonction type en automatique linéaire (réponse indicielle).

[12] En particulier, avec $C(\partial_t) = 0$, ce problème est équivalent à réaliser un condensateur au moyen d'une résistance variable $R(t)$ (système actif lorsque $R(t) < 0$). Il est bien connu que c'est impossible.

[13] Dans une analyse de type "perturbation singulière", la variété du mouvement lent serait *répulsive*, traduction de la non causalité.

[14] C'est-à-dire: la propriété de dissipation est vérifiée pour l'équation rétrograde.

6 ANNEXE 2 - Sur l'incompatibilité "poids - transmittance fractionnaire": effet d'un correcteur d'assiette

On se réfère à [1] dont on considère l'extrait suivant:

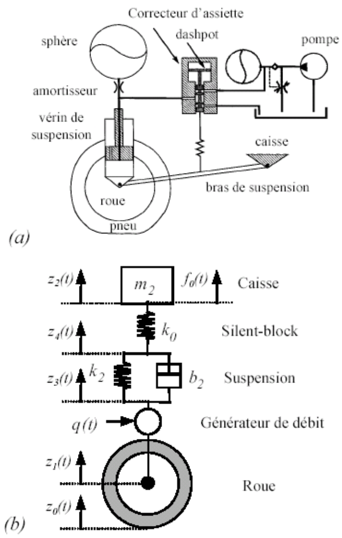

Figure 10 – Schéma de principe de l'ensemble hydropneumatique correcteur d'assiette-suspension d'un quart de véhicule (a) et modèle associé (b)

L'expression de la force $f_s(t)$ développée par la suspension est de la forme

$$f_s(t)=k_2\left(z_3(t)-z_4(t)\right)+b_2\left(\dot z_3(t)-\dot z_4(t)\right)\ , \qquad (23)$$

où $z_3(t)$ et $z_4(t)$ sont donnés par :

$$z_3(t)=z_1(t)+\frac{1}{S}\int q(t)dt \quad \text{et} \quad z_4(t)=z_2(t)+\frac{f_s(t)}{k_0}\ , \quad (24)$$

La quantité f_0 est la résultante des forces extérieures, c'est-à-dire la somme du poids $-m_2g$ et des reports dynamiques de charge lors d'accélération horizontales du véhicule. L'équation fondamentale de la dynamique s'exprime:

$$f_s + f_0 = m_2\,\ddot z_2.$$

On suppose l'ensemble en équilibre statique. A partir de la relation (23) et de $\dot z_3 = 0$, $\dot z_4 = 0$, $z_3 = cte$, $z_4 = cte$ [15], on déduit:

$$f_s = k_2\left(z_3 - z_4\right).$$

On note que si $k_2 = 0$ (raideur statique de la suspension nulle), la force f_s est nulle et ne peut donc s'opposer au poids $-m_2\,g$ du véhicule; plus précisément, avec $f_0 = -m_2\,g$ (reports de charge nuls), il vient:

$$\begin{cases} f_s + f_0 = 0 - m_2\,g = m_2\,\ddot z_2 & \text{(a)} \\ \ddot z_2 = 0 \quad \text{(équilibre)} & \text{(b),} \end{cases}$$

or (a) et (b) sont clairement contradictoires dès que $m_2g \neq 0$ et un tel équilibre statique ne peut alors exister.

[15] On notera que ces deux dernières égalités impliquent également l'équilibre du correcteur de hauteur ("générateur de débit" sur le schéma), pris en compte dans l'analyse.

Pour une suspension à transmittance "d'ordre non entier": $k\,\partial_t^\nu$, $0<\nu<1$, $k>0$, la force f_s s'exprime:

$$f_s(t) = k\,\partial_t^\nu\,(z_3(t) - z_4(t))\,. \tag{3}$$

A l'équilibre éventuel, qui impose $z_3(t) - z_4(t) = cte$, l'expression (3) devient:

$$f_s = k\,\partial_t^\nu\,(z_3 - z_4) = m_2\,g; \tag{4}$$

or la dérivée d'ordre $\nu > 0$ d'une constante est *nulle*[16], d'où $f_s = 0 \neq m_2\,g$, ce qui est contradictoire[17] avec (4): la situation est analogue au cas d'un amortisseur pur ($k_2 = 0$).

Aucune force *statique* ne pouvant être opposée au poids $-m_2\,g$, on déduit de (3) par inversion de ∂_t^ν, qu'une hauteur de caisse constante ($z_4 = cte$) nécessite une force $f_s = m_2\,g$ développée en régime *dynamique* ($z_3(t)$ non constante):

$$z_3(t) - z_4 = \frac{m_2\,g}{k}\int_0^t \frac{\tau^{\nu-1}}{\Gamma(\nu)}\,d\tau \underset{t\to+\infty}{\longrightarrow} +\infty,$$

au prix de l'*instabilité du correcteur d'assiette* ($z_3(t) \to +\infty$ [18]), ruinant la stabilité du système et, par voie de conséquence, l'approche même.

Indépendamment de la présence d'un correcteur d'assiette, les concepts de "suspension" ($\Rightarrow$ raideur statique *non nulle*) et de "transmittance d'ordre non entier" ($C(j\omega) = k\,(j\omega)^\nu$, $0 < \nu \leqslant 1 \Rightarrow$ raideur statique *nulle*) sont donc bien antinomiques, nonobstant les arguments avancés par les auteurs controversés, qui s'avèrent auto-contradictoires (ci-après un extrait de [1]):

"le correcteur d'assiette (ou de hauteur) est un asservissement de position qui assure, au repos, une altitude constante de la caisse indépendamment de son poids ou, plus généralement, de tout effort statique qui s'y exerce [16]. L'effort statique développé par la suspension n'a ainsi aucune action sur le point de repos de la caisse. Aussi, une faible valeur de cet effort dans le cas de la deuxième version de la suspension telle qu'implémentée sur véhicule, voire la nullité de cet effort, conformément à celle de la réponse fréquentielle $C(j\omega)$ de la première version pour $\omega = 0$, ne peuvent constituer un problème en termes d'équilibre statique de la caisse."

References

[1] P. Lanusse, P. Melchior, X. Moreau, A. Oustaloup, J. Sabatier, "Sur les remarques formulées sur la suspension crone", *Réponse à la controverse*: "A propos de la suspension crone" (G. Montseny & G. Salut), Conférence Internationale Francophone d'Automatique CIFA02, Nantes, 8-10 juillet 2002, pp 368 - 381
URL: `www.laas.fr/gt-opd/Publis2002.html/#CIFA02, www.irccyn.ec-nantes.fr/cifa/`

[2] G. Montseny, G. Salut, "A propos de la suspension crone", Conférence Internationale Francophone d'Automatique CIFA02, Nantes, 8-10 juillet 2002, pp 361- 367
URL: `www.laas.fr/gt-opd/Publis2002.html/#CIFA02, www.irccyn.ec-nantes.fr/cifa/`

[16] Lorsqu'une fonction *causale* est constante (sur $\mathbb{R}_+^*$), sa dérivée d'ordre ν est asymptotiquement nulle; s'agissant de l'état d'équilibre asymptotique, la constante est évidemment à considérer sur $\mathbb{R}$, auquel cas la dérivée d'ordre $\nu > 0$ est *strictement* nulle. Cette subtilité est sans effet sur le résultat.

[17] Hormis si le coefficient de gravité g est nul, ce qui ne peut être le cas pour une suspension automobile.

[18] Il s'agit ici de l'analyse *linéaire*: en pratique, le correcteur d'assiette et, par suite, le système dans son ensemble, atteindraient évidemment la saturation (butée mécanique), rendant la suspension infiniment raide, donc inopérante.

[3] G. Montseny, “Diffusive representation of pseudo-differential time-operators”, ESAIM: Proceedings - Vol.5, 1998, pp 159-175.
URL: www.edpsciences.org/articles/proc/Vol.5/index.htm

[4] X. Moreau, O. Altet, C. Nouillant, A. Oustaloup, “Etude de l’influence de la suspension crone active sur la dynamique longitudinale d’un véhicule automobile en phase de freinage”, Conférence Internationale Francophone d’Automatique CIFA02, Nantes, 8-10 juillet 2002, pp 798 - 805. URL: www.irccyn.ec-nantes.fr/cifa/

[5] X. Moreau, “La dérivation non entière en isolation vibratoire et son application dans le domaine de l’automobile”, Thèse de l’Université de Bordeaux I, 1995, numéro dordre 1218.

[6] X. Moreau, “De la suspension traditionnelle à la suspension crone: un tour d’horizon”, Journées “Automatique et Automobile” 2001, Bordeaux 2001.
URL: www.lap.u-bordeaux.fr/rieussec/Un_tour_d_horizon.pdf,
www.laas.fr/gt-opd/Pdf_articles/Un_tour_d_horizon.pdf