

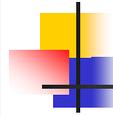
SUSPENSION:

Partim: Conception des essieux

Pierre DUYSINX
Ingénierie des Véhicules Terrestres
Université de Liège
Année Académique 2005-2006

Références bibliographiques

- R. Bosch. « Automotive Handbook ». 5th edition. 2002. Society of Automotive Engineers (SAE)
- T. Gillespie. « Fundamentals of vehicle Dynamics », 1992, Society of Automotive Engineers (SAE)
- T. Halconruy. Les liaisons au sol. ETAI. 1995.
- H. Mémeteau. « Technologie Fonctionnelle de l'Automobile ». 4ème édition. Dunod. Paris. 2002.
- W. Milliken & D. Milliken. « Race Car Vehicle Dynamics », 1995, Society of Automotive Engineers (SAE)
- J. Reimpell, H. Stoll, J. Betzler. « The automotive chassis: engineering principles ». 2nd edition. 2001, SAE.

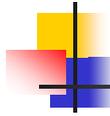


Plan de l'exposé

- LA SUSPENSION : PRINCIPES
 - Fonctions de la suspension
 - Spécifications
 - Principe général du dispositif de suspension
 - Principe du mécanisme de la suspension
 - Cinématique et élasto-cinématique
 - Géométrie de train roulant
 - Description des caractéristiques des suspensions

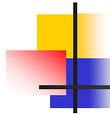


Introduction



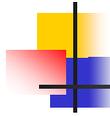
Raison d'être de la suspension

- Permettre aux roues de suivre les irrégularités de la route
- Empêcher la flexion et la torsion du châssis et les contraintes qui en résulteraient
- Permettre aux roues de rester en contact avec le sol pour conserver une adhérence maximale et éviter la perte de contrôle de la trajectoire du véhicule
 - Éviter le décollement du sol de l'ensemble véhicule / roues à grande vitesse
 - Garder avec une variation de charge minimale
- Réduire l'inconfort des passagers ou la détérioration des marchandises transportées



Conditions de fonctionnement

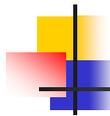
- Supporter le poids du véhicule
- Permettre aux quatre roues de rester en contact avec le sol quelles que soient les irrégularités de la route et conserver une adhérence en permanence
- Maintenir les roues dans une configuration géométrique adéquate de braquage et de carrossage par rapport à la route
 - Variations de voie conduisent à des efforts de soulèvement d'essieu
 - Microbraquages et variations de carrossage conduisent à des efforts latéraux
 - Variations d'empattement



Conditions de fonctionnement

- Opposer une réaction aux forces produites au niveau des pneus:
 - Forces longitudinales: accélération et freinage
 - Forces latérales en virage
 - Couples de traction et de freinage

- Isoler le châssis des irrégularités de la route
 - Éviter l'inconfort des passagers et des marchandises
 - Filtrer les vibrations et oscillations rapides venant de route

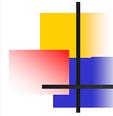


Conditions de fonctionnement

- Maintenir les mouvements inévitables de la caisse dans des limites raisonnables pour les passagers, les marchandises sans affecter la tenue de route.
 - Résister au roulis du châssis lors des virages
 - Résister au changement d'assiette lors du freinage (anti plongée) et de l'accélération (anti cabrage)

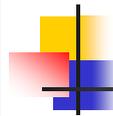
- Maintenir une hauteur de caisse la plus constante possible quelle que soit la charge verticale

- Fabrication : coût minimal et simplicité maximal



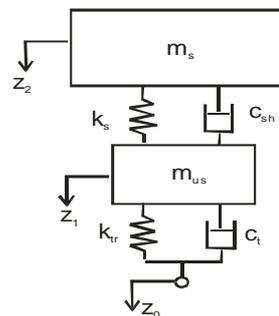
Masses suspendues et non suspendues

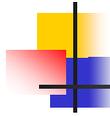
- Masses non suspendues = toutes les masses entre la route et les éléments élastiques
 - les roues
 - les essieux
 - les freins s'ils sont attachés aux roues
 - éventuellement le différentiel
- Masses suspendues = toutes les masses au dessus des éléments élastiques
 - la caisse
 - le moteur
 - les passagers et marchandises



Analyse du quart de modèle: rappels

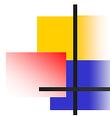
- La masse non suspendue doit être faible vis-à-vis de la masse suspendue pour avoir un bon confort, réduire les débattements de suspension et maintenir une bonne adhérence
- L'amortissement du système doit être de l'ordre de 0,2 à 0,4 la valeur de l'amortissement critique
- La raideur de la suspension est de préférence
 - faible pour favoriser le confort
 - forte si on privilégie la tenue de route.





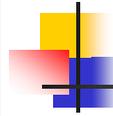
Principes généraux de la suspension

- La suspension comprend les éléments suivants:
 - Un mécanisme (généralement appelé essieu) permettant le mouvement de la roue pour suivre les irrégularités de la route tout en assurant son contrôle et son guidage
 - Corps rigides reliés par des joints cinématiques
 - Des éléments élastiques et dissipatifs interposés entre le châssis et le train roulant
 - Ressorts à lames ou hélicoïdaux, masses élastiques, gaz ou fluide comprimé
 - Amortisseurs hydrauliques ou à gaz, passifs, actifs ou semi actifs
 - Joints flexibles (bushing)



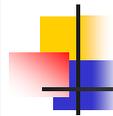
Principes généraux de la suspension

- L'essieu = ensemble des organes qui relient la roue au châssis à l'exception des éléments de direction et des dispositifs de suspension (amortisseurs, ressorts, vérins, etc.)
- Les choses ne sont pas aussi claires en pratique car l'optimisation de la suspension fait que des organes jouent à la fois un rôle de guidage et un rôle de suspension.
- Les essieux comprennent donc les organes de guidages mais aussi dans certains cas des organes de transmission ou des organes de freinage



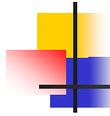
Principes généraux de la suspension

- Les éléments élastiques:
 - Éléments d'acier à haute limite élastique
 - Travail en flexion : ressorts à lames
 - Travail en torsion: ressorts hélicoïdaux et barres de torsion
 - Masse de gaz comprimable
 - Travail en compression
 - Blocs de matière élastique
 - Bloc de caoutchouc de structure généralement alvéolée
 - Barres anti-roulis
- Raideur
 - Linéaire
 - Non-linéaire



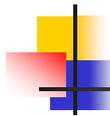
Principes généraux de la suspension

- Différents types d'essieux
 - Essieu rigide
 - Les deux roues sont solidaires
 - Arbre commun
 - Sur train arrière, équipé de ressorts à lames ou hélicoïdaux
 - A roues indépendantes
 - La montée d'une roue est sans influence sur la roue opposée
 - Chaque demi-essieu ou demi-train s'articule sur des axes longitudinaux, diagonaux ou transversaux
 - Essieu semi-rigide
 - Les roues sont montées sur un essieu dont la torsion assure une relative indépendance des roues

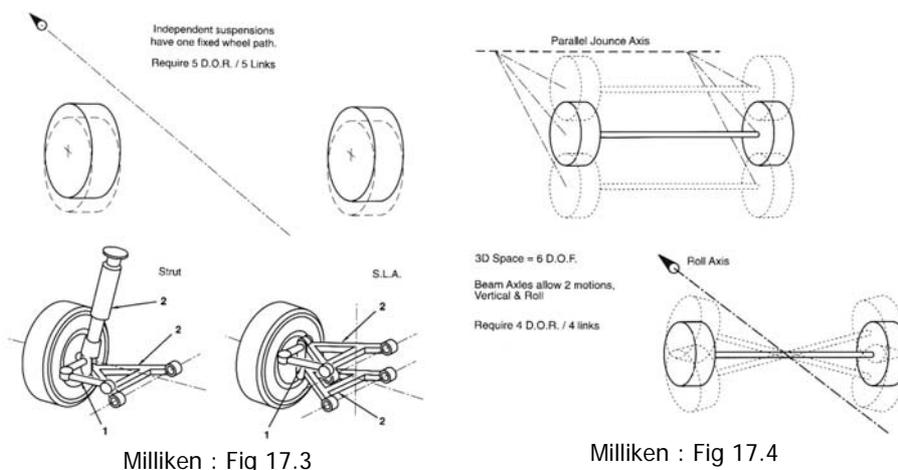


Principes des mécanismes de suspension

- Principe du mécanisme de l'essieu: contrôler le mouvement de la roue
 - Essieux indépendants : autorisent un mouvement de l'axe de la fusée le long d'une courbe lors des débattements verticaux
 - Essieux à axe rigide: autorisent un mouvement d'ensemble de l'essieu de haut en bas et un mouvement de roulis gauche – droite
- Roue ou essieu = corps rigide à 6 ddl
- Conclusion :
 - L'essieu indépendant introduit 5 contraintes cinématiques
 - L'essieu à axe rigide introduit 4 contraintes cinématiques



Principes des mécanismes de suspension





Principes des mécanismes de suspension

- Éléments de liaison de l'essieu:
 - Barre simple de traction compression = 1 contrainte
 - Un bras en A = 2 contraintes
 - Une jambe Mac Pherson = 2 contraintes

Simple Tension - Compression Links



A-Arm = 2 Links



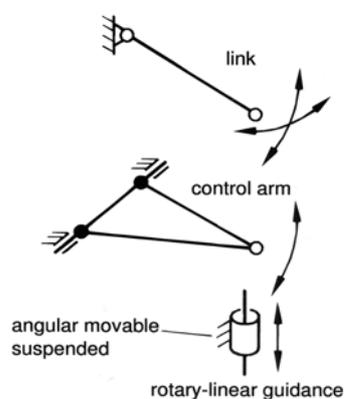
McPherson Strut = 2 Links:
Slider = A-Arm of Infinite Length



Milliken Fig 17.2 : éléments de liaison

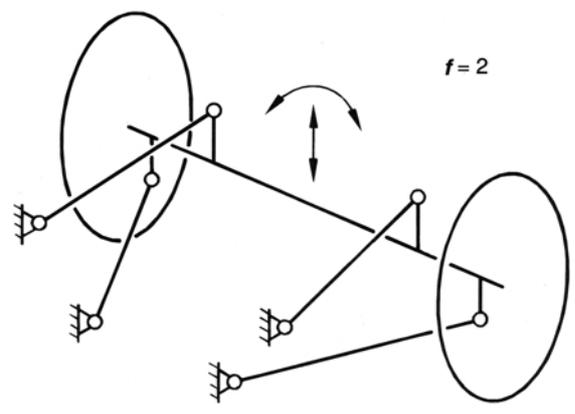


Principes des mécanismes de suspension





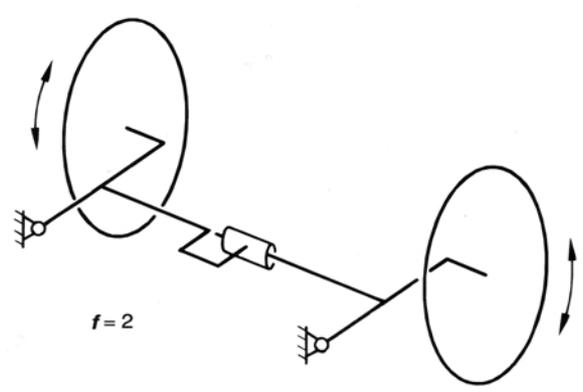
Principes des mécanismes de suspension



Essieu rigide

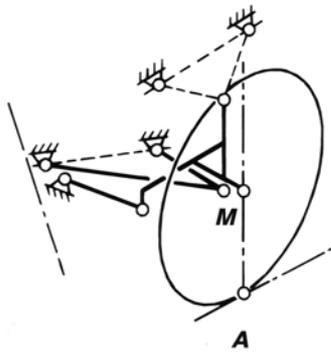


Principes des mécanismes de suspension

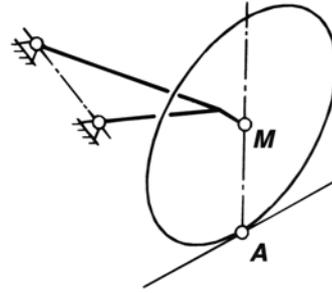


Essieu semi rigide

Principes des mécanismes de suspension

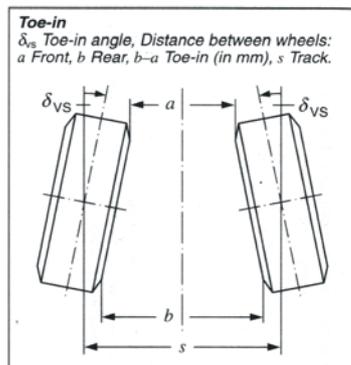


Double triangle



Bras tiré

Géométrie du train roulant

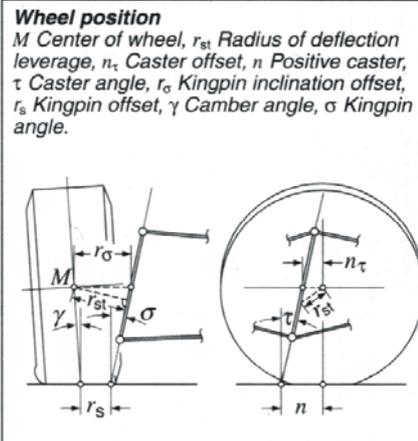


Le pinçage

- Le pinçage est un défaut de parallélisme des roues
 - Si la distance est plus faible à l'avant on parle de pinçage
 - Si la distance est plus faible à l'arrière on parle d'ouverture
- La prise de pince est inévitable lors des débattements de la suspension car les biellettes de directions sont fixées d'un côté sur la caisse et de l'autre sur le train roulant et que cette longueur varie.

Géométrie du train roulant

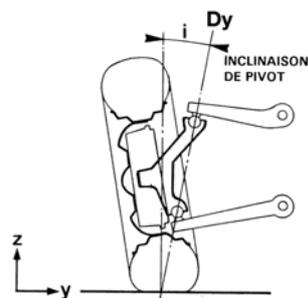
- Angle de carrossage γ :
- Inclinaison du pivot de fusée σ :
- Déport de la fusée r_s :
- Angle de chasse mécanique τ :
- Chasse mécanique n :



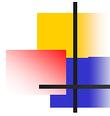
Géométrie du train roulant

INCLINAISON DU PIVOT DE FUSÉE

- Amène le point de percée de l'axe de rotation en braquage à proximité du plan de symétrie de la roue
- Réduit les efforts transmis dans la direction
- Donne de la force de rappel en position de ligne droite proportionnelle au poids



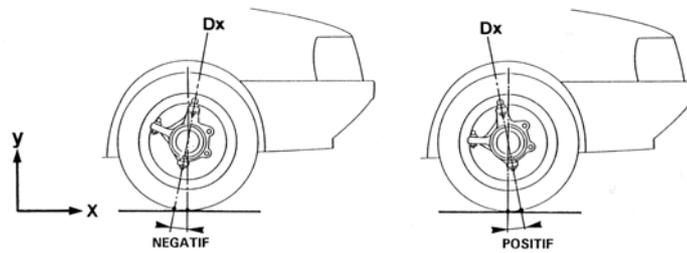
Haconrui Fig 3.7
 L'inclinaison du pivot de fusée



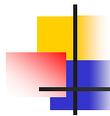
Géométrie du train roulant

ANGLE DE CHASSE

- Les forces latérales sont appliquées au point de percée avec un bras de levier d
- Une chasse positive permet d'accentuer le rappel de la roue en position de ligne droite et donc à augmenter la stabilité. On évite l'enroulement.

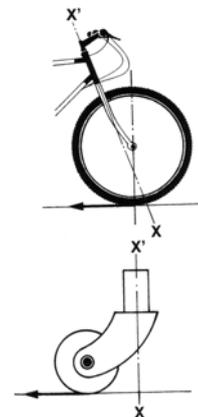


Halconruy Fig. 3.8



Géométrie du train roulant

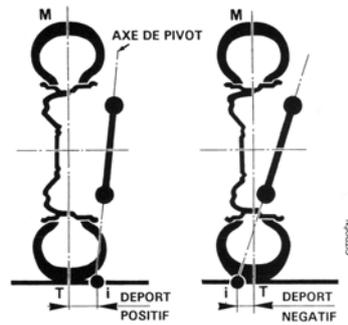
- L'utilisation de la chasse positive a cependant un inconvénient car il entraîne un effort de direction.
- L'important est le gradient d'effort car il indique la position neutre (ligne droite) au conducteur). Une chasse positive contribue à ce gradient sensible.



Halconruy Fig. 3.11 Utilisation de la chasse positive pour la stabilité de la roue

Géométrie du train roulant

- Le **déport** est la distance entre le point de percée du pivot dans le plan de la route et le point de contact de la roue. Le déport est positif si il est à l'intérieur de la roue.
- Lors de choc sur la roue, l'effort est retransmis d'autant plus fortement dans la direction que le déport est important. Ceci plaiderait donc pour un déport nul.
- Toutefois il existe bien des avantages à avoir un déport non nul



Halconruy Fig. 3.9

Géométrie du train roulant

- Le **déport négatif au sol a une influence sur la stabilité au freinage**. Lors d'un freinage sur un sol non homogène, le déport négatif crée un effort de braquage et donc un couple de pivotement des roues qui tend à corriger un moment de lacet lors d'un freinage différentiel sur les roues gauche et droite.
- Le **déport** a également un effet sur le confort.

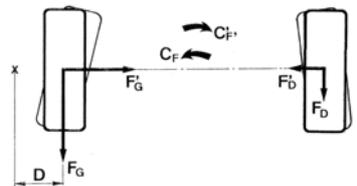
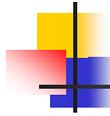


FIG. 3.12 Effet stabilisant du déport négatif.

La figure représente une vue de dessus d'un essieu avant avec un déport (D) négatif. L'adhérence est supposée plus importante côté gauche que côté droit. Les forces de freinage transmissibles sont proportionnelles à l'adhérence disponible (F_G et F_D). La présence d'un déport négatif tend à faire tourner les roues vers la droite (F_G "emporte" sur F_D) ce qui crée un couple C_F qui stabilise le véhicule, s'opposant au couple C_F' généré par la dissymétrie d'adhérence.

Halconruy Fig. 3.12



Géométrie du train roulant

- Le déport est favorable pour réduire les sollicitations en torsion du pneumatique lors d'un braquage. Car le déport permet au pneumatique de rouler légèrement lors qu'il est tourné.
- Avec un déport nul, la torsion du pneu engendre:
 - Une élasticité sensible de la direction
 - Un risque de couplage ripage et la direction
 - Une détérioration du temps de réponse dynamique

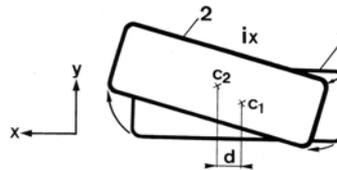
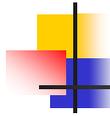


FIG. 3.13 Mouvement au sol d'un pneumatique en cas de déport nul.

L'axe de pivot est supposé vertical pour faciliter la représentation. Il coupe le plan horizontal considéré pour la figure en un point noté I. Si le déport est non nul le braquage de la roue s'accompagne d'un déplacement (d) de celle-ci vers l'avant ou l'arrière : le pneumatique roule sur lui-même lors du braquage.

1. pneumatique avant braquage
 2. pneumatique après braquage
 C1 : centre de la trace du pneu sur le plan de référence avant braquage
 C2 : centre de la trace du pneu sur le plan de référence après braquage

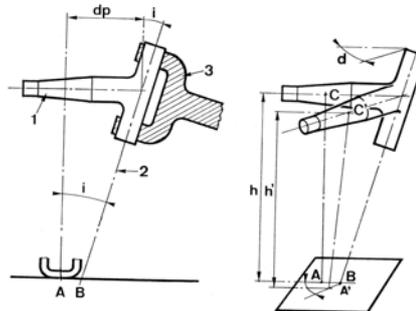
Halconruy Fig. 3.13



Géométrie du train roulant

FIG. 3.14
 Influence de l'inclinaison de pivot sur l'effort de direction.

- 1. axe fusée (axe de roulement de la roue)
- 2. axe pivot
- 3. pivot
- d = angle de braquage,
- h = hauteur du centre de roue avant braquage,
- h' = hauteur cinématique théorique après braquage.

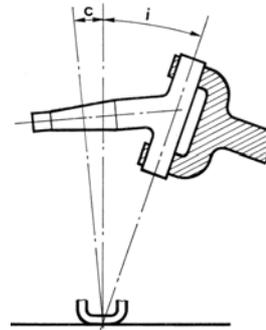


Halconruy Fig. 3.14

- L'inclinaison de l'axe de pivot permet également de créer une force de rappel proportionnelle au poids sur la roue.
- En effet lors de la rotation de la roue, l'extrémité de la fusée tend à rentrer ou sortir du sol, soit à soulever le véhicule. L'angle d'inclinaison du pivot a donc un effet la force de rappel ([rappel gravitaire](#)) en statique et en dynamique

Géométrie du train roulant

- L'angle de chasse implique une prise d'angle de contre carrossage lors des manœuvres
- Les angles de pivot et de carrossage sont indissociables et forment l'angle inclus (=pivot+carrossage). On peut jouer sur l'angle inclus pour optimiser l'épure de suspension

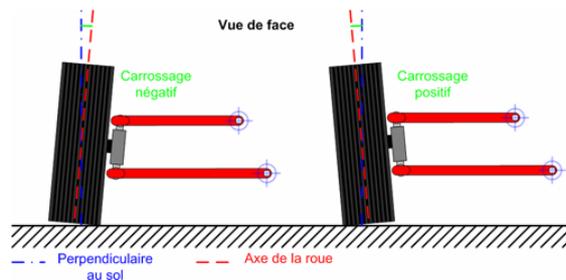


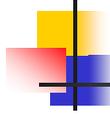
Halconruy Fig. 3.15

Géométrie du train roulant

ANGLE DE CARROSSAGE

- Pour rappel l'angle de carrossage est l'angle du plan de la roue avec l'axe vertical. Le carrossage est positif si la roue penche vers l'extérieur de la voiture



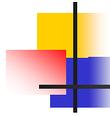


Géométrie du train roulant

- Le carrossage toujours très faible peut être positif ou négatif ou nul.
- Un carrossage exagéré provoquerait :
 - La convergence ou la divergence des roues par roulage sur la génératrice d'un cône.
 - Un braquage intempestif sur chaussée bombée
 - Une usure anormale des pneumatiques

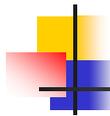


Étude des caractéristiques des essieux



Etude des caractéristiques des essieux

- Les **performances des essieux** dépendent des **mouvements cinématiques entre les roues et le châssis**, car ceux-ci conditionnent les positions des roues par rapport au sol et donc le **fonctionnement des pneumatiques**.
- La position de la roue est connue par une série de paramètres (rappel) : carrossage, pincement, (demi-)voie, empattement, chasse...
- L'objet des **épure cinématiques** est de fournir la variation de ces paramètres de roues en fonction du débattement vertical des roues.
- On distingue: **épure cinématiques** et **épure élastocinématiques**.

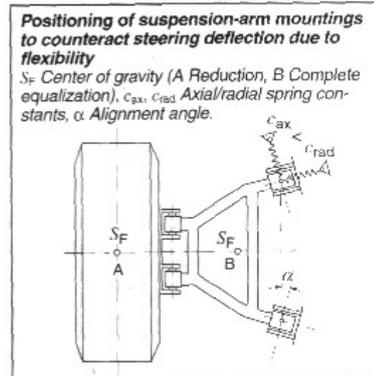
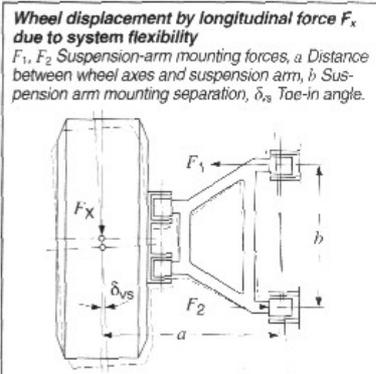


Cinématique et élastocinématique

- **La cinématique**, ou « wheel travel » selon la DIN, ou encore géométrie des essieux, décrit les mouvements des roues induits lors des débattements verticaux de la suspension et le braquage de la direction. On ne prend en compte que les dimensions des liens entre les organes et la position géométrique dans l'espace.
- **L'élasto-cinématique** se définit comme l'altération des positions de la roue causée par les forces et moments engendrés entre le pneu et la route ou bien par les mouvements longitudinaux de la roue destinés à lutter contre les changements de géométrie due à la souplesse des points d'ancrage de l'essieu. On intègre en plus de la cinématique la notion d'efforts dynamiques qui s'appliquent au véhicule.

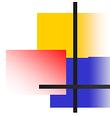
Cinématique et élastocinématique

■ L'élasto-cinématique



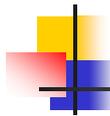
Etude des caractéristiques des essieux

- Techniques modernes d'analyse des caractéristiques des essieux:
 - Appareils de mesure permettant des relevés précis de la variation des paramètres en fonction du débattement
 - Logiciels d'analyse cinématique et dynamique des systèmes multicorps
- Ne dispensent pas l'ingénieur de connaissances sur les fondements géométriques
 - Basés sur l'applications des principes de géométrie plane et spatiale
 - Connaître un certain nombre de règles de base pour donner lieu à un avant projet de bonne qualité
 - Prédire des modifications qui vont dans le sens escompté.



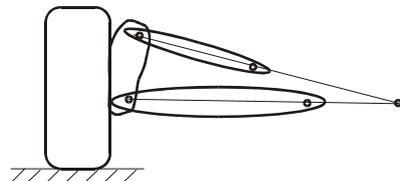
Etude des caractéristiques des essieux

- Etude de la géométrie des essieux dans deux plans:
 - Plan frontal pour le guidage transversal
 - Plan de côté pour le guidage longitudinal
- Pour déterminer les épures, l'approche repose sur la détermination, d'un point essentiel: le centre de roulis (CRo), qui est le centre instantané de rotation du châssis par rapport au sol (point CS)
- Pour déterminer le centre de roulis, il faut préalablement déterminer le centre instantané de rotation de la roue par rapport au châssis (point RC)



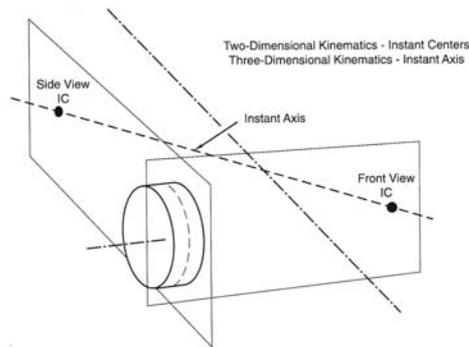
Étude des caractéristiques des essieux

- La notion de centre instantané de rotation (CIR) est très utile pour déterminer les paramètres de suspension
- Tout se passe comme si à un instant donné le CIR était le pivot d'une liaison rigide
- On peut remplacer le mécanisme de suspension par une barre rigide pivotant autour du CIR
- Lorsque le mécanisme bouge, le CIR bouge également!



Étude des caractéristiques des essieux

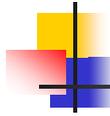
- Notion de centre instantané de rotation intrinsèquement bidimensionnelle.
- Pour les problèmes 3D, on peut se ramener à des problèmes plans en projetant sur des plans de projection passant par le centre de la roue: vue de face ou de côté.



Milliken Fig 17.6 : CI dans le plan de face et latéral

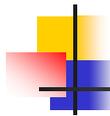
Étude des caractéristiques des essieux

- Dans le **plan frontal**, le CIR donne une information sur:
 - Le taux de changement de carrossage
 - Une information partielle du centre de roulis
 - Le mouvement de ripage des roues
 - Le changement du carrossage et de l'inclinaison de la fusée
- Dans le **plan de côté**, le CIR définit :
 - Le trajet de la roue vers l'avant ou l'arrière
 - Les propriétés de tangage: anti plongée et anti cabrage
 - Le changement de chasse mécanique
- Dans la **vue du dessus**
 - Peu d'infos puisque perpendiculaire à la trajectoire
 - Taux de braquage des roues



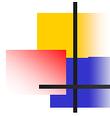
Étude des caractéristiques des essieux

- En 3D, la notion de CIR est remplacée par la notion d'axe instantané de rotation.
- Cet axe passe par les CIR dans les différentes vues
- L'axe instantané = axe autour duquel le porte roue pivote par rapport au châssis
- Les suspensions indépendantes ont 1 axe instantané tandis que les suspensions à essieu rigide ont 2 axes instantanées, un pour le bond et le rebond, l'autre pour le roulis.
- Ces axes bougent avec la hauteur de la suspension



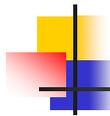
Le centre de roulis

- Au sens cinématique, le centre de roulis est le centre instantané de rotation du châssis par rapport à la route
 - Le centre de roulis est donc le point au centre du véhicule (vu dans le plan frontal) et au centre de l'axe (vu dans le plan latéral) autour duquel le châssis tourne sous l'action de forces latérales.
- Selon la norme DIN 70 000 (définition statique),
 - *le Centre de Roulis (CRo) est le point du plan vertical passant par le centre des roues tel qu'une force latérale appliquée au châssis en ce point ne produit pas de roulis de la caisse.*
- C'est également le point auquel les forces de réactions latérales sont absorbées entre les essieux et le châssis.



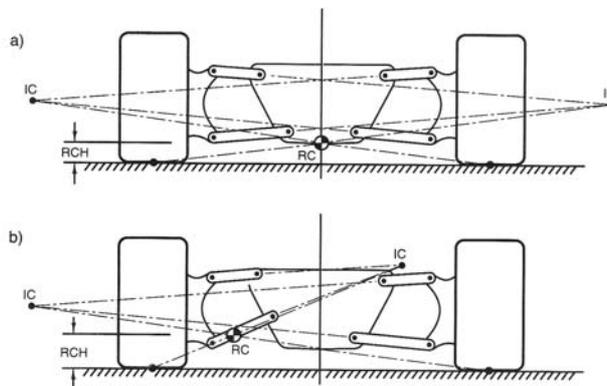
Le centre de roulis

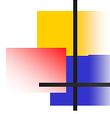
- Comment calculer / déterminer le centre de roulis ?
 - En utilisant la méthode des centres instantanés de rotation et le théorème de Kennedy
 - En utilisant le principe des travaux virtuels
 - En utilisant la courbe d'altération de la voie avec la variation de hauteur de caisse



Le centre de roulis

- Calcul du centre de roulis par la méthode des centres instantanés





Étude des caractéristiques des essieux

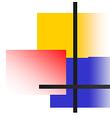
- Pour rappel,
 - dans le plan frontal, la position du CIR est reliée au contrôle des mouvements et des forces dus aux accélérations et forces latérales
 - dans le plan de côté, le CI est relié aux forces et mouvements liés aux accélérations longitudinales



Étude des caractéristiques des essieux

GEOMETRIE DES BRAS DANS LE PLAN FRONTAL

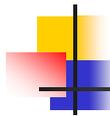
- Dans ce plan, la longueur et la position du CIR contrôle:
 - la hauteur du centre de roulis
 - le taux de changement de carrossage
 - le ripage latéral du pneu
- Le CIR peut être
 - extérieur ou intérieur à la roue
 - au dessus ou en dessous du sol
- La localisation du CIR est à déterminer en fonction des performances demandées



Étude des caractéristiques des essieux

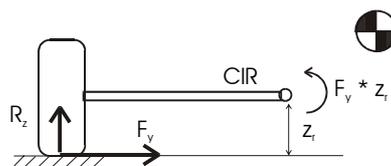
HAUTEUR DU CENTRE DE ROULIS

- La hauteur du centre de roulis est contrôlée par la hauteur du CIR de la suspension
- Si le centre de roulis est haut et plus proche du CG, on aura un plus faible moment de roulis sous l'action de forces centrifuges par exemple et donc moins d'effort dans les ressorts.
Au contraire, un centre de roulis haut crée un moment de retournement du véhicule très important.
Conclusion: compromis à trouver!



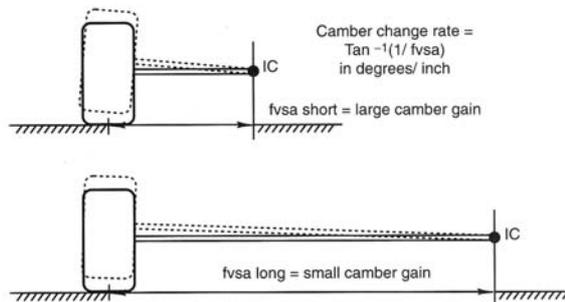
Étude des caractéristiques des essieux

- La hauteur du centre de roulis influence également le couplage horizontal – vertical (phénomène de jacking)
 - Si le centre de roulis est au dessus du sol, les forces latérales des pneus produisent un moment autour du CIR de la suspension qui tend à soulever la voiture
 - Pour éliminer le phénomène, il faut un centre de roulis au niveau du sol.
 - Un centre de roulis sous le sol crée un effet qui tend à faire descendre le châssis vers le sol.



Étude des caractéristiques des essieux

- Taux de changement de carrossage
 - Fonction de la longueur du bras de levier (fonction view swing arm)
 - Taux de changement de carrossage = $\text{tg}^{-1}(1/fvsa)$
 - Si le bras de levier augmente le taux de changement diminue

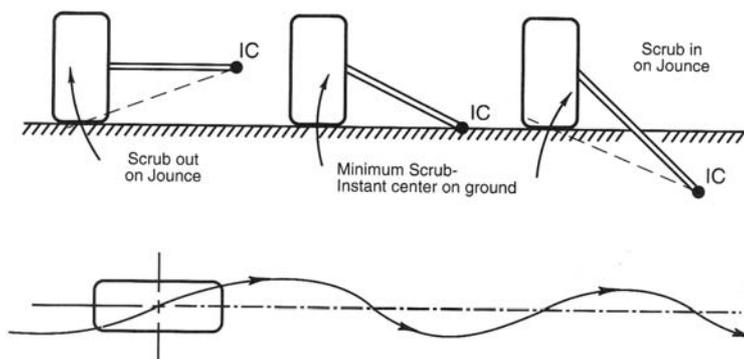


Miliken
Fig. 17.9

Étude des caractéristiques des essieux

- Le ripage latéral
 - Le ripage est une fonction de la longueur absolue et relative des bras de leviers et de la position du CIR par rapport au sol.
 - Lorsque le CIR n'est pas sur le sol, le ripage est augmenté.
 - Lorsque le CIR est au dessus du sol, le pneu bouge vers l'extérieur en montant.
 - Le ripage fait que la trajectoire du pneu n'est plus une ligne droite lorsqu'il monte et descend.
 - Cela crée donc une vitesse latérale et une modification de l'angle de dérive et donc une variation de force latérale.
 - Cela donne également lieu à une usure du pneu et à un amortissement du mouvement vertical.

Étude des caractéristiques des essieux

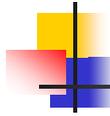


Miliken Fig 17.10: ripage fonction de la hauteur du CI et Fig 17.11: trajectoire de la roue en présence de ripage

Étude des caractéristiques des essieux

GEOMETRIE DES BRAS DANS LE PLAN LATÉRAL

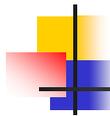
- Les caractéristiques du CIR et des bras oscillants dans le plan latéral contrôlent les mouvements et les forces dans la direction longitudinale.
- Paramètres typiques contrôlés:
 - anti plongée
 - anti cabrage
 - wheel path
- La position du CIR dans le plan latéral est possible devant ou derrière, en dessous ou au dessus du centre de la roue, tant pour les suspensions avant qu'arrière.
En pratique, le CIR est derrière et au dessus pour les roues avant et devant et au dessus pour les roues arrière.



Étude des caractéristiques des essieux

SYSTEMES ANTI PLONGEE ET ANTI CABRAGE

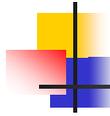
- Ce sont des effets de la suspension décrivant les couplages de forces longitudinales verticales. Ils sont le résultat d'angle et de pente dans la vue latérale.
- Les systèmes « anti » plongée / cabrage ne changent rien aux transferts de charge dans les aires de contact des pneumatiques, mais ils modifient par contre les charges qui passent de la masse non suspendue à la masse suspendue à travers les ressorts.
- Par une géométrie particulière de la suspension, tout l'effort supplémentaire dû au transfert de charge est repris par la suspension et nullement par les ressorts. La suspension ne fléchit pas.



Étude des caractéristiques des essieux

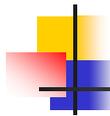
SYSTEMES ANTI PLONGEE ET ANTI CABRAGE

- Les géométries ne réalisent que partiellement cette conditions de sorte que l'on donne souvent un pourcentage d'anti-plongé ou d'anti-cabrage
- Le fonctionnement d'un système anti-plongée / anti-cabrage dépend de l'existence d'une force longitudinale pour créer une force verticale.



Epures cinématiques

- La première épure concerne la variation de demi voie en fonction du débattement des roues.
- Définition: La demi voie est la distance au sol entre le plan médian du châssis et le plan médian de la roue
 - Ce n'est pas la moitié de la voie!
 - Un essieu rigide peut avoir une variation de demi voie!
- La variation de demi voie permet de rendre compte du ripage de l'essieu ou du pneu par rapport au châssis



Epures cinématiques

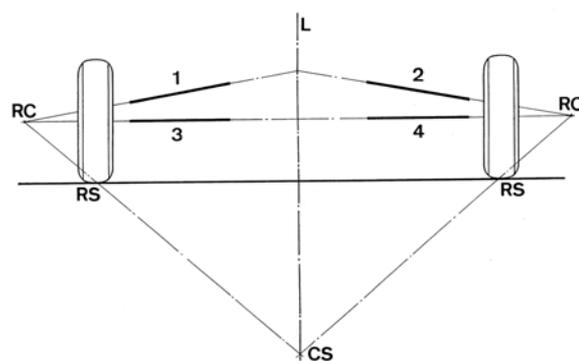


FIG. 3.17

Construction du centre instantané de roulis (CS).

(L) plan médian du véhicule.

1,2 : bras de suspension supérieur (gauche/droit).

3,4 : bras de suspension inférieur (gauche/droit).

T. Halconruy Fig 3.17: CIR entre le châssis et la roue CR, entre la roue et le sol (RS), entre le châssis et le sol (CS)

Epures cinématiques

- En roulis pur,
 - la variation de demi voie dépend de la hauteur du CIR de la roue par rapport au châssis (CS) et elle s'inverse lorsque le CS passe en dessous du sol.
- En pompage pur,
 - la variation de demi voie est proportionnelle au produit entre la variation d'altitude du centre de roue et à la tangente de l'angle de sommet RS et compris entre les segments (RS,RC) et (RS,H) où H est la projection de RC sur le sol.
 - La variation est d'autant plus faible que RC est loin de RS et que RC est proche du sol.
- En pompage comme en roulis, la variation de demi voie est nulle sur CS est au sol (et donc RC aussi)

Epures cinématiques

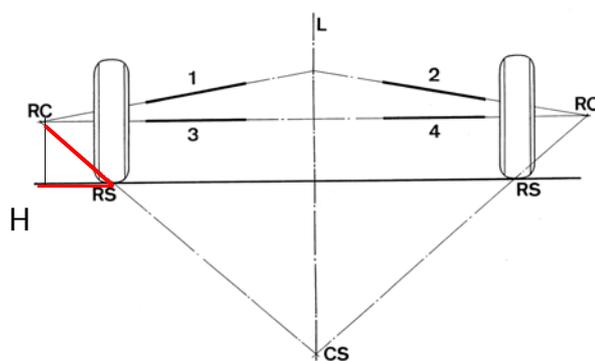
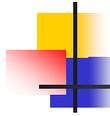


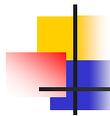
FIG. 3.17
Construction du centre instantané de roulis (cs).
(L) plan médian du véhicule.
1,2 : bras de suspension supérieur (gauche/droit).
3,4 : bras de suspension inférieur (gauche/droit).

T. Halconrui Fig 3.17: CIR entre le châssis et la roue CR, entre la roue et le sol (RS), entre le châssis et le sol (CS)



Epures cinématiques

- Le deuxième type d'épure caractéristiques de la cinématique des essieux concerne les variations de carrossage en fonction du débattement des roues.
- En pompage,
 - La variation de carrossage est inversement proportionnelle à la distance entre RS et H.
 - Plus RC est éloigné de RS en transversal, plus la variation de carrossage sera faible en pompage
- En roulis,
 - Il faut calculer l'inclinaison de la caisse en roulis (qui induit une variation de carrossage égale à l'angle de roulis) et l'effet du déplacement relatif de la roue par rapport au châssis.
 - La variation de carrossage liée au déplacement de la roue se calcule comme en pompage



Epures cinématiques

- En roulis, on obtient une loi semblable à celle représentée à la figure à droite.
- V = voie au sol de l'essieu et y la position par rapport à la roue
- Zone A: RC se trouve à une distance supérieure à V de la roue et du même côté du plan médian du véhicule que la roue
- Zone B: RC se trouve entre le plan médian et la roue
- Zone C: RC est du côté opposé de celui du plan médian par rapport à la roue

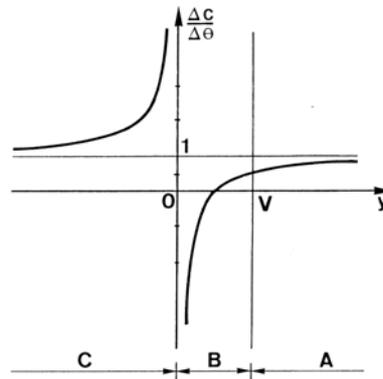
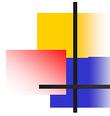
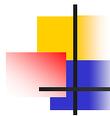


FIG. 3.18 Variation de carrossage rapporté à l'angle de roulis en fonction de la position du centre instantané de rotation de la roue par rapport au châssis (RC).



Epures cinématiques

- La troisième épure représente la **variation de pincement et d'ouverture de la roue en fonction du débattements**.
- Les variations sont directement liées à la disposition des éléments de liaisons entre la roue et le châssis. Dans le cas où il y a un dispositif de direction sur l'essieu, l'absence de braquage ne peut être réalisé que s'il y a compatibilité entre la trajectoire imposée par la cinématique de de l'essieu et celle de la timonerie de direction.
- En pratique une compatibilité complète n'est pas toujours souhaitable, car on recherche souvent à provoquer des variations de pincement ou d'ouverture pour maîtriser le comportement dynamique du véhicule à l'aide **braquages induits**.



Epures cinématiques

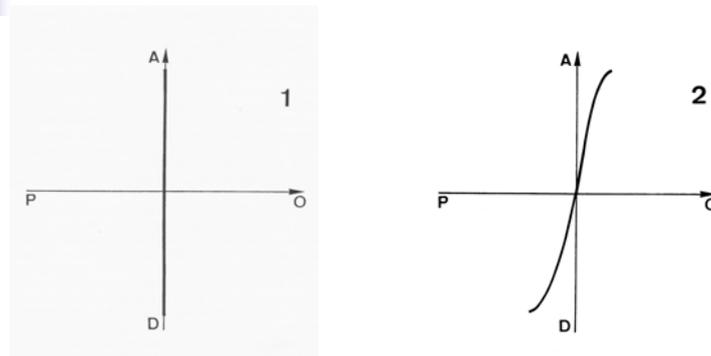
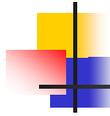


FIG. 3.19
Épures cinématiques de variation
de parallélisme en débattement vertical.

1. épure cinématiquement compatible
2. épure débraqueuse en débattement

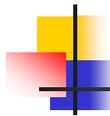
O = ouverture
P = pincement
A = attaque
D = détente.

Halconruy Fig 3.19
Epure de variation de pince



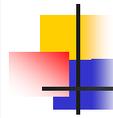
Epures cinématiques

- Compatibilité parfaite entre la direction et l'essieu:
 - Train avant incisif
 - Pas favorable à la tenue de cap en conditions dynamiques sur route bosselée. Sur les bosses, la suspension est comprimée, la charge verticale augmente et on a augmentation du pouvoir directeur. Si on a une route asymétrique, cela provoque une poussée différente à gauche et à droite.
- Introduction de braquages induits:
 - On introduit des braquages induits afin de compenser le surcroît de pouvoir directeur du pneumatique ayant la charge verticale la plus élevée.
 - Sur la figure, épure « débraqueuse »: plus on comprime la suspension, plus on donne de l'ouverture (tout en restant orientée dans le sens du volant).



Epures cinématiques

- La quatrième épure consiste à déterminer la variation de cote longitudinale entre le centre de roue et un point de référence sur le châssis. On obtient la variation d'empattement du véhicule.



Épures cinématiques

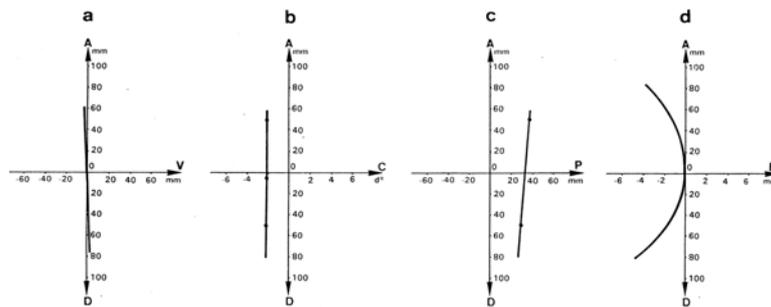
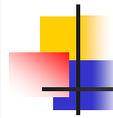


FIG. 3.20 Épures cinématiques fondamentales d'un essieu.

- a. variation de demi-voie.
- b. variation de carrossage.
- c. variation de parallélisme.
- d. variation d'empattement.



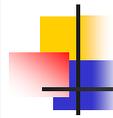
Épures cinématiques

- Pour les trains directeurs, il faut encore ajouter deux épures:
 - Epure de Jeanteau
 - Epure d'angle de braquage.



Epures élastocinématiques

- En cinématique, les liaisons et les membres sont considérés comme rigides.
- En pratique, les composants des essieux sont déformables et ils sont montés sur des joints en caoutchouc pour obtenir un bon filtrage. Sous efforts, ceux-ci engendrent des déplacements non négligeables.
- Le fondement de l'élastocinématique est d'intégrer la déformabilité des membrures et l'élasticité des joints et d'avoir une information sur la position des roues en fonction du débattement des roues et des efforts dynamiques.
- On trace couramment la variation des paramètres lors d'un virage pris dans des conditions déterminées



Epures élastocinématiques

- Exemple de la variation de parallélisme en fonction du débattement
- Roue arrière extérieure au virage
- La cinématique de la roue a tendance à faire prendre de la pince à la roue, ce qui est positif
- Avec les efforts dynamiques, les déformations élastiques conduisent à des effets qui tendent à faire prendre de l'ouverture à la roue, ce qui annule l'effet initial.

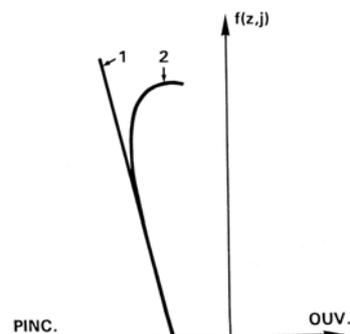


FIG. 3.22 Épure élastocinématique.

Le schéma représente la variation de parallélisme en fonction du débattement : la courbe (1) ne tient pas compte de la déformabilité des différents composants (épure cinématique) alors que la courbe (2) en tient compte (épure élastocinématique).

Halconrui Fig3.22