CHAÎNE CINÉMATIQUE

Sujet proposé par: Michel Durochat et Gilbert Desplanques.
Les photos de Jean Willemin, Gilbert Desplanques.

Transmission de l'effort de traction du moteur à l'essieu.

Les locomotives destinées à la remorque des trains rapides, marchandises lourds, à petite ou grande vitesse sont maintenant à adhérence totale. Ces locomotives comprennent essentiellement une caisse unique reposant sur des bogies à deux ou trois essieux moteurs.

Un bogie pouvait avoir soit un moteur unique, soit un moteur par essieu.

Certaines anciennes séries, aujourd'hui radiées, étaient à adhérence partielle. Leur construction s'inspirait fortement des locomotives à vapeur avec un châssis rigide maintenant les essieux moteurs encadrés par deux bogies directeurs.

Quant au dernier né, le TGV, les moteurs ne sont pas solidaires du châssis de bogie, mais fixés sous la caisse de façon à avoir le moins de masse possible non suspendue. Il faudra attendre l'arrivée de l'AGV avec sa motorisation répartie ainsi qu'un nouveau type de moteur (moteur synchrone à aimant permanent) pour que le moteur redescende dans le bogie.

Nous aborderons ici la transmission de l'effort moteur aux essieux de locomotives électriques aujourd'hui disparues pour la plupart. Souvenirs pour les anciens tractionnaires et culture ferroviaire pour les plus jeunes en sachant que ces techniques ne sont pas obsolètes.

La transmission de l'AGV est très simple et se rapproche de celle d'anciennes locomotives dans son principe.

Je n'aborde pas toutes les séries d'engins moteurs, je me limite simplement à quelques engins électriques.

Michel Durochat

Buchli ou Büchli (2D2)

Principe

Le moteur, placé au-dessus de l'essieu, fixé au châssis, entraîne par un pignon une couronne dentée (de taille légèrement inférieure à la roue) située en porte-à-faux à l'extérieur des roues de l'essieu et supportée par une pièce rigide au châssis. Le voile de la roue possède deux manetons qui sont reliés à la couronne dentée par deux biellettes articulées rendues solidaires par deux secteurs dentés qui se font face. Les variations de distance entre les points d'attache sur la roue et sur la couronne dentée lors des mouvements (essentiellement verticaux) de l'essieu sur la voie sont pris en charge par la rotation des secteurs dentés. Les articulations sphériques des biellettes autorisent également le jeu transversal des essieux lors de leur inscription en courbe.

Fonctionnement et configurations

Le couple appliqué à la couronne dentée par le pignon moteur est transmis indirectement, par les deux secteurs dentés en opposition, aux deux biellettes : l'une travaillant en poussée et l'autre en traction. Le couple résultant sur les deux manetons du voile de roue entraîne ainsi l'essieu moteur. Lorsque l'essieu moteur suit les dénivellations de la voie, c'est-à-dire quand la distance entre l'axe de l'essieu et l'axe de la couronne dentée varie, ce sont les deux petits secteurs dentés qui permettent d'absorber les variations de distance entre points d'application du couple sans altérer sa valeur. Par construction, la variation autorisée est de l'ordre de 40 mm en déplacement vertical et de 25 mm en déplacement latéral.

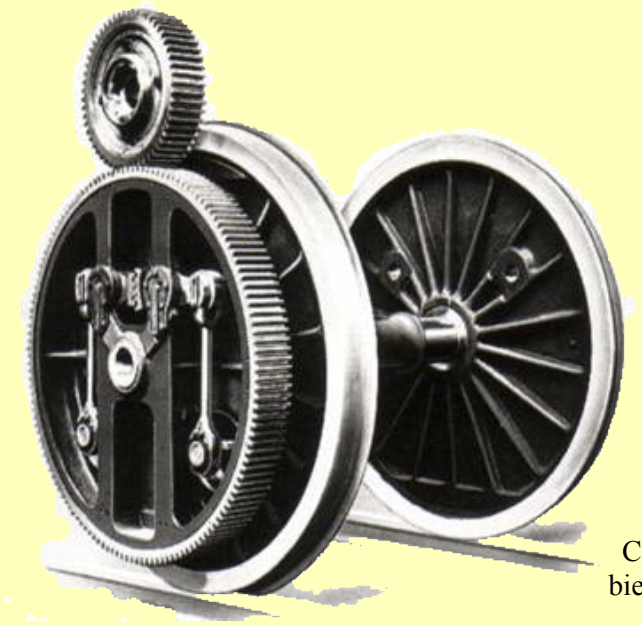
L'ensemble du mécanisme est placé dans un carter fermé permettant la lubrification régulière de la couronne dentée et des biellettes. Compte tenu des dimensions de l'essieu, le mécanisme de la couronne est toujours situé à l'extérieur des roues de la locomotive : le palier de l'axe de la couronne dentée est fixé rigidement au châssis soit par une console adaptée (cas des locomotives SBB-CFF), soit par un longeron constituant un complément du châssis (cas des locomotives 2D2 françaises) : on parle alors de *mécanisme externe* ou *interne* selon sa position par rapport au châssis.

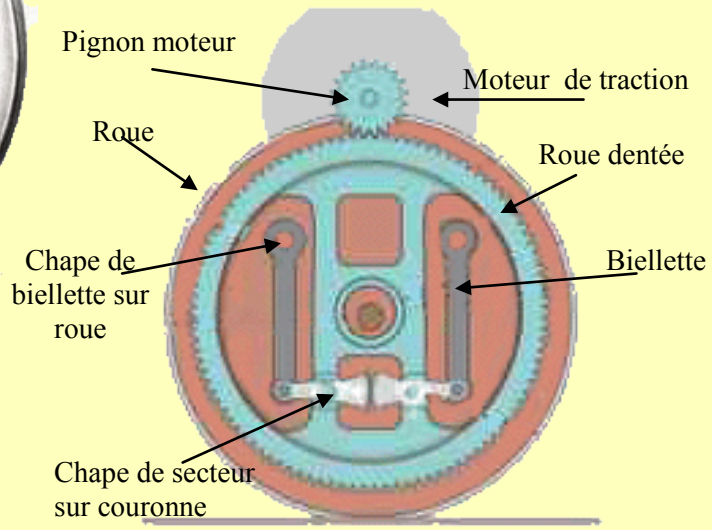
Il suffit d'un mécanisme par essieu pour fonctionner (*transmission unilatérale*) : la dissymétrie des masses de part et d'autre du châssis de la locomotive nécessite donc une conception particulière que l'on retrouve sur les locomotives suisses. Mais les locomotives françaises possèdent deux transmissions Buchli par essieu entraînées par le même moteur (*transmission bilatérale*) : la symétrie des masses est respectée au prix d'un poids et d'une complexité plus importante. De plus les mécanismes sur un même essieu doivent être calés à 90° pour une meilleure répartition d'effort au démarrage. Seule la locomotive du PRR O1b possédait une configuration avec deux moteurs entraînant la même couronne dentée.

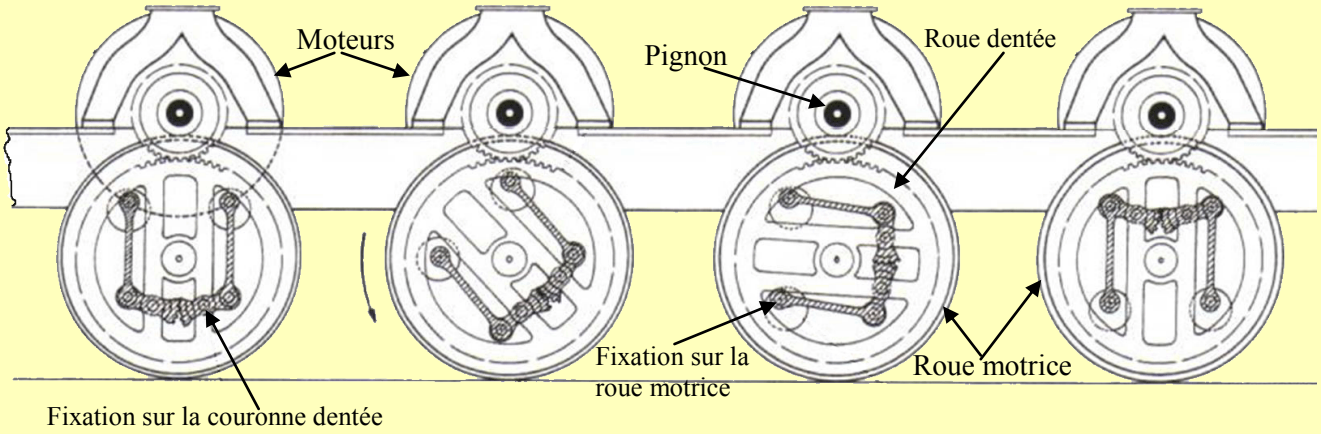
Malgré la complexité apparente de cette transmission, la plupart des locomotives équipées étaient limitées à 140 km/h, ce qui, pour l'époque était une vitesse en service élevée.

Mais qui est Buchli ?

La Transmission Buchli est conçue et mise en œuvre dès 1918 par l'ingénieur suisse Jakob Buchli.

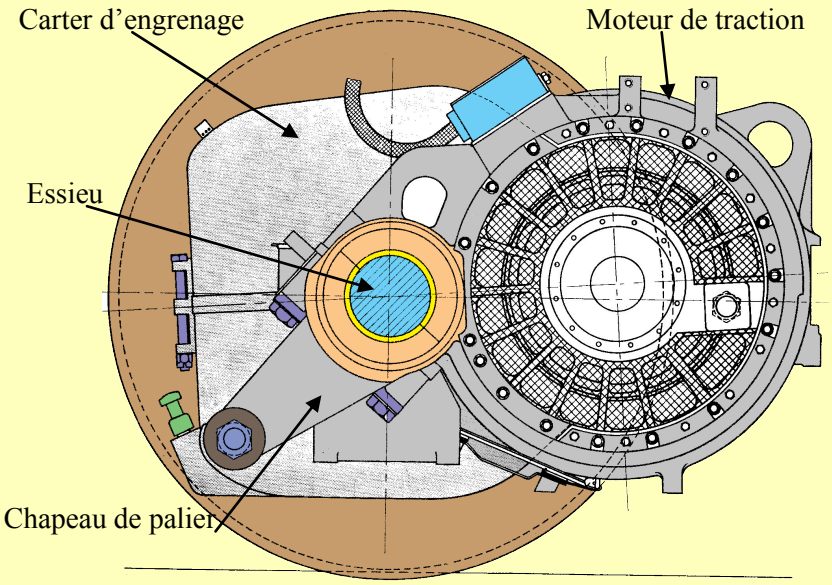


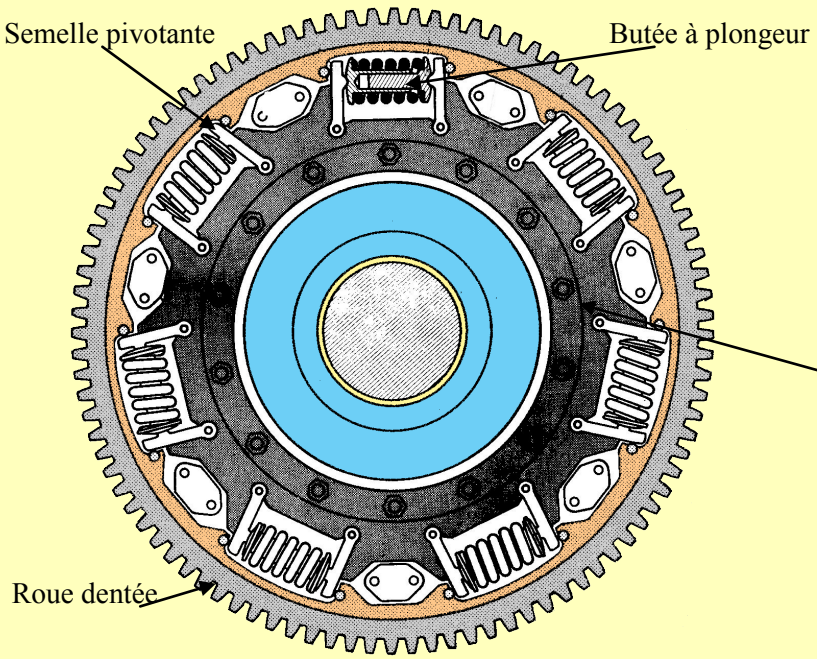




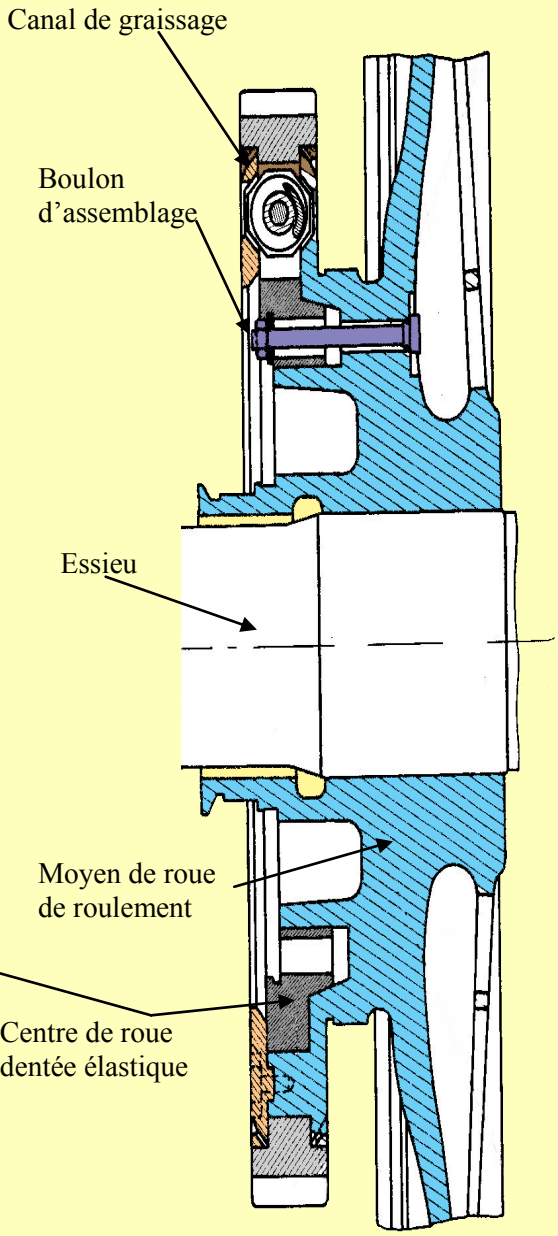
BB 8100

Chaque essieu est entraîné par un moteur électrique semi-suspendu. La carcasse du moteur s'appuie d'une part sur un dispositif de suspension élastique solidaire de la traverse centrale du bogie et d'autre part sur le corps de l'essieu au moyen de paliers. Dans les limites du dispositif de suspension, les paliers permettent au moteur de pivoter autour de l'essieu. Le pignon moteur attaque directement la roue dentée élastique.



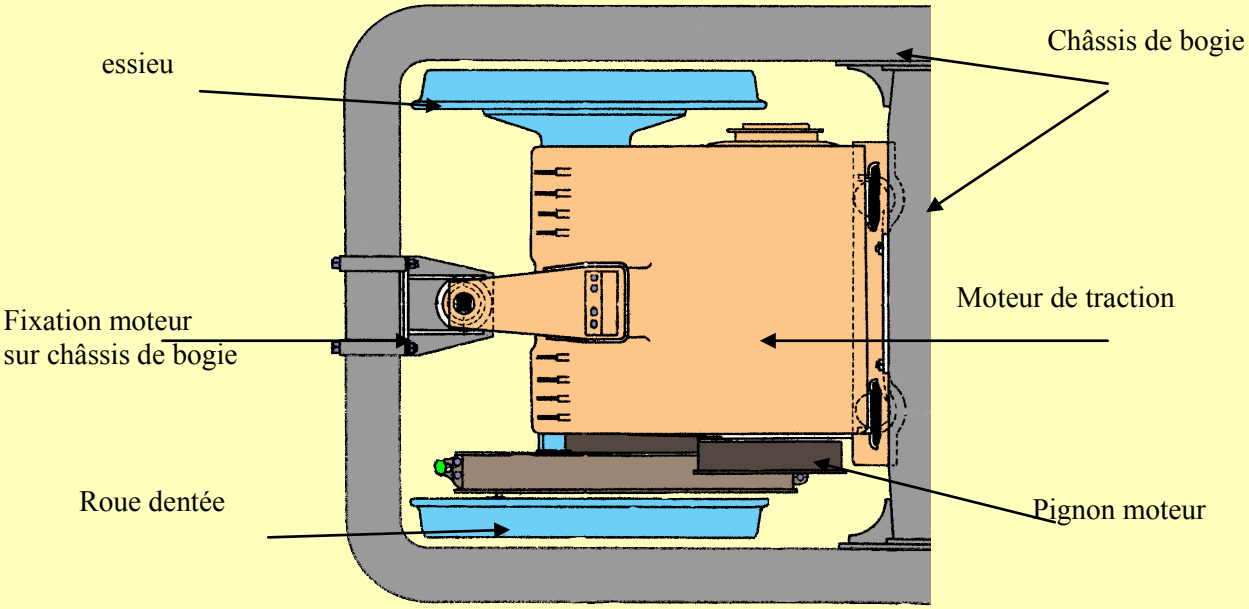


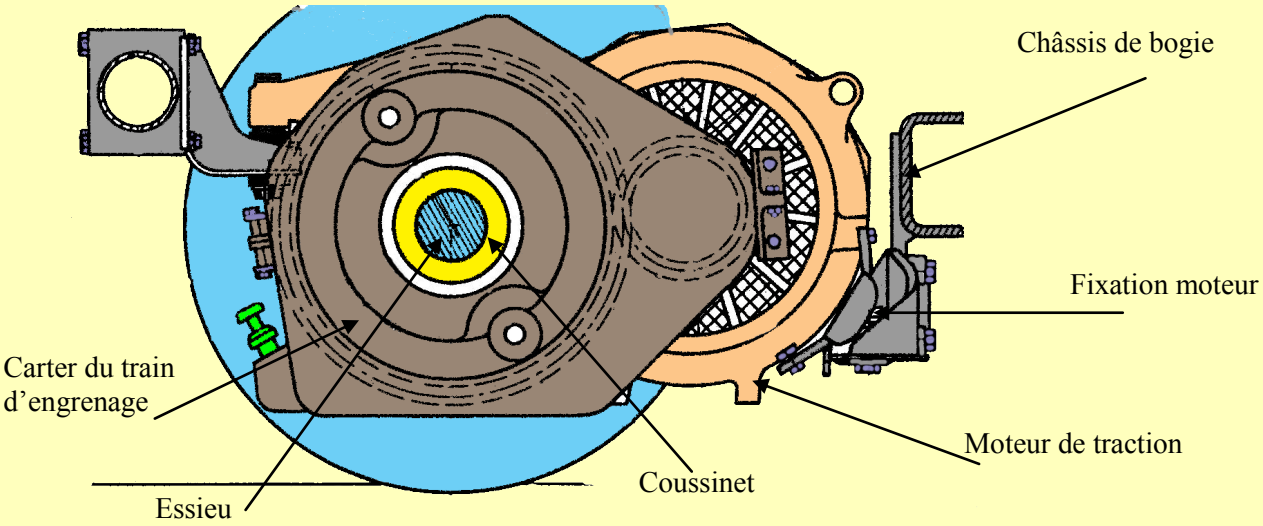
Vue de face avec flasque enlevée

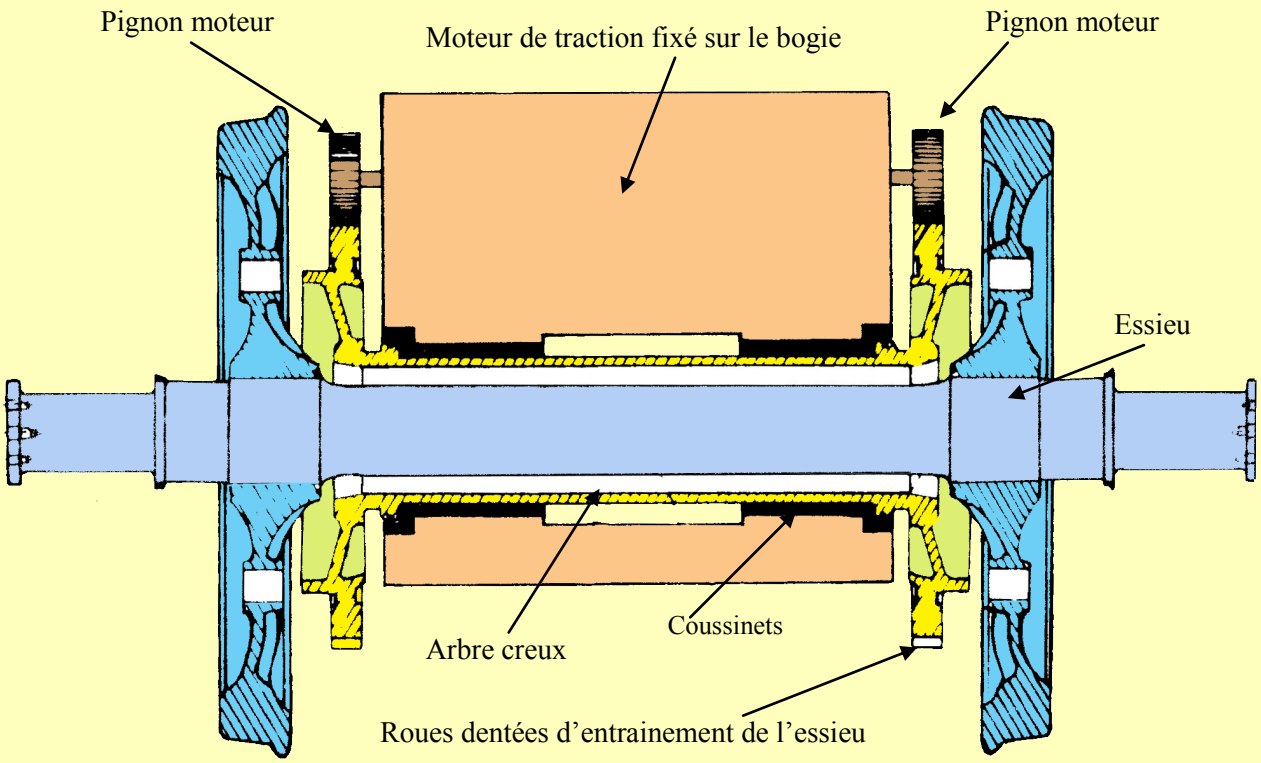


CC 7100

Il y a un moteur de traction par essieu.







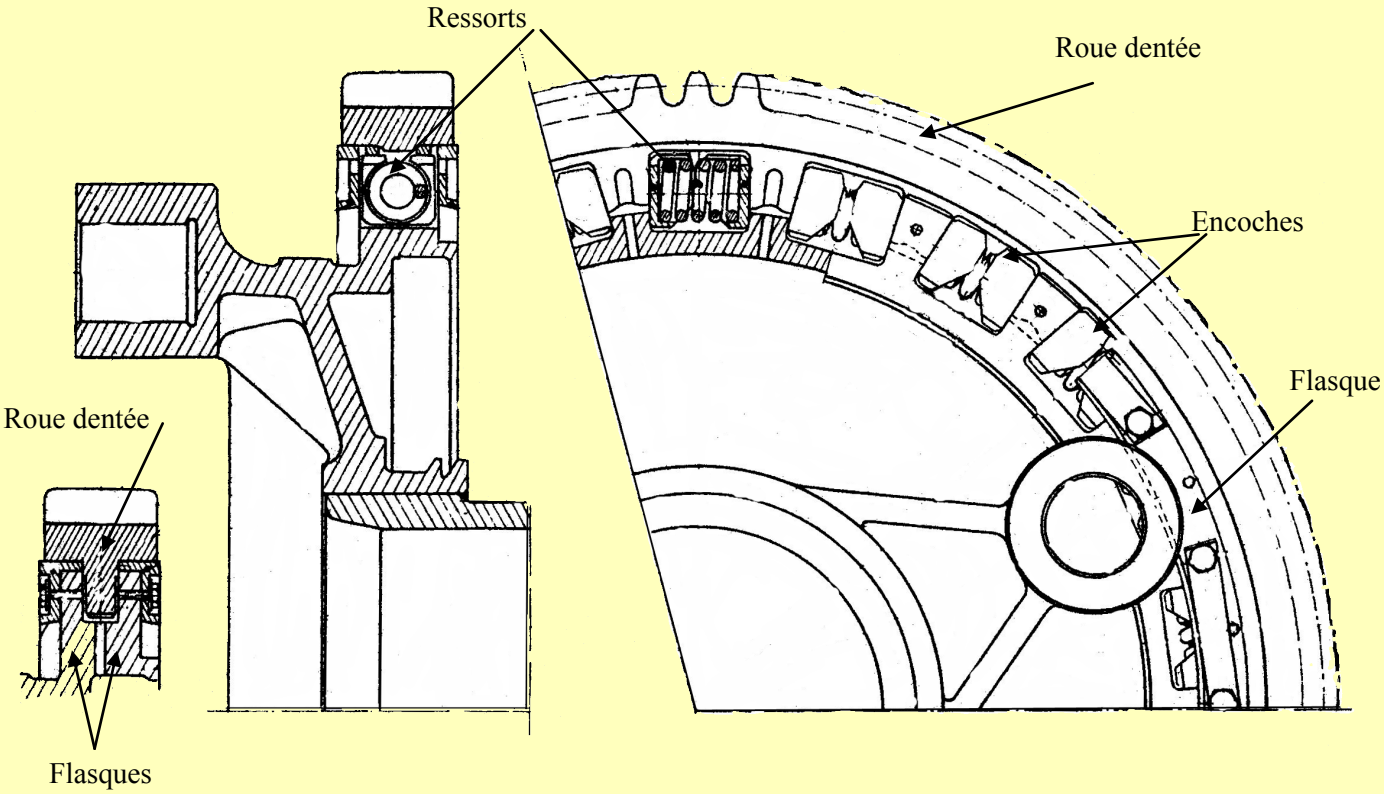
L'entraînement de chaque essieu comprend essentiellement :

* Une **commande bilatérale** comprenant de chaque côté du moteur :

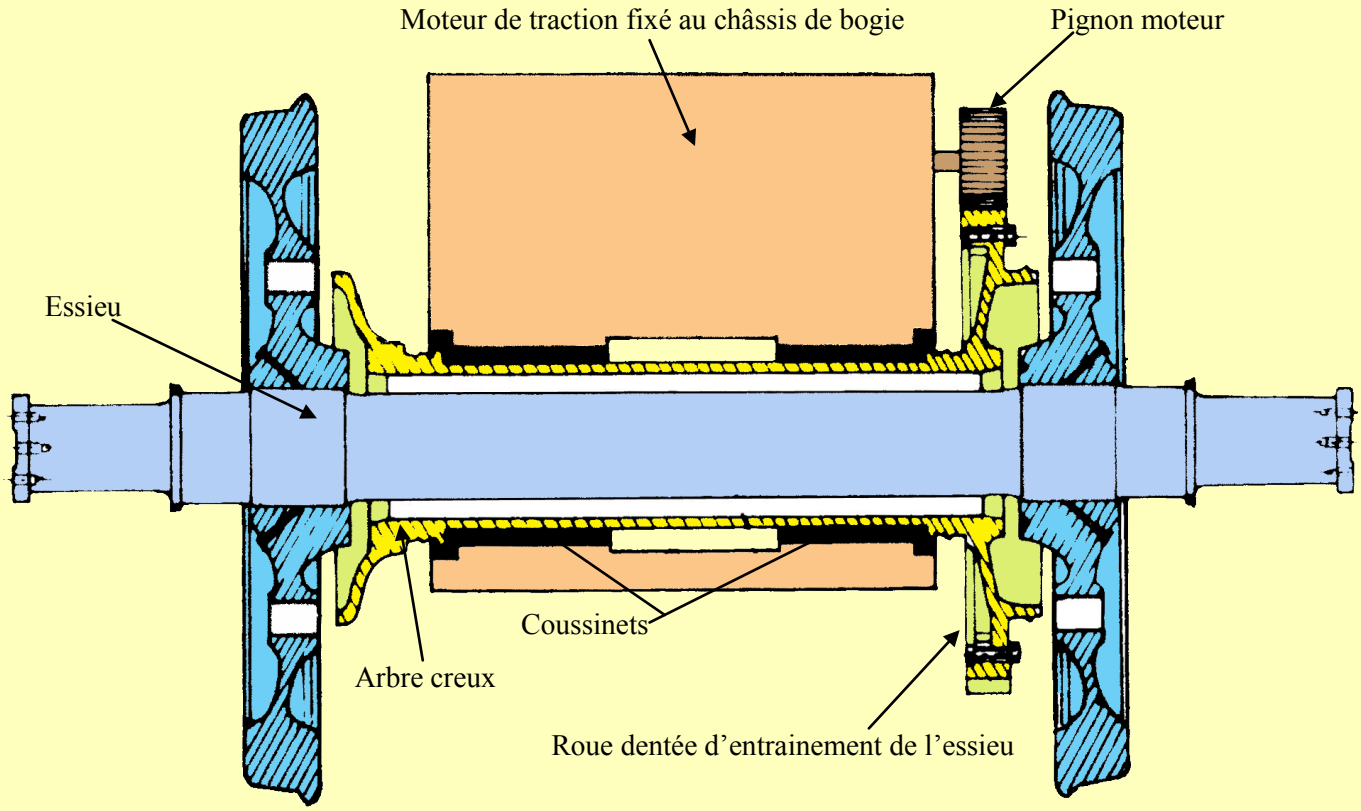
Un pignon de 33 dents en acier de cémentation de 105 kg de résistance cémenté, trempé, rectifié à denture droite.

Un pignon fixe est monté à une extrémité de l'arbre d'induit, un pignon réglable à l'autre extrémité. Ces pignons sont montés sur des portées coniques comportant un clavetage et bloqués sur cette portée par un écrou freiné.

Une roue dentée de 86 dents en acier de cémentation de 105 kg de résistance cémenté, trempé, rectifié à denture droite, montée à l'extrémité de l'arbre creux et commandée par le pignon correspondant au moteur.



Les roues dentées sont élastiques et se composent essentiellement de (*voir figure ci-dessus*) :
Une couronne dentée munie à l'intérieur de 22 encoches formant le logement des encoches.
Un plateau calé à l'extrémité de l'arbre creux portant sur son pourtour extérieur 22 encoches formant le logement des ressorts.
22 ressorts hélicoïdaux insérés entre 2 cuvettes.
Deux flasques fixés par vis de part et d'autre du plateau et assurant à la fois le centrage et la couronne et le maintien des ressorts.
Les talons des encoches de la roue dentée coulissent dans une gorge circulaire entre les talons du plateau. Les ressorts montés avec une certaine tension initiale prennent appui, par l'intermédiaire des cuvettes, à la fois sur les talons de la roue dentée et sur les talons du plateau assurant ainsi l'élasticité nécessaire à l'ensemble.



* Une **commande unilatérale** *(CC 7144 à 7158*) comprenant d'un seul côté du moteur :
Un pignon de 24 dents en acier de cémentation de 105 kg de résistance, cémenté, trempé, rectifié à denture droite.

Le pignon est monté sur une portée conique, comportant un clavetage et bloqué sur cette portée par un écrou freiné.
Une roue dentée de 71 dents (2) en acier de cémentation de 105 kg de résistance, cémenté, trempé à denture droite, montée sur le plateau d'arbre creux porte-engrenage et commandée par le pignon correspondant du moteur.
La roue dentée est montée rigidement sur le plateau d'arbre creux prévu à cet effet.
Les boulons de fixation de la roue dentée sur le plateau sont freinés par un point de soudure.

<u>Entrainement de l'essieu type Alstom:</u>

Un dispositif bilatéral d'entraînement du type Alstom (Alsthom à l'époque) comprenant à chaque extrémité de l'arbre creux :

Deux manetons calés sur un plateau solidaire de l'arbre creux et passant au travers d'évidements pratiqués dans la roue motrice.

Deux manetons calés à même la roue motrice.

Évitement permettant le passage du maneton fixé sur la roue dentée

Articulations solidaires de l'anneau dansant

Biellette de liaison

Anneau dansant

Maneton fixé sur la roue dentée

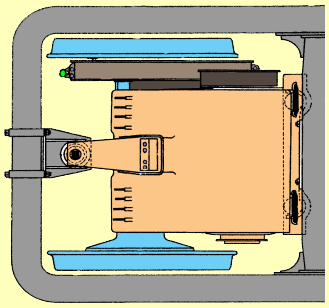
Évitement central de l'anneau dansant

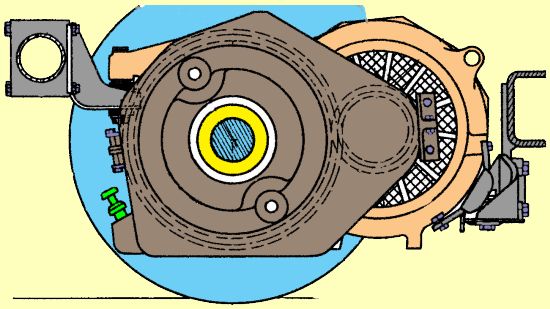
Maneton fixé sur la roue motrice

Un cadre « flottant » extérieur aux roues motrices.
Quatre bielles reliant le cadre aux manetons de l'arbre creux d'une part, et aux manetons de la roue d'autre part, par l'intermédiaire d'articulations à silentblocs.
Ce dispositif permet un entraînement correct de l'essieu dans le cas où l'axe de la roue dentée (donc de l'arbre creux) n'est pas en concordance avec l'axe de l'essieu.
Le jeu radial prévu entre l'arbre creux et l'essieu pour permettre tous les débattements de ce dernier est de 40 mm.

L'ensemble de la roue dentée et du pignon est enfermé dans un carter étanche.

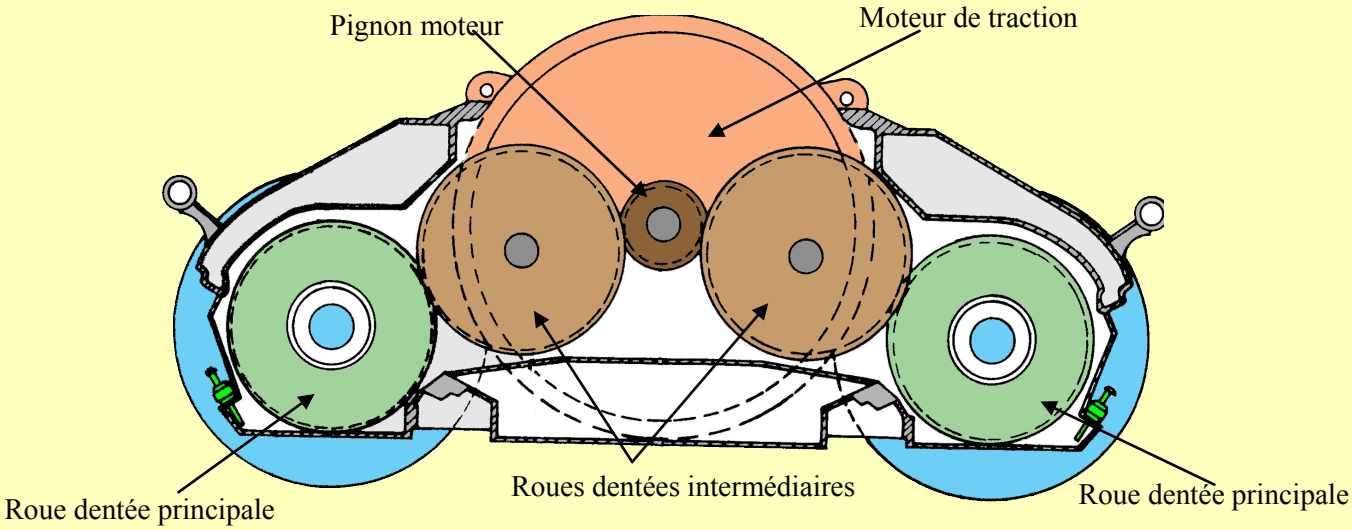
Les moteurs de traction sont entièrement suspendus et fixés en trois points. Deux pattes sur un support solidaire d'une traverse intérieure du bogie. Une patte sur un support solidaire des traverses extrêmes pour les moteurs extrêmes et d'une traverse inférieure pour le moteur médian.



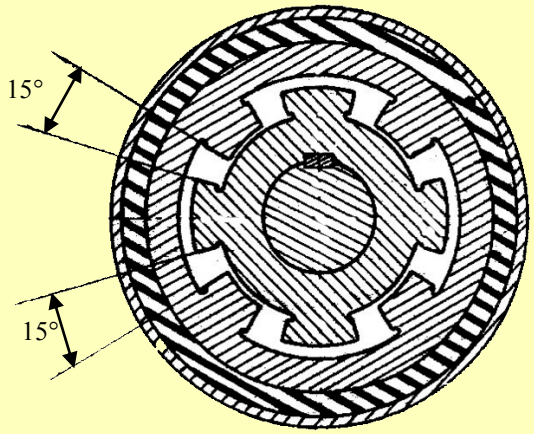


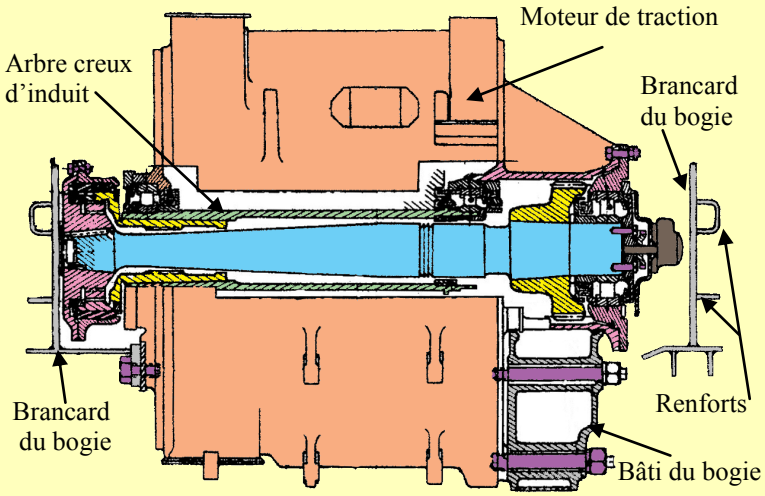
BB 9400

Les bogies sont monomoteurs.
Le pignon du moteur entraîne les deux couronnes dentées principales par deux roues dentées intermédiaires, à deux étages, montées sur roulements à rouleaux.

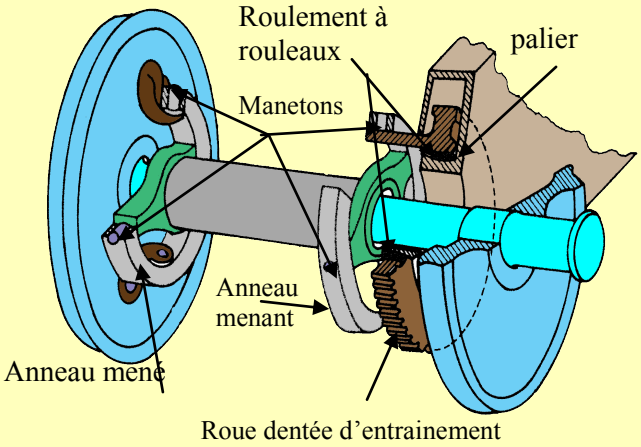


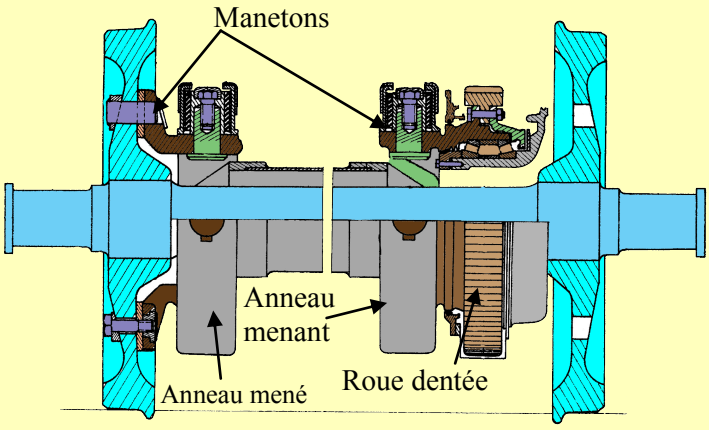
Tous les engrenages étant du type rigide, la flexibilité dans le couple moteur est obtenue par l'intermédiaire d'un élément élastique monté à l'arrière du moteur entre l'arbre creux d'induit et l'arbre moteur, en utilisant l'élasticité de torsion d'un anneau de caoutchouc. Cependant pour limiter la torsion de cet anneau à un angle de 15°, le plateau primaire comporte des butées qui peuvent venir en contact avec les cannelures du plateau secondaire. *(Schéma ci-dessous).*

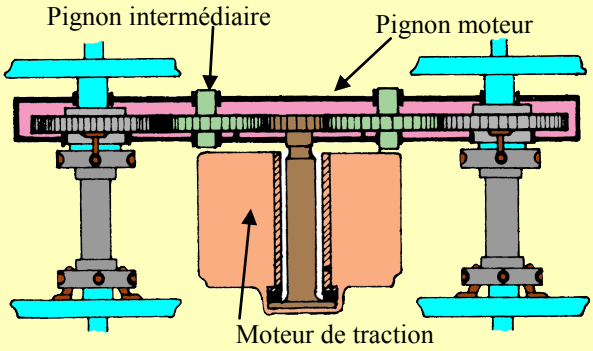


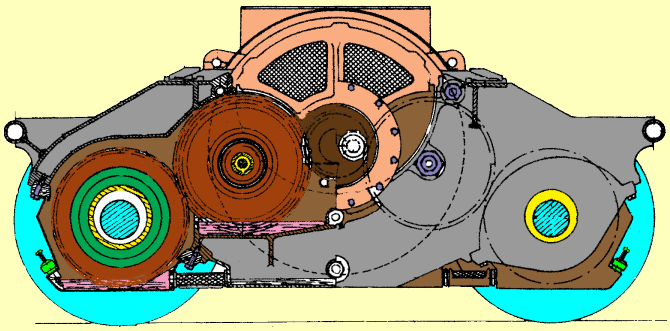


Le mode d'entraînement de l'essieu (du type « Jacquemin ») est composé essentiellement de deux anneaux, chacun relié à l'arbre creux par deux manetons articulés. Ce dispositif constitue un double joint de cardan et la vitesse transmise à l'essieu reste régulière quel que soit le déplacement de cet essieu par rapport au châssis de bogie.









Mais qui est Jacquemin ?

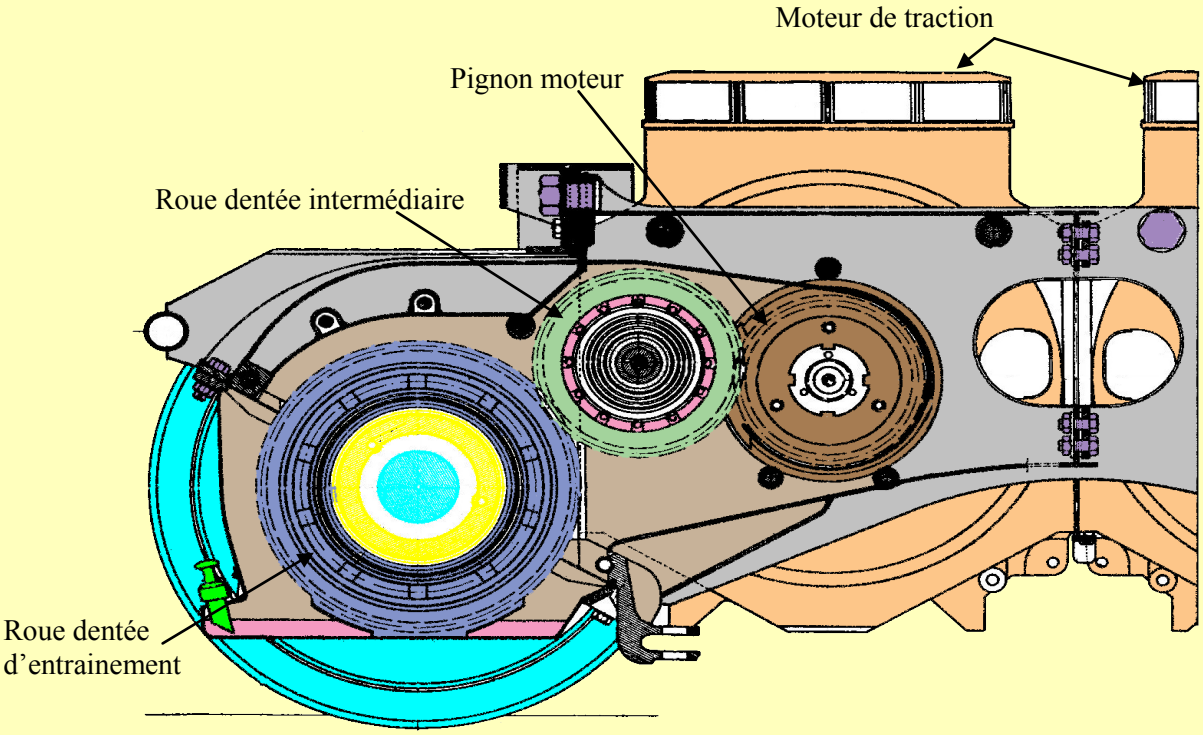
André Jacquemin entre en 1924, au bureau d'études de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans (PO). Après la formation de la SNCF en 1938 et la Seconde Guerre mondiale, il est affecté à la division des études de la traction électrique (DETE) en tant que responsable de la section des études mécaniques.

Il est à l'origine de la conception des parties mécaniques des BB 9003-9004 (cette dernière étant en 1955 codétentrice du record du monde de vitesse sur rails) qui auront une longue descendance sous la forme des BB Jacquemin, inventant la traction basse, l'entraînement des roues par arbre creux concentrique à l'essieu, avec anneaux dansants et joint de Cardan, ainsi que la liaison caisse bogie sans pivot. Il s'intéressa aussi à l'architecture des caisses.
De nombreuses séries de locomotives furent pourvues de ces nouveaux dispositifs, même à l'étranger, y compris en Inde.

Il prend sa retraite de la SNCF le 1er janvier 1964, tout en restant conseiller auprès des constructeurs de matériel ferroviaire. Il meurt le 2 mars 1994.

BB 9200/9300/9700/16000/25200

Il y a un moteur de traction par essieu.



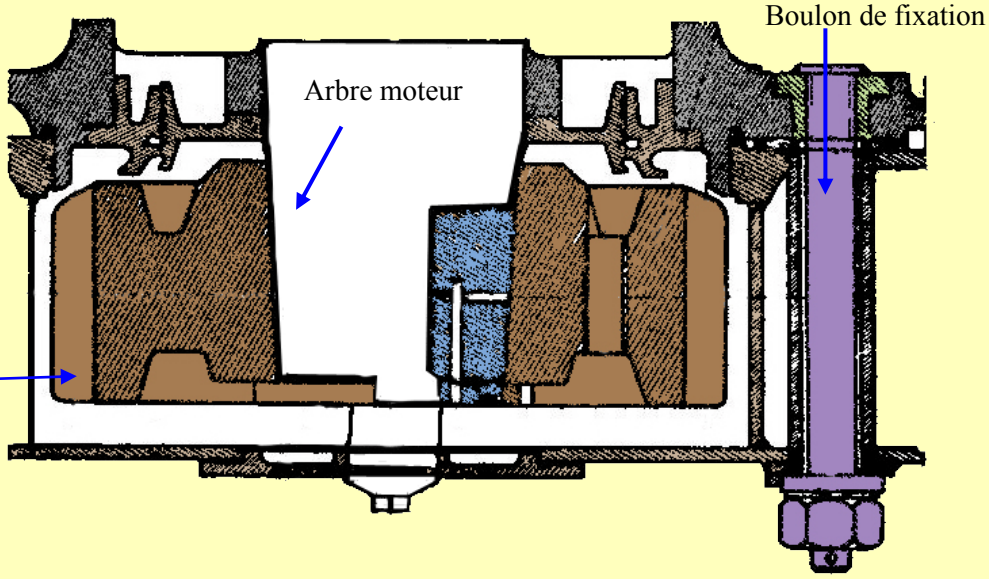
Bâti de transmission
Constitué de tôles soudées, il sert de carter aux engrenages, de support aux moteurs, de guide transversal d'essieu, et porte une partie des attaches de traction basse du bogie à la caisse.

Engrenages

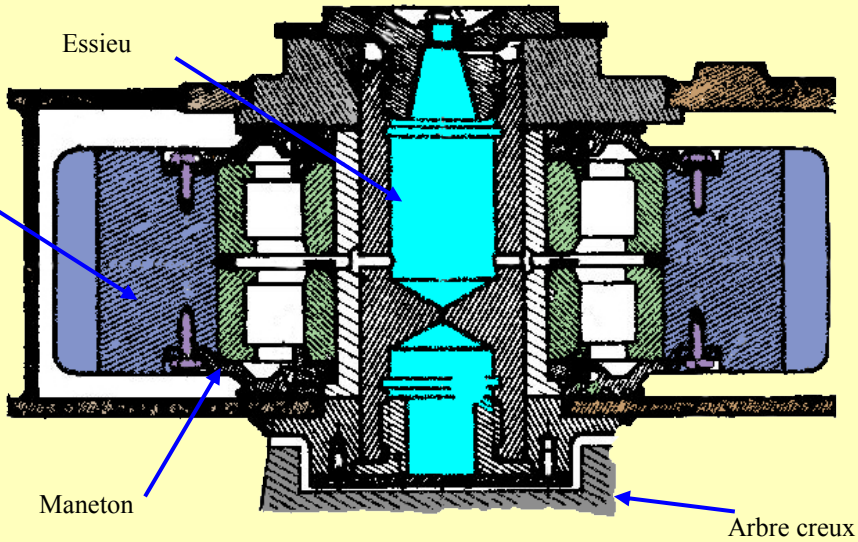
Le rapport d'engrenage est 64/36 soit 1,777.

Les couronnes de roues dentées élastiques de la transmission sont en acier allié à haute résistance, ainsi que les pignons moteurs et les roues intermédiaires.

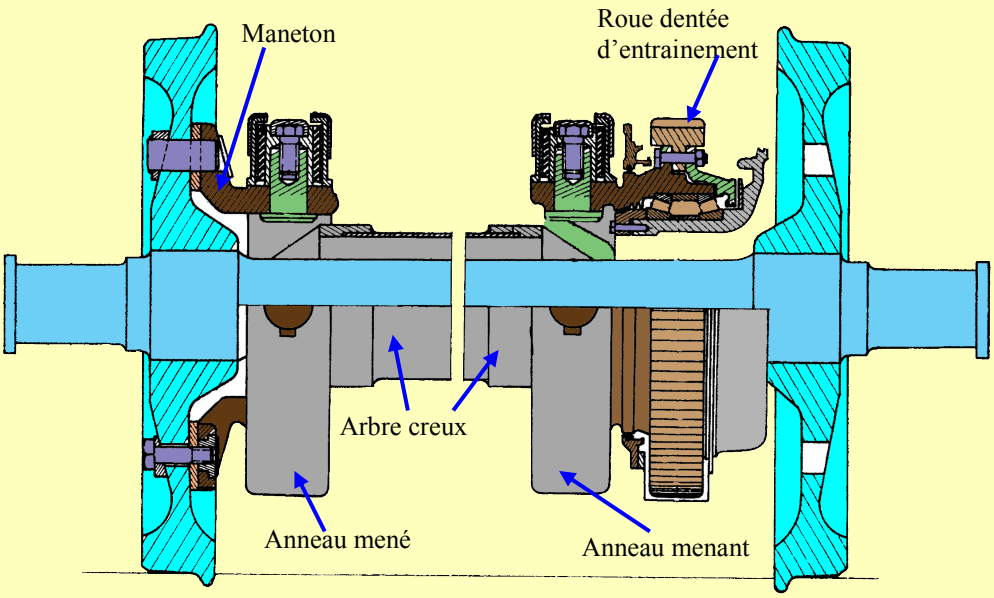
Vue en coupe du pignon moteur



Vue en coupe du pignon d'entrainement

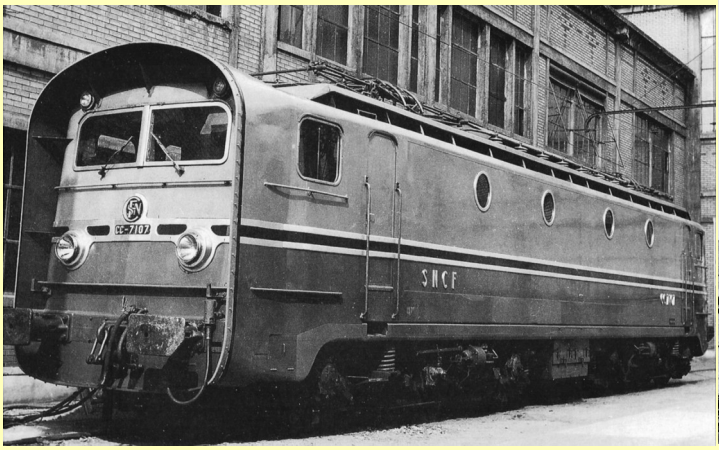


Le mode d'entraînement de l'essieu est du type « Jacquemin ».



Transmission Jacquemin (rappel)

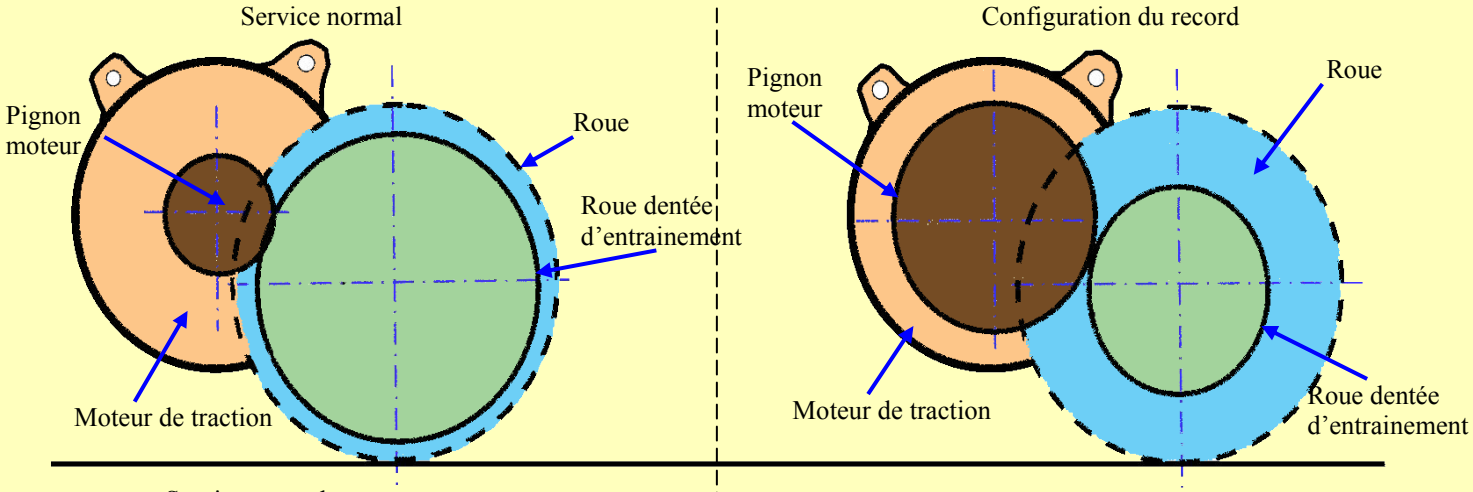
BB 9004 et CC 7107



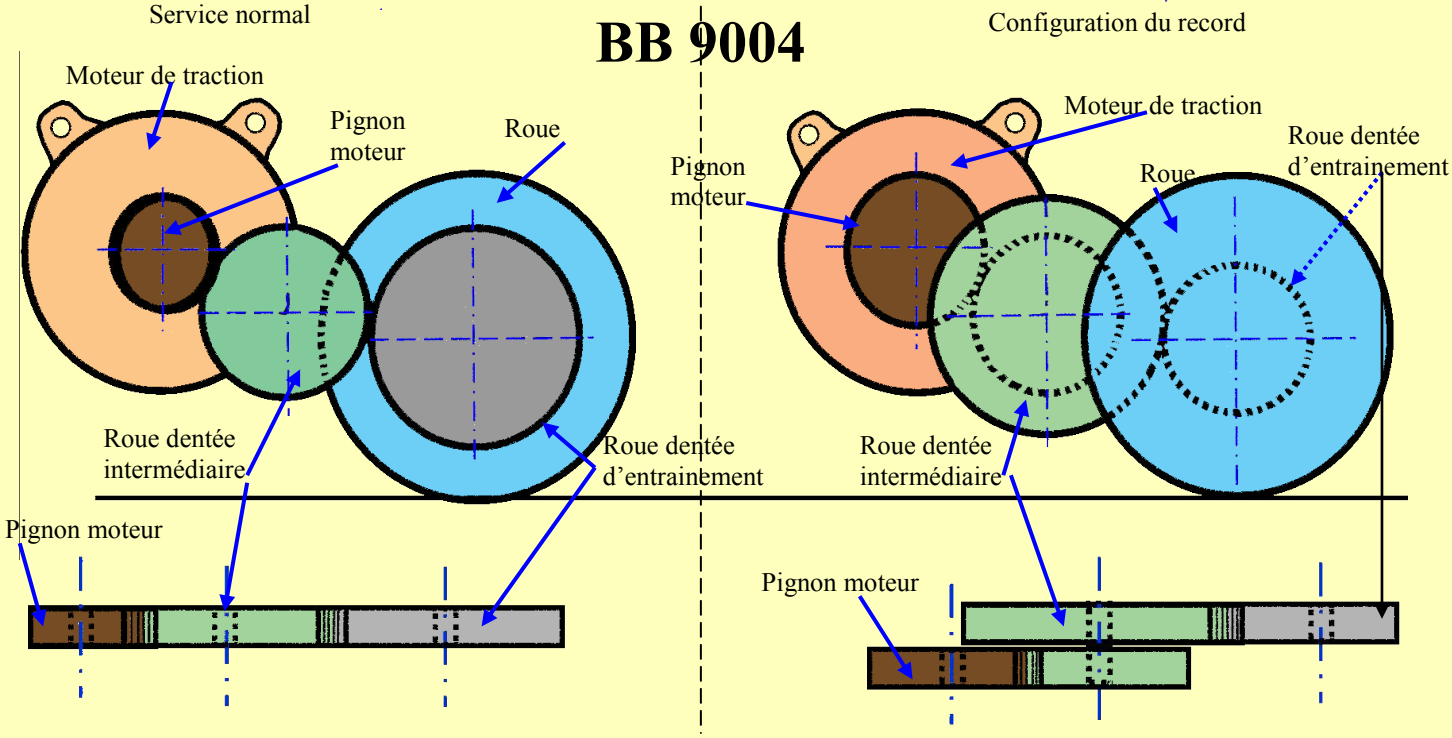
Configuration record du monde en mai 1955

CC7107

Rapport d'engrenages pour le record du monde à 331 Km/h en mai 1955



BB 9004

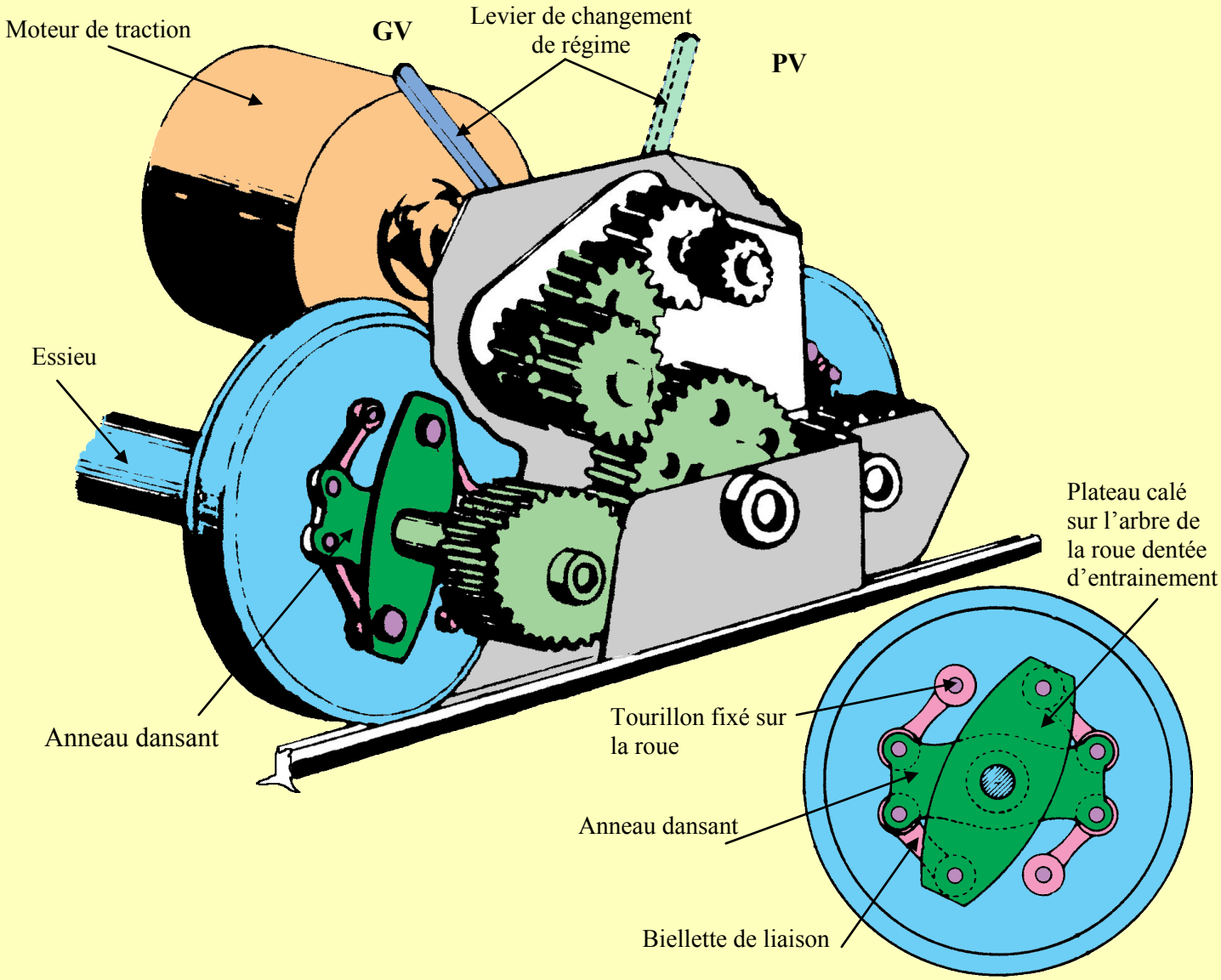


BB 8500/16500/25500

Les bogies sont monomoteurs.
L'effort de traction est transmis aux roues, d'un seul côté du bogie, par l'intermédiaire :

D'un dispositif de changement de régime.

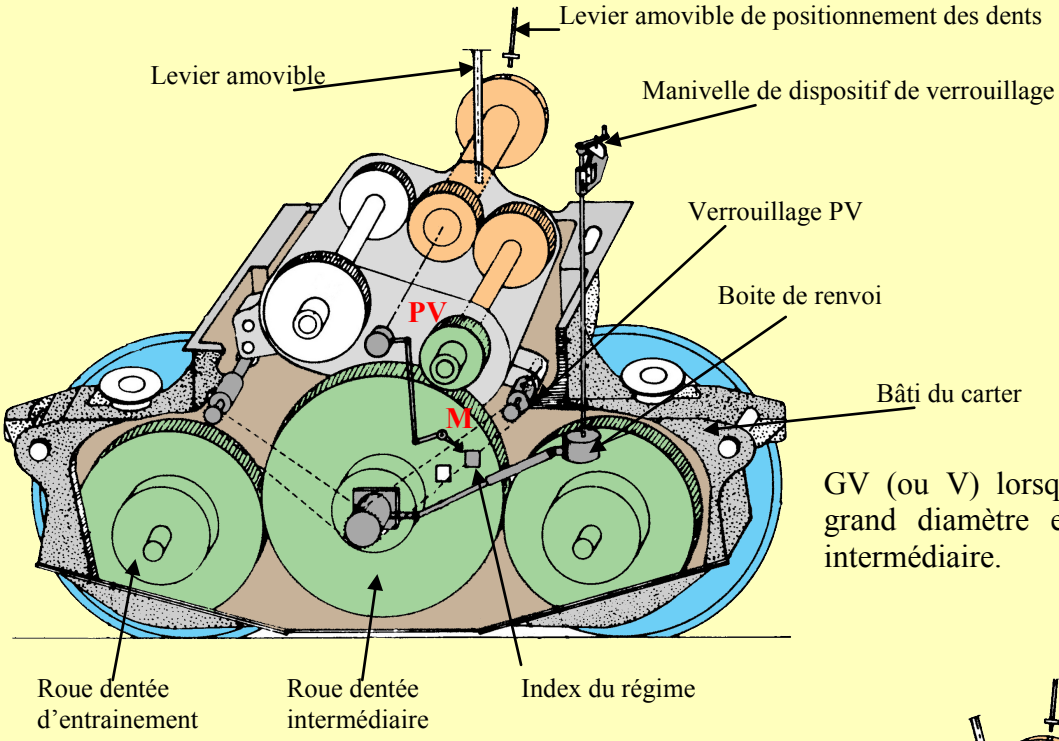
D'un accouplement entre le dispositif de changement de réduction et chaque essieu.



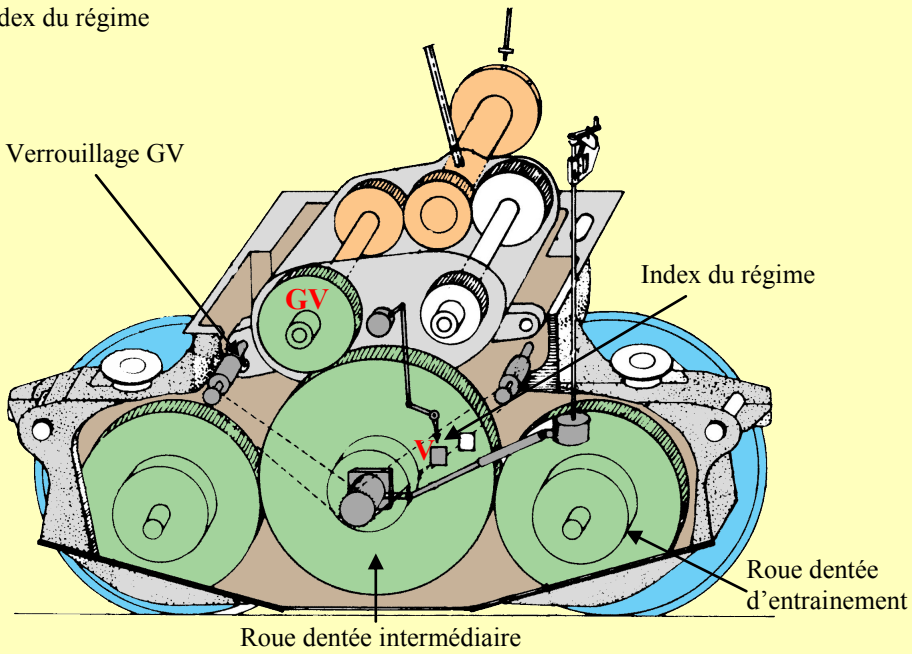
Accouplement entre le dispositif de changement de réduction et chaque essieu :
La roue dentée d'entraînement de l'essieu, solidaire du châssis de bogie, suit les mouvements provoqués par la suspension. Par ailleurs l'essieu suit les dénivellations de la voie et se déplace par rapport au châssis de bogie. Une liaison déformable est assurée par un accouplement du type « anneau dansant » et biellettes. L'anneau dansant est relié à la roue et à un plateau calé sur l'arbre de la roue dentée d'entraînement par des biellettes de liaison à silentblocs.

Changement de réduction :
C'est un ensemble d'engrenages logé dans un bâti carter fixé au châssis de bogie. Un pignon moteur calé sur l'arbre d'entrée du dispositif de réduction entraîne des engrenages montés sur un balancier oscillant autour de l'arbre d'entrée. Suivant la position du balancier une roue dentée intermédiaire est entraînée par des pignons de diamètres différents, ce qui réalise deux rapports de réduction :

PV (ou M) lorsque le pignon de plus petit diamètre engrène avec la roue intermédiaire.



GV (ou V) lorsque le pignon de plus grand diamètre engrène avec la roue intermédiaire.



La roue dentée intermédiaire engrène avec deux roues dentées d'entraînement des essieux. Les deux essieux sont ainsi solidaires.

Chaque dispositif de changement de réduction se commande manuellement à l'arrêt à l'aide d'un levier amovible.

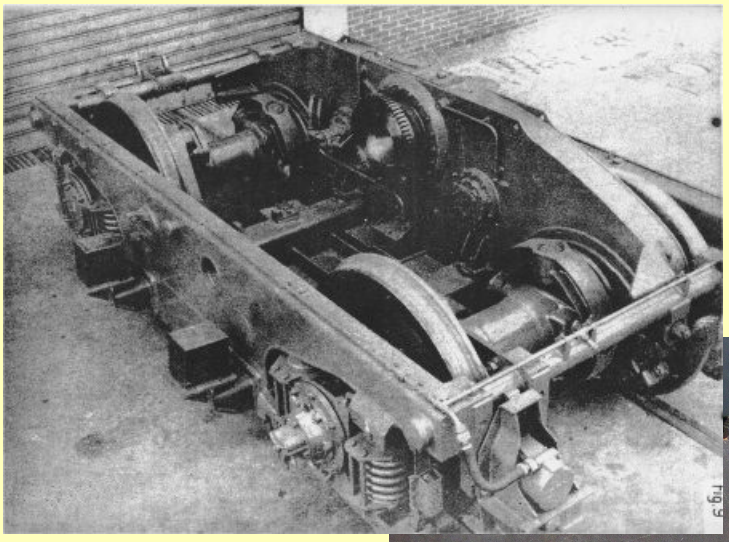
Un dispositif de verrouillage, actionné par une manivelle, assure l'immobilisation du balancier dans chaque position.

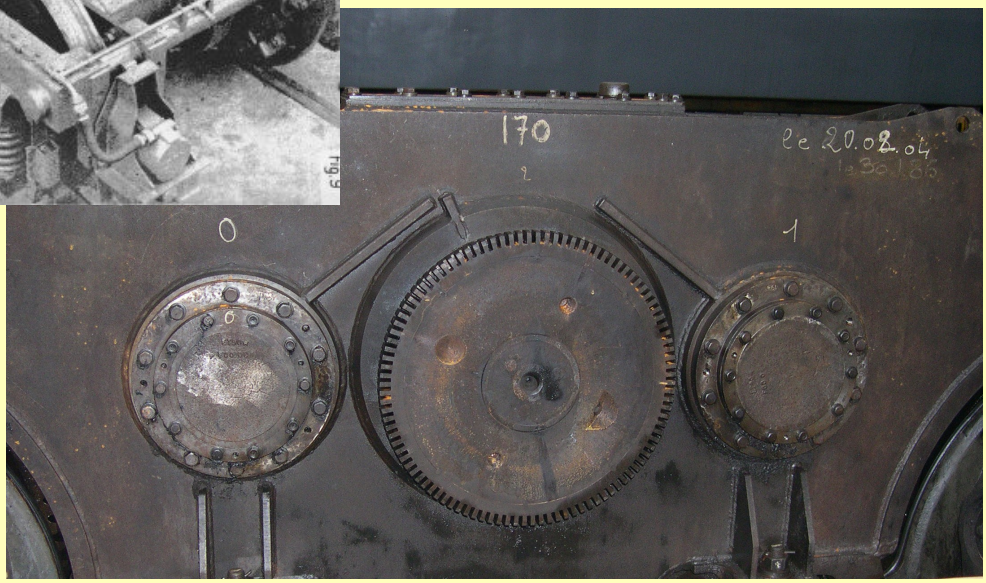
Un index monté sur la commande de verrouillage renseigne sur la réalisation de verrouillage ou du déverrouillage.

En cas d'avarie mécanique, le dispositif de changement de réduction peut être mis en position médiane.

BB 7200/15000/22200

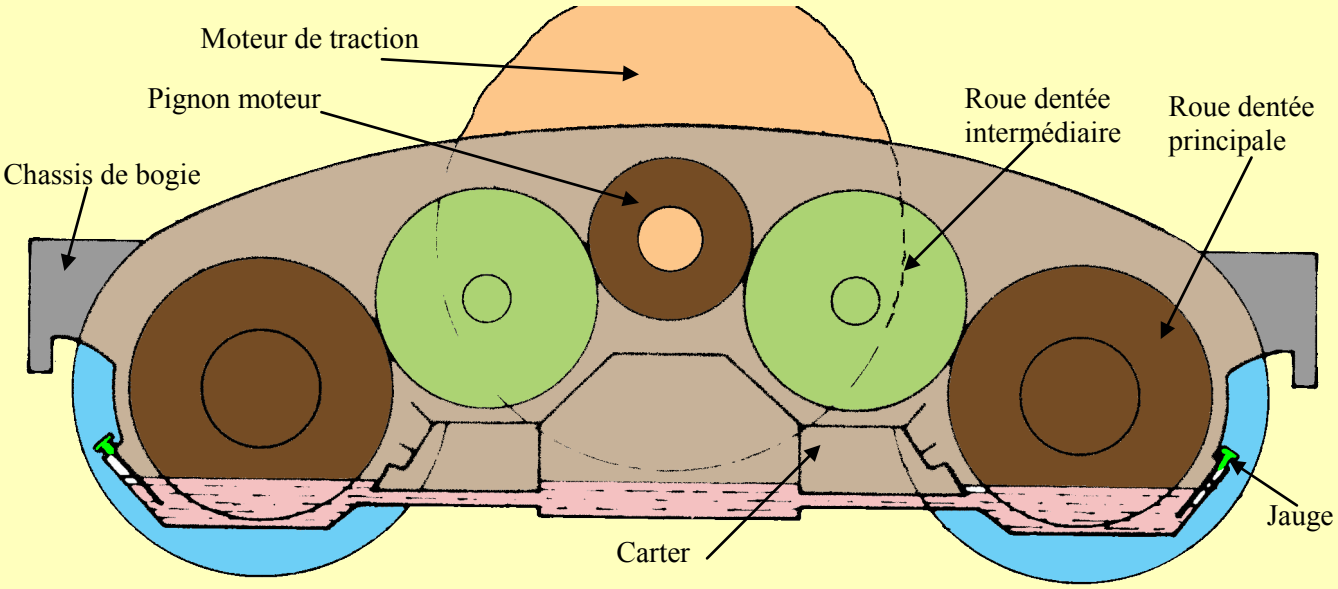
Les bogies sont monomoteurs.
L'effort de traction est transmis aux roues d'un seul côté du bogie par :



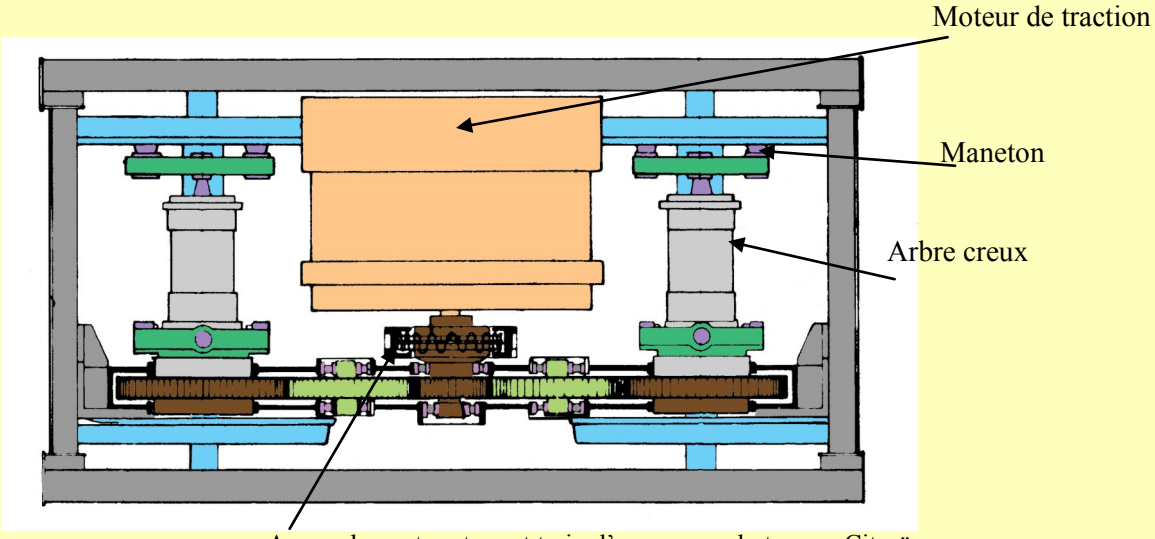


Accouplement entre moteur de traction et train d'engrenages :
C'est un accouplement élastique intercalé entre le moteur de traction et le train d'engrenages pour absorber les à-coups dus aux vibrations de l'effort de traction.

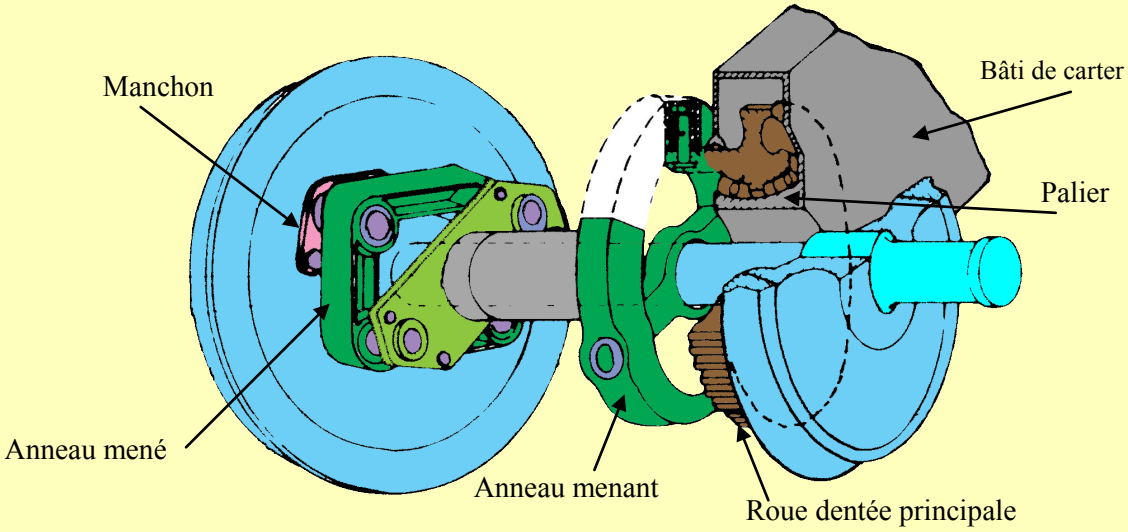
Trains d'engrenages :
C'est un ensemble de cinq engrenages (un pignon moteur, deux roues dentées intermédiaires, deux roues dentées principales) logés dans un bâti carter fixé au châssis de bogie. Une pompe à huile entraînée par l'une des roues intermédiaires assure le graissage.



Accouplement entre train d'engrenages et chaque essieu :
Il est nécessaire d'intercaler entre la roue dentée et l'essieu correspondant une liaison déformable.
Le mode d'entraînement de l'essieu est du type « Jacquemin ».



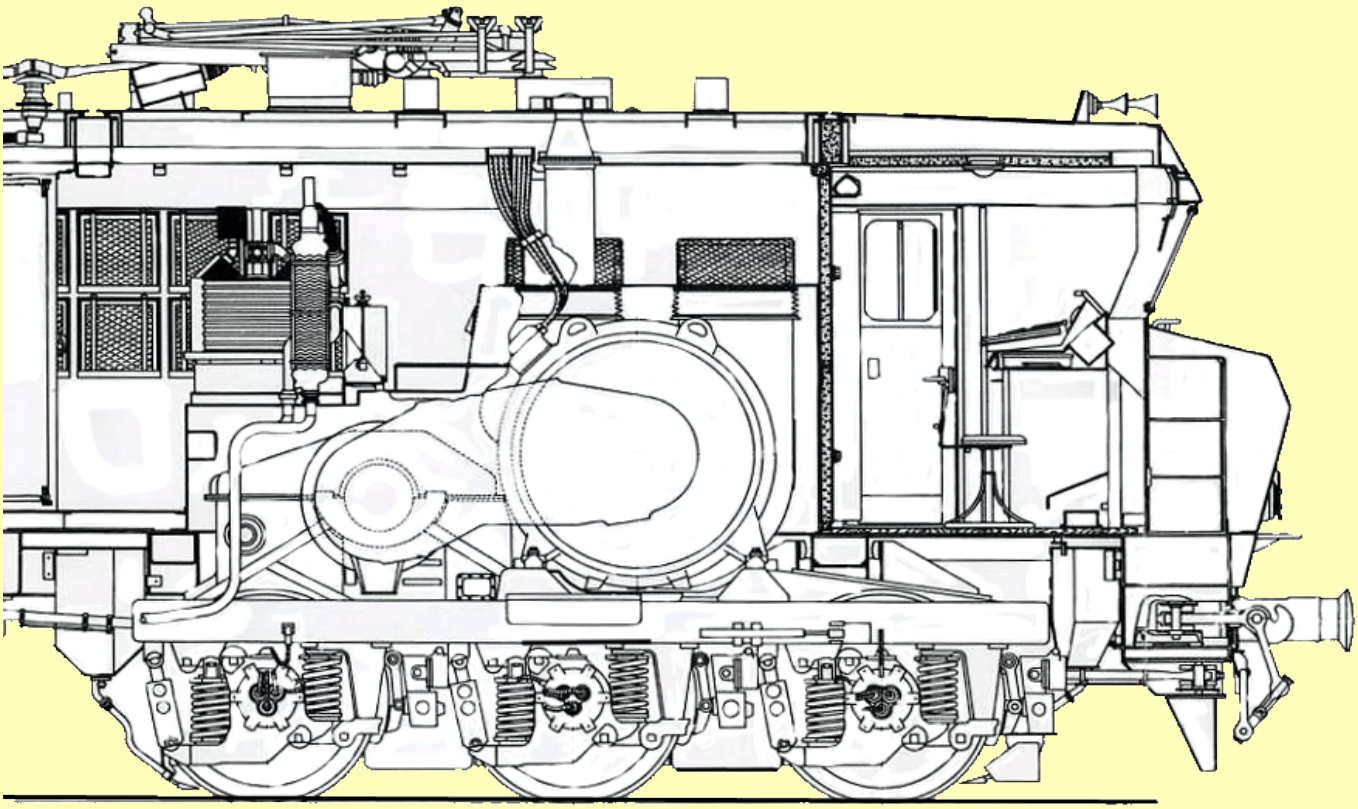
Accouplement moteur et train d'engrenage du type « Citroën »



CC 6500 / 21000

La version monophasée CC 14500 n'a jamais été construite

Les bogies sont mécaniquement parlant monomoteurs (électriquement il y a deux moteurs accolés dont les induits sont calés sur un même axe).

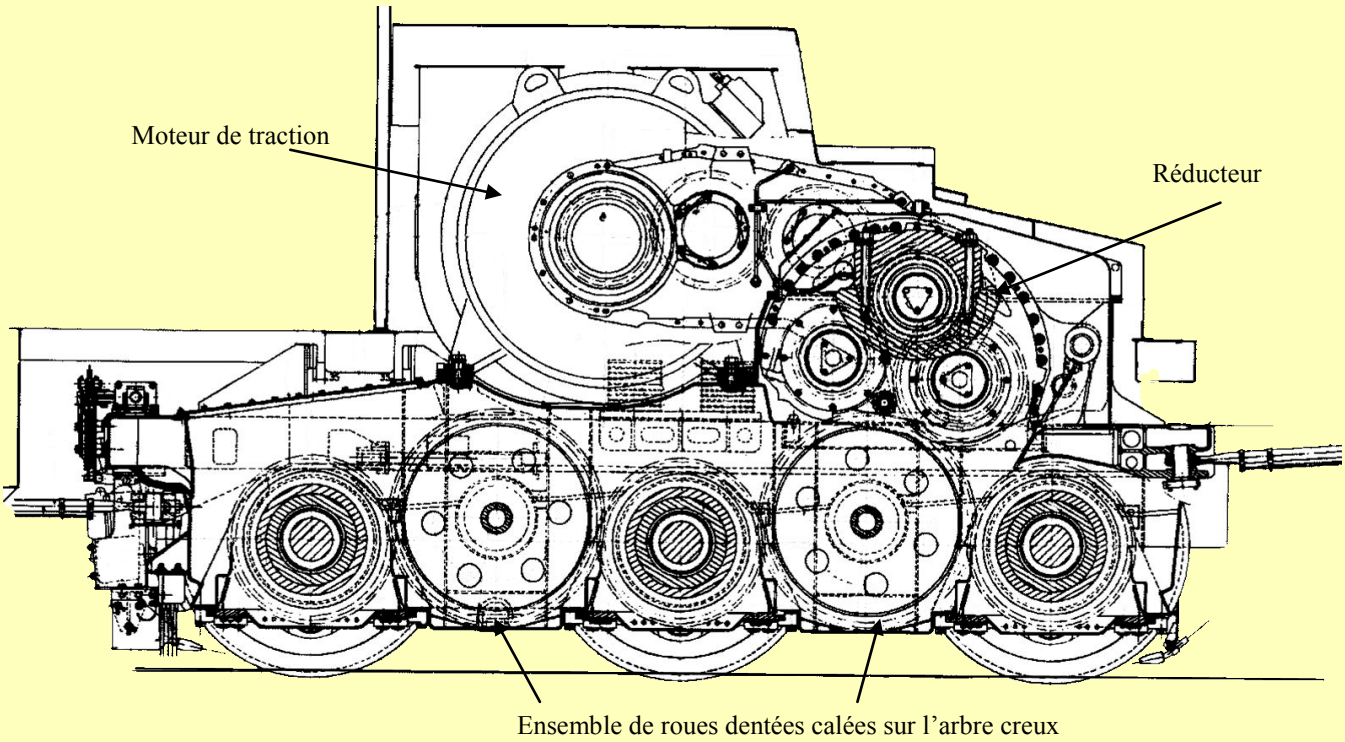


L'effort de traction et les essieux :

La transmission se décompose de différents sous-ensembles :

. Un ensemble roue dentée principale calée sur l'arbre creux. La roue dentée, solidaire du châssis de bogie, transmet intégralement le mouvement issu de la chaîne cinématique du réducteur.

. La transmission est du type Jacquemin.



La chaîne cinématique essieux-moteurs :

La chaîne cinématique :

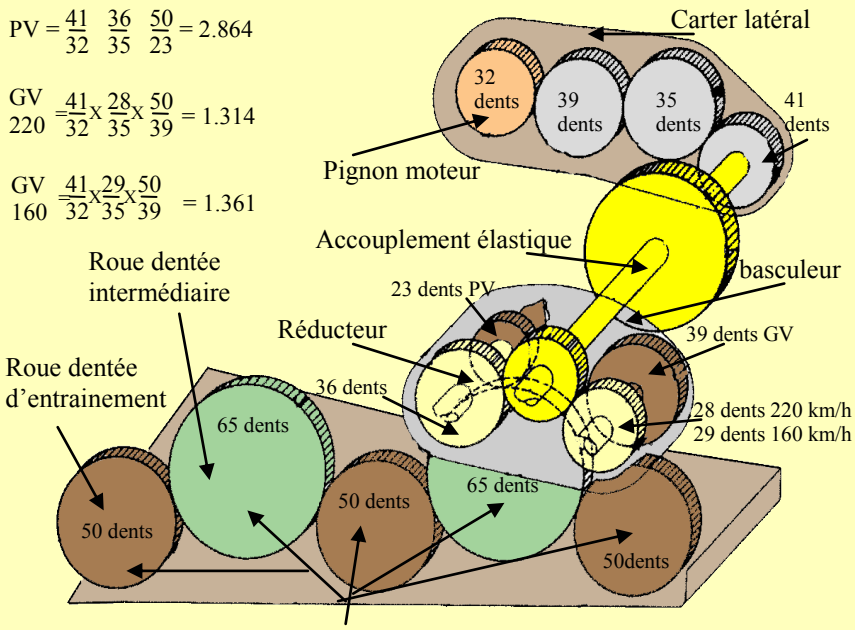
L'effort de traction, depuis l'arbre moteur jusqu'aux essieux, fait l'objet d'un long et complexe acheminement. Ce dispositif est destiné à rendre cette locomotive apte à tous les trafics. Ce fut l'ingénieur Lethion (Alsthom) qui inventa cette construction mécanique originale.

Tous les engrenages sont en acier faiblement allié de cémentation. Il s'agit d'engrenages à denture droite de haute résistance.

$$PV = \frac{41}{32} \; \frac{36}{35} \; \frac{50}{23} = 2.864$$

$$\frac{GV}{220} = \frac{41}{32} \times \frac{28}{35} \times \frac{50}{39} = 1.314$$

$$\frac{GV}{160} = \frac{41}{32} \times \frac{29}{35} \times \frac{50}{39} = 1.361$$



Le pignon moteur est placé à l'une des deux extrémités de chaque groupe moteur. Pour pouvoir transmettre le mouvement du moteur au dispositif de changement de régime, il est fait usage d'un train d'engrenages disposé latéralement au dessus du longeron du bogie.

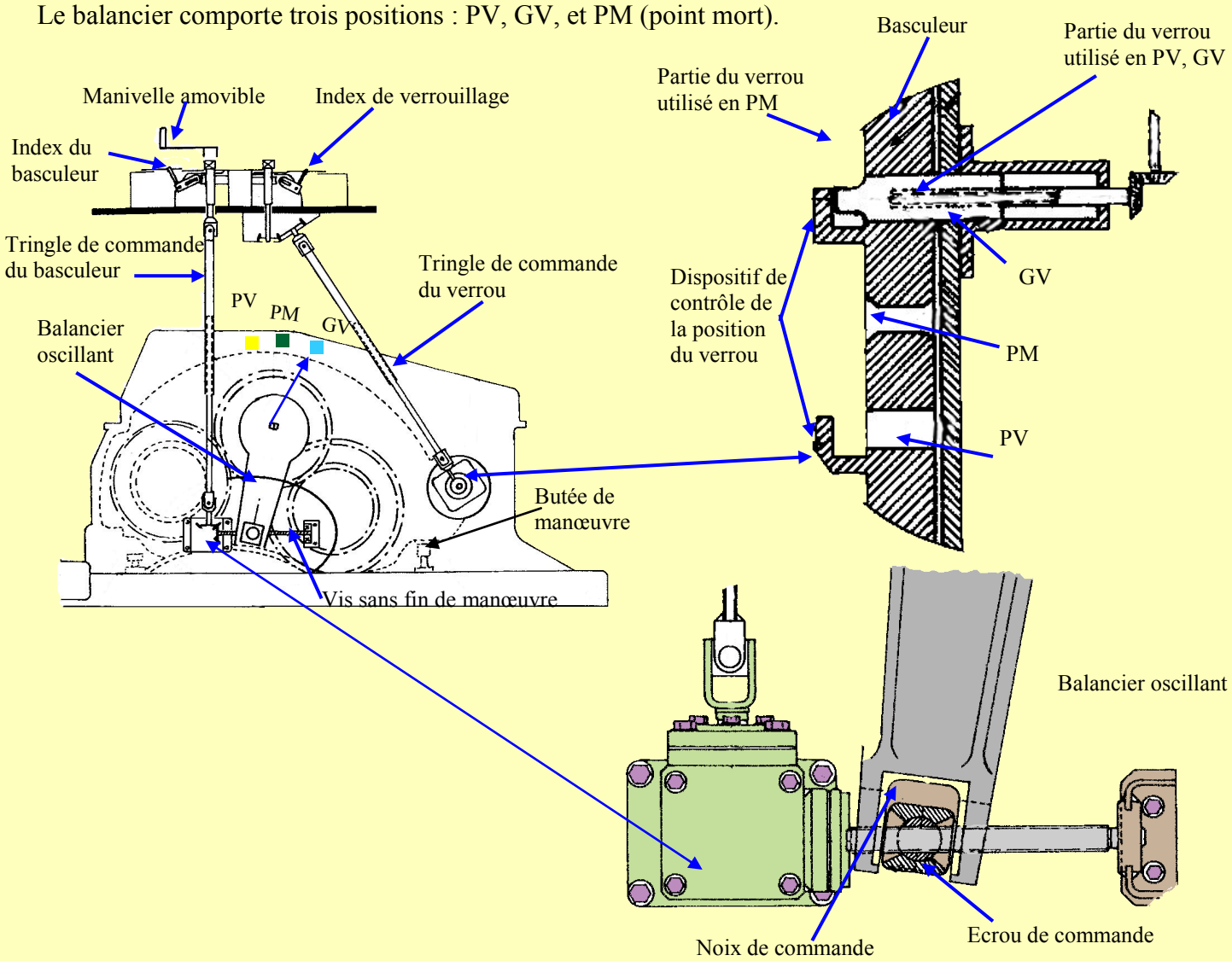
Le mouvement est transmis à un pignon de sortie au moyen de deux roues dentées intermédiaires. Ce pignon de sortie est disposé sur un arbre concentrique à l'arbre d'entrée du réducteur. Ces deux arbres, disposés dans le prolongement l'un de l'autre, ne sont toutefois pas directement reliés. Il existe entre les deux l'accouplement Citroën (accouplement élastique à lame d'acier flexible).

Le dispositif de changement de réduction :
A l'origine, la double réduction était prévue pour 100 Km/h (PV) et 220 Km/h (GV). La vitesse de 220 Km /h ne sera jamais pratiquée qu'en essai et la grande réduction fut cantonnée à 200 Km/h. Avec la disparition progressive des besoins en locomotives aptes à 200 Km/h, il fut entrepris de modifier le rapport de réduction à 160 Km/h (à partir de mars 1992 pour les locomotives mutées à Vénissieux).

Le dispositif de changement de réduction comporte un pignon d'entrée et la roue dentée intermédiaire de sortie, ainsi que les deux trains doubles qui permettent la double réduction.

Le dispositif de changement de réduction est entièrement manuel et à l'arrêt (si possible en ligne droite). Le conducteur dispose au dessus de chaque bogie de deux commandes avec leur index propre. Il dispose également d'un levier de virage d'induit, qui placé en bout d'arbre, permet de faire tourner légèrement l'induit lorsque le passage d'une position à l'autre est difficile.

Le balancier comporte trois positions : PV, GV, et PM (point mort).

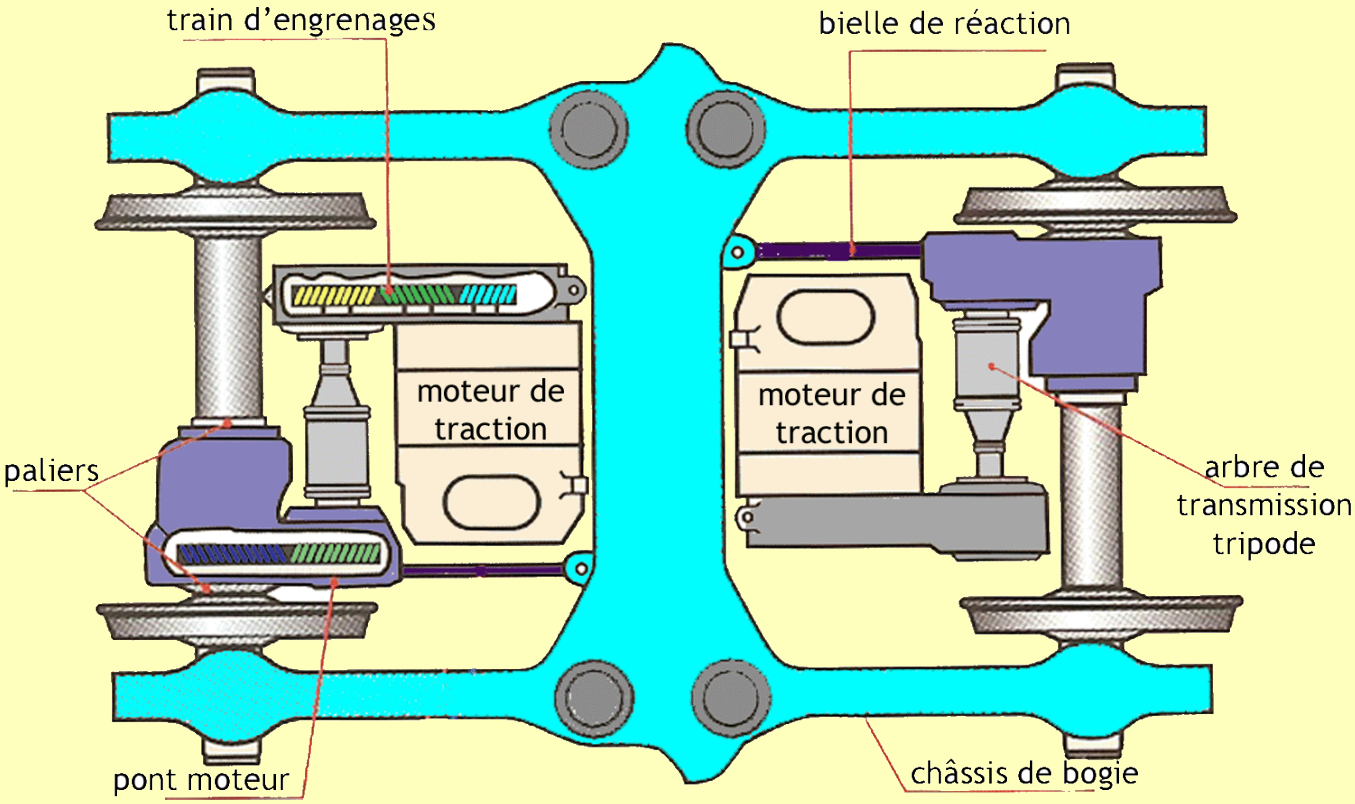


La lubrification de la chaîne cinématique :
L'ensemble des couples transmis est très important. Il faut donc mettre un graissage particulièrement efficient. Un contrôle, répercuté en cabine de conduite par l'intermédiaire de voyants lumineux, permet au conducteur de réagir rapidement en cas d'anomalie. Dans le cas de l'allumage d'une lampe rouge ou de deux lampes jaunes à plus de 40 Km/h pendant plus de trois minutes il fallait réduire immédiatement l'effort de traction ou rouler sur l'erre et, si possible, gagner la première gare ouverte au service.

TGV

Les deux moteurs de traction de chaque bogie moteur sont fixés sous la caisse.
L'effort de traction est transmis aux roues par l'intermédiaire :

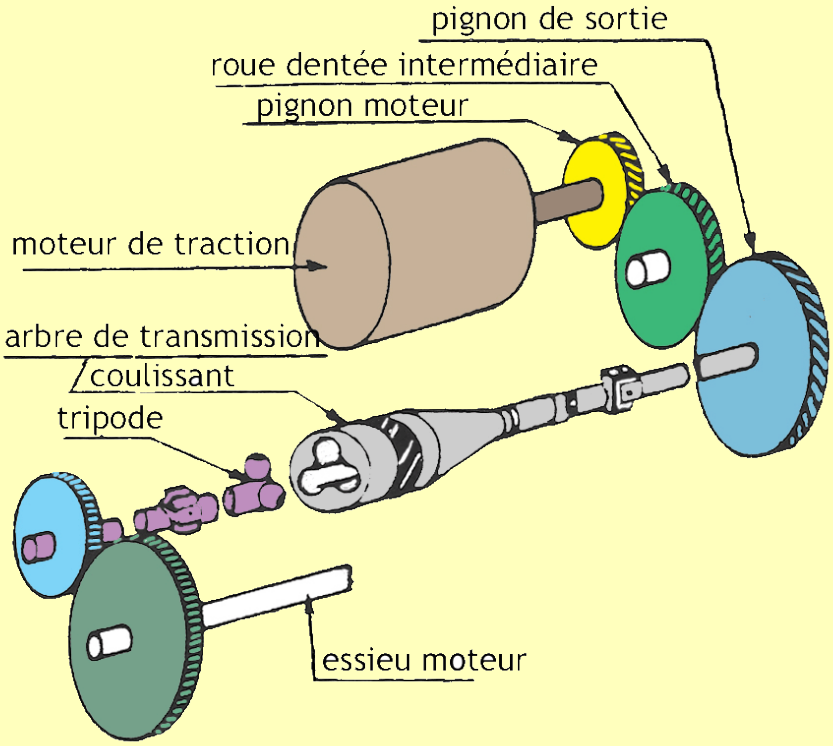
d'un train d'engrenages de liaison latérale.
d'un arbre de transmission.
d'un pont moteur.



Train d'engrenages de liaison latérale :
Ce train d'engrenages « réducteur », placé dans un carter latéral fixé rigidement contient :
. Un pignon moteur calé sur l'arbre de l'induit (ou du rotor) du moteur.
. Une roue dentée intermédiaire.
. Un pignon de sortie calé sur l'arbre de transmission.

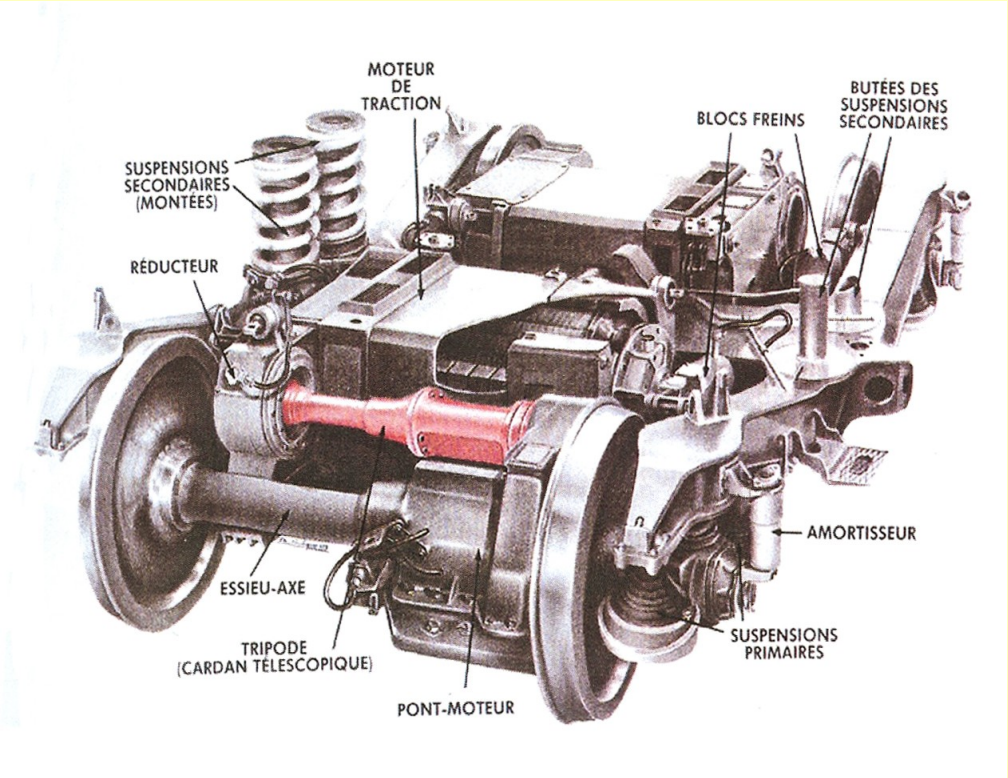
Le carter de chaque réducteur contient l'huile nécessaire au graissage des engrenages et des paliers.

Arbre de transmission :
L'arbre de transmission (tripode) assure la liaison entre le moteur de traction et l'essieu moteur. Cet arbre télescopique assure la liaison entre le pignon de sortie et le pont moteur par l'intermédiaire de cardans. Il comporte également un point de rupture en cas de blocage mécanique.



Pont moteur :
Le pont moteur assure l'entraînement d'un essieu par l'intermédiaire d'une couronne dentée calée à l'essieu.

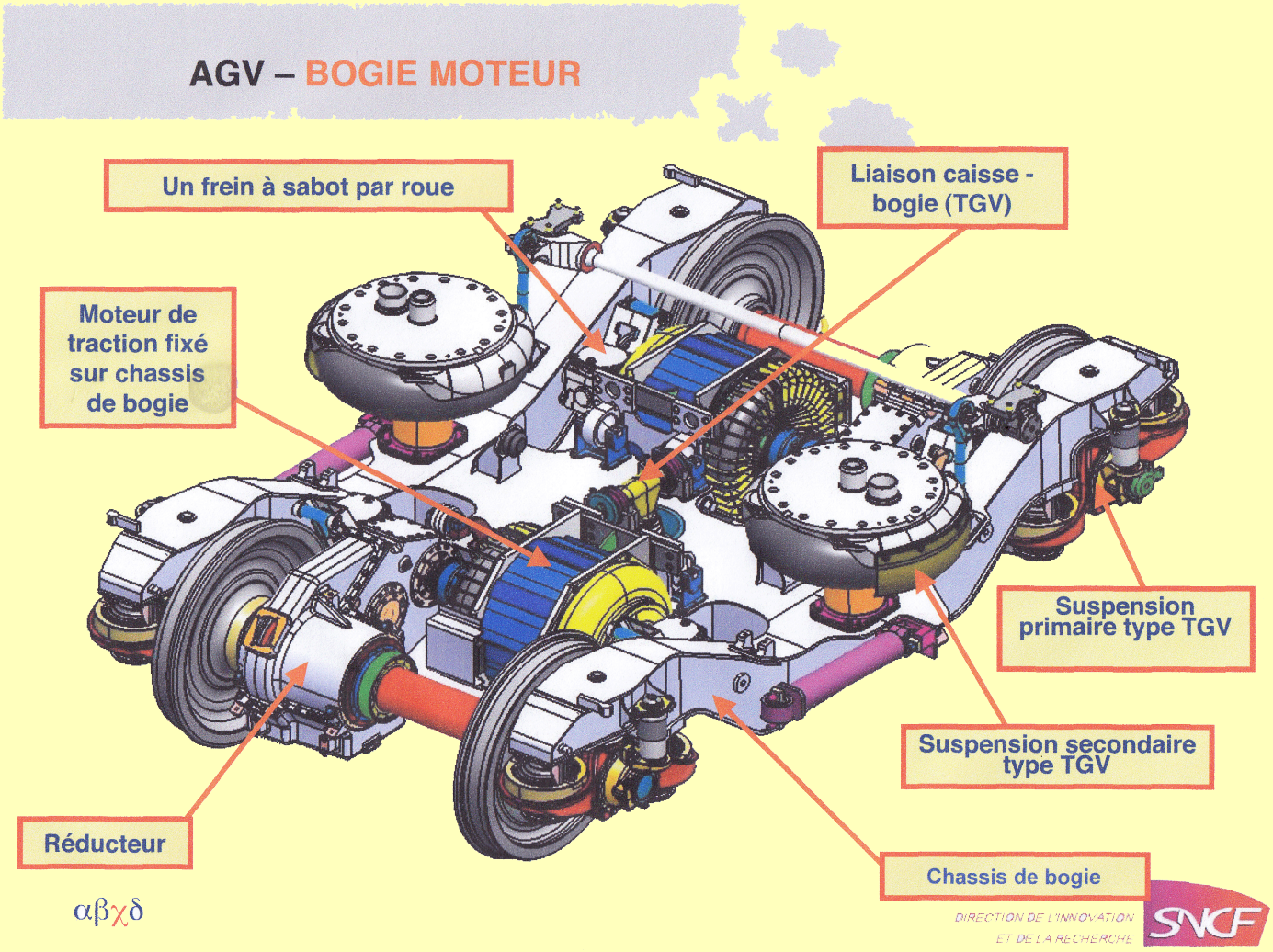
Chaque pont moteur prend appui :
. Sur l'essieu correspondant par deux paliers à coussinets solidaires du carter moteur.
. Sur le châssis de bogie par une « bielle de réaction », boulonnée sur le carter et reliée par une articulation à silentblocs au châssis de bogie, pour s'opposer au mouvement de rotation du pont moteur autour de l'essieu.



AGV

Chaque bogie est doté de deux groupes moteurs réducteurs :
- un moteur de traction fixé de façon élastique à la traverse du châssis du bogie.
- un joint à dents avec un limiteur de couple.
- un pont réducteur semi suspendu.

Pont réducteur :
La réduction est donnée par le pont réducteur semi suspendu, appuyé sur l'axe au moyen de deux coussinets et sur le châssis du bogie à travers une réaction.
Il est capable d'absorber tous les mouvements entre l'axe et la structure. Il assure une fonction d'amortissement pour réduire la transmission de vibrations à la structure.
Dents de type hélicoïdal.
Le pont réducteur est lubrifié par barbotage.

Accouplement :
Le couple se transmet au moyen d'un joint à dents capable d'absorber tous les mouvements axiaux et angulaires.

Moteur de traction :
Le moteur de traction est à aimants permanents fixé de façon élastique au châssis de bogie.