

Un TP qui roule

DAVID RAVIART^[1]

Voici un TP destiné aux terminales scientifiques option sciences de l'ingénieur, réalisé à partir d'un produit pluritechnique, un dérailleur de vélo sans câble. Dans un premier temps, on étudiera une partie de la chaîne d'énergie en utilisant le logiciel Meca3D sous SolidWorks et, dans un second temps, une partie de la chaîne d'information à travers un capteur spécifique.

Un dérailleur sans câble

Un dérailleur de vélo sans câble n'a plus de transmission mécanique entre le guidon et le dérailleur ; le lien s'effectue par radiofréquence. Moins lourd et moins fragile puisque sans câble, ce type de dérailleur permet d'effectuer plus rapidement les changements de vitesse et donc de gagner plusieurs secondes.

Le dérailleur Mavic type Mektronic **1** est un dérailleur commandé électriquement et géré par un microprocesseur. Une impulsion sur l'un des boutons-poussoirs situés à différents endroits sur le cintre (guidon) permet de changer de pignon. L'implantation stratégique de chacun de ces boutons permet au coureur de ne pas quitter sa position pour effectuer le changement de vitesse. Les changements de vitesse sont gérés par un microcontrôleur implanté dans un compteur multifonction

Mots-clés

analyse mécanique, capteur, lycée technologique, prébac, produit pluritechnique, travaux pratiques



1 Le dérailleur en situation

(vitesses moyenne, maximale ; distances parcourue, cumulée, restante ; rappel du pignon engagé ; affichage de l'heure ; état de charge des piles). Les transmissions entre boutons-poussoirs et compteur se font par fils, les autres (capteur-compteur et compteur-dérailleur) par ondes radio codées très courtes (afin d'éviter les interférences).

[1] Docteur en automatique, professeur agrégé de génie mécanique, académie de Lille (59).



2 Le pédalier



3 La cassette de pignons

Les trois positions favorites des coureurs sont :
 → sur le haut du cintre, de part et d'autre de la potence, position aérodynamique souvent adoptée sur le plat ;
 → sur les « cocottes » (en appui sur le dessus des poignées de frein), position souvent adoptée pour « relancer la machine » (notamment en danseuse) ;
 → dans l'arrondi du cintre (derrière les poignées de frein), position souvent adoptée en recherche de puissance (notamment en sprint).

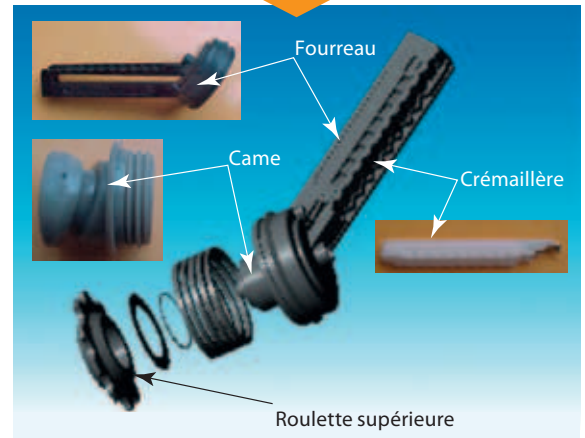
La configuration du pédalier et de la cassette de pignons

Le nombre de dents du petit ou du grand plateau **2** est un des éléments, avec le nombre de dents du pignon sélectionné, qui permet de calculer le braquet emmené par le coureur cycliste (terme cycliste qui correspond à la distance parcourue par le vélo lorsque le pédalier effectue un tour complet).

La cassette de pignons **3** est un ensemble de pignons d'un seul tenant choisi par le coureur en fonction du parcours de la course (étape de plaine ou de montagne). En fonction de la cassette choisie, il faut initialiser le compteur multifonction en entrant le code correspondant donné dans un tableau de la notice.

Le fonctionnement du dérailleur

Le dérailleur Mektronic utilise l'énergie de rotation de la roulette supérieure du guide-chaîne communiquée par la chaîne **4**. Cette roulette entraîne en rotation une came qui transforme ce mouvement en un mouvement de translation rectiligne alternatif transmis à une crémaillère double face inclinée, chaque face possédant une denture de forme inversée (une face pour la montée et une face pour la descente des vitesses). Cette crémaillère coulisse (liaison glissière) dans un fourreau, une pièce moulée (colonne traitée couche dure) qui opère une translation (liaison glissière) par rapport au corps du dérailleur lorsqu'une demande de changement de vitesse est effectuée. La position du fourreau est indexée et repérée, ce qui permet d'obte-



nir une position stable et d'afficher le nombre de dents du pignon sélectionné.

Deux électroaimants disposés de part et d'autre de la crémaillère permettent, lorsqu'ils sont alimentés, de bloquer la translation de cette dernière, ce qui provoque le déplacement de l'ensemble {fourreau + crémaillère} d'un pas. Le déplacement latéral de la chaîne étant lié à celui du fourreau, un changement de pignon est effectué.

La problématique

Lors de sa sortie sur le marché, le dérailleur Mavic Mektronic a, par sa conception innovante, révolutionné le milieu du cyclisme. Sa particularité est de supprimer le traditionnel changement de braquet par câble et de le remplacer par une transmission d'information par ondes radionumériques. Dans une première partie du TP, notre étude a pour objectif de vérifier la rapidité du changement de vitesse par rapport aux données fournies par le cahier des charges du dérailleur et de valider ses données constructeur. Dans la seconde partie, nous étudierons le capteur ILS (Interrupteur à Lames Souples) avec ses différentes caractéristiques au niveau de la création d'un signal de sortie pour le traitement dans la chaîne d'information.

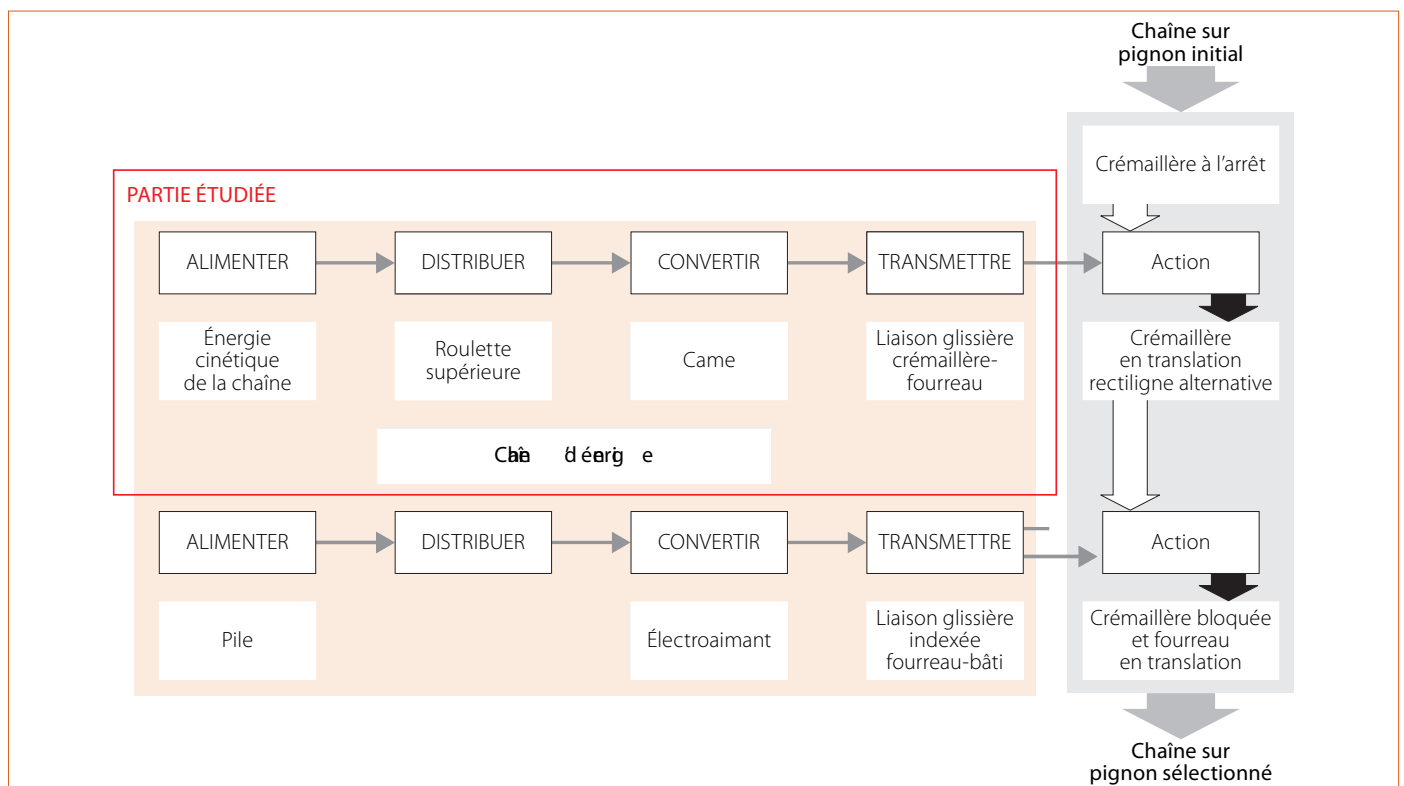
4 La modélisation du dérailleur

La fiche pédagogique du TP est donnée en annexe 1 ; « Les chaînes d'énergie et d'information du dérailleur » sont représentées en annexe 2.

Ce TP appour support la maquette de vélo distribuée par DMS. L'ensemble des fichiers utilisés appartient aux ressources livrées avec le produit.

La vérification de la rapidité de changement de vitesse

En course, et notamment en sprint, le changement de vitesse doit être effectué très rapidement. Nous allons vérifier la fonction composante du diagramme Fast (annexe 3) F12, « obtenir un changement de vitesse rapide ». Pour cela, nous allons utiliser les données



5 La chaîne d'énergie étudiée

constructeur de la notice du dérailleur, qui donnent un changement de vitesse compris entre 80 et 540 ms dans les conditions suivantes :

Braquet : 53×13 ; vitesse du pédalier = 140 tr/min (80 km/h)

Braquet : 28×23 ; vitesse du pédalier = 40 tr/min (5 km/h)

Nous étudierons la partie de la chaîne d'énergie indiquée en 5.

Étude préliminaire

Pour les deux vitesses du pédalier données par le constructeur, calculer la vitesse de la roulette supérieure. Préciser la démarche.

Nombre de dents de la roulette supérieure: 10 (trouvé en consultant le dossier technique ou en comptant sur le vélo)

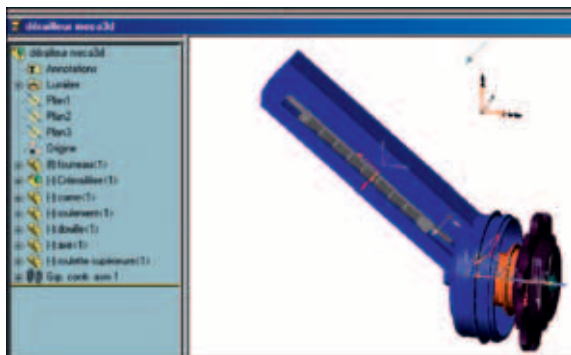
Vitesse maxi: $N_{roulette} = 53 / 10 \times 140 = 742$ tr/min

Vitesse mini: $N_{roulette} = 28 / 10 \times 40 = 112$ tr/min

Pour la suite du TP, nous prendrons les vitesses de roulette suivantes :

$N_{maxi} = 750$ tr/min

$N_{mini} = 120$ tr/min



6 Le modèle du dérailleur

Les liaisons

Ouvrir le fichier « dérailleur méca3D.sldasm » sous SolidWorks 6 (ce fichier ne comporte que les pièces nécessaires à notre étude), et activer Meca3D en cliquant sur l'onglet correspondant. Faire apparaître le graphe



7 Le graphe de structure

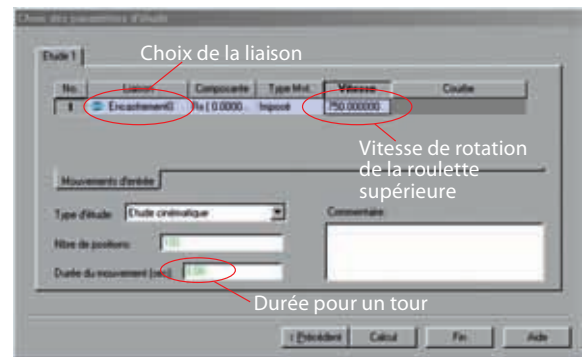
de structure 7 (clic droit sur «Analyse»), et recopier les noms et les caractéristiques des liaisons dans un tableau Excel 8. Compléter le tableau en recherchant si nécessaire les propriétés de chacune des liaisons (clic droit sur les liaisons à compléter).

Le graphe de structure sera nécessaire à l'utilisation de Meca3D dans la suite du TP.

Les paramètres d'entrée

Activer le « calcul mécanique » (clic droit sur «Analyse»). À vitesse maximale ($N_{maxi} = 750$ tr/min), calculer le temps que met la roulette pour faire un tour.

$60 / 750 = 0,08$ s



9 Le choix des paramètres

Sur l'écran 9, choisir la liaison dont l'une des pièces est la roulette supérieure comme liaison d'entrée, entrer la vitesse de la roulette supérieure en tours par minute, choisir 100 positions et entrer la durée du mouvement calculée précédemment. Lancer le calcul.

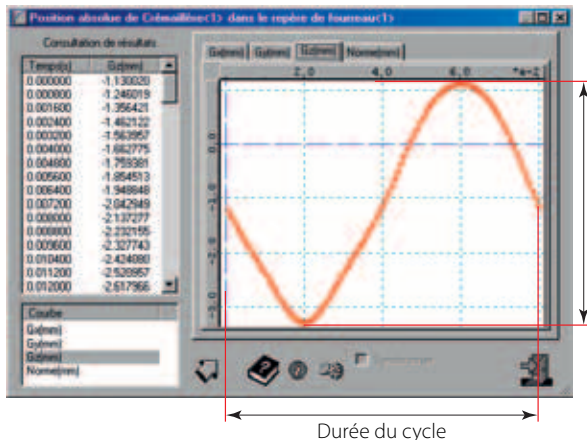
La transformation de mouvement

Activer la simulation (clic droit sur «Résultats»), et observer le mouvement. Le mouvement de la came étant en partie cachée par le fourreau, il est nécessaire de retourner dans l'arbre de création de SolidWorks et de «Cacher le composant». Recommencer la simulation. Indiquer combien de cycles (aller-retour) effectués la crémaillère pour un tour de roulette supérieure (donc de came).

Vérifier le résultat en activant « Courbe » 10 (clic droit sur «Résultats»), puis en choisissant la crémaillère, et ensuite «Position». Sachant que l'axe de

Éléments		Liaisons	Caractéristiques
Roulette supérieure	Came	Encastrement	Degrés de liberté supprimés 3 rotations 3 translations
Douille	Came	Encastrement	Degrés de liberté supprimés 3 rotations 3 translations
.....

8 Un exemple de tableau des liaisons



10 Le graphe de position de la crémaillère

rotation (axe Z) de la roue supérieure (donc de la came) est aussi l'axe du déplacement du dérailleur par rapport à la cassette de pignons, consulter la projection sur Z de la position de la crémaillère, et conclure quant à l'espacement des pignons entre eux sur une cassette de pignons.

Les valeurs maximales relevées sur la courbe de position sur Z de la crémaillère donnent un déplacement maximal d'environ 4,5 mm. L'espacement entre les pignons d'une cassette doit donc être identique, de manière à présenter la chaîne dans de bonnes conditions d'engrènement lors d'un changement de vitesse.

Nota : Les formes pratiquées sur le fourreau en vue de l'indexage de la sélection doivent également posséder un pas identique.

Les vitesses de la crémaillère et du changement de pignon

Activer la vitesse de la crémaillère 11, et donner sur copie la signification de ses deux passages par 0.

En fonction du nombre de cycles effectués par la crémaillère trouvé à la question précédente lorsque la came effectue un tour, donner le temps maximal de changement de vitesse quand le cycliste roule à 80 km/h.

Calculer alors sur copie le temps maximal de changement de vitesse lorsque le cycliste roule à 5 km/h.

Conclure quant à la validité des données constructeur.

Les deux valeurs 0 correspondent aux changements de sens de translation de la crémaillère.

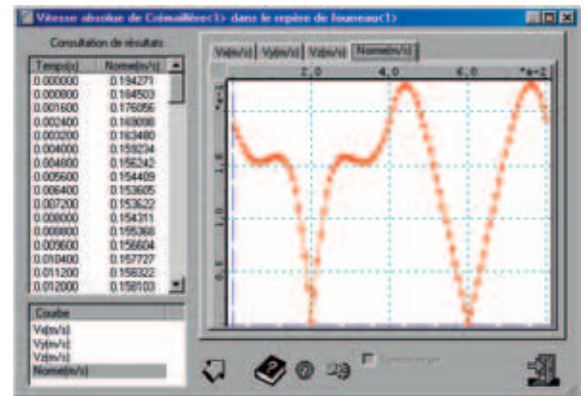
Temps de changement de pignon pour 5 km/h :
 $t = 0,08 \text{ s}$, soit 80 ms

Temps de changement de pignon pour 80 km/h :
 $N_{\text{roulette}} = 120 / 60 = 2 \text{ tr/s}$

donc

$t = 0,5 \text{ s}$, soit 500 ms

En conclusion, si l'on ne tient compte que des temps « mécaniques » de changement de vitesse, c'est-à-dire que l'on néglige les temps de calcul, de circulation de l'information et de réponse de l'électroaimant, les données constructeur sont vérifiées.



11 Le graphe des vitesses de la crémaillère

La validation sur la maquette

L'élève réalise une expérimentation sur la maquette du dérailleur de ses différents calculs, au niveau du dimensionnement de la crémaillère, par exemple. Un système éclaté du dérailleur et le matériel nécessaire à cette expérimentation est mis à la disposition de l'élève.

Le capteur ILS

On s'intéresse maintenant à la chaîne de traitement d'information, plus particulièrement au niveau du capteur ILS de la roue (voir « Le comportement d'un interrupteur à lames souples ou ILS » en annexe 4). L'objectif est de déterminer les caractéristiques du signal de sortie de l'ILS. Nous allons vérifier une partie de la fonction composante du diagramme Fast (annexe 3) F14, « calculer et indiquer la performance ».

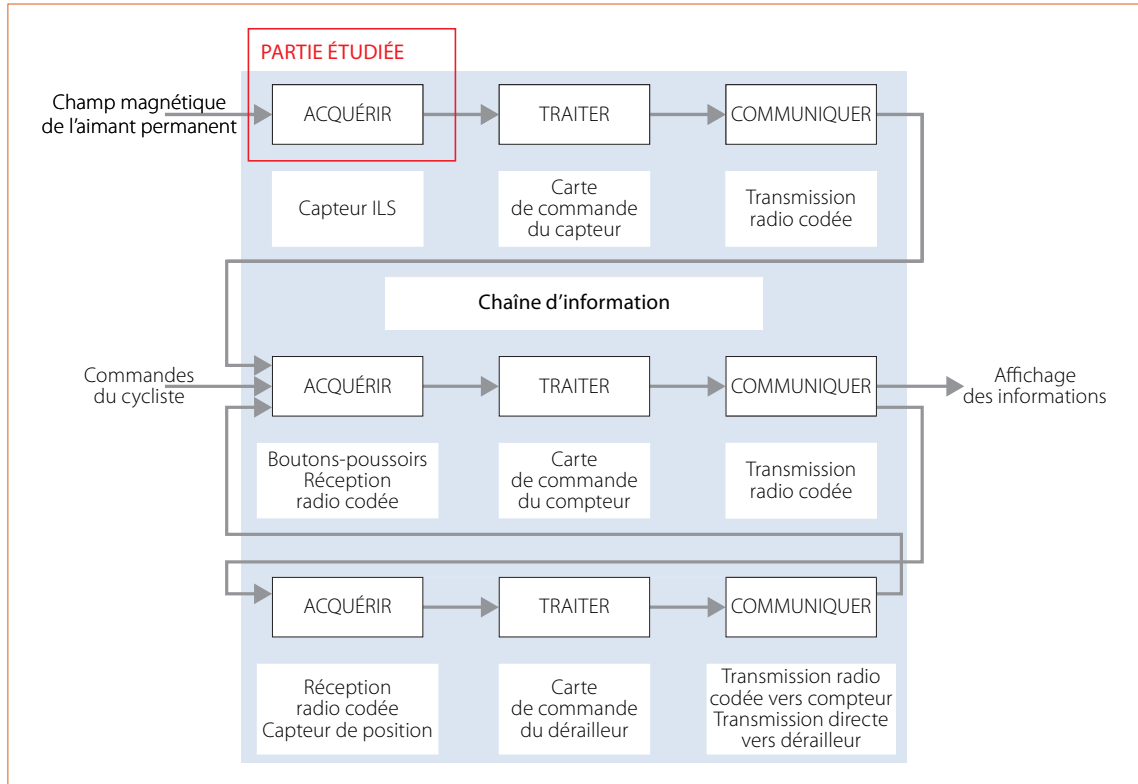
Nous étudierons la partie de la chaîne d'information indiquée en 12.

L'objectif est de faire découvrir à l'élève le fonctionnement d'un capteur ILS, ce qui l'amènera à un autre TP concernant le traitement de l'information au niveau de la chaîne d'information du vélo. Ce type de capteur est assez présent sur nos systèmes pluritechniques (store Somfy...). Dans cette partie du TP, l'élève travaille directement sur la maquette.

Le signal délivré par le capteur

Dans la réalité, l'aimant permanent 13 est fixé par une vis sur un des rayons de la roue avant de manière qu'il passe devant le capteur qui est lui fixé sur la fourche avant. Il doit passer très exactement devant l'ILS du capteur, dont la position est repérée.

Pour des raisons de commodité, la maquette ne possède pas de roue avant 14. Pour cette raison, l'aimant permanent a été transféré sur la roue arrière, ainsi que l'ILS du capteur. Le signal délivré par ce dernier sera transmis par l'émetteur du capteur situé sur la fourche avant du vélo vers le récepteur du compteur multifonction.



12 La chaîne d'information étudiée

Nous allons étudier les caractéristiques de ce signal.

Proposer un branchement permettant de relever le signal de sortie de l'ILS.

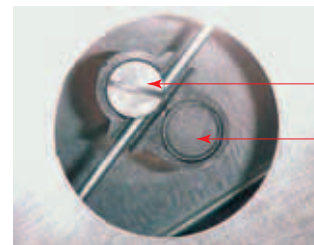
Sortie ILS \uparrow Voie A de l'oscilloscope
 0V du capteur \uparrow GND de l'oscilloscope

Visualiser le signal et relever le signal pour environ deux tours de roue 15. Mesurer plus précisément le temps de fermeture de l'ILS.

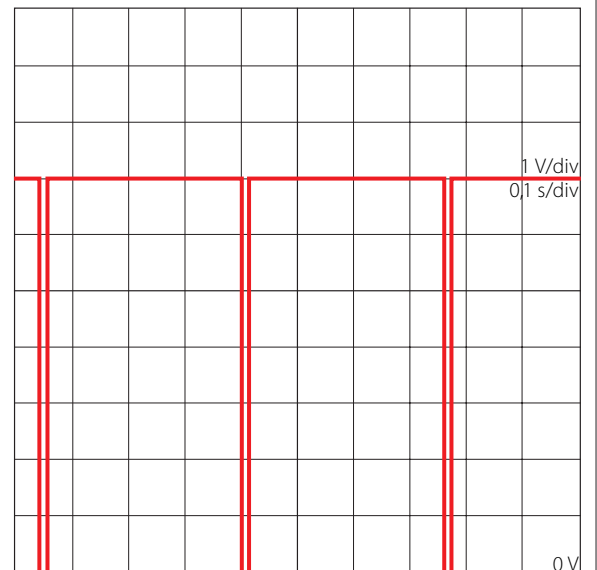


14 La maquette

En prenant un calibre 1 ms/div, on peut mesurer un niveau bas (donc une fermeture de l'ILS) durant environ 4 ms.



13 L'aimant permanent



15 Le signal de sortie de l'ILS

ANNEXE 1

Fiche pédagogique

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Matériel	Vélo équipé du dérailleur Mektronic	Filière	: SI
Domaine d'appartenance	Sport et loisir, grand public et professionnels	Niveau	: T ^{le}

Axe d'activités mis en œuvre par le TP :

	EXT.	INT.	
L'analyse fonctionnelle (AF)			
La chaîne d'information (I)			
La chaîne d'énergie (E)			Chaîne cinématique permettant le changement de pignon (E 12) Transformation de l'information
La représentation et la schématisation (R)			

DONNÉES PÉDAGOGIQUES

Centres d'intérêt	CI 5. Transmission de puissance, transformation de mouvement CI 9. Acquisition et transformation des informations
Objectifs pédagogiques	L'élève doit être capable d'utiliser Meca3D pour vérifier les performances du dérailleur Il doit ensuite en déduire les caractéristiques du signal reçu par le capteur

Compétences issues du programme officiel	Vérifier les caractéristiques fonctionnelles d'une solution constructive Justifier un choix de capteur
--	---

Savoir et savoir-faire associés	B2.2.2. Les composants mécaniques de transmission avec transformation de mouvement B.3.2. Caractéristiques d'entrée et de sortie d'un capteur TOR sans contact, nature du signal	
Niveau taxonomique visé :		
1	2	3

Prérequis (savoir et savoir-faire)	Comportement cinématique des mécanismes	
Niveau taxonomique nécessaire :	Utilisation des fonctions de base de Meca3D	
1	2	3

Conditions de réalisation :			
durée du TP	2 heures	nombre d'élèves	2
degré d'autonomie	Autonomie complète.		
Critères et modalités d'évaluation liés aux objectifs pédagogiques	Formative par apprentissage à l'utilisation du logiciel Meca3D et sommative par la qualité des résultats trouvés		

DONNÉES TECHNIQUES

Énoncé du problème technique à résoudre	Calculer le temps moyen pour effectuer un changement de pignon Vérifier les données constructeur
Questions associées à la résolution du problème	Comprendre le fonctionnement de la chaîne cinématique permettant le changement de pignon Animer le mécanisme sous Meca3D et interpréter les courbes obtenues
Documents à utiliser	Dossier technique Notice d'utilisation de Meca3D
Environnement matériel et logiciel nécessaire	Vélo équipé du dérailleur Mektronic Ordinateur, imprimante, logiciel SolidWorks, logiciel Meca3D (version 4)

Visualiser le phénomène de rebond.

En se mettant sur le calibre 20 π s et en réglant l'oscilloscope de manière à déclencher sur un front descendant, on peut observer, en mémorisant le signal, le phénomène de rebond. Ce phénomène dure environ 120 π s.

Un support pluritechnique

Le support de ce TP est un produit novateur du domaine du loisir — ça change des maquettes industrielles ! Pluritechnique, il intègre à la fois de la mécanique, de l'élec-

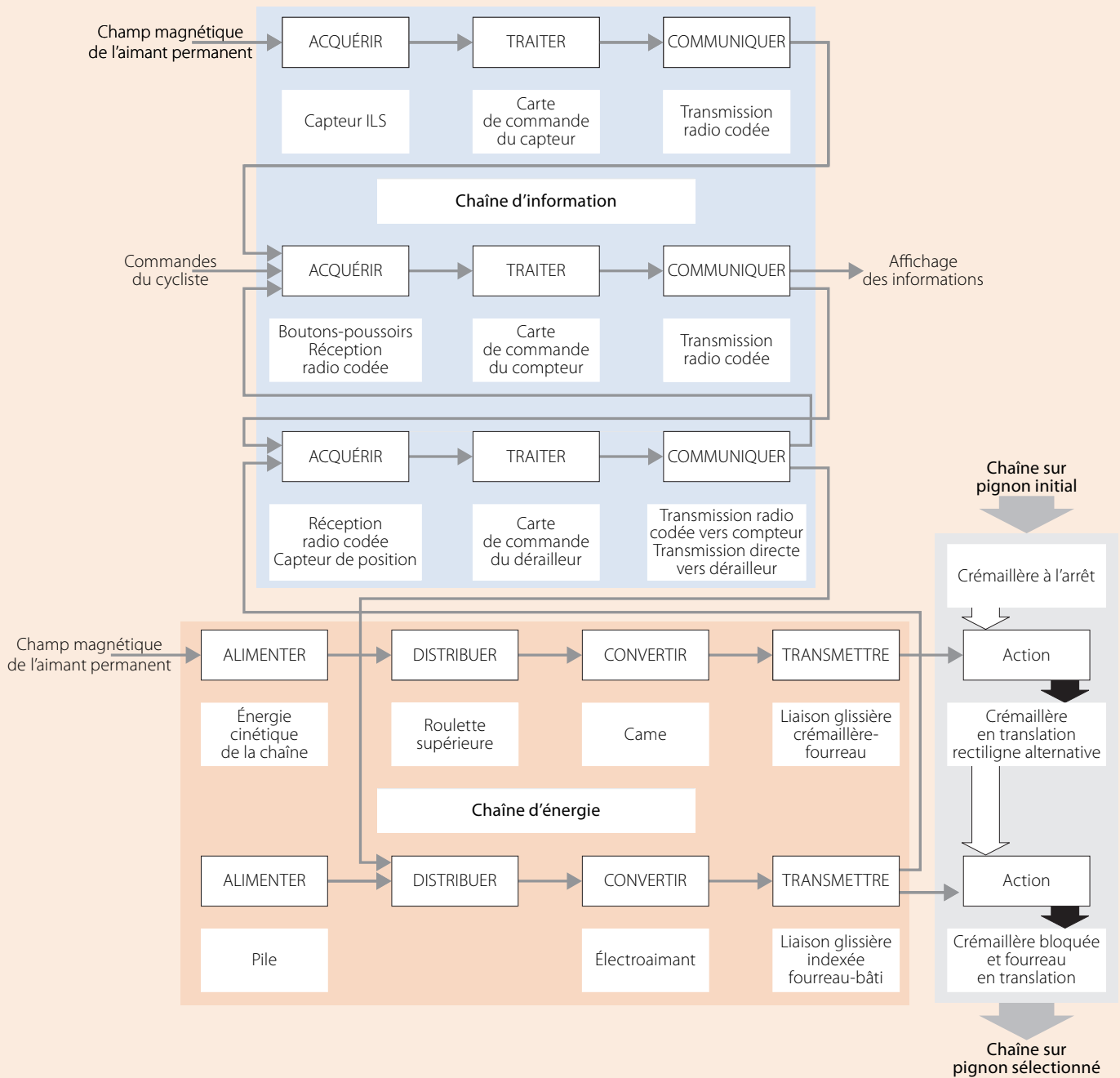
tronique et de l'électrotechnique. Les élèves peuvent donc aborder les différentes facettes de leur formation, et valider de nombreux centres d'intérêt.

D'autres TP peuvent être développés à partir de ce produit en première et terminale S option SI, autour, par exemple, des axes suivants :

- L'analyse fonctionnelle
- La programmation d'un microcontrôleur 68 HC11
- L'étude des liaisons
- L'étude de transmission de puissance

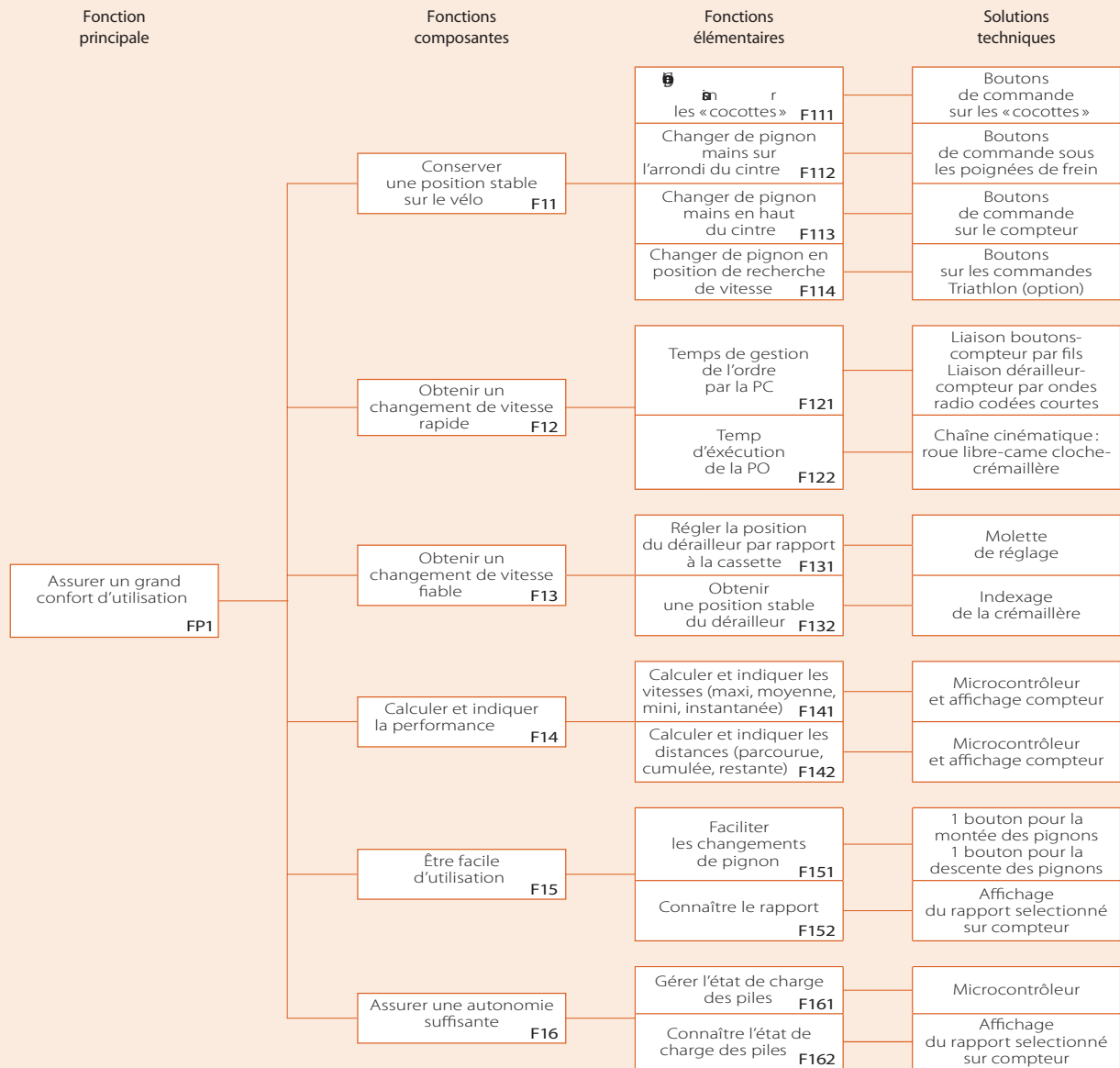
ANNEXE 2

Les chaînes d'énergie et d'information du dérailleur



ANNEXE 3

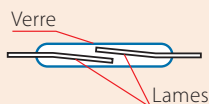
Le Fast du dérailleur



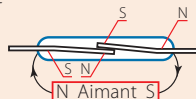
ANNEXE 4

Le comportement d'un interrupteur à lames souples ou ILS

Un ILS est constituée de deux lames souples en acier scellées dans un tube de verre. Lorsqu'une lame d'acier est placée dans un champ magnétique, il se crée une aimantation, par influence de la lame.



Lorsqu'un aimant crée un champ magnétique longitudinal par rapport à l'ILS, les deux lames sont aimantées par influence SN et SN, et les extrémités de chaque lame, de pôles opposés, s'attirent



Lorsqu'un aimant crée un champ magnétique perpendiculaire à l'ILS, les deux lames sont aimantées par influence NS et SN, et les deux extrémités de chaque lame, de même pôle, se repoussent.

