



## ***Dynamique du véhicule***

---

***Notions pour une course de modèles réduits autonomes***

***Gilles Schaefer***

***Philippe Faul***

***Eric Fenaux***



## Quelques histoires :

---

- Une histoire d'aileron : de l'ordinateur à l'analyse d'essence
- Concentré de matière grise : des pièces de série dans l'enfer vert

## Dynamique du véhicule : définition

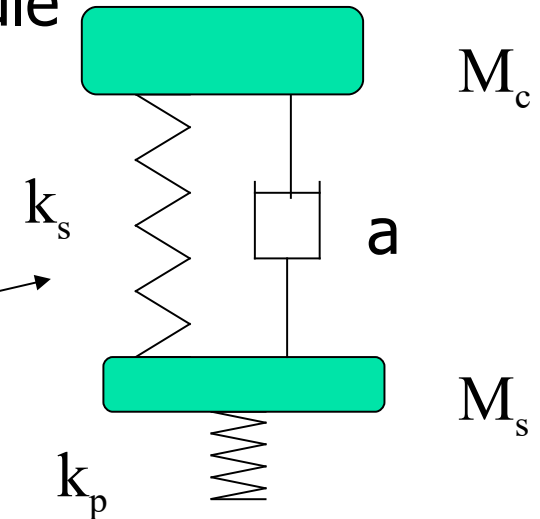
- C'est l'étude de l'accélération dans toutes les directions



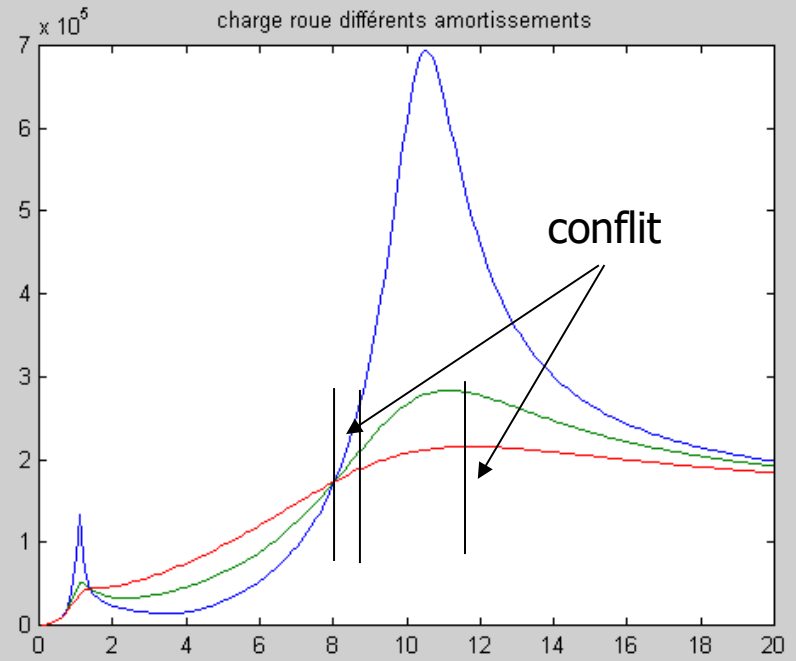
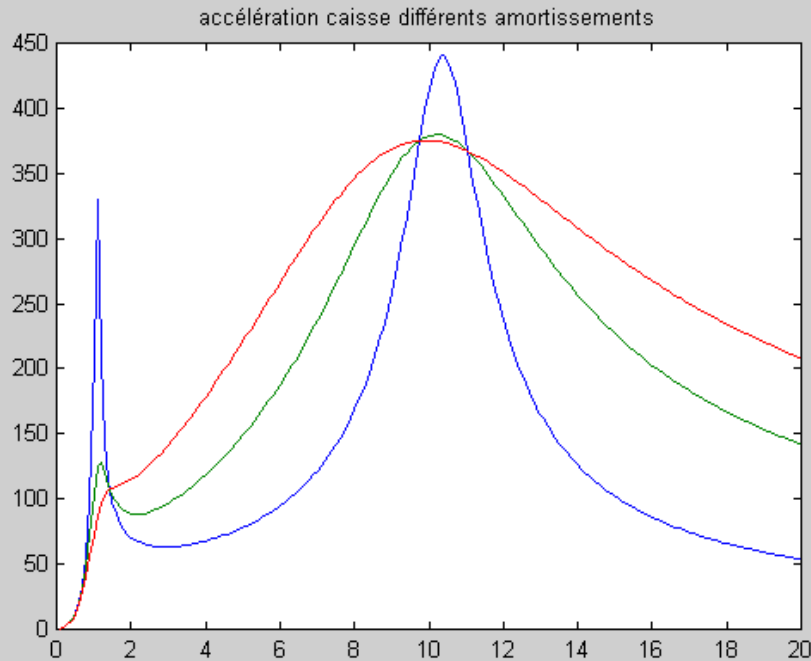
- $a_x$ ,  $a_y$  et  $\Psi''$  définissent la trajectoire
- $A_z$ ,  $\theta''$  et  $\phi''$  définissent le confort

# Dynamique du véhicule : le problème

- Assurer la meilleure synthèse entre confort et comportement : il faut toujours suivre la trajectoire demandée en isolant les passagers des déformations de la route (à quoi vous fait penser une telle formulation ?)
- Pourquoi est-ce un compromis ? Illustration avec une suspension simplifiée quart de véhicule



## Quart de véhicule : fonction de transfert

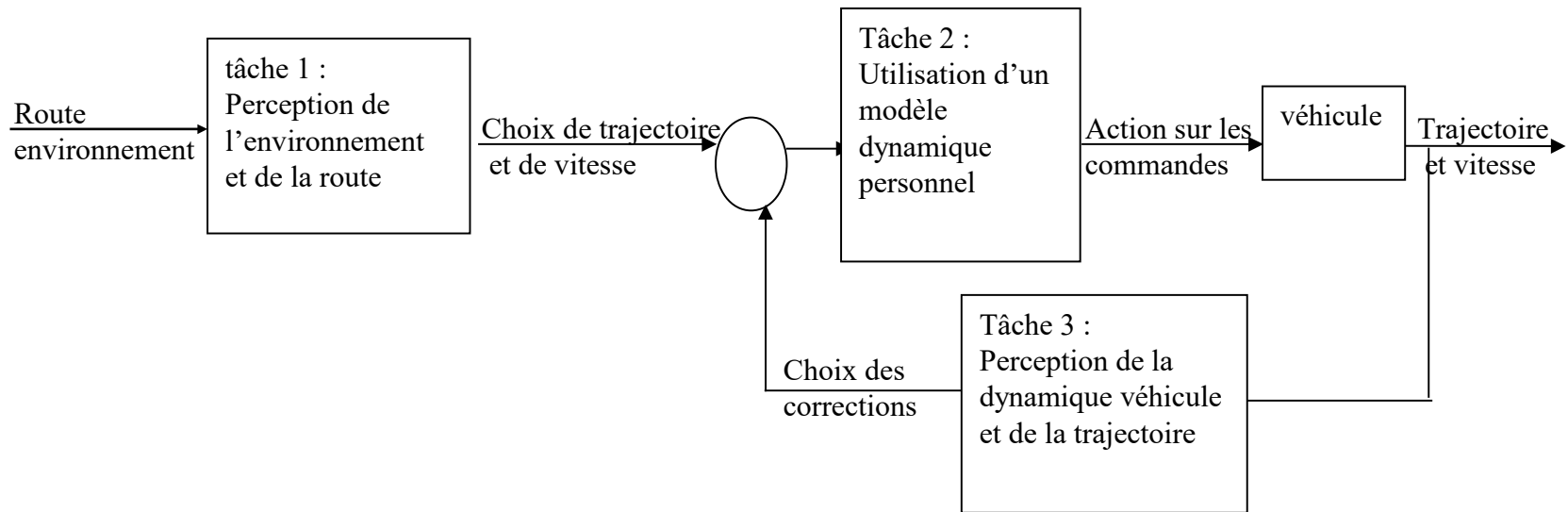


Pour le confort il faut minimiser l'accélération caisse

Pour le comportement il faut minimiser la variation de charge roue (fonctionnement du pneumatique)

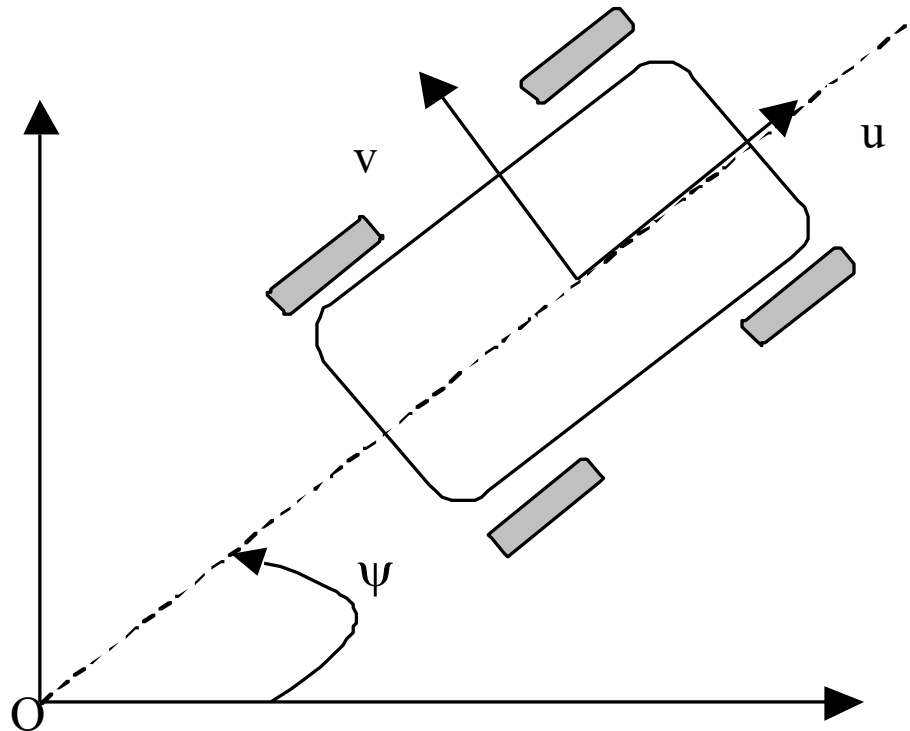
# Suivi de trajectoire : de la conduite à la sécurité active

- Les tâches de conduite



# Définitions

lacet



# Les variables à observer

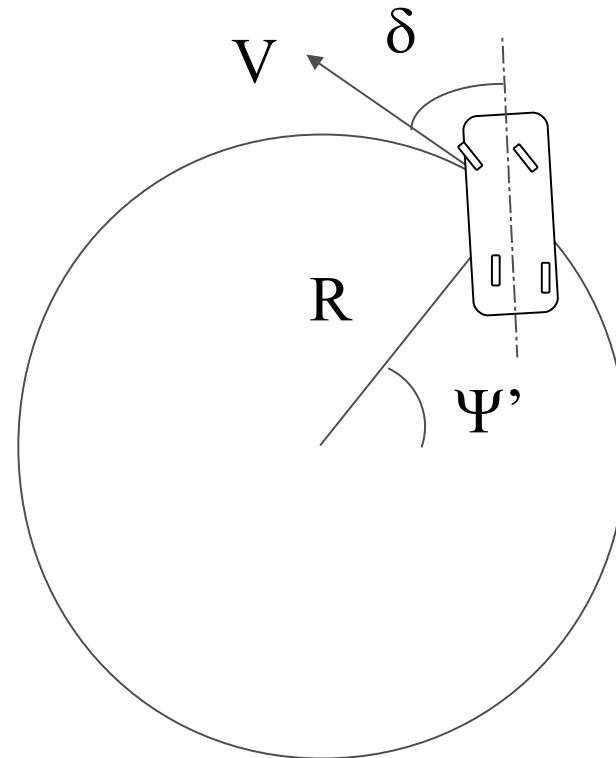
## 1/2 trajectoire

La vitesse de lacet ou l'accélération latérale qui sont liées par

$$R = \frac{V}{\dot{\psi}} = \frac{V^2}{a_y}$$

La dérive est l'angle entre l'axe véhicule et la vitesse. On choisira la dérive arrière qui est indépendante de la vitesse

Comment un conducteur mesure-t-il ces grandeurs ?





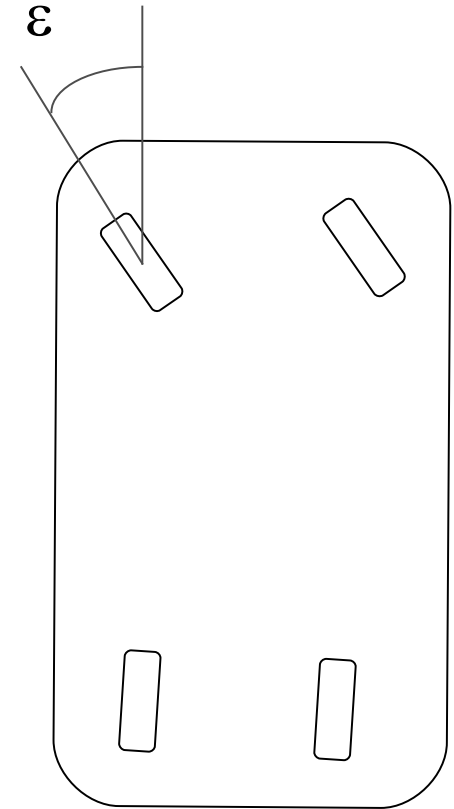
# Les variables à observer

## 2/2 ordre conducteur

L'ordre conducteur l'angle volant. En réalité l'angle des roues soit l'angle volant divisé par la démultiplication pour faciliter les comparaisons d'une voiture à une autre. Les deux données sont importantes suivant que l'on veut comparer

Des effets conducteurs

Des conceptions de liaison au sol





# Comment relier les deux ?

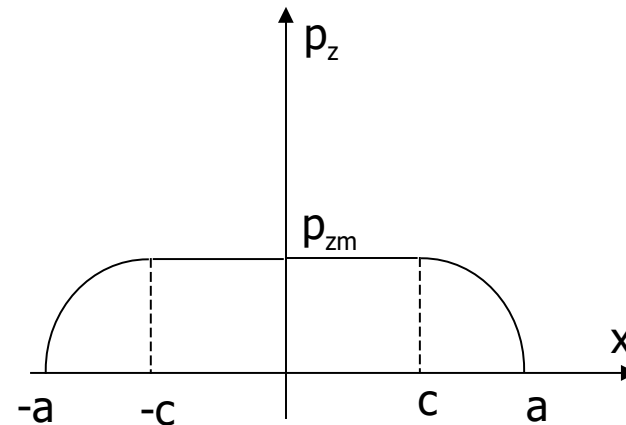
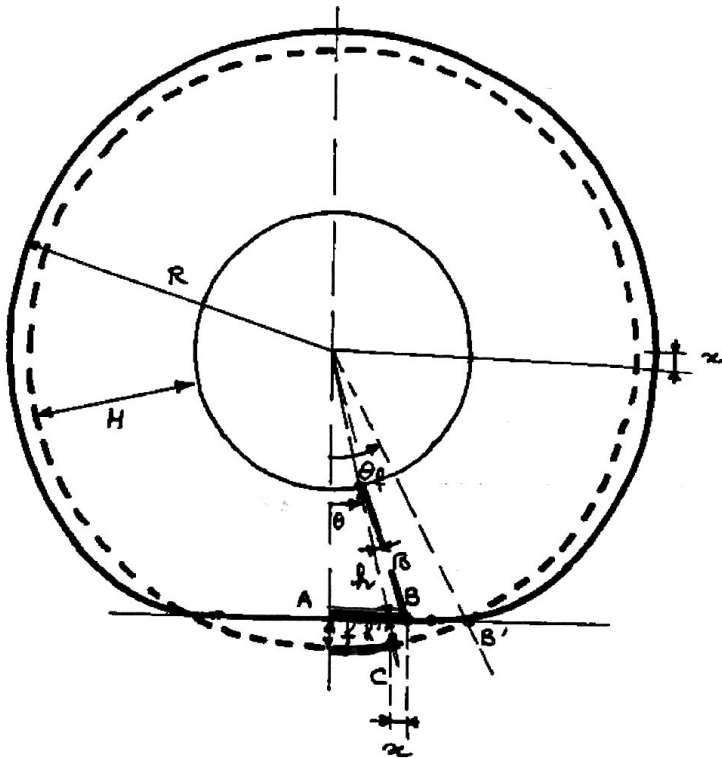
---

Quels sont les éléments qui génèrent TOUS les efforts qui vont permettre à une voiture de tourner, accélérer ou freiner ?

## Le pneumatique : exemple de l'effort latéral

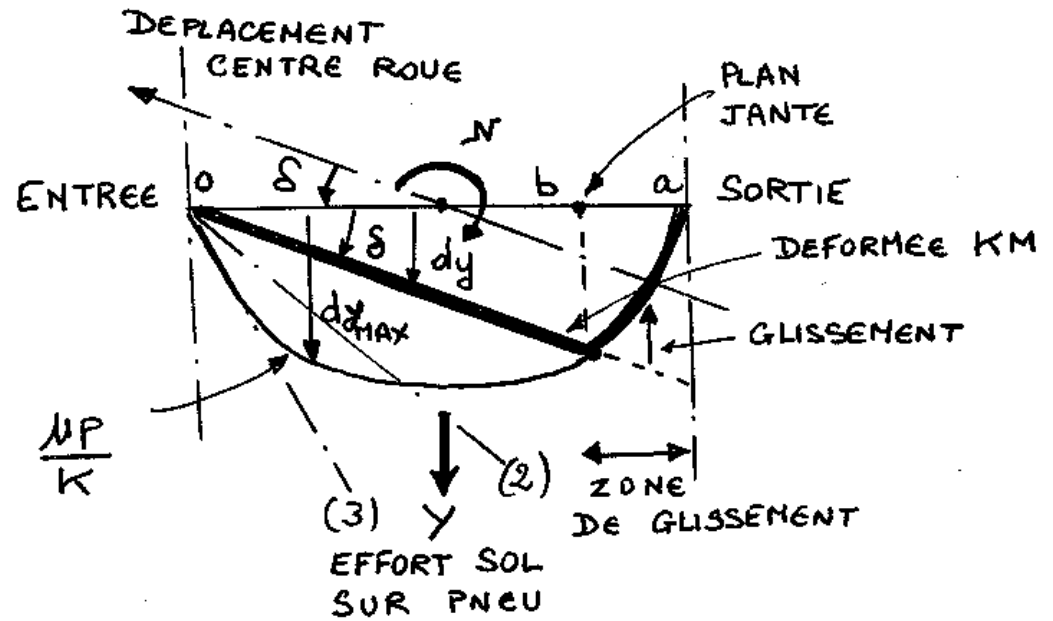
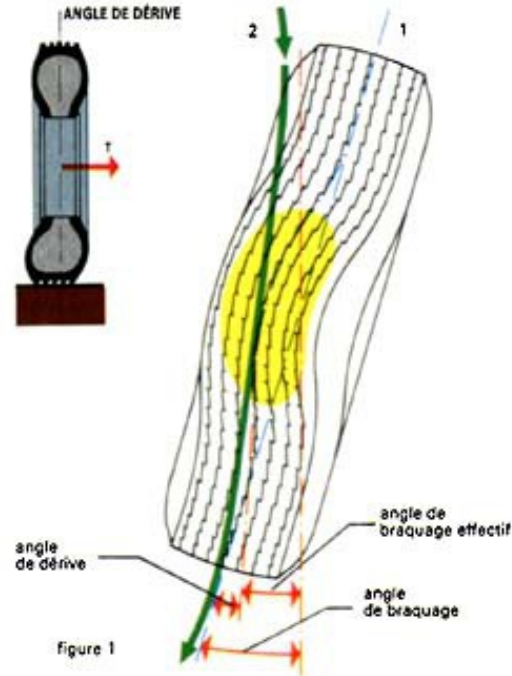
Le pneumatique est assimilé à une poutre linéïque.

L'écrasement donne la distribution des pressions au sol



$$F_z = \int_{-a}^a p_z(x) dx$$

# Le pneumatique : exemple de l'effort latéral



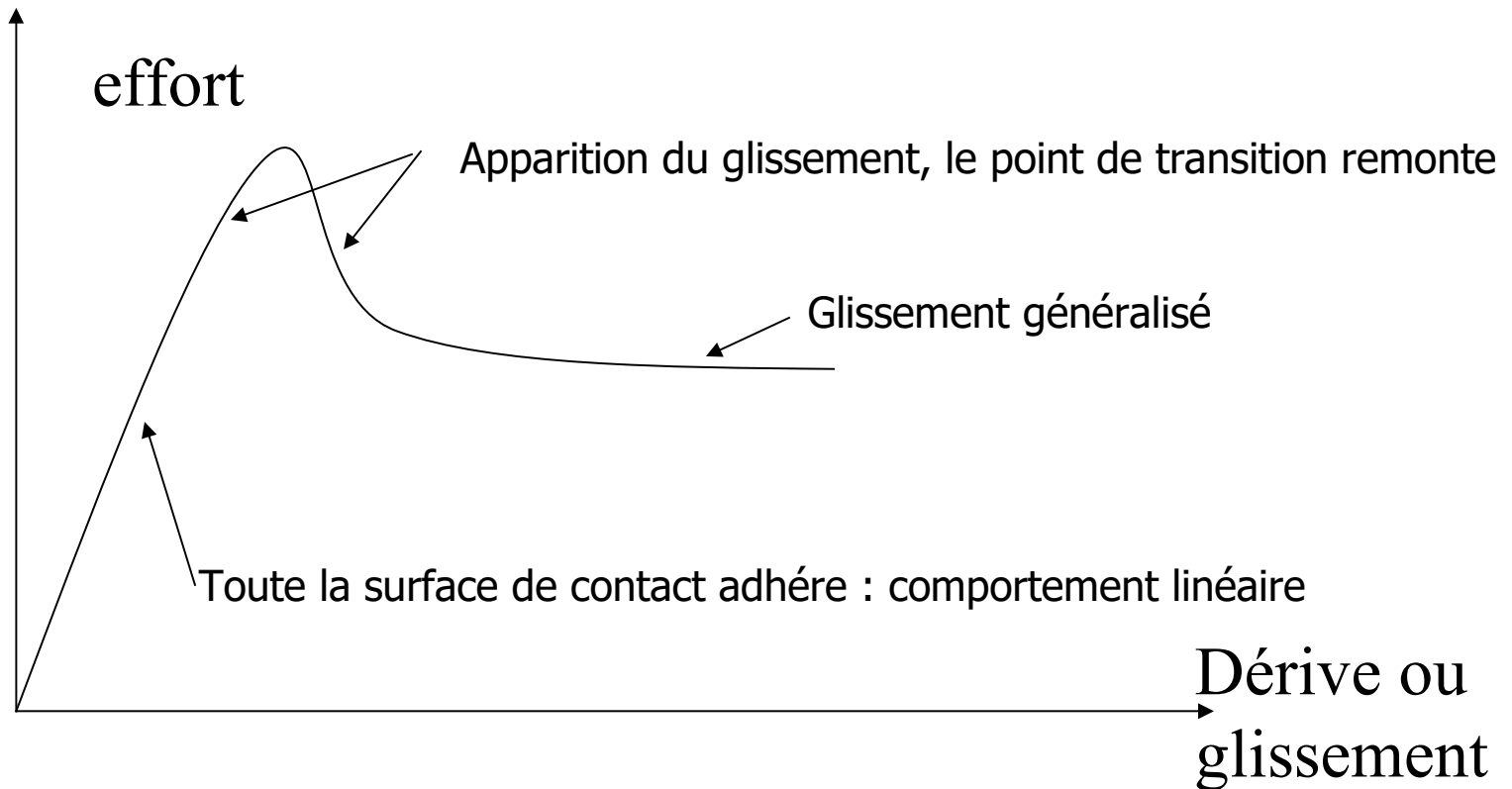
Pour simplifier en latéral on ne prend que l'effet chaîne.

Le point b est juste à l'équilibre tel que  $K\delta(-a+b) = \mu p(x)$

En amont de b  $dF_y(x) = K\delta(-a+x)$ , en aval  $dF_y = \mu p(x)$

$$F_y = \int_{-a}^a dF_y(x) dx$$

## Le pneumatique : exemple de l'effort latéral



$$F = D \sin(C \arctan(Bx - E(Bx - \arctan(Bx))))$$



## Quelle est la limite ?

---

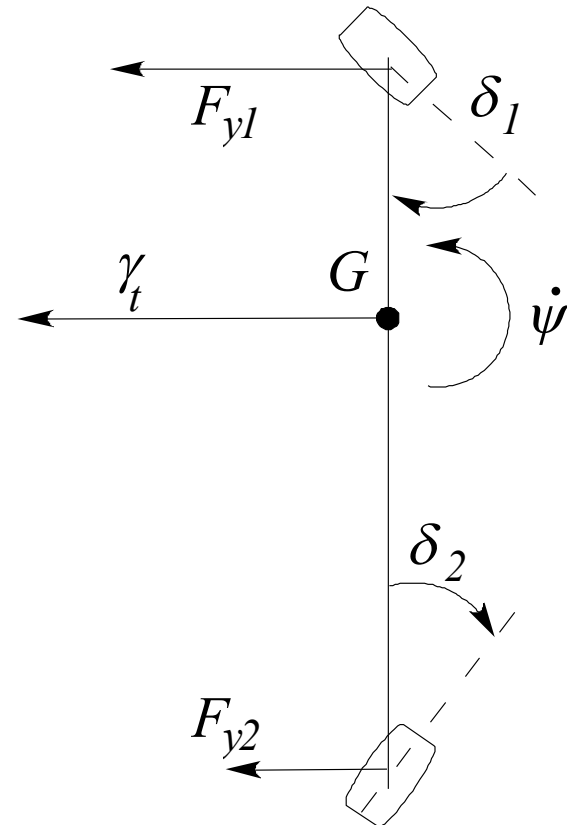
Quelle sera la bonne variable pour savoir si on approche de la limite ?

- Vitesse de lacet
- Accélération latérale
- Dérive

Caractéristique d'un conducteur expert

# Le modèle bicyclette

Les efforts sur les pneumatiques d'un même train sont identiques : un pneu par train au milieu de l'essieu



# l'angle d'Ackermann

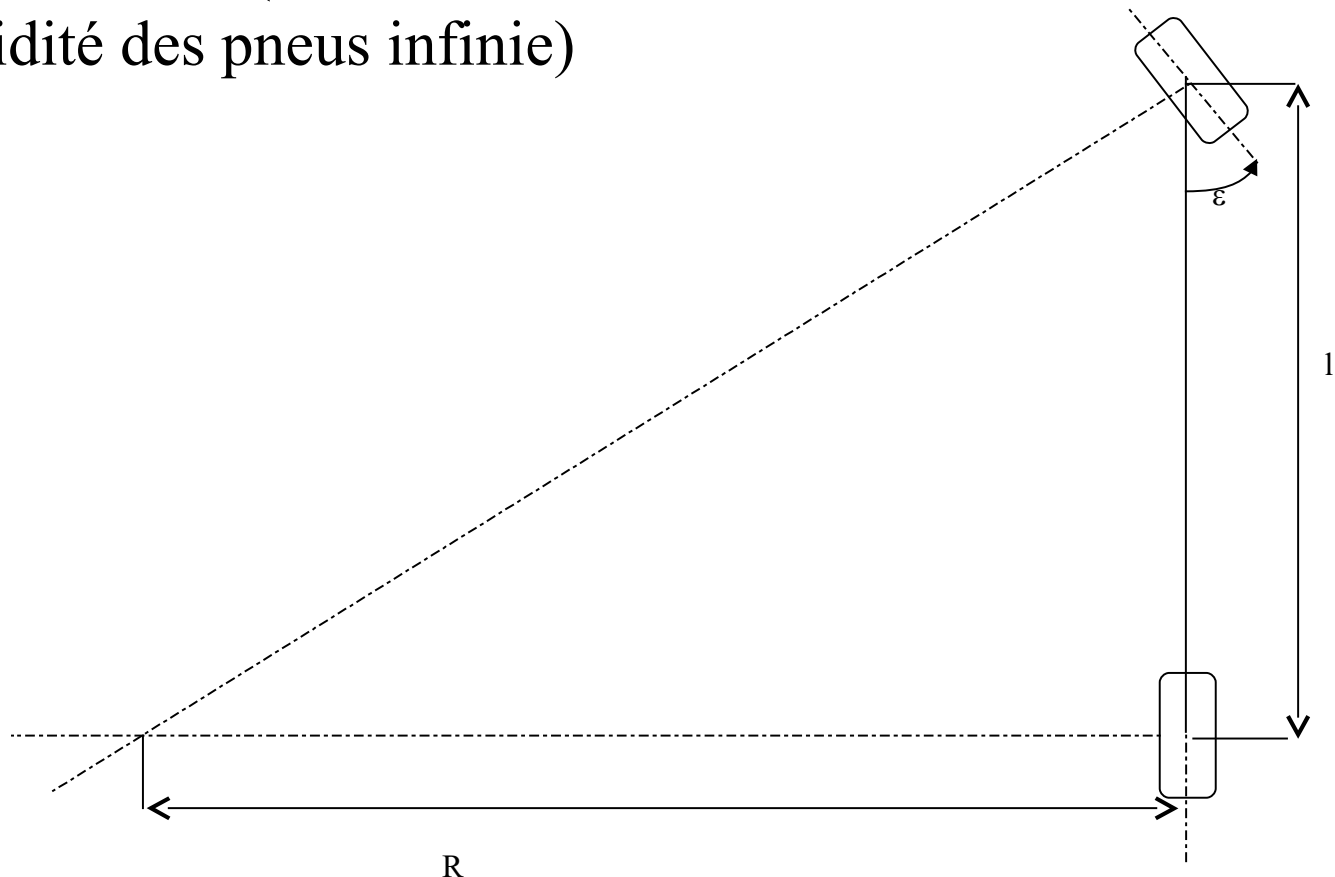
Il n'y a pas de dérive (vitesse nulle ou rigidité des pneus infinie)

$$\varepsilon_a = \frac{l}{R}$$

$$R = \frac{V}{\dot{\psi}} = \frac{V^2}{a_y}$$

$$\varepsilon_a = \frac{l a_y}{V^2}$$

$$\varepsilon_a = \frac{l \dot{\psi}}{V}$$







## L'angle d'Ackermann

---

- Son influence dépend de la méthode de mesure (régime permanent)
  - Constant si le rayon est constant (et  $V$  augmente)
  - Variable si le rayon varie( et l'angle volant augmente) te
- Il est purement géométrique
- Il ne traduit pas un comportement dynamique de la voiture

Il faut le « supprimer » et ne tenir compte que du comportement dynamique



# L'angle de surbraquage

---

2 approches

par le calcul des dérivées

géométrique

# Calcul des dérives

$$V_y = V \sin(\delta)$$

$$= V \delta$$

$$V_{y1} = V \delta + l_1 \dot{\psi}$$

$$\delta + l_1 \frac{\dot{\psi}}{V} \quad \text{Dérive caisse à l'axe avant}$$

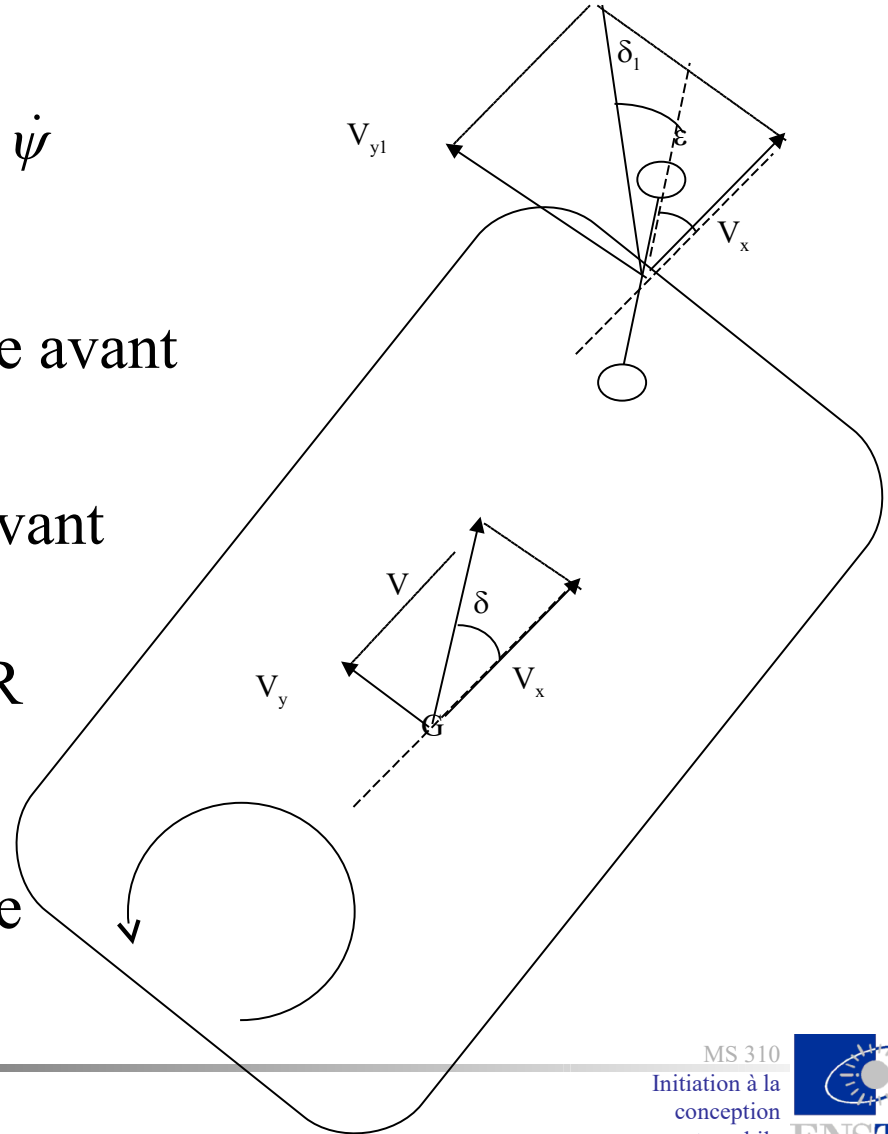
$$\delta_1 = \delta + l_1 \frac{\dot{\psi}}{V} - \varepsilon \quad \text{Dérive pneu avant}$$

$$\delta_2 = \delta - l_2 \frac{\dot{\psi}}{V} \quad \text{Dérive pneu AR}$$

$$\delta_1 - \delta_2 = l \frac{\dot{\psi}}{V} - \varepsilon$$

$$= \varepsilon_a - \varepsilon$$

Surbraquage  
par  
définition



# Angle de surbraquage : vue géométrique

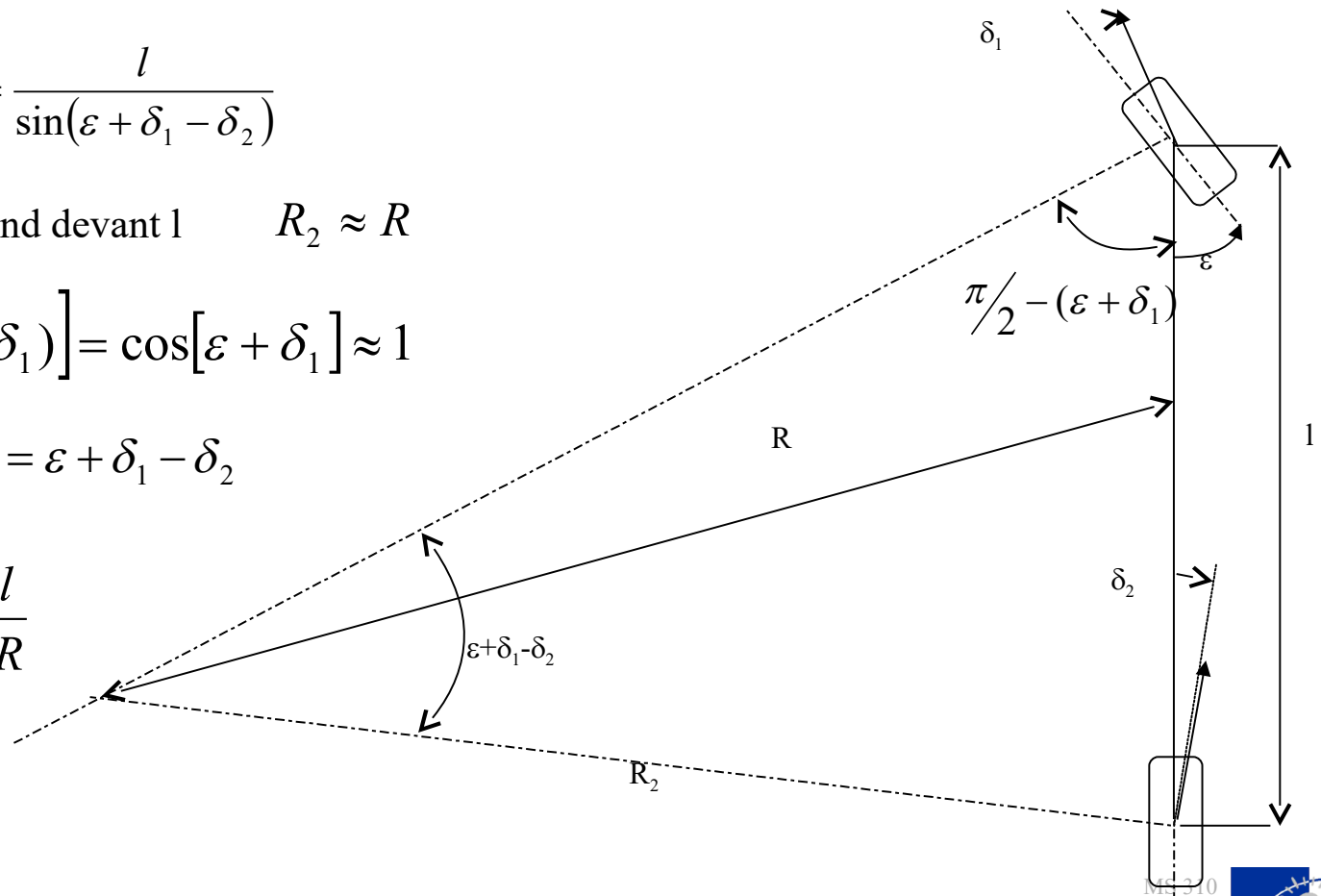
$$\frac{R_2}{\sin\left[\frac{\pi}{2} - (\varepsilon + \delta_1)\right]} = \frac{l}{\sin(\varepsilon + \delta_1 - \delta_2)}$$

Comme R est grand devant l  $R_2 \approx R$

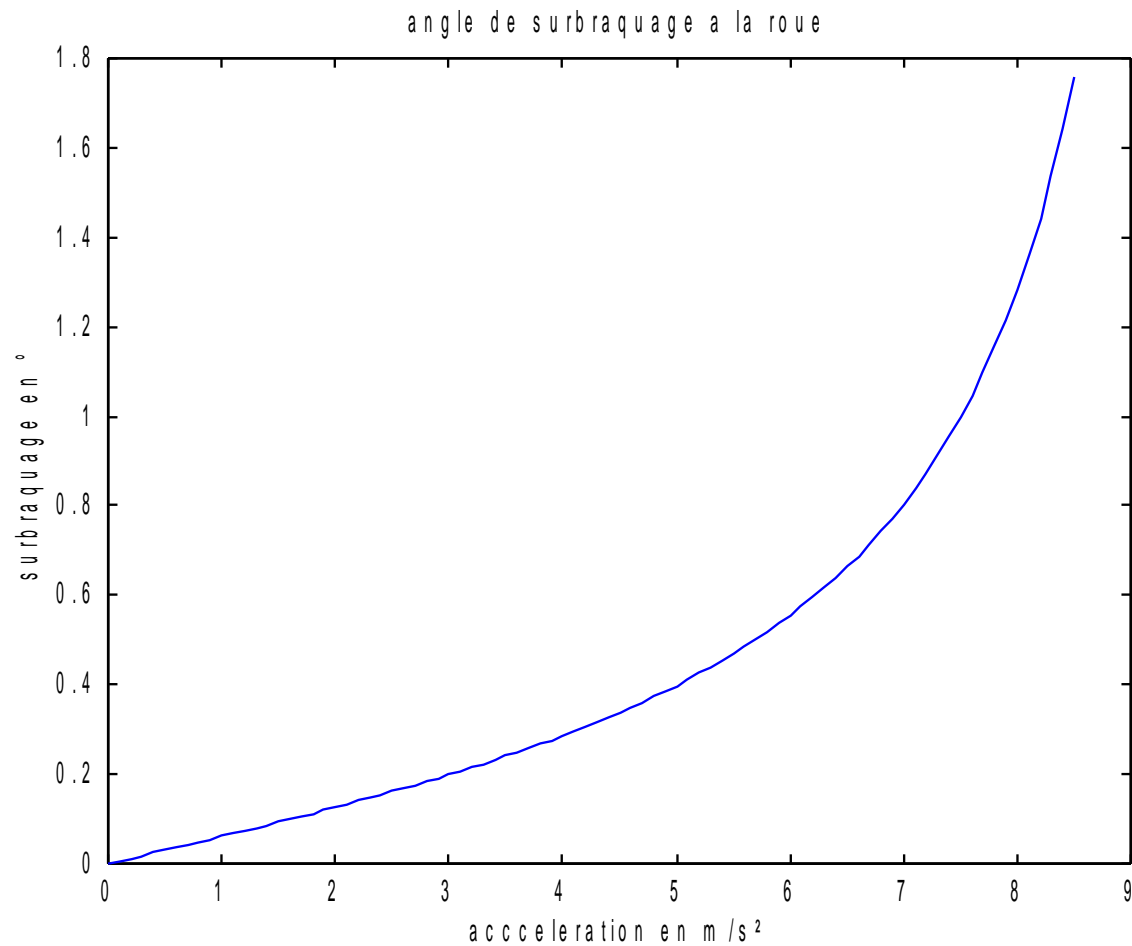
$$\sin\left[\frac{\pi}{2} - (\varepsilon + \delta_1)\right] = \cos[\varepsilon + \delta_1] \approx 1$$

$$\sin(\varepsilon + \delta_1 - \delta_2) = \varepsilon + \delta_1 - \delta_2$$

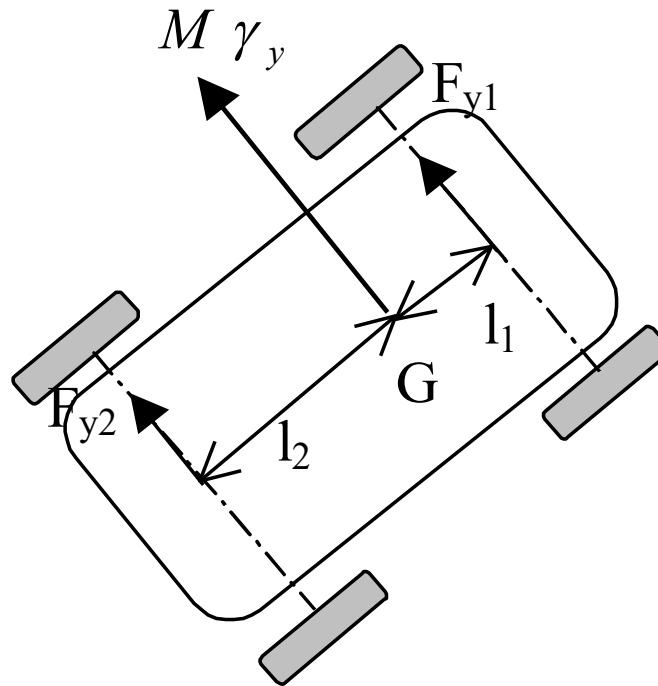
$$\varepsilon + \delta_1 - \delta_2 = \frac{l}{R}$$



# Effet du surbraquage



- Une voiture est sous-vireuse si le surbraquage augmente avec l'accélération transversale
- Une voiture est sur-vireuse si le surbraquage diminue avec l'accélération transversale
- Une voiture est neutre si le surbraquage ne varie pas avec l'accélération transversale



Équilibre en lacet  $l_1 F_{y1} - l_2 F_{y2} = 0$

Accélération transversale  $M a_y = F_{y1} + F_{y2}$

D'où les efforts sur chaque trains  $F_{y1} = M_1 a_y = \frac{l_2}{l} M a_y$

$$F_{y2} = M_2 a_y = \frac{l_1}{l} M a_y$$

Ce qu'il faut retenir : la répartition des effort est imposée par la répartition des masses

En plus avec les pneus

$$F_{y1} = -k_{\delta 1} \delta_1$$

$$F_{y2} = -k_{\delta 2} \delta_2$$





## Variation avec la vitesse

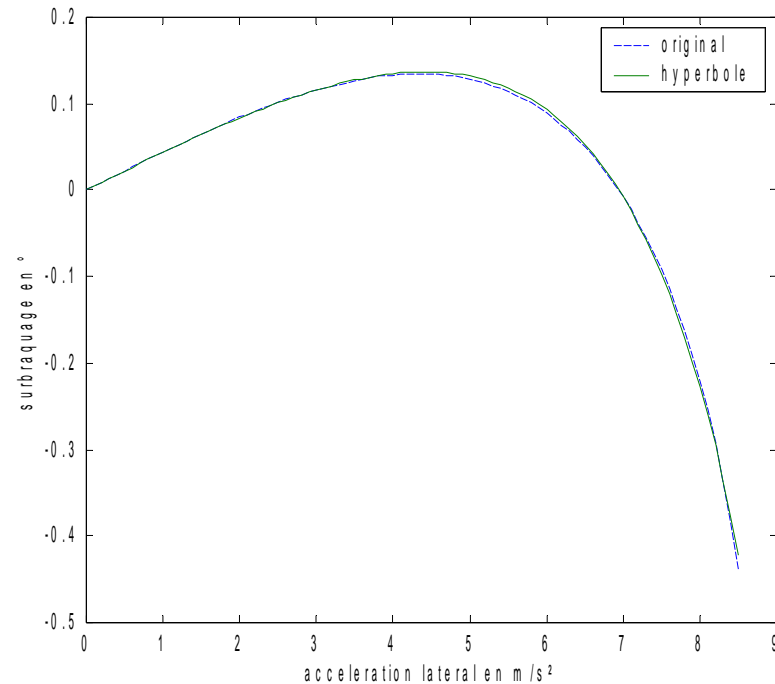
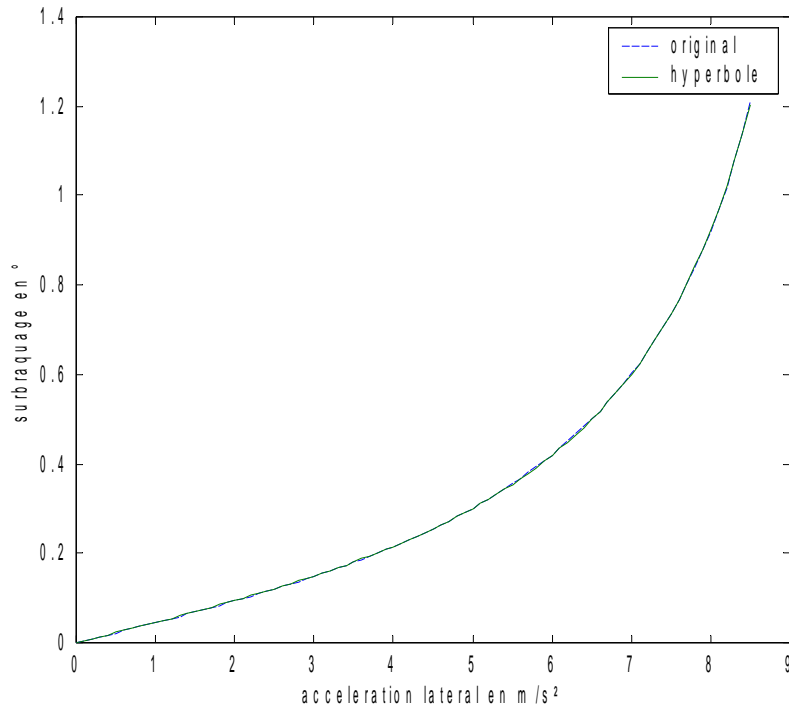
---

La dérive arrière ne dépend que de l'accélération transversale

Le surbraquage ne dépend que de l'accélération transversale

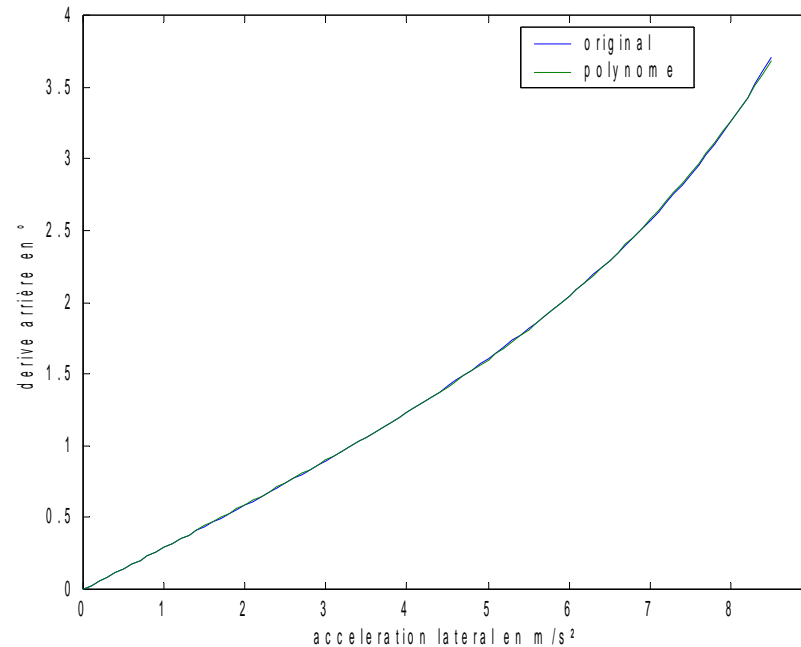
L'angle volant pour obtenir la dérive avant varie en fonction de la vitesse, cette dépendance est explicitée avec l'angle d'Ackermann

# Représentation du surbraquage



$$surb(a_y) = \lambda a_y + \frac{\mu}{a_{y\max} - a_y} - \frac{\mu}{a_{y\max} + a_y}$$

# Représentation de la dérive arrière



$$\delta_2(a_y) = a_1 a_y + a_3 a_y^3 + a_5 a_y^5$$



# Quel angle de braquage ?

---

Si on reste dans la partie linéaire, comment calculer l'angle de braquage en fonction de la vitesse  $V$  et de l'accélération latérale  $a_y$



# Choix de la trajectoire

---

Pour un conducteur : (fichier annexe)  
Retenir le type de commande

Pour la performance :

- Quelle est la meilleure trajectoire sur une piste circulaire ?
- A quoi ressemble la trajectoire d'un pilote en courbe ?
- Quelle est la raison de la différence ?



# Recommandations

---

Réussir à obtenir l'angle de braquage désiré

Caractériser la voiture

Réussir à commander le rayon (ou accélération latérale désirée)

- Dans un premier temps en boucle ouverte en régime permanent
- Puis ajouter une boucle de correction

Trajectoire :

- Plus le temps d'accélération est bref plus il faut tourner court
- Commande du type conducteur si le plan est inconnu
- Trajectoire optimale (simulation) si le plan est connu



# Recommandations

---

Lire le rapport de l'année passée

En déduire les actions qui doivent être réalisées en premier

Vous approprier les lois de commandes et l'environnement de simulation puis proposer des améliorations

Il faut connaître « l'état » de votre voiture



# La route est encore longue

---

Avant d'aller sur la route il faudrait

- prouver quand la commande choisie fonctionne et ne fonctionne pas
- Reconnaître à l'avance les situations où elle ne fonctionne pas pour avertir le conducteur
- La rendre compatible avec les interactions volontaires du conducteur
- Reconnaître les situations où le conducteur désire reprendre la main pour interrompre la commande sans le perturber

Et c'est là que sont les vraies difficultés