

Travaux Pratiques – ENERGETIQUE DIRECTION ASSISTEE ELECTRIQUE



Objectifs du TP

L'activité principale de ce TP consiste à mesurer, identifier et vérifier les caractéristiques dynamiques du système de direction assistée électrique afin de caractériser l'architecture optimale au regard d'un critère d'efficacité énergétique.

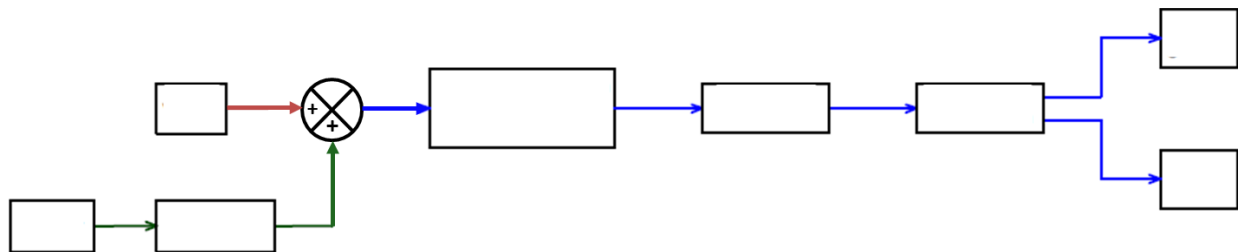
1 – Présentation du système de direction assistée électrique



Lorsqu'une voiture TWINGO roule à une vitesse supérieure à 70 km/h, le mécanisme de direction du véhicule est actionné par l'énergie fournie par le conducteur. Par contre, lors de manœuvres de stationnement ou de manœuvres exécutées à faible vitesse, une assistance électrique permet de réduire l'effort exercé sur le volant. La puissance additionnelle amenée par l'assistance est une fonction décroissante de la vitesse du véhicule.

Du point de vue de l'efficacité énergétique, on peut se poser la question de la pertinence de la solution retenue. En effet, les dissipations de puissance dans les composants de la chaîne de transmission mécanique (roue – vis sans fin, pignon – crémaillère et joint de Cardan) peuvent se révéler pénalisantes en termes de consommation de l'énergie électrique issue de la batterie.

Lors d'une manœuvre assistée, la chaîne d'énergie du système de direction du véhicule Twingo peut se décrire à l'aide du schéma fonctionnel suivant :



Remplir le schéma bloc fonctionnel avec les noms des systèmes (voir **DOSSIER TECHNIQUE** et **DOSSIER RESSOURCES**).

Remarque : Il est possible d'utiliser le fichier numérique de la DAE pour visualiser les différentes pièces et leurs mouvements :

- Ouvrir la maquette SolidWorks « DAE_PIECES_MOUVEMENTS » dans le dossier « DAE_SYSTÈME_DE_DIRECTION » (penser à dé-zipper le dossier CAO avant de l'utiliser : « clic droit » sur le dossier zippé puis « Extraire le dossier »).
- Choisir une étude cinématique pendant 4 s et 200 positions en contrôlant la rotation du volant (*Pivot0*) à 25 tr/min.



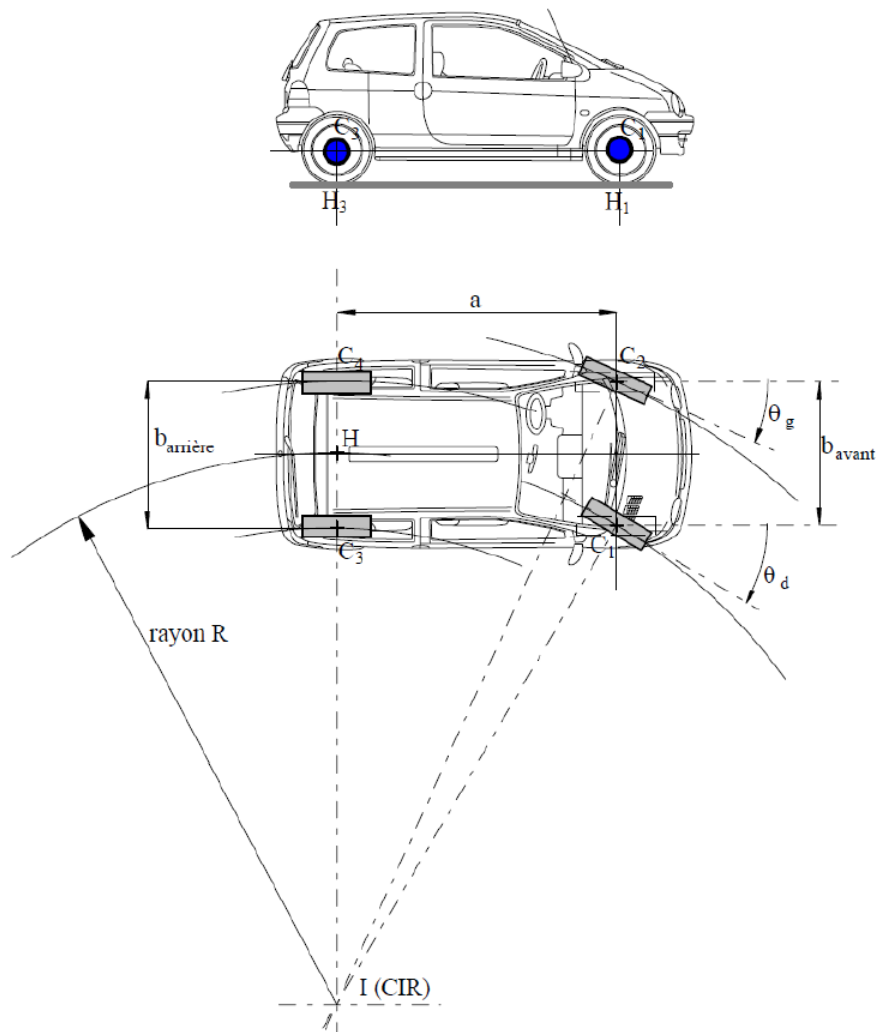
2 – Etude analytique du véhicule en virage

Condition de non glissement des roues par rapport au sol

Afin de limiter l'usure des pneumatiques il faut assurer le non glissement des quatre roues par rapport au sol. Pour cela, le plan de chaque roue doit être orthogonal au rayon issu du centre du virage. Du point de vue géométrique, cette condition implique deux conséquences :

- Les plans des deux roues arrières étant parallèles, le centre I du virage est situé sur l'axe commun (C3, C4) des centres de ces deux roues. Ce point est appelé Centre Instantané de Rotation (CIR) du véhicule.
- Les roues avant ont un angle de braquage différent, fonction du rayon du virage et des dimensions du véhicule.

TWINGO EN SITUATION DE VIRAGE



Caractéristiques dimensionnelles de la Renault Twingo :

- Voie avant : $C_1C_2 = b_{\text{avant}} = 1416 \text{ mm}$
- Empattement : $C_1C_3 = C_2C_4 = a = 2347 \text{ mm}$
- Voie arrière : $C_3C_4 = \text{barrière} = 1374 \text{ mm}$
- Rayon du virage : $IH = R$, avec $HC_3 = HC_4$



En considérant le triangle (IC_2, C_4) , exprimer R en fonction de a , b et θ_g .



En considérant le triangle (I, C_1, C_3) , exprimer θ_d en fonction de a , b et R .

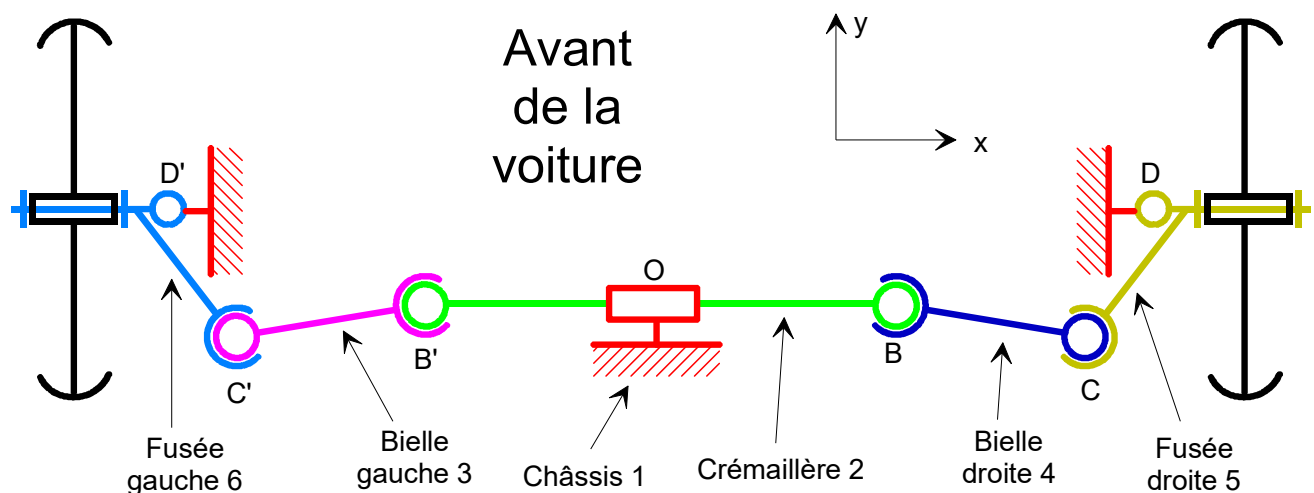


Expliquer les raisons de cette différence d'orientation des roues lors d'un virage.

Modélisation cinématique

Le système est représenté en vue de dessus (l'observateur est au-dessus de la voiture). Le schéma cinématique est adapté du schéma « MODELE CINEMATIQUE DE LA DIRECTION VUE DE DESSUS » du **DOSSIER RESSOURCES**. Les différentes caractéristiques (dimensions, distances, etc...) sont disponibles dans le **DOSSIER RESSOURCES**.

Le pignon qui actionne la crémaillère n'est pas représenté, ni le volant. Seul le mécanisme qui permet de faire braquer un peu plus la roue intérieure est étudié ici.



Le système étudié (voir **DOSSIER TECHNIQUE** et **DOSSIER RESSOURCES**) est constitué :

- De la crémaillère (2) lié au bâti par une liaison glissière d'axe (B, \vec{x})
- De deux biellettes (ou bielles) de direction (3) et (4), liées à la crémaillère (2) par des rotules de centres B et B'
- Des deux fusées (5) et (6), supposées liés au châssis (1) par deux liaisons pivot dont les axes sont définis par la géométrie de la suspension. Les ensembles (5) et (6) font par ailleurs l'objet de liaisons rotules de centres C et C' avec les biellettes.

Remarque : La modélisation plane du mécanisme de direction conduira à supposer que les pivots entre les fusées et le châssis aient pour axes respectifs (D, \vec{z}) et (D', \vec{z}) .



Identifier les classes d'équivalence cinématique du mécanisme de direction assistée électrique.



Réaliser le graphe des liaisons.



Déterminer la relation entre la rotation du volant et celle des roues.



Tracer sous python la courbe obtenue précédemment.

3 – Etude expérimentale du véhicule en virage

Assistance électrique en fonction de la vitesse du véhicule.



Définir et mettre en place un protocole expérimental permettant de mettre en évidence l'assistance variable. Commenter les résultats obtenus.



Définir et mettre en place un protocole expérimental permettant de montrer que cette assistance variable dépend de la vitesse du véhicule. Commenter les résultats obtenus.

Angle de rotation des roues



Réaliser une manipulation permettant d'avoir l'angle de braquage des roues en fonction du temps. Analyser les résultats obtenus.



Déterminer une relation expérimentale entre les angles de rotation de chacune des roues.

Remarque : Il peut être intéressant de regarder les courbes de l'angle de rotation de chacune des roues en fonction de l'angle de rotation du volant.



Analyser qualitativement et quantitativement les résultats obtenus.

4 – Etude numérique du véhicule en virage



Ouvrir la maquette SolidWorks « DAE_ENERGETIQUE » dans le dossier « DAE CAO ENERGETIQUE » (penser à dé-zipper le dossier CAO avant de l'utiliser : « clic droit » sur le dossier zippé puis « Extraire le dossier »).



Réaliser une simulation.



Déterminer et analyser l'évolution temporelle de la rotation des roues droite et gauche (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**).



Déterminer et analyser l'évolution de la rotation des roues droite et gauche en fonction de la rotation du volant (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**).



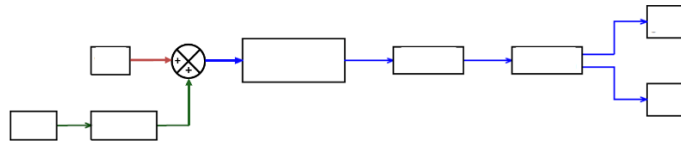
Conclure sur les résultats obtenus numériquement.

5 – Etude des puissances transmises et du rendement global

Analyse énergétique du système de transmission de la direction assistée électrique



Pour chaque bloc du schéma bloc fonctionnel, définir les différentes puissances et rendements.



On note :

- P_V : puissance du couple appliqué au volant
- P_M : puissance mécanique développée par le moteur d'assistance
- P_{Roues} : puissance mécanique des efforts résistants aux braquages des roues
- η_R : rendement du réducteur à roue et vis sans fin
- η_{CM} : rendement de la transmission mécanique directe (colonne de direction, joint de cardan, pignon crémaillère, mécanisme de direction)



Exprimer η_R et η_{CM} en fonction des différentes puissances transmises.



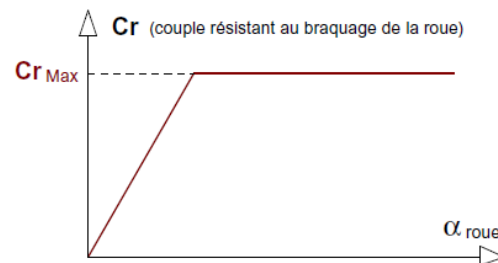
Par une étude énergétique en régime permanent, réaliser un bilan des puissances et définir le rendement global en fonction des différentes puissances.

Evolution du couple résistant en fonction de l'angle de braquage de la roue

A l'amorce d'une manœuvre de braquage des roues, les « pains de gomme » (volume de gomme situé entre la ceinture rigide du pneumatique, la surface latérale de celui-ci, et 2 rainures consécutives de sa sculpture) se déforiment élastiquement sans glisser par rapport au sol. C'est la phase dite de « cisaillement » de la gomme ; la composante tangentielle de l'action mécanique sol→roue augmente alors linéairement en fonction de l'angle de braquage. Le seuil du glissement étant atteint, la composante tangentielle prend une valeur indépendante de l'angle de braquage pour un sol de rugosité constante.



Evolution du couple résistant en fonction de l'angle de braquage de la roue



Afin de reproduire des résistances au braquage des roues réalistes sur le banc d'étude de la D.A.E. Twingo, les concepteurs ont implanté un dispositif de génération d'effort résistant réglable dans chacun des pivots de roue (voir **DOSSIER RESSOURCES** pour les informations sur le limiteur de couple et le dispositif de génération d'effort variable).



Expliquer le fonctionnement du limiteur de couple.



Réaliser une acquisition (voir **DOSSIER RESSOURCES**) permettant d'analyser l'évolution du couple résistant au braquage de la roue gauche (*couple de pivotement roue gauche*).

Remarque : Avant de lancer la mesure, tourner le volant vers la droite jusqu'à la mise en butée, puis revenir légèrement dans le sens gauche (jusqu'à orienter verticalement la traverse du volant) afin de rattraper d'éventuels jeux et d'initialiser les déformations des barres de torsion.



La reproduction de ce couple est-elle conforme ?



Expliquer le(s) phénomène(s) dont la manifestation pose problème et proposer des éléments de solution.

Génération d'un couple résistant sur les pivots des roues



A l'aide de la clef appropriée, régler l'effort résistant sur les pivots des roues (couple de pivotement) C_0 à 32 N.m.

Remarque : Se reporter aux informations présentes sur le bord du boîtier de réglage et dans le **DOSSIER RESSOURCES**.



Réaliser une acquisition sans assistance.



Analyser les courbes du couple au volant et du couple sur la colonne en fonction de l'angle du volant.



Comparer la courbe obtenue avec la courbe du couple au volant en fonction de l'angle au volant fournie par le constructeur (voir **DOSSIER RESSOURCES**).



Analyser et commenter les courbes du couple sur la roue droite et sur la roue gauche en fonction de l'angle du volant.



Relever le couple résistant sur chacune des roues. Retrouve-t-on la valeur fixée ?



En observant les pivots du système DAE, expliquer en quoi ils modélisent le comportement d'un pneu en interaction avec le sol.

Acquisitions de l'angle des roues, avec et sans assistance

On se propose maintenant de réaliser 2 acquisitions lors de **2 manœuvres identiques** effectuées avec une **même vitesse de rotation du volant** :

- **Première acquisition** : sous assistance maximale (vitesse du véhicule simulée à 0 km/h).
- **Seconde acquisition** : sans assistance : vitesse du véhicule simulée supérieure à 70 km/h.

Manoeuvre à effectuer : Le volant étant initialement positionné en orientation neutre, réaliser un braquage à gauche à vitesse lente et régulière.

Remarque : La difficulté dans les manipulations réside dans la génération de 2 manœuvres réalisées à la même vitesse.



Réaliser ces deux acquisitions et compléter le tableau ci-dessous :

	Avec assistance	Sans assistance
Vitesse angulaire du volant ω_v en $^\circ/s$		
Vitesse angulaire du volant ω_v en rad/s		
Couple appliqué au volant par le conducteur C_v en N.m		
Composante de pivotement de la vitesse angulaire de la roue gauche ω_g en $^\circ/s$		
Composante de pivotement de la vitesse angulaire de la roue gauche ω_g en rad/s		
Composante de pivotement de la vitesse angulaire de la roue droite ω_d en $^\circ/s$		
Composante de pivotement de la vitesse angulaire de la roue droite ω_d en rad/s		
Intensité du courant d'alimentation du moteur I en A		
Couple résistant au braquage de la roue gauche C_{r_g} (en N.m) roue G		
Couple résistant au braquage de la roue droite C_{r_d} (en N.m) roue D		



Analyser et commenter les courbes donnant l'évolution de l'angle des roues en fonction de l'angle du volant.

Détermination des puissances transmises et des rendements



Définir numériquement la puissance mécanique moyenne des efforts résistants aux braquages des roues (P_{Roues}) pour les 2 acquisitions précédentes.



En considérant les données recueillies lors d'une manœuvre sans assistance, et en négligeant les variations des énergies cinétiques des corps en mouvement, établir le rendement moyen η_{CM}



En considérant les données recueillies lors d'une manœuvre avec assistance, définir numériquement la puissance mécanique moyenne développée par le moteur (P_M).



En négligeant les variations des énergies cinétiques des composants mécaniques de la chaîne d'assistance, établir le rendement moyen η_R pour les 2 acquisitions précédentes.

Estimation des puissances transmises et des rendements



A partir des valeurs obtenues par l'équipe EXP lors des mesures AVEC et SANS assistance, évaluer les puissances transmises et les différents rendements. Analyser les résultats obtenus.

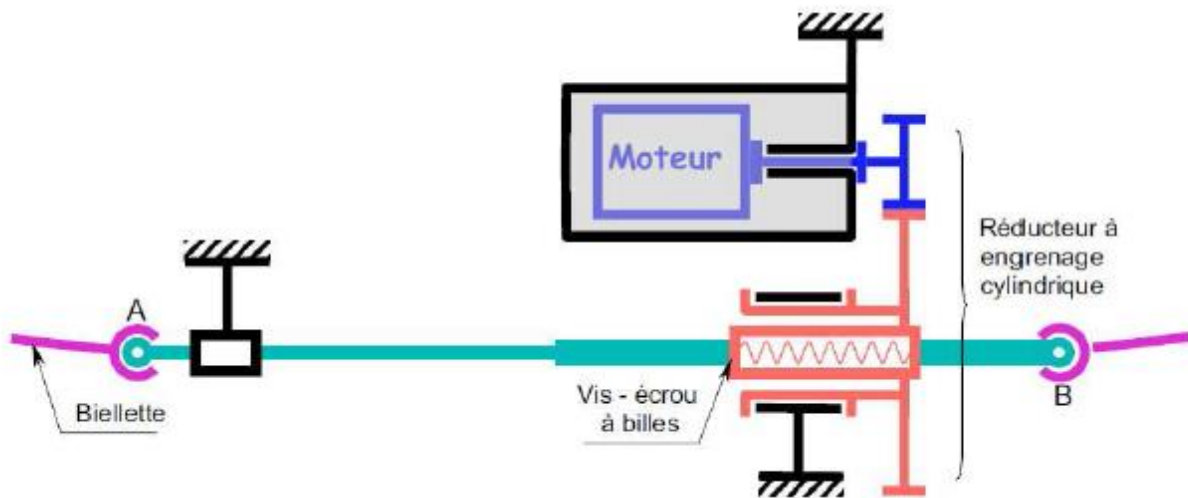
Analyse de l'architecture de la direction assistée

L'architecture de l'assistance électrique de la Renault TWINGO est disponible dans le **DOSSIER TECHNIQUE** et le **DOSSIER RESSOURCES**.



Au regard du critère d'efficacité énergétique, conclure sur la pertinence de l'architecture du système d'assistance adopté pour le véhicule Twingo.

L'architecture de l'assistance électrique adoptée sur un véhicule concurrent est définie par le schéma suivant :



Comparer, au regard du même critère d'efficacité énergétique, cette autre architecture d'assistance à la manœuvre avec celle du véhicule Twingo.

7 – Validation



L'objectif pour le groupe est de comparer pour la relation entre l'angle de rotation du volant et l'angle de rotation des roues, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques et par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.



L'objectif pour le groupe est de comparer pour les valeurs des différentes puissances transmises et pour les valeurs des différents rendements, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

