

1. MISE EN CONTEXTE

Le système proposé est une bicyclette avec assistance au pédalage. Cette bicyclette n'est pas pour autant une bicyclette électrique car sans la puissance musculaire développée par le cycliste, il n'y a pas d'assistance électrique.

La société japonaise Yamaha propose un produit dont le principe repose sur l'utilisation d'une énergie d'appoint qui prend en charge une partie du travail à fournir lorsque le pédalage devient difficile (démarrage, montées, vent de face...).

Le système d'aide au pédalage est un système commandé puisque son assistance dépend de :

- l'effort de pédalage ;
- la vitesse de la bicyclette.

La gestion de l'assistance obéit aux principes suivants :

- jusqu'à 15 km/h, le système fournit une puissance égale à celle générée par le cycliste ;
- entre 15 et 24 km/h, l'assistance décroît progressivement au fur et à mesure que la vitesse augmente ;
- à partir de 24 km/h, l'assistance est nulle et seule la puissance du cycliste est motrice.



Figure 1 - Vélo à assistance électrique Yamaha

2. PRÉSENTATION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE

Le diagramme de définition de blocs est donné figure 2

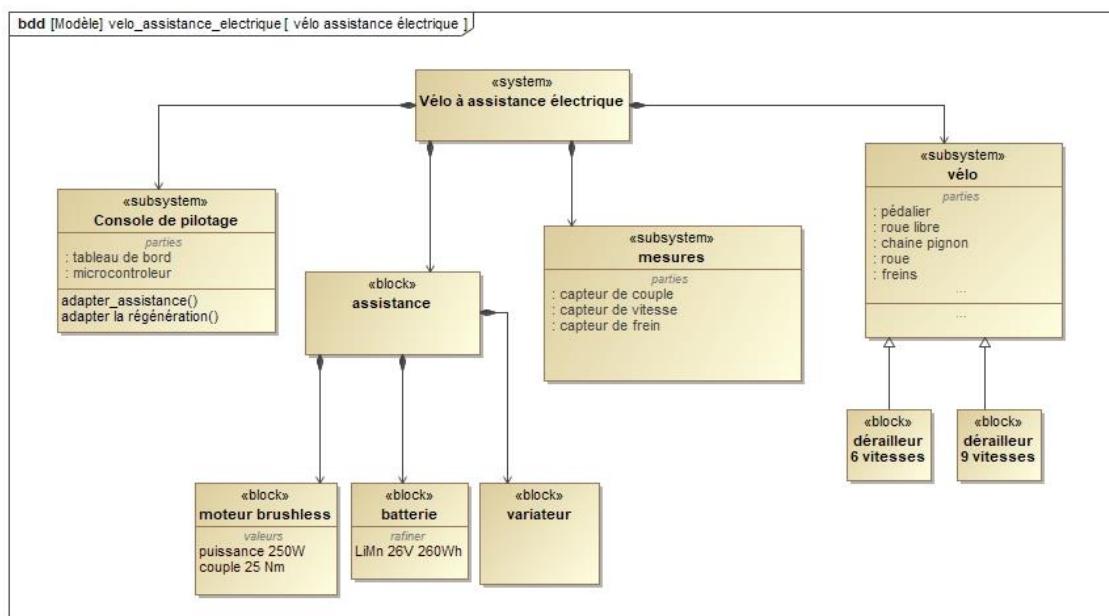


Figure 2 - Diagramme de définition de blocs du vélo à assistance électrique

Le système d'assistance au pédalage comporte une transmission de puissance composée de deux entrées et une seule sortie. La puissance motrice du système est la somme de deux puissances : la puissance musculaire du cycliste sur l'axe du pédalier, la puissance électrique du moteur sur le rotor, commandée par le calculateur.

Lorsque l'assistance n'est pas en service, les pédales reçoivent la puissance de pédalage du cycliste et la transmettent à l'arbre **18**. La puissance est transmise au porte-satellites **20** qui entraîne la couronne **23** puisque la came **16** est arrêtée en rotation par l'intermédiaire du ressort **31**. Le pignon de chaîne **23a** solidaire du planétaire **23c**, transmet la puissance à la chaîne de transmission par l'intermédiaire des dents (voir figure 4).

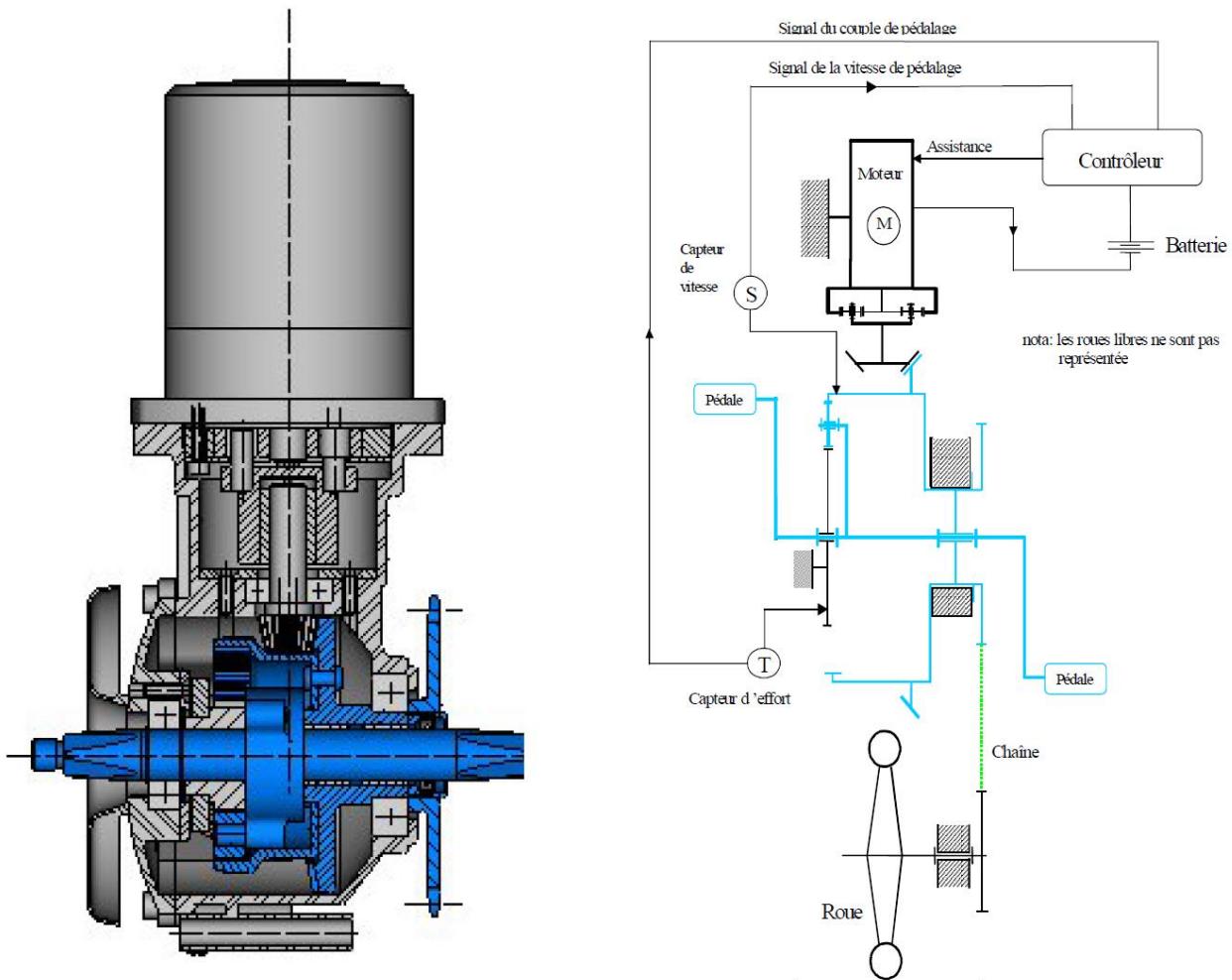


Figure 3 - Chaine d'énergie humaine

Lorsque l'assistance est en service, le parcours de la puissance de pédalage du cycliste est identique au précédent, mais une seconde puissance motrice vient en appui. Le calculateur commande au moteur électrique la puissance d'appui à fournir sur l'arbre 1. La puissance est transmise au porte-satellites 2 via le réducteur à train planétaire à galets (transmission par adhérence). Le porte-satellites transmet la puissance reçue au pignon d'attaque 5 par l'intermédiaire de la roue libre à aiguilles. Le pignon d'attaque transmet ensuite la puissance à la couronne 23 solidaire du pignon de chaîne.

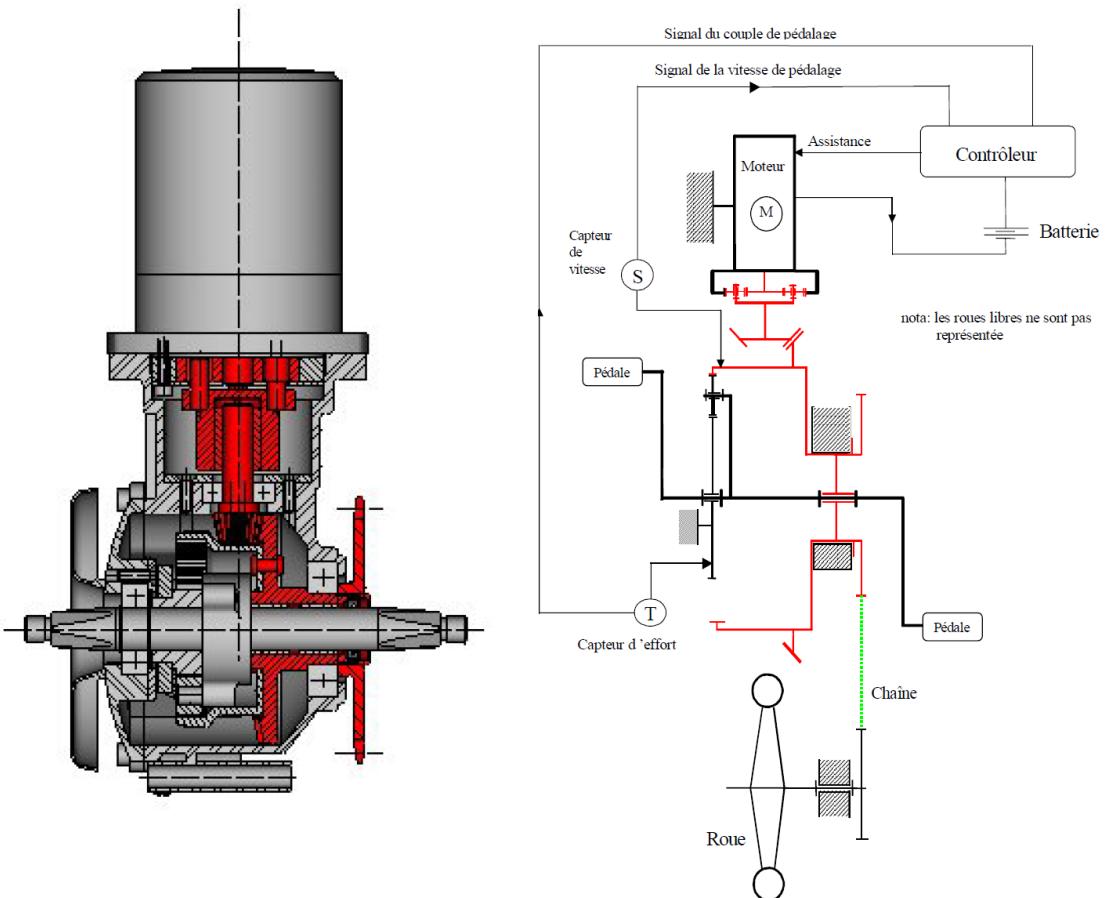


Figure 4 - Chaine d'énergie électrique

Le train épicycloïdal (Planet Roller) à galets possède les caractéristiques suivantes :

- Diamètre de la couronne 33 : $d_{33} = 46,9 \text{ mm}$
- Diamètre de l'extrémité du rotor 1 : $d_1 = 11,3 \text{ mm}$
- Diamètre des satellites 27 : $d_{27} = 17,8 \text{ mm}$

On peut observer ce train épicycloïdal particulier sur la coupe D-D extraite du dessin d'ensemble (figure 5).

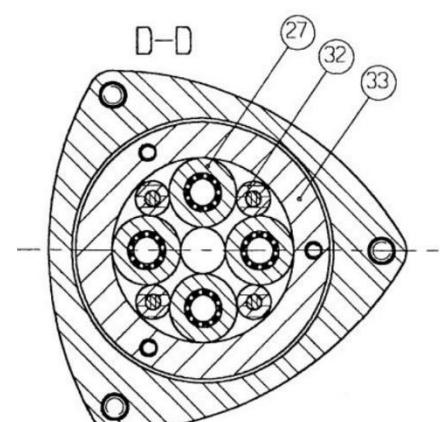


Figure 5 - Coupe du train Planet Roller

La couronne **23** s'impose comme un composant central de la transmission de puissance puisqu'elle effectue l'addition des puissances motrices. La roue libre à aiguilles est un composant de sécurité : elle transmet la puissance d'appoint au pignon d'attaque **5** lors de l'assistance mais évite d'endommager le moteur électrique en supprimant l'entraînement de son rotor par le cycliste lorsque l'assistance est nulle. Le train planétaire à galets composé des planétaires **1** et **0**, du porte-satellite **2** et du satellite **27** évite la détérioration du moteur en cas de blocage intempestif de la couronne lors d'un freinage en permettant du glissement entre les satellites **27** et les planétaires.

La roue libre à cliquets transmet le couple de pédalage du cycliste à la came **16** du capteur de couple mais ne le transmet pas en cas de rétropédalage.

La puissance est transmise par le pignon **23a** à la roue arrière par une chaîne qui s'enroule sur un second pignon dentée solidaire d'un moyeu spécial contenant une boîte de vitesses (Moyeu NEXUS) à base de trains épicycloïdaux possédant 4 rapports (figure 6).

On donne les caractéristiques suivantes :

$$\text{Système pignons-chaîne : } k_{pc} = \frac{\omega_{nex/0}}{\omega_{23/0}} = \frac{Z_{23a}}{Z_{nex}} = \frac{24}{22} = 1,09$$

$$\text{Boitier Nexus : } k_{nex\ i} = \frac{\omega_{roue/0}}{\omega_{nex/0}} \quad i = 1 \text{ à } 4$$



Figure 6 - Moyeu Nexus

Le rapport de transmission du moyeu Nexus peut prendre les 4 valeurs suivantes : 1 - 0,8 - 0,66 et 0,54.

On donne les nombres de dents des roues dentées dans la nomenclature de la chaîne d'énergie de la transmission du vélo.

Le rayon de la roue est $R_{roue} = 280 \text{ mm}$.

3. ANALYSE CINEMATIQUE DE LA TRANSMISSION

Objectif : caractériser la chaîne d'énergie du vélo pour déterminer la relation entre la fréquence de pédalage du cycliste, la vitesse de rotation du moteur et la vitesse d'avance du vélo.

- 1.1 Tracer la chaîne d'énergie correspondant au cas où l'assistance est active depuis les sources d'énergie (batterie et cycliste) jusqu'au cadre du vélo.
- 1.2 Déterminer l'expression du rapport de transmission k_{PR} du train épicycloïdal « Planet Roller » en fonction des diamètres d_1 et d_{33} .
- 1.3 Déterminer l'expression du rapport de transmission k_{5-23b} du train à pignons coniques en fonction de Z_5 et Z_{23b} .
- 1.4 Déterminer l'expression du rapport de transmission k_{cyc} du train épicycloïdal utilisé lorsque l'assistance n'est pas active en fonction de Z_{16} et Z_{23c} .
- 1.5 Déterminer les valeurs numériques des rapports de transmission.
- 1.6 Exprimer puis calculer la vitesse de déplacement du vélo $v_{cadre/sol}$ si le cycliste a une fréquence de pédalage de 60 tr. min^{-1} et que le boîtier Nexus est sur le rapport $k_{nex\ 1} = 1$.