

PARTIE A



ETUDE COMPARATIVE DES CHAINES CINEMATQUES DE L'AGV ET DU TGV

Le transport passager, en dehors des critères de confort de voyage ou d'agrément, doit se plier à des contraintes techniques, commerciales, économiques et écologiques notamment en terme d'énergie consommée.

Le transport ferroviaire à grande vitesse, à travers le T.G.V., se pose comme un moyen de satisfaire le marché du transport passager sur de longues distances. Une alternative au T.G.V. est désormais possible, il s'agit de l'**A.G.V.** (**A**utomotrice à **G**rande **V**itesse)

Problématique :

**Concernant ces contraintes,
en quoi la rame A.G.V. s'inscrit-elle dans cette démarche et
améliore-t-elle l'offre T.G.V.?**

Ce dossier est constitué de :

- 16 pages numérotées A1 à A16

Temps maximum conseillé : 2 heures

A1 : ETUDE DES OBJECTIFS DE L'AGV

Objectifs :

Vérifier si les objectifs de l'AGV en termes de consommation d'énergie et de respect de l'environnement sont remplis et calculer la vitesse moyenne à laquelle le train devra rouler pour concurrencer l'avion.

À l'aide du dossier présentation page PG2,

A.1.1. **Donner** succinctement les avantages de l'AGV sur le TGV (trois critères suffisent).

Travaillons maintenant avec un exemple simple : vous êtes parisien et souhaitez vous rendre à Marseille.

Le trajet Paris-Marseille nécessite trois heures et la production d'énergie électrique engage 50 grammes de CO₂/kWh produit.

Comparons l'impact carbone d'un TGV et d'une AGV roulant à la même vitesse de 320 km/h

A.1.2. **Calculer** la consommation en kWh d'un TGV sur ce trajet.

A.1.3. **Calculer** la consommation en kWh d'une AGV sur ce trajet.

A.1.4. **Calculer** pour le TGV l'équivalent carbone de ce trajet.

A.1.5. **Calculer** pour l'AGV l'équivalent carbone de ce trajet.

A.1.6. **Comparer** les valeurs obtenues et **expliquez** si les objectifs de l'AGV en termes de consommation d'énergie et de respect de l'environnement sont remplis vis à vis du TGV.

Poussons la comparaison plus loin. Une voiture compacte moderne rejette 140 grammes de CO₂/ km. Pour elle l'équivalent carbone de ce trajet est de l'ordre de 130000 grammes de CO₂.

Si elle transporte 5 personnes à son bord,

A.1.7. **Calculer** pour l'automobile l'équivalent carbone/passager de ce trajet.

A.1.8. **Calculer** pour l'AGV (avec le maximum de passagers) l'équivalent carbone/passager de ce trajet.

A.1.9. **Comparer** les valeurs obtenues et **expliquer** si les objectifs de l'AGV en termes de consommation d'énergie et de respect de l'environnement sont-ils remplis vis-à-vis de l'automobile.

Laissons de côté l'impact carbone et intéressons nous maintenant à la durée du trajet. Dans cette partie l'auto n'est plus concurrentielle...

Ce trajet en avion vous prendra 1h15 d'aéroport à aéroport. Ceux-ci étant généralement à l'extérieur des villes, il vous faudra en plus 35 minutes de navette pour aller de Paris gare de Lyon à Orly et 25 minutes de navette pour aller de l'aéroport de Marseille à la gare Saint-Charles. A ceci s'ajoute une petite marche intra aéroport voire un éventuel enregistrement de bagage : 10 min.

La ligne Paris-Marseille est longue de 863 kilomètres.

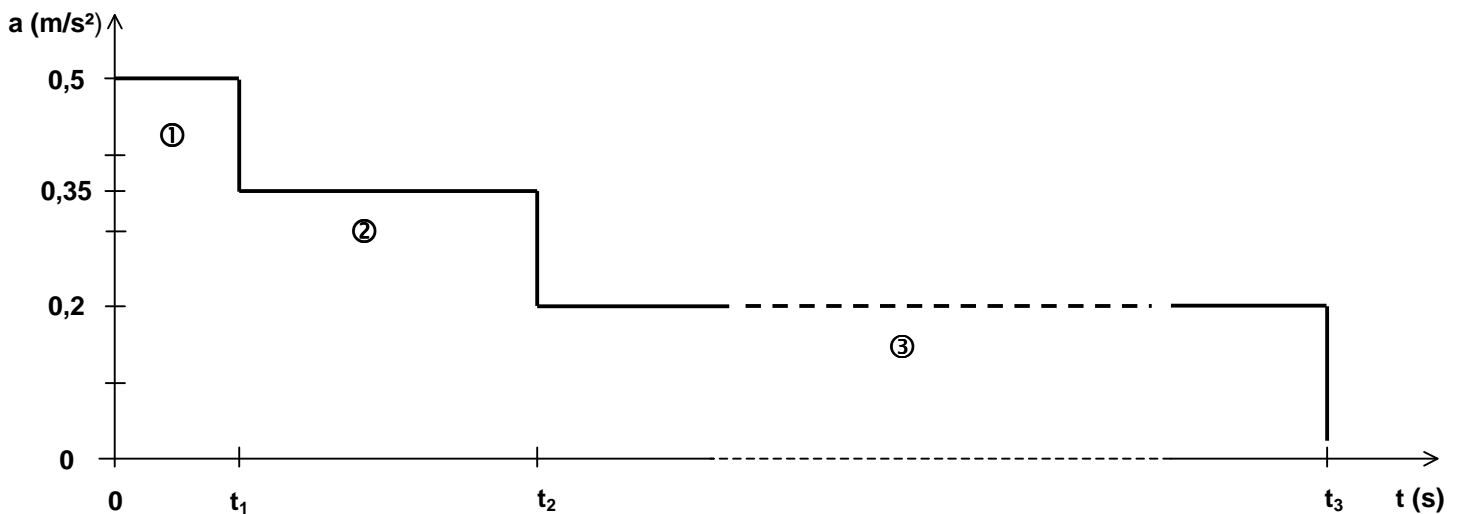
A.1.10. **Calculer** la vitesse moyenne à laquelle devra rouler un train de gare à gare pour concurrencer l'avion.

A2 : ETUDE DE LA CINEMATIQUE DE L'AGV, OBJECTIF 360 km/h

Objectifs :

Vérifier si les temps et les distances pour sortir de gare de 0 à 360 km/h sont raisonnables et compatibles avec les infrastructures.

On admet que la sortie de gare s'effectue en 3 phases. Le mouvement retenu pour l'AGV est un mouvement de translation rectiligne caractérisé par l'allure du graphe d'accélération ci-dessous.



On précise également les vitesses atteintes aux différents instants :

$$V(0) = 0 ; V(t_1) = 36 \text{ km/h} ; V(t_2) = 144 \text{ km/h} ; V(t_3) = 360 \text{ km/h}$$

La **phase 1** est caractérisée plus précisément par les équations horaires de mouvement :

$$\begin{cases} x(t) = 0,25.t^2 & \text{en m} \\ V(t) = 0,5.t & \text{en m/s} \\ a(t) = 0,5 & \text{en m/s}^2 \end{cases} \quad \text{et pour : } 0 \leq t \leq t_1$$

La **phase 2** est caractérisée par des équations horaires de mouvement de la forme:

$$\begin{cases} x(t) = \frac{1}{2}.a_2.t^2 + V_{02}.t + x_{02} & \text{en m} \\ V(t) = a_2.t + V_{02} & \text{en m/s} \\ a(t) = a_2 = \text{constante} & \text{en m/s}^2 \end{cases} \quad \text{et pour : } t_1 \leq t \leq t_2$$

La **phase 3** dure 5 min et la distance parcourue pendant cette phase est de 21 km.

A.2.1 **Déterminer** la durée et la distance parcourue pendant la phase 1 : t_1 et $x(t_1)$.

A.2.2 **Déterminer** pour la phase 2, les constantes V_{02}, x_{02} et t_2 .

A.2.3 **Ecrire** les équations horaires de mouvement pour cette phase 2.

A.2.4 **Déterminer** le temps total en heure/minute/seconde pour atteindre la vitesse maximale désirée ainsi que la distance totale nécessaire en km, soient : t_3 et $x(t_3)$.

A3 : RESISTANCE A L'AVANCEMENT

Objectifs :

Comparer AGV et TGV en terme de résistance à l'avancement.

L'efficacité d'un train se mesure aussi par une faible résistance à l'avancement. Plus celle-ci est petite, moins sa consommation d'énergie est grande.

Cet effort résistant, F_{RAV} , s'oppose à l'avancement du train et s'exprime en fonction de la vitesse V du train par une équation du type :

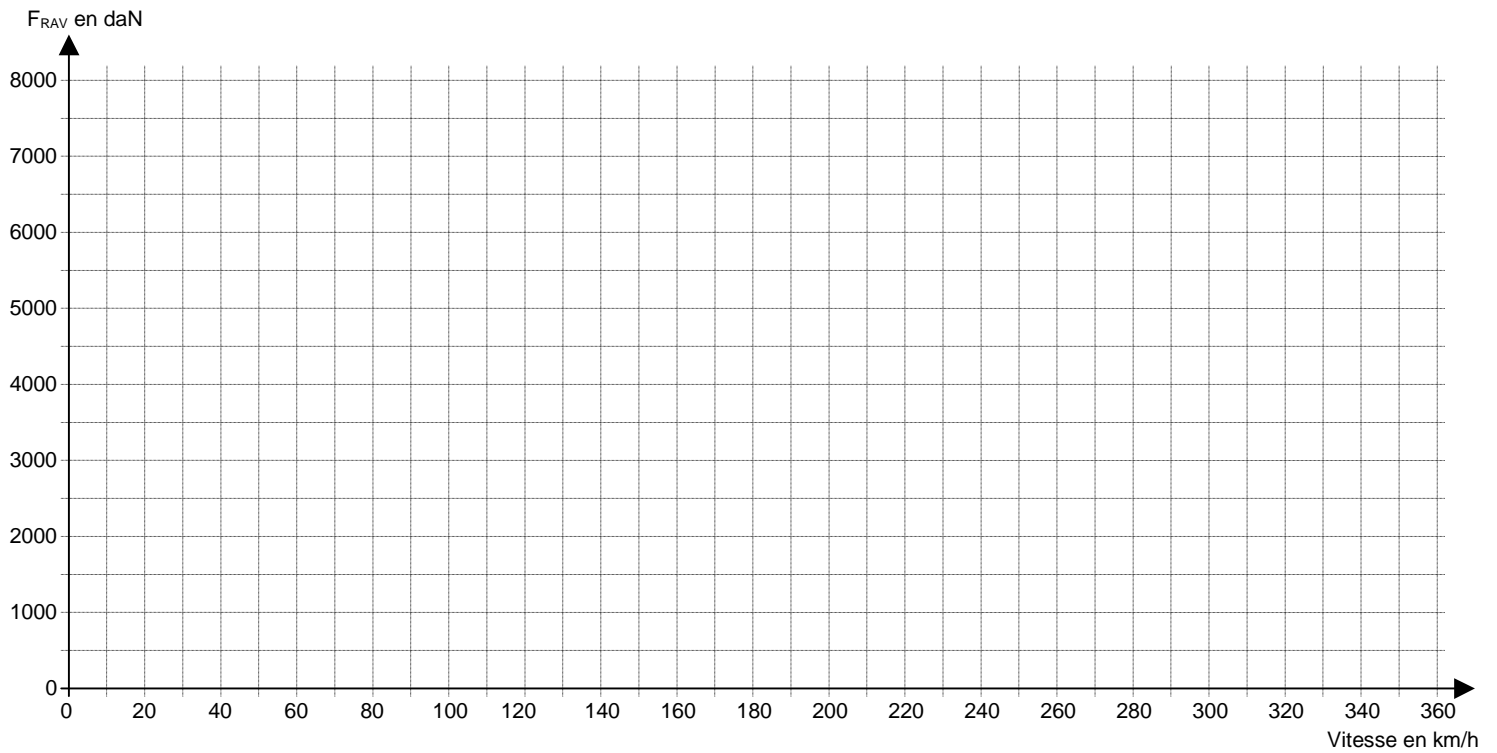
$$F_{RAV} = A + B.V + C.V^2$$

avec F_{RAV} en N et V en km/h

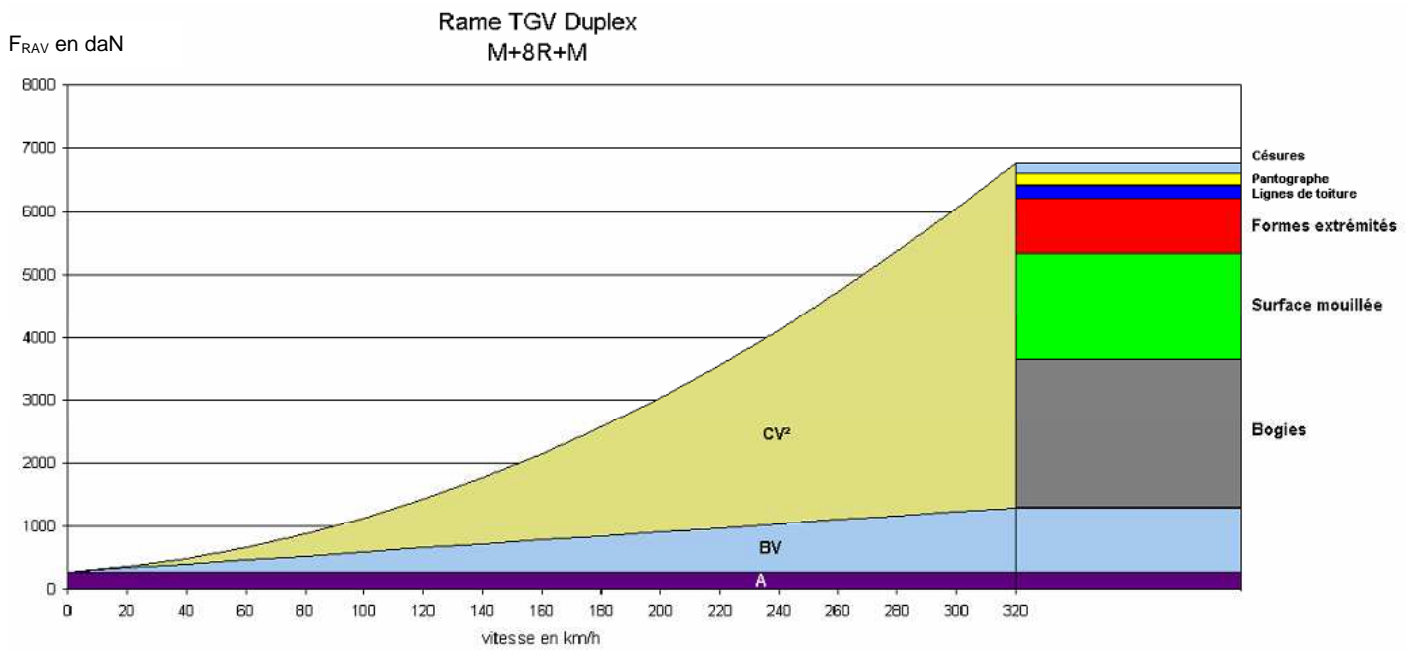
Et pour une AGV :

- A : frottements dans les paliers et résistance au roulement et $A = 2500$
- $B.V$: frottements des roues sur les faces latérales des rails et $B = 29$
- $C.V^2$: résistance aérodynamique du train, pénétration dans l'air et $C = 0,45$

A.3.1. **Tracer** le graphe $F_{RAV} = f(V)$ pour V allant de 0 km/h à 360 km/h sur le fond quadrillé prévu à cet effet sur la feuille suivante.



Ci-dessous la courbe obtenue pour une rame TGV (attention à l'échelle).



A.3.2. **Comparer** votre F_{RAV} d'AGV à 320 km/h avec celui donné ci-dessus par la SNCF pour un TGV. L'objectif de réduction de la F_{RAV} du TGV de 15 % est-il atteint ? (justifier)

A4 : ETUDE DYNAMIQUE DE L'AGV

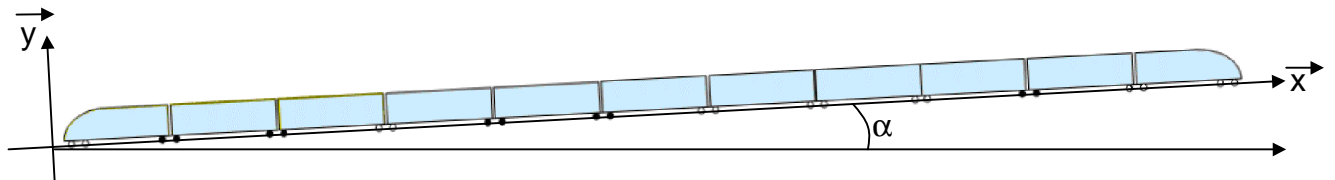
Objectifs :

S'approprier la relation effort de traction / accélération.

En traction ferroviaire, l'équation fondamentale de la dynamique en projection sur l'axe de la voie appliquée à un train de masse M et d'accélération a , sur une voie inclinée d'un angle α (montée ou descente) s'écrit :

$$F_T \pm M.g.\sin\alpha - F_{RAV} = M.a$$

avec F_T la force de traction (cf. illustration ci-dessous)



Hypothèse : on néglige l'inertie des masses tournantes rapportées à leurs axes de rotation car elles sont très inférieures à l'inertie de la caisse.

A.4.1. **Définir** le terme " $M.g.\sin\alpha$ " ? **Expliquer** son influence sur le mouvement (montée, descente, plat...) du train ?

En admettant que le train sorte de gare (cf. graphe partie **A2**) et se trouve sur une **voie ferrée horizontale**,

A.4.2. **Calculer** la force de traction F_T nécessaire pour faire avancer le train à 36 km/h (utiliser la **phase 1**).

A.4.3. **Calculer** la force de traction F_T nécessaire pour faire avancer le train à 360 km/h (utiliser la **phase 3**).

A.4.4. **Comparer** les deux résultats précédents et **conclure**.

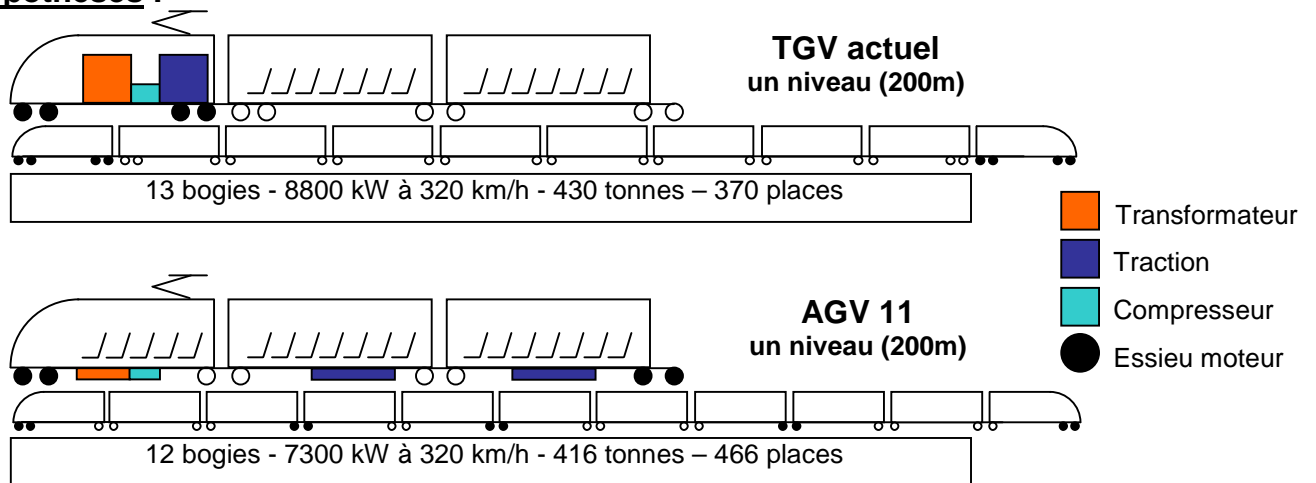
A5 : ETUDE DE L'ADHERENCE ROUE-RAIL

Objectif :

Calculer le coefficient d'adhérence nécessaire pour assurer l'effort de traction étudié précédemment et comparer AGV et TGV.

Pour chacun des cas : TGV et AGV on retient les indices du même nom.

Hypothèses :



Un bogie comporte 2 essieux et 1 essieu comporte 2 roues.

L'étude se fait au **démarrage, en fin de phase1** de l'étude cinématique.

L'effort de traction F_T nécessaire retenu est de :

- $F_{T.TGV} = 220000$ N pour le TGV
- $F_{T.AGV} = 212200$ N pour l'AGV.

Accélération de la pesanteur retenue :

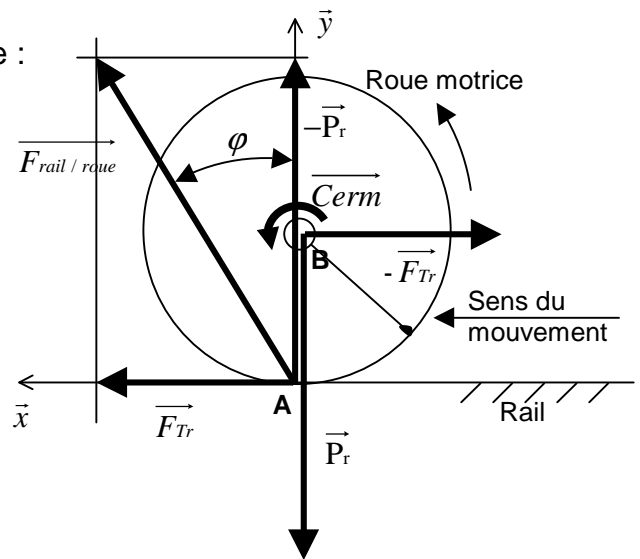
- $g = 9,81$ m/s²

Pour une roue motrice, on modélise ci-contre
Le contact roue motrice / rail.

Liaison essieu-bogie : pivot (B, \vec{z}).

Problème plan (\vec{x}, \vec{y}).

Poids propre de la roue négligé.



Bilan des actions mécaniques appliquées à une roue motrice :

Au point A : $\vec{F}_{rail/roue} = \vec{F}_{Tr} - \vec{P}_r$: action du rail

Au point B : \vec{C}_{erm} : couple d'entraînement roue motrice

$\vec{F}_{pivot/roue} = -\vec{F}_{Tr} + \vec{P}_r$: action à travers la liaison pivot (B, \vec{z})

Avec : \vec{P}_r : action du poids supportée par roue (motrice ou non)

\vec{F}_{Tr} : effort de traction par roue motrice

A.5.1. **Calculer** le poids supporté par roue : $P_{r.AGV}$.

A.5.2. **Donner** le nombre de roues motrices : $Nb_{rm.AGV}$.

L'effort de traction F_T est assuré par l'ensemble des roues motrices.

A.5.3. **Calculer** l'effort de traction maximum par roue motrice : $F_{Tr.AGV}$.

Coefficient d'adhérence pour assurer la motricité : ($\mu = \tan\phi$)

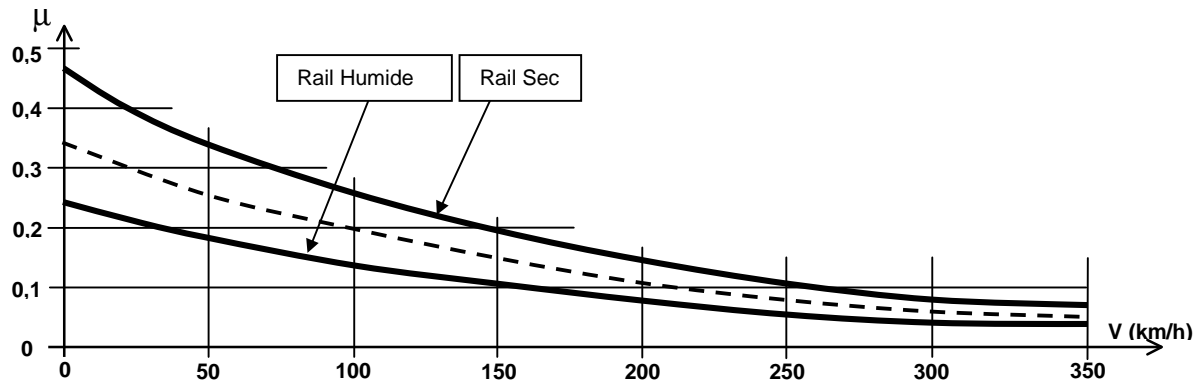
A.5.4. **Déterminer** le coefficient d'adhérence roue-rail nécessaire μ_{AGV} .

A.5.5. **Inscrire** vos résultats concernant l'AGV dans le tableau récapitulatif suivant.

	TGV	AGV
Poids / roue (en N)	$Pr_{TGV} = 81100 \text{ N}$	$Pr_{AGV} =$
Nombre de roues motrices	$Nb_{TGV} = 16$	$Nb_{AGV} =$
Effort de traction maxi par roue motrice (en N)	$F_{Tr TGV} = 13750 \text{ N}$	$F_{Tr AGV} =$
Coefficient d'adhérence motricité	$\mu_{TGV} = 0,17$	$\mu_{AGV} =$

Les constructeurs de matériel moteur fournissent un coefficient d'adhérence pour les conditions normales du rail : propre et sec. On considère généralement le coefficient d'adhérence maximal utilisable au démarrage du train, phase la plus difficile à réaliser.

Il apparaît cependant que l'adhérence maximum sollicitable μ diminue avec la vitesse et l'état du rail (sec ou humide). Des formulations expérimentales sont proposées pour estimer cette adhérence, on peut les caractériser par le graphe ci-dessous.



A.5.6. **Interpréter** vos résultats.

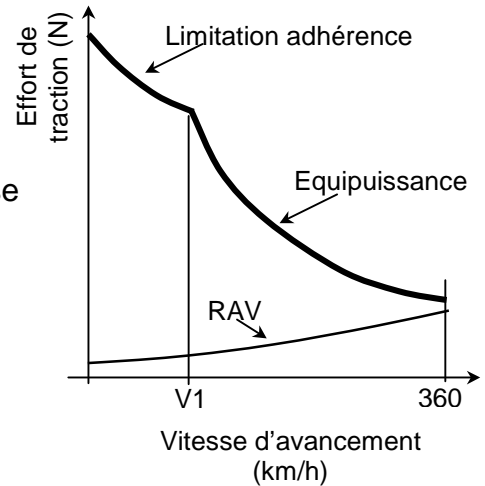
A6 : ETUDE DE LA CHAÎNE DE TRANSMISSION DE PUISSANCE

Objectif :

A partir de l'effort de traction et en remontant la chaîne de transmission de puissance, valider les caractéristiques moteur de l'AGV et comparer les rapports puissance/place de l'AGV et du TGV.

Le graphe ci-contre caractérise l'allure de l'effort de traction des roues en fonction de la vitesse du train, en **équipuissance** pour : $V_1 < V < 360$ km/h .

A vitesse réduite, $V < V_1$, c'est l'adhérence disponible qui limite la puissance nécessaire en raison de l'effort de traction limite aux roues.



Concernant l'interprétation du graphe :

A.6.1. **Interpréter** le terme : équipuissance.

Pour le reste de l'étude, le mouvement retenu pour l'AGV est un mouvement de translation rectiligne sur voie horizontale.

La puissance de traction P_T nécessaire est définie dans l'objectif de vaincre uniquement la résistance à l'avancement (RAV) et ce à **vitesse** maximale **constante** (360 km/h), dans ce cas **un 6^{ème} bogie motorisé est nécessaire**.

Concernant l'AGV :

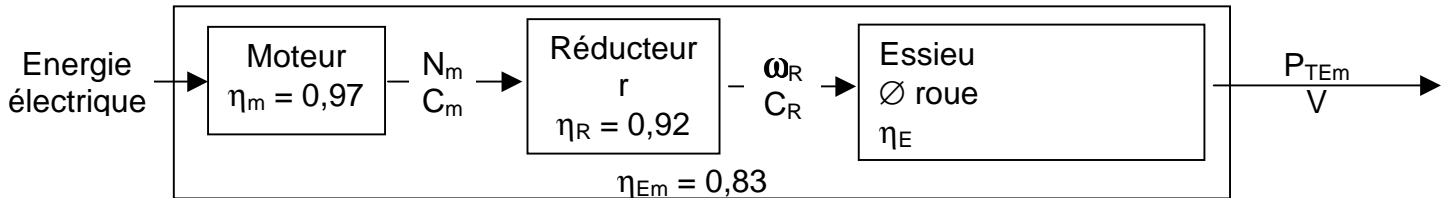
A.6.2. **Calculer** grâce à la formule donnée en **A3** l'effort de traction F_T nécessaire pour vaincre uniquement la résistance à l'avancement.

Pour se ménager une réserve d'accélération à 360 km/h, la puissance de traction est augmentée de 1%.

A.6.3. **Déterminer** la puissance de traction totale AGV : P_T .

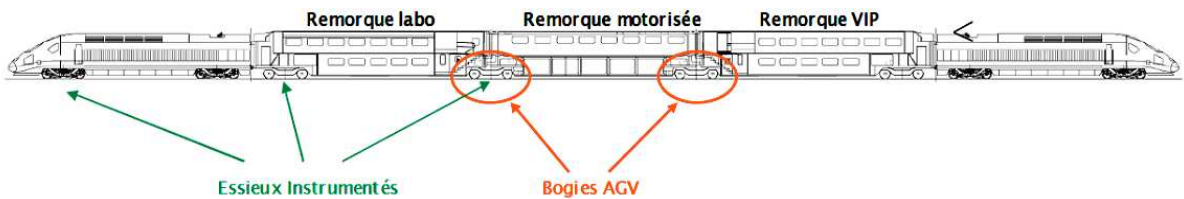
A.6.4. **Déterminer** la puissance de traction par essieu moteur AGV : P_{TEm} .

La transmission de puissance à travers un essieu moteur est caractérisée par le schéma-bloc suivant :

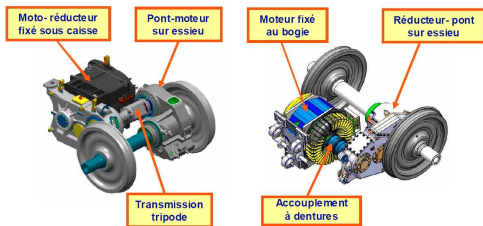


Recherche du rapport de réduction du réducteur à partir du record de vitesse du 3 avril 2007 (574,8 km/h)

Ce jour là une rame expérimentale nommée V150 battait le record de vitesse des trains sur roues sur la Ligne à Grande Vitesse Est Européenne : LGVEE. Cette rame comprenait entre autres 4 bogies moteurs TGV POS et 2 bogies moteurs type AGV.



Différentes mesures ont été effectuées lors de ce record notamment les vitesses de rotation des organes de transmission.



TGV POS

AGV

	vitesses de rotation en tr/min						
	TGV POS			AGV			
	320 km/h	500 km/h	574,8 km/h	320 km/h	500 km/h	574,8 km/h	
Moteur	2802	4378	5033	Moteur	2741	4283	4924
Tripode	1643	2567	2951	Essieu	1555	2429	2792
Essieu	1555	2429	2792				

A partir de ces résultats :

A.6.5. **Calculer** la valeur du rapport de réduction du réducteur de l'AGV : r.

En considérant l'usure des roues, le diamètre de celles-ci varie de 920 mm à 850 mm, en dessous de ce diamètre la roue est changée. L'étude se fera à mi usure des roues.

A.6.6. **Déterminer** la vitesse de rotation des roues : ω_R en rad/s.

A.6.7. **Déterminer** le couple d'entraînement réducteur nécessaire: C_R .

A.6.8. **Déterminer** le couple, la vitesse de rotation et la puissance moteur qui doivent être assurés : C_m (N.m), N_m (tr/min) et P_m (kW).

Moteur type 12 LCS 3550 B

- 12 pôles – autoventilé - masse 775 kg+/- 1%
- encombrement 680 mm x 690 mm x 735 mm (H x l x L)
- Puissance continue 730 kW de 3000 à 4570 tr/min
- Vitesse maximale 4570 tr/min



A partir des caractéristiques du moteur synchrone à aimants permanents utilisé par essieu,

A.6.9. **Conclure** quant au choix du moteur.

A.6.10. **Calculer** la puissance motrice totale nécessaire pour l'AGV : $P_{m,AGV}$.

Exprimer cette puissance motrice par tonne déplacée ou par place passager sont des critères d'appréciation et de comparaison intéressants.

Ces critères sont, pour le TGV 200m de notre étude, de l'ordre de :

- $P_{m,TGV}/\text{tonne} = 20 \text{ kW / t}$
- $P_{m,TGV}/\text{place} = 23,5 \text{ kW / p}$

A.6.11. **Déterminer** pour l'AGV : $P_{m,AGV}/\text{tonne}$ et $P_{m,AGV}/\text{place}$.

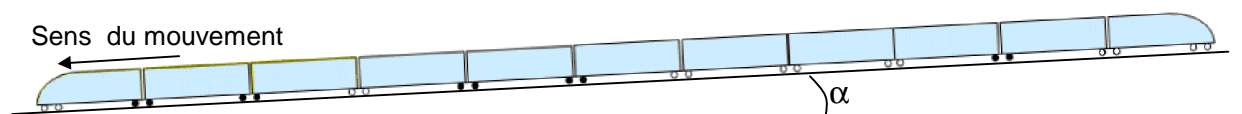
A7 : ETUDE DE PRINCIPE DU FREIN RHEOSTATIQUE

Objectifs :

Etudier la récupération d'énergie au freinage.

La mise en situation pour cette partie sera la suivante :

- L'AGV aborde le sommet d'une descente à 360 km/h,
- La pente est de 4 %,
- La longueur de la descente est de 5 km (cf. illustration ci-dessous).



A.7.1. **Calculer** l'angle de la pente.

Considérant que **l'on veut conserver une vitesse constante** de 360 km/h,

A.7.2. **Calculer** F_T dans ces conditions(cf. partie **A4**).

A.7.3. **Commenter** votre résultat.

A.7.4. **Calculer** la puissance dissipée en freinage à l'essieu.

A.7.5. **Calculer** la puissance dissipée en freinage au moteur.

A.7.6. **Calculer** le couple sur l'arbre moteur.

C'est le principe du frein rhéostatique.

Le moteur fonctionne en génératrice donc la mise en rotation de son arbre (depuis les roues du train) se heurte à un couple résistant et c'est ce couple résistant qui freine les roues.

Les moteurs de tractions débitent donc dans le rhéostat qui est un banc de résistances.

Lorsque l'énergie est renvoyée à la caténaire on parle de freinage par récupération mais les sous-stations actuelles et les lignes ne permettent pas cette utilisation avec TGV et AGV, ce serait néfaste pour le moteur de toute autre motrice se trouvant trop près de la zone de freinage.

A.7.7. **Proposer** une utilisation locale (au niveau du train) de cette énergie disponible autre que la dissipation sous forme de chaleur.