

# Un vélo dans le labo

FRANCK CAPPELLE, JEAN-PIERRE DRONNE, FRANÇOIS PERRIN [1]

*Formation au développement durable oblige, s'impose naturellement l'étude de systèmes et objets technologiques à énergie propre... un vélo électrique, par exemple. Didactisé, l'ISD 618 répond avec ses propositions pédagogiques aux objectifs du programme de STI2D. Pliable, il n'encombrera pas nos labos.*

## Le produit

L'ISD 618 Aluminium est un vélo à assistance électrique (VAE) fabriqué et vendu par la société angevine ISD, un des pionniers du VAE [1].

Ce vélo possède un cadre en aluminium et offre un confort appréciable. C'est un poids plume dans sa catégorie, puisqu'il ne pèse que 21 kg. En assistance, il ne peut dépasser 25 km/h, conformément à la législation française, et sa vitesse est modulable à l'aide d'un doseur d'assistance fixé sur le guidon. Sa batterie permet une autonomie de 3 à 4 heures suivant la vitesse et le profil du parcours. Enfin, l'ISD 618 se plie entièrement (cadre, guidon et pédales) en une quinzaine de secondes, et peut se ranger dans un sac de transport [2]. Cette caractéristique en fait un produit très apprécié, en particulier des camping-caristes et des plaisanciers.

## La technologie

Ce système fait appel à différentes technologies. Pour la formation en

## mots-clés

capteur, énergie, mécanique

STI2D, les deux chaînes didactiques suivantes peuvent être exploitées :

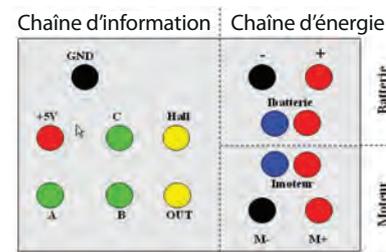
- **La chaîne d'énergie** : on va trouver une batterie lithium ou plomb, un variateur pour moteur à courant continu (sans microcontrôleur, noyé dans la résine), un moteur à courant continu et un réducteur à train épicycloïdal.
- **La chaîne d'information** : elle comprend un capteur à effet Hall (freinage, pédalage, dosage de vitesse) et un indicateur de charge à leds.



2 L'ISD 618 plié dans son sac de rangement



4 Home trainer et boîtier de mesure des grandeurs électriques



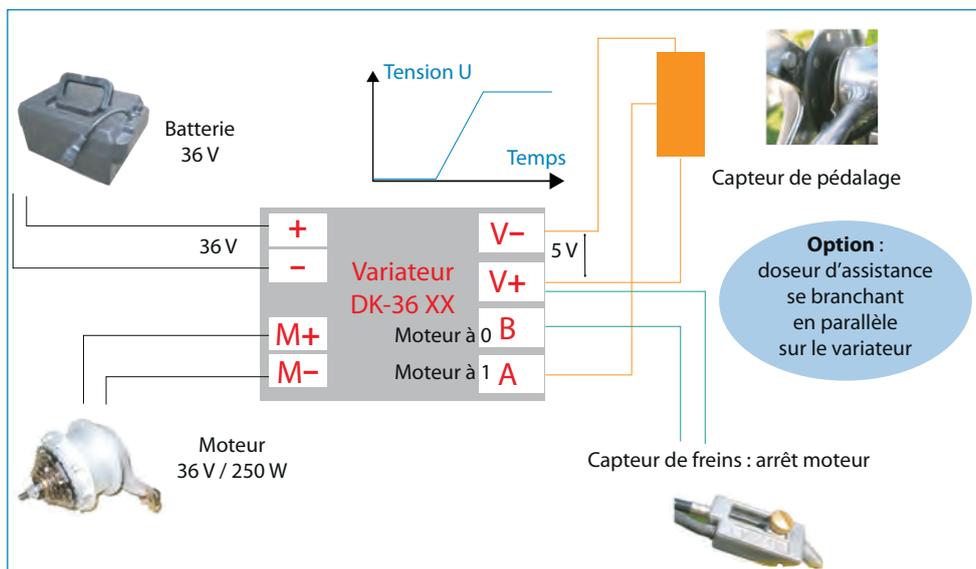
Les bornes disponibles sur le boîtier de mesure

5 Le boîtier pour la mesure des grandeurs électriques

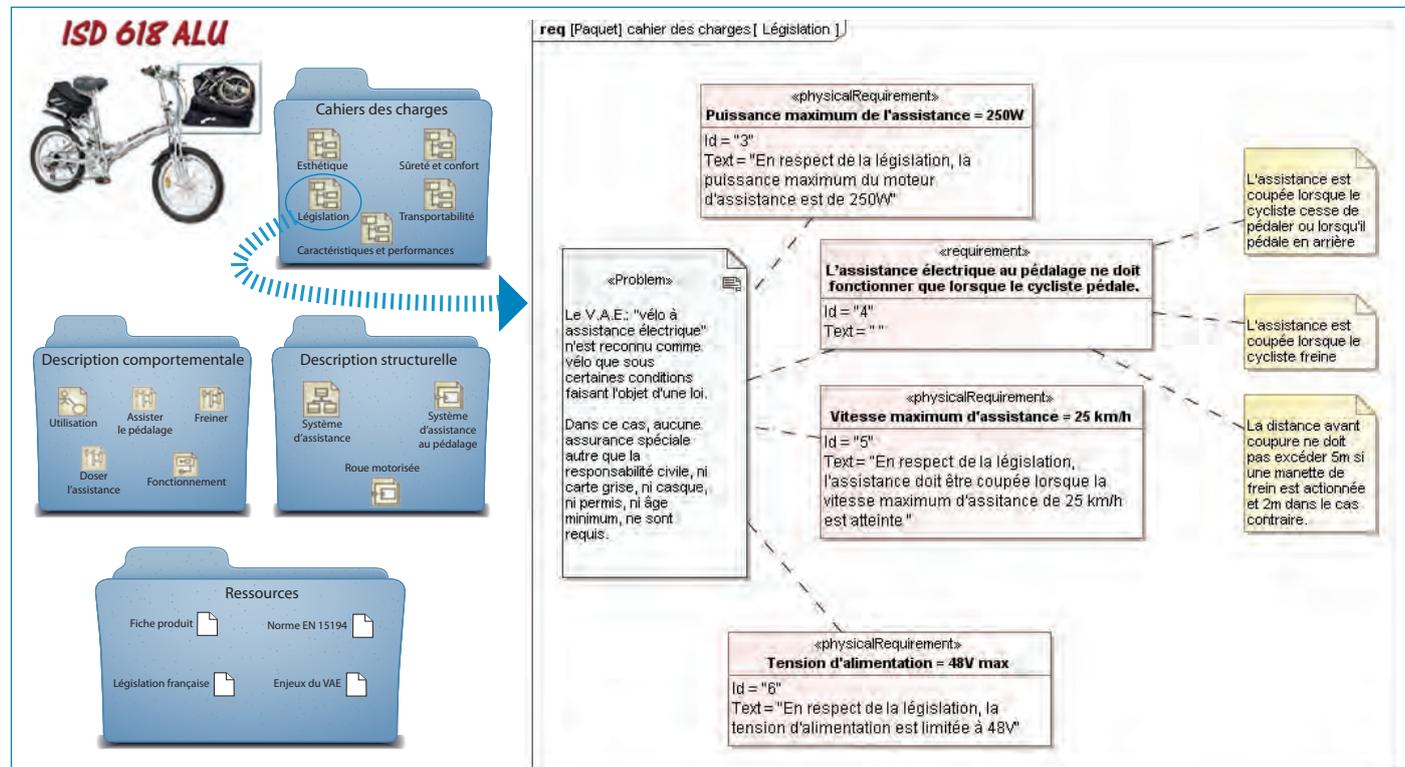


1 Le vélo électrique ISD 618

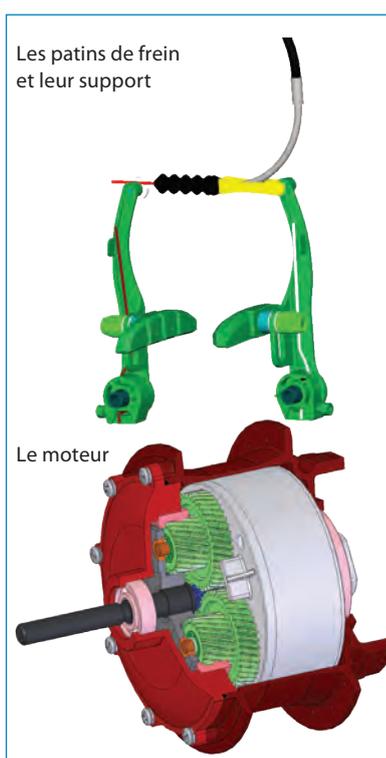
[1] Professeurs au LEGT Édouard-Branly de Châtelleraut (86), respectivement certifié d'ingénierie mécanique, agrégé d'ingénierie mécanique et agrégé d'ingénierie électrique.



3 L'éclaté des constituants de la partie électrique



7 La modélisation SysML (à droite, la partie du cahier des charges relative à la législation)



6 Les modèles 3D numériques des patins de frein et du moteur

La figure 3 présente un éclaté des constituants de la partie électrique.

#### La didactisation

Le vélo est livré avec un home trainer auquel la société Mateduc (Sainte-Gemme, 79) qui le commercialise a ajouté un boîtier de mesure permettant d'accéder aux grandeurs électriques des chaînes d'énergie et d'information 4 5. Mateduc assure la mise en service de l'ensemble et une formation pour son exploitation.

Quant aux ressources didactiques, le produit est livré avec un dossier technique industriel, des modèles 3D numériques 6, une modélisation SysML incluant les six diagrammes préconisés en STI2D 7, une analyse du cycle de vie réalisée à l'aide du logiciel Bilan Produit conçu par l'Ademe 8 et un modèle Matlab-Simulink permettant d'estimer l'autonomie du VAE à partir de données telles que le poids du cycliste, la pente de la route, la vitesse du vent 9...

#### La pédagogie

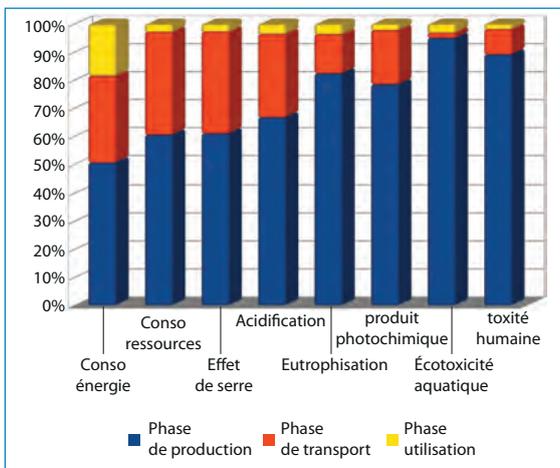
Mateduc propose quatre études de cas pour l'enseignement transversal de première et terminale STI2D à forte vocation pratique, données en 10, ainsi que des approfondissements pour l'enseignement des spécialités EE et Itec :

Visualisation et mesures sur le VAE  
des grandeurs caractéristiques et des flux d'énergie et d'information pour les différents cas d'utilisation  
Vérification des performances annoncées  
Mise en œuvre de modèles et analyse des écarts avec le fonctionnement réel  
Étude du cadre législatif relatif à l'appellation VAE

Des activités complémentaires sont également disponibles :

4 activités « analyse de la motorisation »  
4 activités « carte électronique et capteurs à effet Hall »  
4 activités « vélo complet »

L'ensemble de ces propositions pédagogiques représente approximativement 60 heures



8 Le cycle de vie réalisée à l'aide du logiciel Bilan Produit

d'activité élève et couvre les objectifs pédagogiques du programme de STI2D 11.

**Présentation d'une activité pratique**

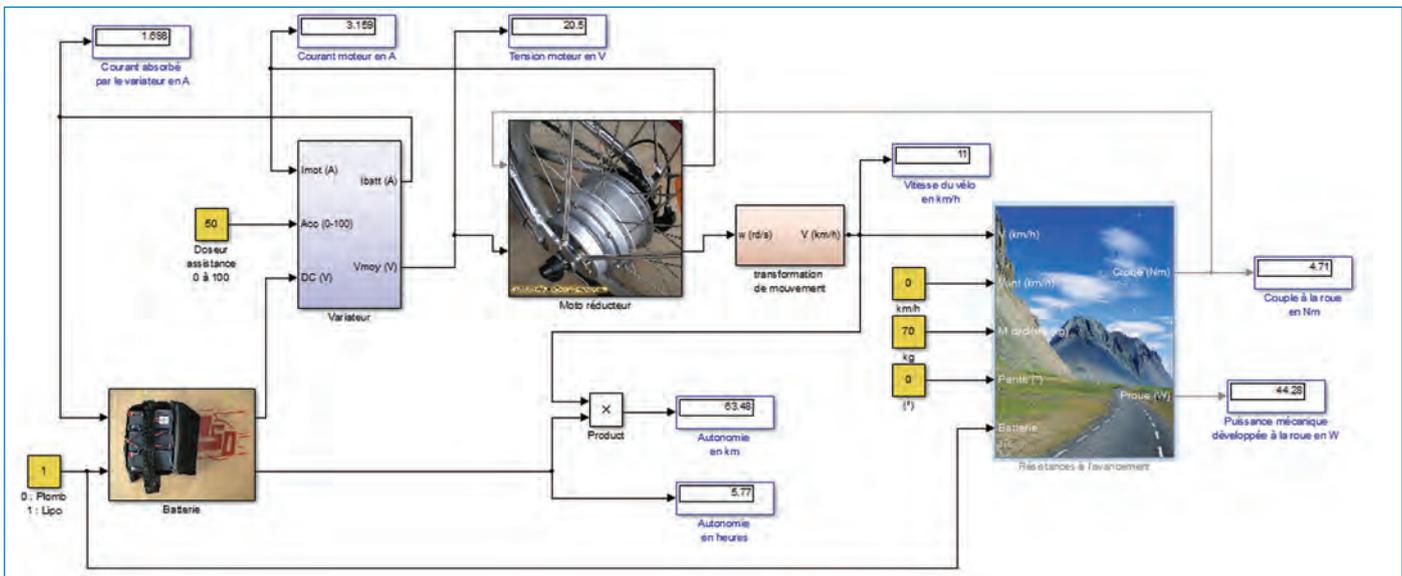
L'une des activités pratiques de la séquence « Quelle autonomie pour mon vélo ? » porte sur la mesure des rendements de la chaîne d'énergie.

L'activité débute par une phase d'expérimentation. Pour différentes puissances mécaniques réglées sur la console du home trainer 12, l'élève relève les courants et les tensions de la chaîne d'énergie, disponibles sur le

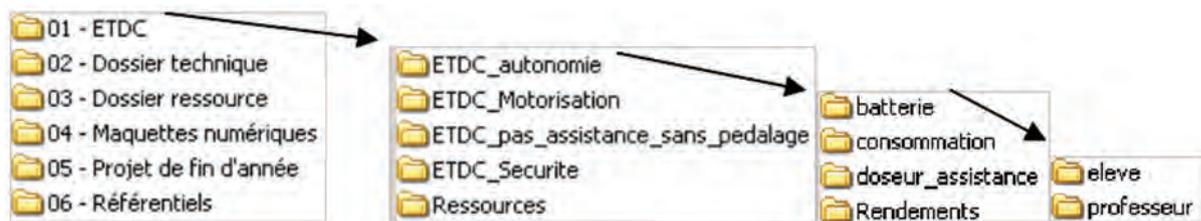
boîtier de mesure 13. Les essais sont réalisés à vitesse maximale (doseur d'assistance à 100 %), et les résultats sont consignés dans des tableaux fournis 14.

Ensuite, les résultats des mesures sont exploités pour déterminer les rendements des composants. Un graphique est alors établi pour étudier l'évolution des rendements en fonction de la puissance mécanique développée à la roue 15.

L'analyse du graphique permet de conclure que le rendement global chute à partir de 120 W, et que la majorité des pertes sont dues au réducteur. Pour augmenter significativement l'autonomie



9 Le modèle Matlab-Simulink permettant d'estimer l'autonomie du VAE



10 Mateduc propose quatre études de cas pour l'enseignement transversal de 1<sup>er</sup> et 1<sup>re</sup> STI2D

Étude de cas	Étude de dossier	Activité pratique	Objectifs			Compétences				Connaissances				
			O2	O4	O5	CO2.1	CO4.1	CO4.4	CO5.3	2.3.3	2.3.5	3.1.4	3.2.1	3.2.2

**Quelle autonomie pour mon vélo ?**

Estimation du rendement de la chaîne d'énergie		X	X		X							X		
Combien je consomme en ISD 618 ?	X	X		X			X	X	X					
Comportement du dispositif de dosage d'assistance		X		X		X						X		X
Technologie de la batterie	X		X		X								X	

11 Les objectifs pédagogiques du programme de STI2D traités dans l'étude de cas « Quelle autonomie pour mon vélo ? »



12 Le réglage des puissances mécaniques sur la console du home trainer

Puissance développée à la roue (W)	I moteur (A)	U moteur (V)
100	4,35	34,3
110	4,7	34,2
120	5,1	34,2
130	5,75	34
140	7,3	33,6
150	8,3	33,4

14 Les résultats consignés dans les tableaux fournis



13 Le relevé des courants et des tensions de la chaîne d'énergie sur le boîtier de mesure

ST12D ISD618 ALUMINIUM

Le rendement global de la chaîne d'énergie se définit comme suit :

Pe : puissance d'entrée  
Puissance électrique fournie par la batterie

Watts

$$\eta_{\text{global}} = \frac{P_e}{P_s}$$

Watts

P<sub>s</sub> : puissance de sortie  
Puissance mécanique développée à la roue

Les rendements internes à la chaîne d'énergie se définissent comme suit :

$\eta_1 = \frac{P_e}{P_i}$

Watts

Watts

Watts

Watts

Pe : puissance d'entrée  
Puissance électrique fournie par la batterie

Pi : puissance interne  
Puissance électrique absorbée par le moteur

P<sub>s</sub> : puissance de sortie  
Puissance mécanique développée à la roue

D'une part, on se propose d'estimer le rendement global de la chaîne d'énergie afin d'évaluer l'énergie perdue lors d'un déplacement et d'en déduire le « gain » d'autonomie envisageable avec une batterie donnée.

D'autre part, nous estimerons les rendements internes de la chaîne d'énergie afin d'identifier les composants qui provoquent les pertes les plus importantes. Ainsi, il sera possible si nécessaire, de les améliorer ou de les remplacer pour augmenter significativement l'autonomie du vélo.

QUELLE AUTONOMIE POUR MON V.A.E? RENDEMENT DE LA CHAÎNE D'ÉNERGIE

16 Un extrait du document élève pour l'activité

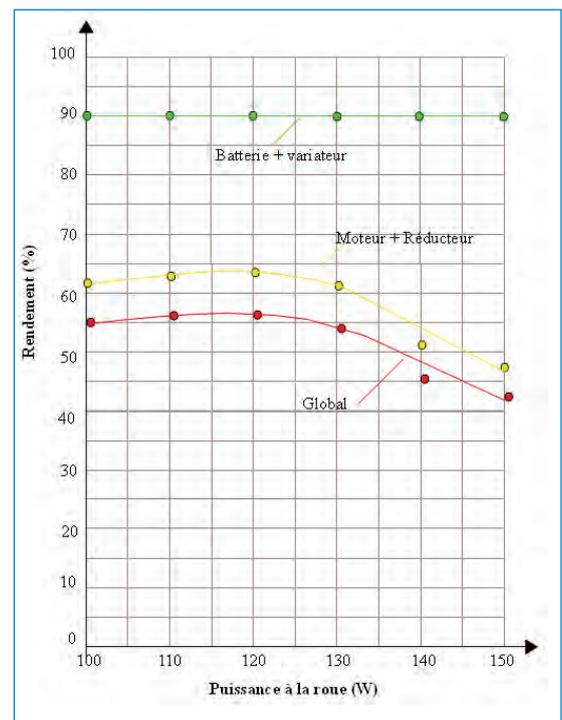
sans changer la batterie, il faut envisager un entraînement direct.

Un extrait du document élève pour cette activité est donné en 16.

**Conclusion**

Le vélo électrique ISD 618 répond aux exigences de l'enseignement technologique de ST12D. Ce

produit constitue un excellent support permettant d'illustrer les contenus de mécanique, de simuler les comportements mécanique et électrique en validant les choix du constructeur, de justifier ou de concevoir des solutions. La démarche est du type itérative et utilise judicieusement les logiciels



15 Le graphique d'évolution des rendements en fonction de la puissance mécanique développée à la roue

PROJET CERTIFICATIF EN STI2D SPÉCIALITÉ EE

INTITULÉ DU PROJET

Autonomie du vélo à assistance électrique ISD 618

ENJEU *Question de société, enjeu du DD...*

Consommer le moins d'énergie possible pour parcourir un trajet donné

PROBLÉMATIQUE *Problème technique à résoudre*

Le vélo à assistance électrique ISD 618 présente actuellement une autonomie de 60 km avec une batterie lithium-ion de capacité 8 Ah.  
Comment améliorer l'efficacité énergétique du vélo à assistance électrique ISD 618 afin d'augmenter son autonomie sans changer de batterie ?



ÉLÉMENTS DE VALIDATION DU PROJET

Objectif de formation O7 : imaginer une solution, répondre à un besoin

Pouvez-vous proposer plusieurs solutions au problème posé ?	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Changer la motorisation pour améliorer le rendement de la chaîne d'énergie Alléger le vélo pour diminuer sa masse Changer les pneus pour améliorer le roulement
Pouvez-vous justifier le choix d'une des solutions vis-à-vis des autres ? <i>Critère : énergie-matière-information</i>	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Le changement de la motorisation semble la solution à retenir. En effet, le rendement actuel de la chaîne d'énergie n'est que de 70 %
Le projet nécessite-t-il de modifier la structure du système ?	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Le changement de motorisation nécessite de remplacer la roue motrice ainsi que son variateur

Objectif de formation O8 : valider des solutions techniques

Pour la chaîne d'énergie, quels sont les paramètres et les résultats de simulation accessibles ?	<i>Paramètres</i> : pente, vitesse du vent, capacité batterie, rendement des éléments de la chaîne d'énergie <i>Résultat</i> : autonomie en km
Pour la chaîne d'énergie, quelles sont les grandeurs mesurables ?	Tension, courant batterie et moteur Fréquence de rotation de la roue par tachymètre Puissance mécanique développée à la roue sur home trainer

Objectif de formation O9 : gérer la vie d'un système

Un prototype peut-il être fabriqué dans le laboratoire de STI2D EE ?	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	La fabrication d'un prototype nécessite l'achat et le montage d'une roue motorisée brushless
--	---	--

17 L'étude d'une solution à entraînement direct

(SolidWorks, Matlab, Simulink...) ; les activités sont introduites par une problématique réelle, et la relation procédé-produit-matériaux est omniprésente, ainsi que la notion de développement durable.

Ce vélo a également servi de support, dans notre établissement, à l'épreuve de projet en enseignement

spécifique à la spécialité EE. Afin d'augmenter l'autonomie du vélo, une solution à entraînement direct a été étudiée 17.

Comme ce vélo est facilement pliable et transportable, il sert également dans les laboratoires des enseignements d'exploration CIT et SI. ■

En ligne

Site de la société ISD : [www.velo-electrique.com](http://www.velo-electrique.com)

Site de la société Mateduc : [www.materielpedagogique.com](http://www.materielpedagogique.com)

Retrouvez tous les liens sur <http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>