

Jean-Pierre Brossard

## **Dynamique du freinage**

Editeur : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2009

### **MECANIQUE**

269 pages ; ISBN 978-2 88074-781-7

Cet ouvrage est une suite logique de la "Dynamique du véhicule" du même auteur et dans la même collection ; on y retrouve les mêmes qualités : rigueur, précision, analyse rationnelle conduisant à une modélisation intégrant des études théoriques, des données expérimentales, des contraintes techniques. Il met en œuvre une démarche de mécanicien sachant parfaitement ce que l'on peut attendre de l'utilisation de la mécanique rationnelle et des mathématiques, le tout dans un souci de pédagogie mais sans ostentation.

Ecrire un livre sur le freinage d'un véhicule automobile est un véritable défi. Pourquoi ? Il faut lire le livre pour avoir une idée de la prouesse. Il n'est pas besoin de connaître le contenu de la "Dynamique du véhicule", auquel il est fait souvent référence pour aborder la lecture de ce livre et comprendre la méthodologie de l'auteur qui est un artiste de la modélisation : il procède à la façon d'un architecte qui serait aussi ingénieur de conception et mathématicien sachant jongler avec la géométrie, l'analyse numérique appliquée à la résolution de systèmes différentiels complexes et la simulation. Il suffit de feuilleter le livre pour remarquer que la plupart des problèmes traités et résolus sont très fortement non linéaires et je suis persuadé que pour le mathématicien et le mécanicien cet ouvrage est une mine de problèmes théoriques ou/et appliqués. Partant des résultats présentés par l'auteur il est possible d'enrichir la théorie, les méthodes de résolution et d'interprétation des résultats pour des systèmes modélisés par des équations différentielles. Il faut aussi préciser qu'un souci constant de l'auteur est de fournir des méthodes et des données exploitables dans les réalisations techniques de systèmes de freinage d'une automobile. Pour terminer ces généralités soulignons quelques points évidents, mais qu'il est bon de rappeler. Du point de vue du freinage une automobile grand public n'est pas une Formule 1, ni un avion, ni un bateau, alors que la motorisation ou la dynamique de la plupart des véhicules ont de nombreux points communs. Dans le freinage d'une automobile, la part d'initiative laissée au conducteur n'est pas la même que celle d'un pilote d'une Formule 1, d'un avion ou d'un navire : l'environnement - le sol, l'air, l'eau ont des comportements différents sans compter les vitesses ou les masses en mouvement. Tout conducteur peut témoigner des difficultés imposées par des freinages sur des chaussées sèches, mouillées, inondées, enneigées ou verglacées ; sur les routes verglacées le conducteur devra réaliser des manœuvres inhabituelles avec son volant et sa pédale de frein. En bref, si la motorisation est une nécessité vitale, le freinage est une nécessité absolue : une voiture qui refuse de se déplacer peut provoquer des situations désagréables, mais un véhicule qui ne freine pas peut entraîner des catastrophes aux conséquences dramatiques. De plus, un système de freinage bien conçu fait partie du confort du conducteur et des passagers.

Quelques mots sur la structure du livre : il commence par une préface de Thierry Villemain, directeur Application sécurité active Bosch suivi d'un avant-propos de l'auteur. Le cœur de l'ouvrage est constitué de quatre chapitres :

CHAPITRE 1 : Dynamique longitudinale globale.

CHAPITRE 2 : Dynamique du freinage de la roue.

CHAPITRE 3 : Etablissement d'un système de freinage.

CHAPITRE 4 : Stabilité de la trajectoire au freinage.

Le livre s'achève par une bibliographie à la fois complète et sobre d'une cinquantaine de références suivie d'un index bien commode pour s'y retrouver dans le dédale des termes techniques pas toujours familiers.

Aussi bien dans la préface que dans l'avant-propos le rôle du freinage est rappelé ; un paragraphe de l'avant-propos donne une bonne analyse du sujet : "Du point de vue de la dynamique, le freinage correspond à un état de mouvement particulier au même titre que le virage qui est l'état fondamental de la dynamique transversale. C'est un état de mouvement dans lequel le véhicule passe de la vitesse initiale  $V_0$  à une vitesse  $V_1$ ,  $V_0 > V_1$ . Le champ couvert par cet ouvrage est la dynamique du freinage et repose sur une modélisation et une mise en équations d'un système multicorps ce qui rend possible la simulation." Précisons que seul les freins à frottements sont concernés par cette étude. Une dernière citation, qui complète la précédente, insiste sur un point conceptuel fondamental de la notion de commande, versus contrôle, au sens mathématique et technique : " Aussi cet ouvrage s'adresse-t-il tant au monde de la dynamique automobile qu'à celui de la commande qui se rejoignent dans la mécatronique."

Un des défis de ce livre portant sur un point de la dynamique du véhicule était d'isoler du système véhicule un sous-système complexe qui prend en compte tout ce qui concerne le freinage : sol, pneus, liaisons roues-chassis, disques de freinage, dispositifs annexes d'antiplongée et d'anticabrage, suspensions, ABS, commandes du freinage à la disposition du conducteur, notamment la pédale de frein et aussi le volant. Pour avoir une idée de la complexité du problème et des solutions proposées par l'auteur il faut lire le *premier chapitre* dans lequel on trouvera des modélisations surprenantes, mais qui se révèlent efficaces, notamment une modélisation qui consiste à supposer que le véhicule à quatre roues possède un plan vertical de symétrie si bien qu'il peut être modélisé comme un véhicule qui n'aurait que deux roues mais qui ne serait pas une moto ! Après l'étude détaillée de ce véhicule fictif on revient à l'étude du modèle à quatre roues prenant en compte à la fois le comportement des roues dont deux au moins sont directrices et les effets de paramètres de la conduite : virages, conditions atmosphériques. De l'étude des modèles sont dégagées des grandeurs globales comme par exemple les forces de freinage longitudinales et transversales, calculées et représentées dans des diagrammes exploitables aussi bien par des techniciens que par des concepteurs d'automobiles. Ce premier chapitre se termine par un paragraphe qui résume la démarche de l'auteur et revient sur les résultats essentiels.

Le *chapitre deux* est consacré à l'analyse d'un sous-système de l'ensemble des éléments du freinage : tout d'abord la roue qui en est la pièce maîtresse. Différents diagrammes mettent en évidence les données indispensables aux concepteurs. Il faudrait présenter la figure 2.7 à tous les conducteurs pour qu'ils puissent prendre conscience de l'influence

fondamentale de l'état du sol de manière à adapter leur façon de conduire aux conditions qu'ils peuvent rencontrer. Le simple examen des nombreuses figures met en évidence les aspects non linéaires des phénomènes liés au freinage. Dans la première partie de l'étude, pour une voiture grand public, les effets de l'aérodynamisme étaient négligés, mais l'auteur revient brièvement sur leur prise en compte de manière à justifier les hypothèses adoptées au départ. Par contre, pour un bolide de course, les considérations sur l'aérodynamique sont essentielles

Dans le *chapitre suivant* on franchit une nouvelle étape vers la conception d'un système de freinage. On y distingue "modélisation externe et modélisation interne" : la première porte sur les roues liées au véhicule et au contact avec le sol de manière à analyser le comportement de la voiture au cours d'un freinage - notamment la répartition des efforts d'adhérence sur chaque roue et la recherche d'un optimum d'efficacité - la modélisation interne analyse la génération des couples de freinage engendrés par les patins qui pressent les disques fixés sur les essieux ; la commande de ces efforts est à la disposition du conducteur qui actionne la pédale de frein. Des schémas, des graphiques, des mécanismes technologiques illustrent la complexité et l'ingéniosité des réalisations technologiques. La synthèse de la fin de ce chapitre en résumé assez bien l'esprit et les résultats :

"Dans ce troisième chapitre ont été développés les éléments qui permettent de définir une méthodologie rigoureuse d'établissement de la commande d'un système de freinage pour le véhicule complet à deux essieux. Les résultats importants suivants ont été établis :

Il y a une répartition optimale des forces entre l'essieu avant et l'essieu arrière qui permet d'obtenir la décélération maximale théoriquement possible.

Avec les systèmes les plus simples cette répartition optimale n'est obtenue que dans des conditions particulières.

On peut réaliser les commandes qui correspondent en permanence à la commande optimale. Le système différentiel qui permet de les mettre en œuvre est étudié en détail."

Le *chapitre quatre* traite de la stabilité de la trajectoire au freinage. Pour un mathématicien, il est sans doute l'un des plus intéressants, mais son contenu est fortement lié à tout ce qui précède. En fait l'auteur revient à la dynamique globale du véhicule sous l'angle du freinage ; cette partie n'avait été qu'ébauchée dans le livre précédent : une voiture est faite pour rouler et non pour vivre arrêtée ! On repart sur une modélisation adaptée au freinage afin d'écrire des équations partant de considérations cinématiques et dynamiques ; les résultats sont exprimés en variables lagrangiennes ou eulériennes suivant les nécessités de la conception et du calcul des différents organes du freinage. Ces équations permettent de mettre en forme une simulation conduisant à des résultats présentés sous forme de diagrammes et de tableaux prenant en compte de nombreux paramètres : vitesses, angles au vent, vitesse de lacets, rayon de virage, accélérations, etc. Dans le paragraphe 4.4 on trouvera une étude de la stabilité à partir d'un système linéarisé au voisinage d'un état stationnaire du mouvement d'un véhicule. De cette analyse l'auteur déduit des conditions générales de stabilité et des valeurs numériques utiles aux concepteurs d'une automobile. La notion de stabilité est fondamentale sous plusieurs angles : le conducteur doit toujours être maître de son véhicule, il doit en contrôler tous les mouvements, ce qui l'amène à freiner dans des situations souvent imprévues sous des contraintes de rapidité et de précision afin d'assurer

la sécurité des passagers et celle de tout l'environnement de la voiture. C'est sans doute en reprenant l'étude théorique de la partie mathématique de chapitre que des mathématiciens pourraient apporter des méthodes et des raffinements intéressants, toutefois, pour les praticiens, les résultats obtenus semblent suffisants.

Je me permettrai de petites critiques, la première porte sur l'absence de considérations énergétiques. Le freinage a entre autres pour conséquence de dégrader en énergie calorifique de l'énergie cinétique noble obtenue à partir de réserves fossiles qui se raréfient. A l'heure des économies, des luttes contre les gaspillages et les pollutions il serait bon de récupérer tout ou partie de l'énergie dissipée dans les freins. Pour les Formules 1, les constructeurs commencent à se préoccuper du transfert de l'énergie du freinage en énergie susceptible d'améliorer les accélérations ultérieures, mais on est encore loin d'une solution satisfaisante car les mécanismes de récupération embarqués alourdissent le poids du véhicule et donc augmentent la consommation de carburant. La seconde critique concerne l'étude de la stabilité : j'aurais souhaité trouver des pistes sur des méthodes utilisant des fonctions de Liapouovoy, mais je sais aussi que trouver ce type de fonctions pour des systèmes simples est déjà un problème difficile. Alors, face à un système mathématiquement et techniquement complexe, cette critique n'a peut-être pas sa place, mais plutôt que chercher des fonctionnelles de Liapounov sur des équations particulières, pourquoi ne pas faire des essais sur des cas concrets et utiles ?

Si la multitude des équations, des schémas, des tableaux, des diagrammes peut donner l'impression d'une lecture un peu aride, les textes d'explications, les commentaires, sont rédigés dans une langue simple, claire et précise, ce qui est de plus en plus rare dans la rédaction de textes scientifiques et techniques.

Lisez ce livre et faites le lire, il est agréable, on y apprend beaucoup de mécanique et on y trouve de fortes motivations pour faire des mathématiques.

Gérard Tronel.