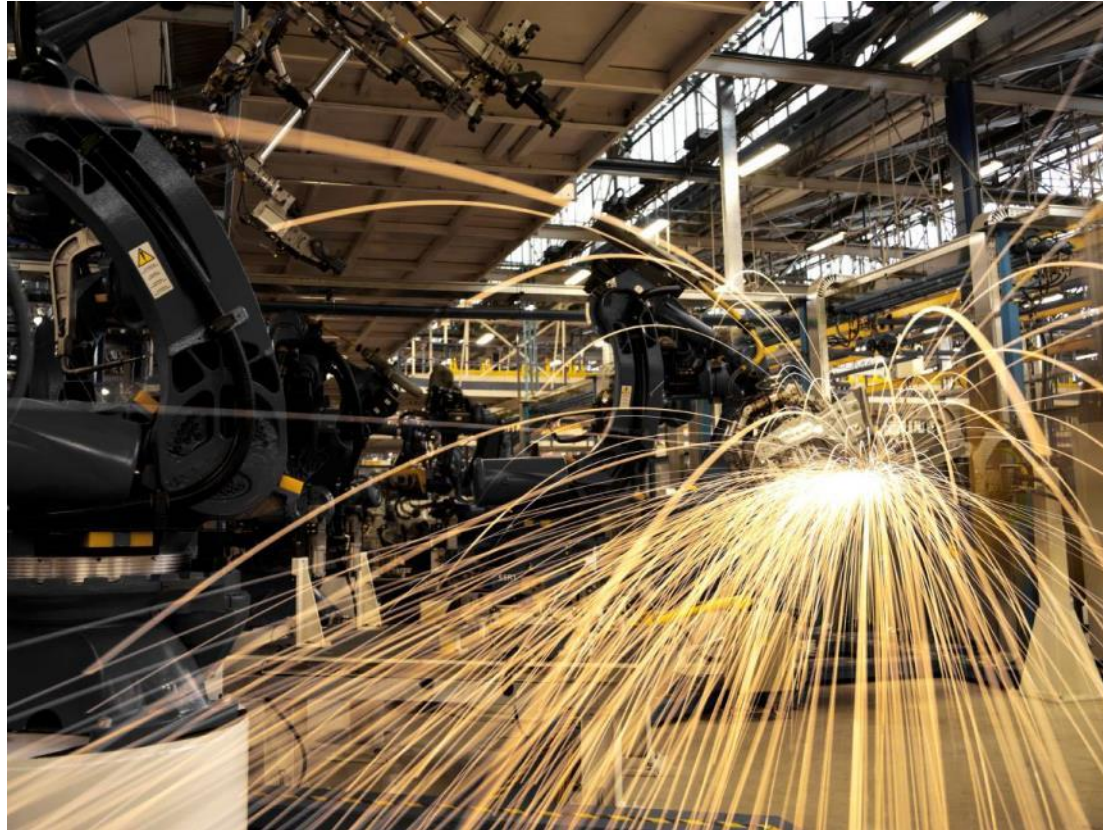


# Simulation des systèmes



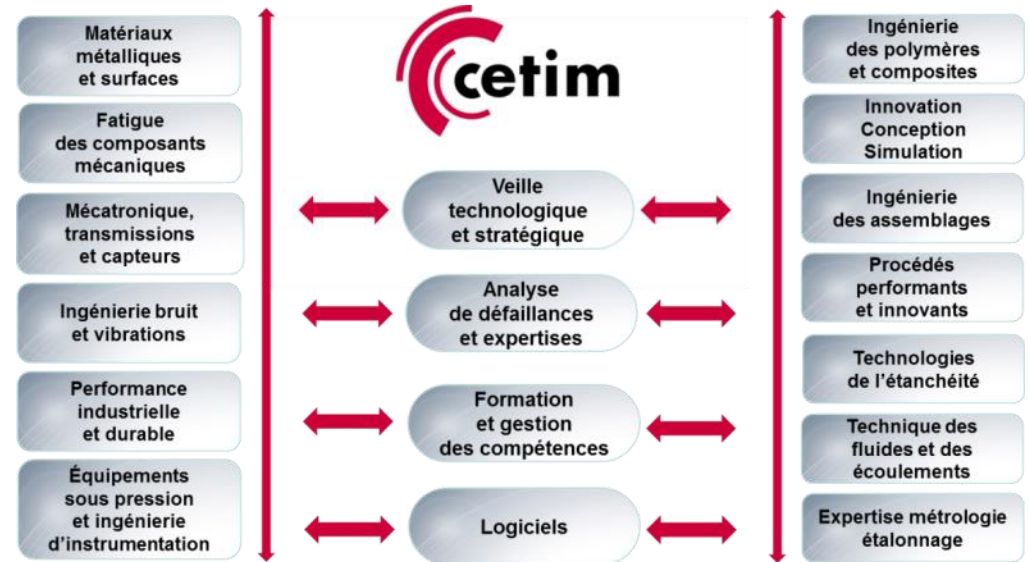
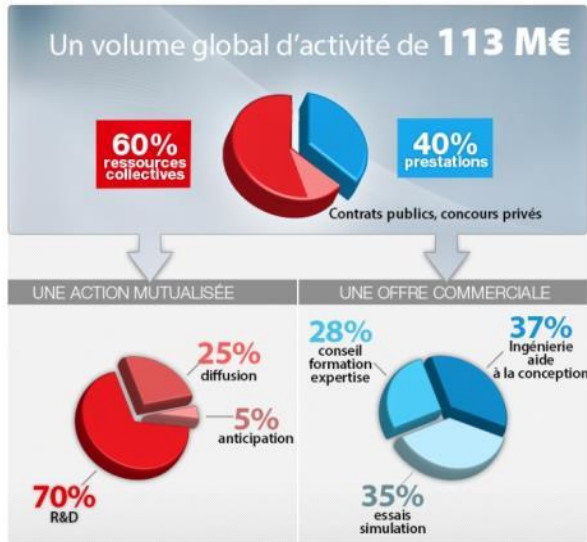
## Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

**Antoine MICHON**

*Ingénieur Simulation Système*

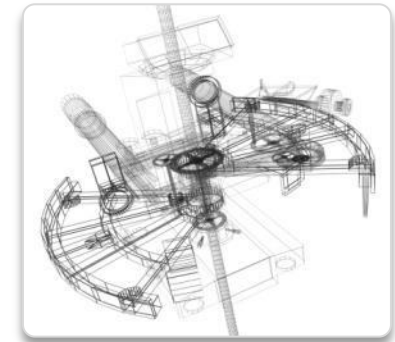
*CETIM – Centre technique des industries mécaniques*

# CETIM – Centre technique des industries mécaniques



**Fondation cetim**  
sous l'égide de la Fondation de France

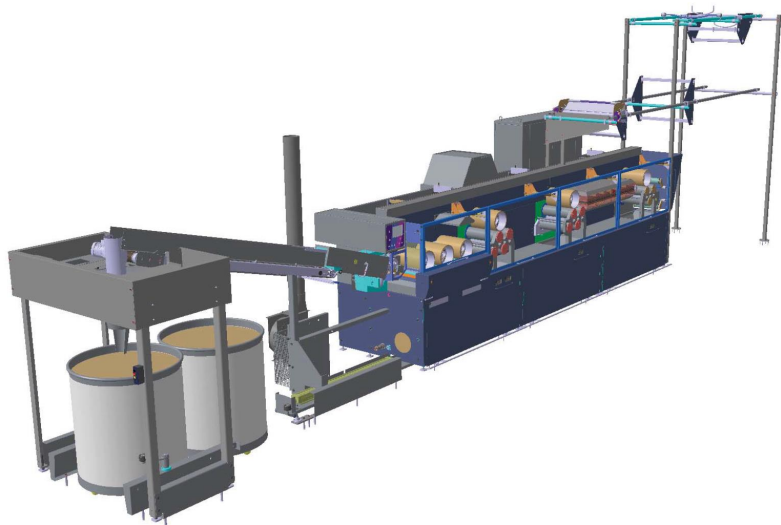
- 3 sites principaux : Senlis, Nantes, Saint-Étienne
- 18 délégations régionales
- 4 centres associés et partenaires
- 1 centre de ressources mécatronique
- 2 filiales internationales
- 1 filiale dédiée aux essais sur composites



# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Sommaire

- ❑ Contexte et Objectif de l'étude
- ❑ Présentation de la machine étudiée
- ❑ Modélisation des composants et de la craqueuse
- ❑ Mesures sur Machine pour calibration du Modèle
- ❑ Simulations et Analyse Energétique



# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

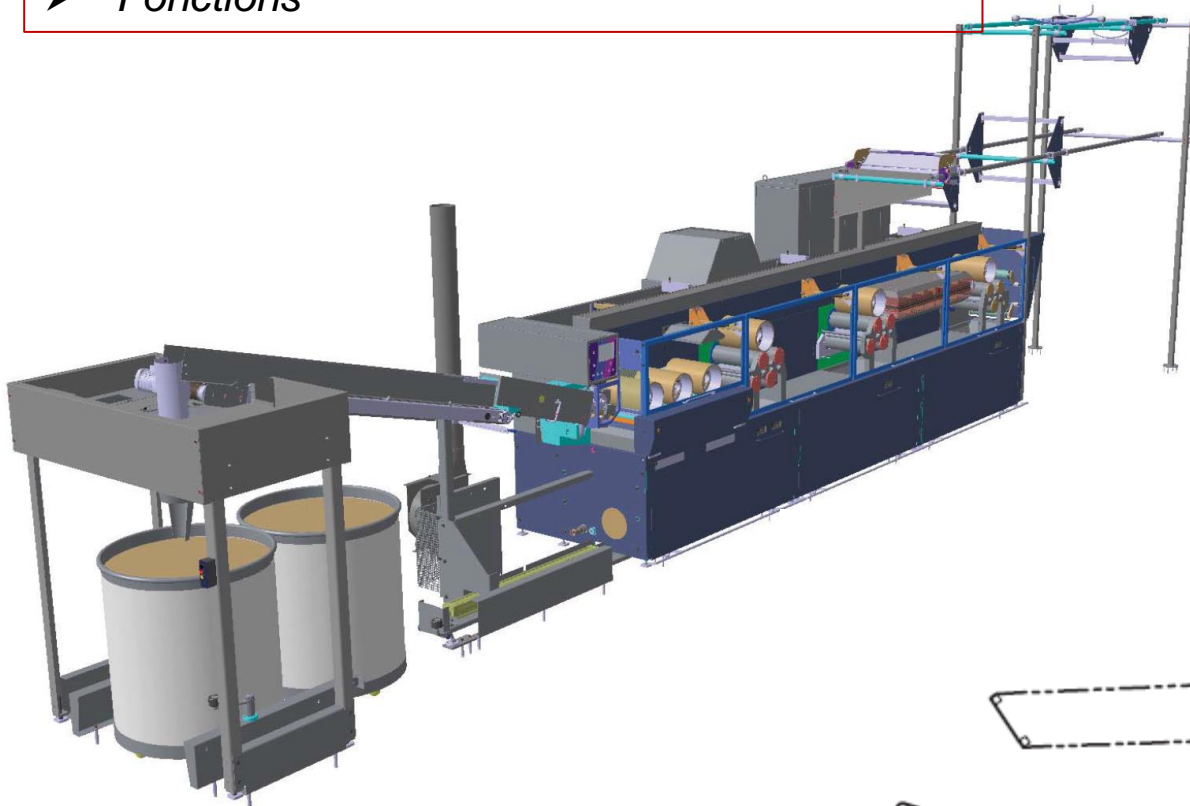
## Contexte et Objectifs de l'étude

- **Projet R&D interne CETIM**
  - *Historique de la simulation système au CETIM : Projet APEEM (Amélioration des performances énergétiques des engins mobiles) de 2010 à 2014 ; Modélisation des engins mobiles / Analyses énergétiques / Profils de mission et Dimensionnement des composants de puissance*
  - *Application aux machines textiles pour faire la promotion des méthodes et outils de simulation*
  - *Complémentarité des pôles « performance industriel et durable » (analyse énergétique) et « mécatronique, transmissions et capteurs » (modélisation des systèmes de transmissions)*
- **Modélisation & Simulation des performances énergétiques d'une machine textile**
  - *Modélisation de la chaîne de transmission complète*
  - *Vérifier et corréler le modèle à partir d'un nombre de mesures et d'essais limité*
  - *Exploiter le modèle pour caractériser les performances de la machine*
  - *Etudier l'impact des réglages et modes de fonctionnement de la machine*
  - *Déterminer des « indices de performances » globaux pour les différents réglages machine*
  - *Analyse des flux de puissance et des pertes dans la chaîne de transmission*

# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

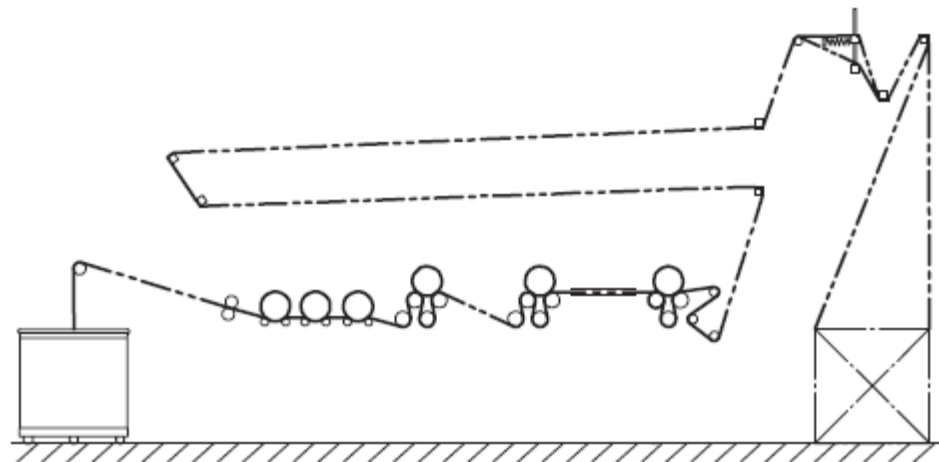
## Présentation de la machine

### ➤ Fonctions



### Fonctions et Etapes du processus :

- Tension de la fibre
- Chauffage de la fibre
- Craquage de la fibre
- Vaporisation de la fibre
- Mise en botte (bambaneur)



# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Présentation de la machine

### ➤ Utilisation et paramètres de fonctionnement

4 grands paramètres de fonctionnement :

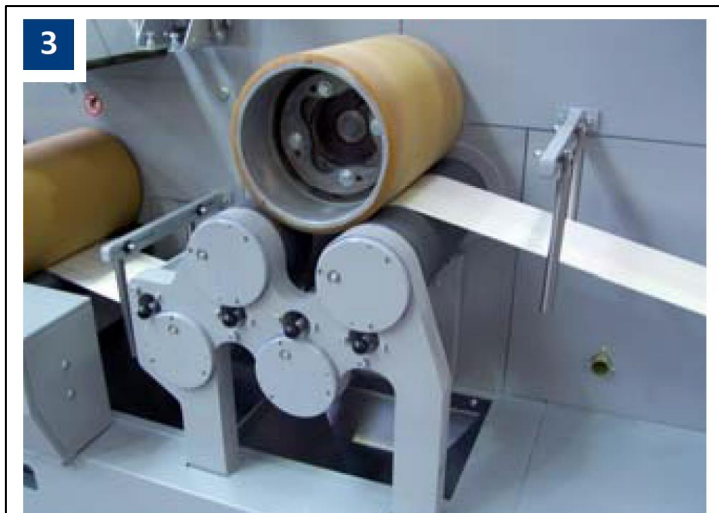
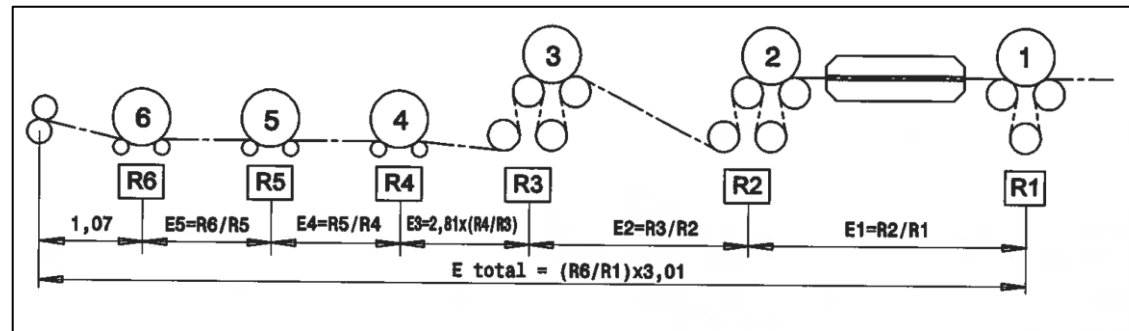
- Débit matière = Vitesse entre 0 et 400 m/min
- Mode de chauffe de la matière
- Résistance mécanique de la fibre
- Epaisseur du câble



# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Présentation de la machine

### ➤ Composition



blocs de tension



plaques chauffantes

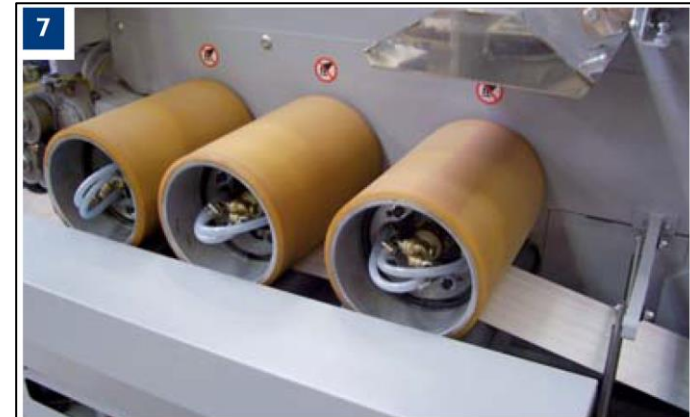
# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Présentation de la machine

### ➤ Composition



Les blocs de craquage avec  
cylindres d'entraînement, refroidis  
par circulation d'eau



The final breaking on three heads

Les rouleaux de pression, refroidis  
par eau



Boîte vapeur  
Tapis d'entraînement  
Bammaneur

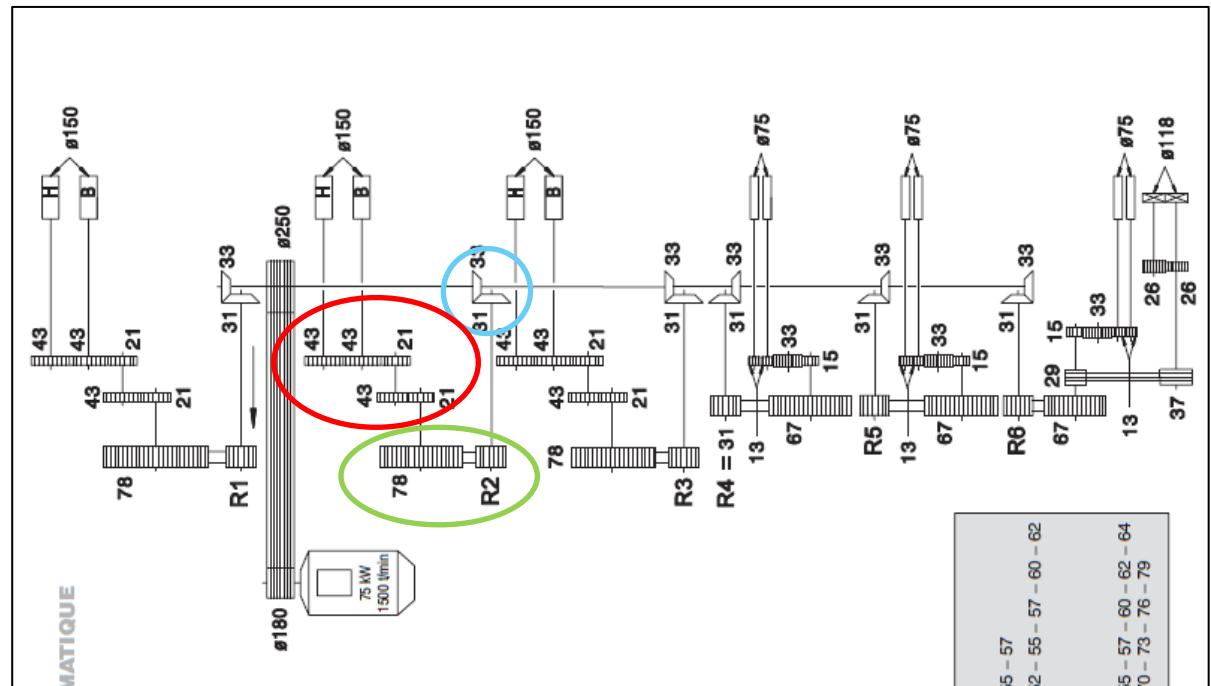
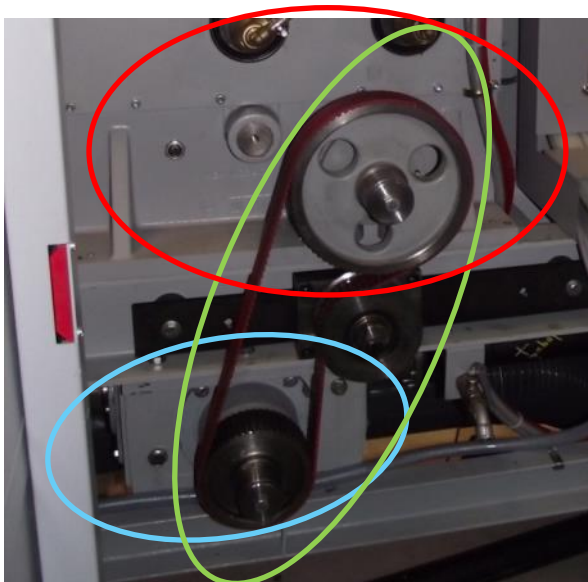


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Présentation de la machine

### ➤ Composition

### Chaine cinématique



Renvoi d'angle

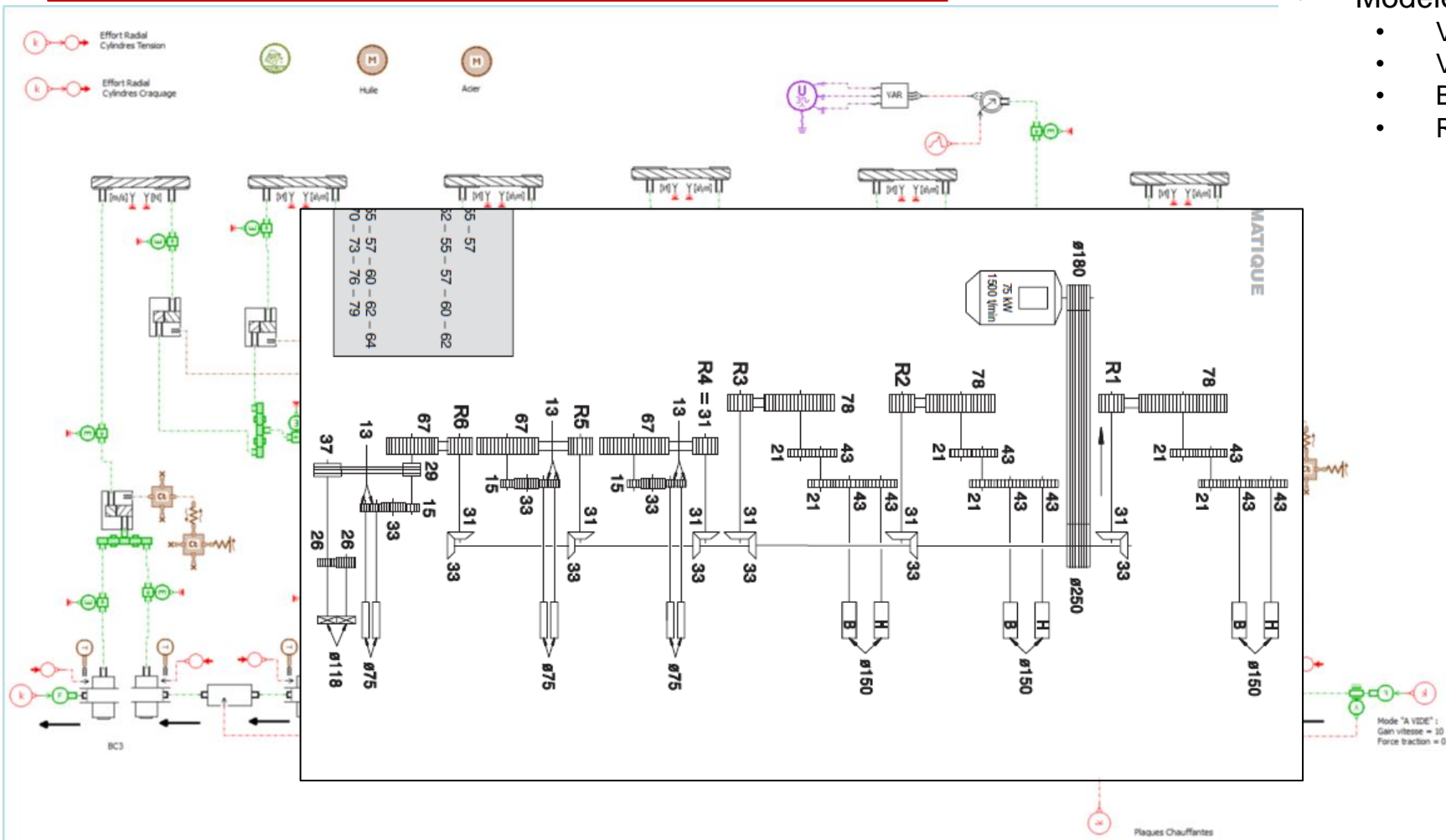
Poulie Courroie

Bloc de transmission

# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Modélisation de la machine

### ➤ Vue d'ensemble



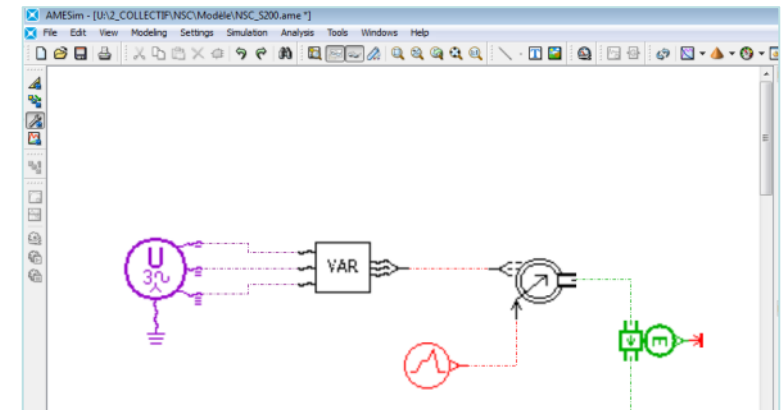
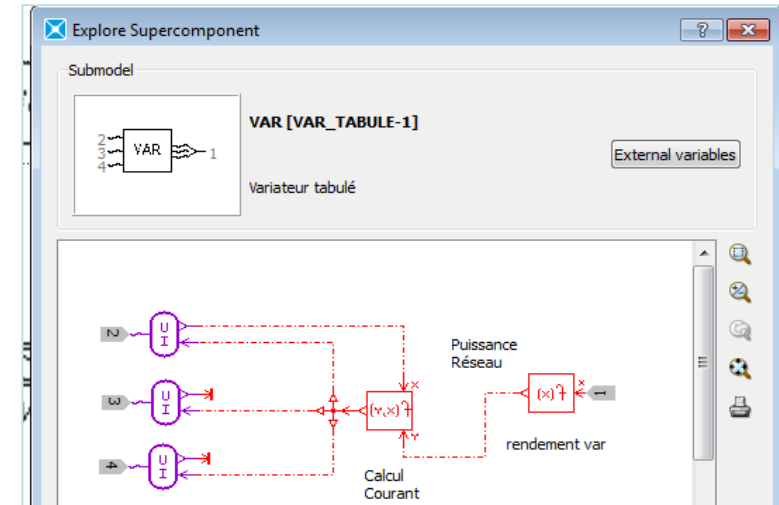
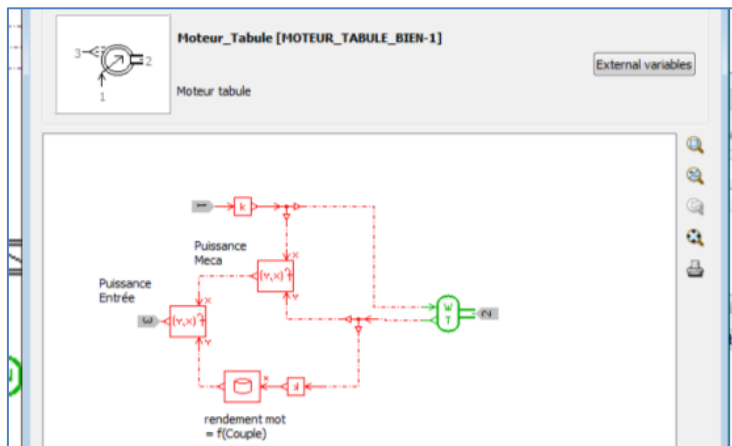
- Logiciel : AMESim
- Modèle Multiphysique
  - Vert : flux mécanique
  - Violet : flux électrique
  - Brun : flux thermique
  - Rouge : signal

# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Modélisation de la machine

### ➤ *Détail des composants : variateur et moteur*

- Modélisation du moteur électrique :
  - Modèle tabulé : cartographie de pertes dans la plage couple / vitesse
  - Nature des pertes prises en compte : pertes joules au stator (connues par  $R I^2$ ) / pertes joules au rotor (connues par le glissement), pertes fer (calées sur courbe rendement constructeur)
- Modélisation du variateur :
  - Modèle tabulé : rendement constant ou courbe de pertes fonction du courant
  - Pertes dans l'onduleur : pertes en conduction et pertes en commutation fonction de la fréquence de découpage
  - Calcul des courants consommés

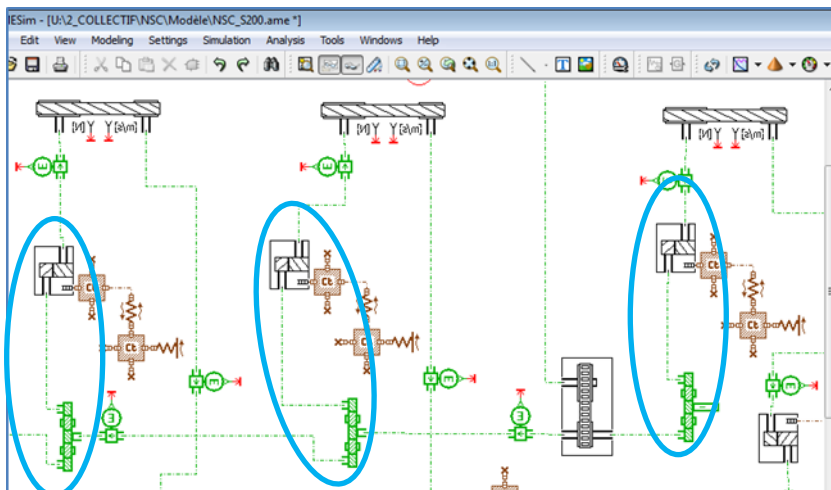
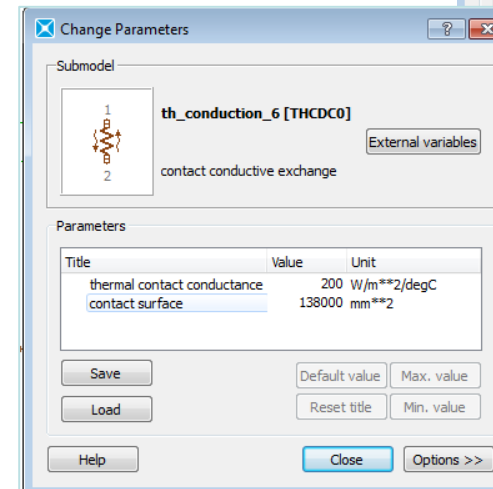
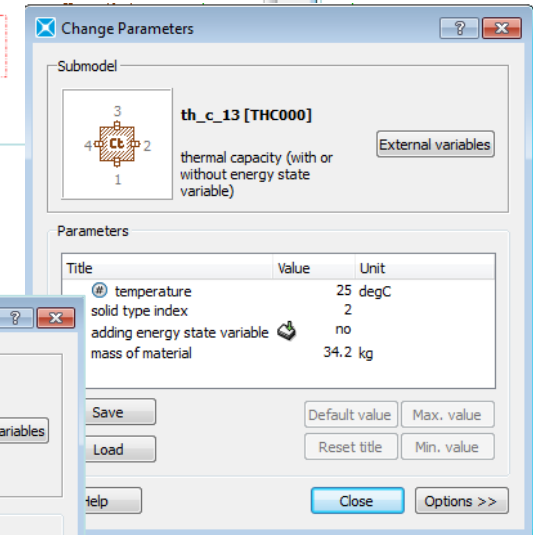
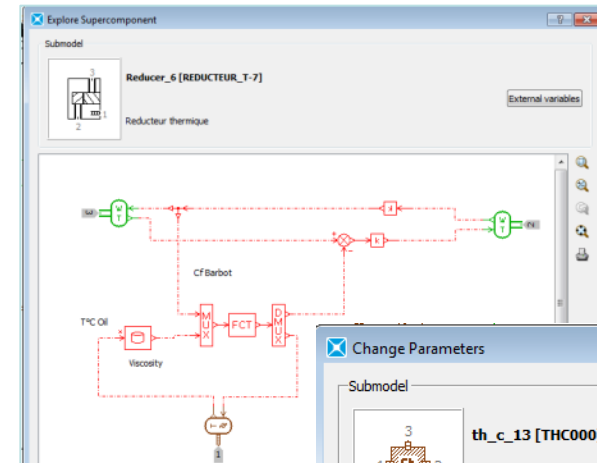


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Modélisation de la machine

### ➤ *Détail des composants : Renvois d'angle*

- Modélisation des pertes mécaniques (ISO 14179-2) :
  - Pertes par brassage d'huile
  - Pertes par engrènement dépendantes de la charge
  - Pertes dans les roulements (formulation SKF)
- Modélisation thermique
  - Modélisation nodale simple : bain d'huile et carter
  - Conduction, convection et radiation : coefficient déterminés d'après la norme ISO 14179-2
  - Volume et surfaces d'échange estimées d'après dimensions des carters

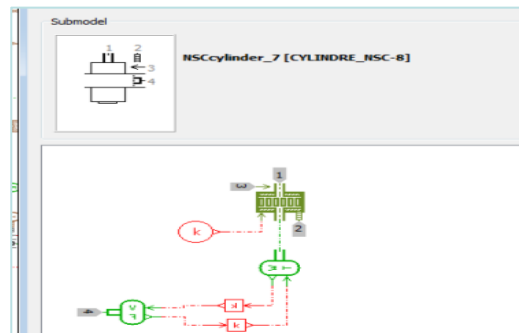


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Modélisation de la machine

### ➤ *Détail des composants : Courroies, Cylindres*

- Modélisation des courroies :
  - Courroies profil trapézoïdale XPZ (moteur) et AT10 (blocs)
  - Supercomposant paramétré par diamètres et rendement
  - Paramétrage d'un rendement constant ou tabulé sur la plage force transmise / vitesse
- Modélisation des cylindres d'entraînement du textile
  - Loi cinématique parfaite : pas de glissement
  - Pertes dans les roulements du cylindre selon formulation SKF
  - Perte de couple supplémentaire correspondant à l'entraînement des rouleaux de pression
  - Chargement radial causé par les cylindres de pression et l'effort tangentiel dans le câble textile



Title	Value	Unit	Save next
velocity at port 1	0	rev/min	<input checked="" type="checkbox"/>
torque at port 1	0	Nm	<input checked="" type="checkbox"/>
torque at port 2	0	Nm	<input checked="" type="checkbox"/>
velocity at port 2	0	rev/min	<input checked="" type="checkbox"/>
velocity at port 3	0	rev/min	<input checked="" type="checkbox"/>
torque at port 3	0	Nm	<input checked="" type="checkbox"/>
Tension de traction de courroie [N]	0	null	<input checked="" type="checkbox"/>
Vitesse linéaire de courroie [m/s]	0	null	<input checked="" type="checkbox"/>
belt efficiency	0.98	null	<input checked="" type="checkbox"/>

Title	Value	Unit	Save next
velocity at port 1	0	rev/min	<input checked="" type="checkbox"/>
torque at port 1	0	Nm	<input checked="" type="checkbox"/>
belt angle with vertical [rd]	3.14159	null	<input checked="" type="checkbox"/>
belt traction force	0	null	<input checked="" type="checkbox"/>
torque port 3	0	Nm	<input checked="" type="checkbox"/>
velocity at port 3	0	rev/min	<input checked="" type="checkbox"/>
belt efficiency	0.98	null	<input checked="" type="checkbox"/>
Belt Speed [m/s]	0	null	<input checked="" type="checkbox"/>

# Projets de Modélisation Système

## Machine NSC

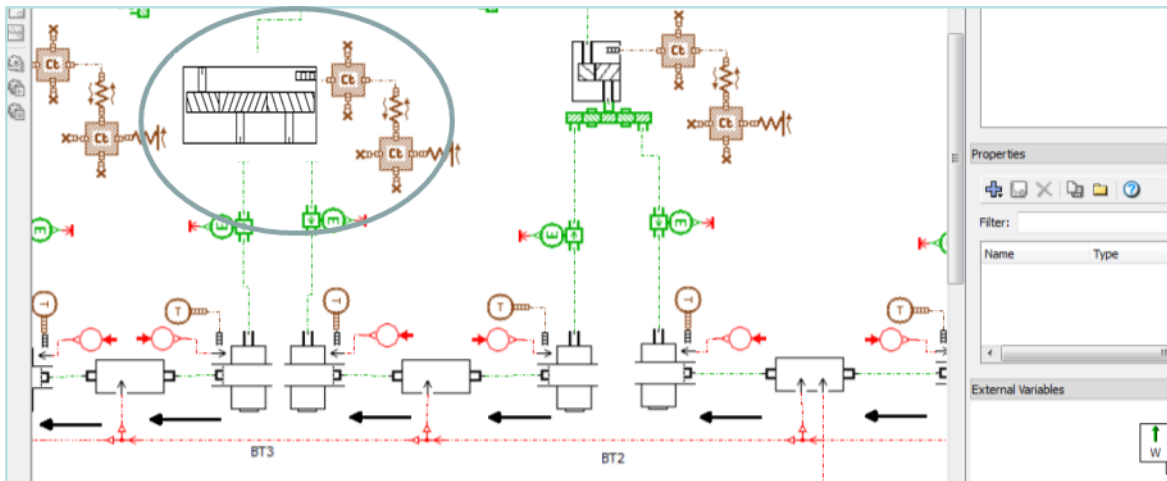
### Modélisation de la machine

#### ➤ Détail des composants : Blocs de transmission

- Modélisation du bloc 1 pignon 2 couronnes :
  - Pertes par brassage d'huile
  - Pertes par engrenement dépendantes de la charge
  - Pertes dans les roulements (formulation SKF)
- Modélisation thermique
  - Modélisation nodale bain d'huile et carter
  - Conduction, convection et radiation : coefficient déterminés d'après la norme ISO 14179-2
  - Volume et surfaces d'échange estimées d'après dimensions des carters

Bloc Tension (3 exemplaires)	Bloc Etirage (3 exemplaires)	Unité	Grandeur
1,86		(kJ/°K)/kg	Cpm_oil
11	2	L	Vol_oil
9,68	1,76	kg	M_oil
18,00	3,27	kJ/°K	Cp_oil
0,5		(kJ/°K)/kg	Cpm_ca
125,44	54,72	kg	M_ca
62,72	27,36	kJ/°K	Cp_ca

Bloc Tension (3 exemplaires)	Bloc Etirage (3 exemplaires)	Unité	Grandeur
0,62	0,3	m	L
0,30	0,30	m	l
0,65	0,42	m	H
0,01	0,01	m	ep
200	200	(W/°K)/m <sup>2</sup>	$\alpha_{oil}$
0,295	0,216	m <sup>2</sup>	A_oil
59,0	43,2	W/°K	Tr_oil
16	17	(W/°K)/m <sup>2</sup>	$\alpha_{ca}$
1,568	0,684	m <sup>2</sup>	A_ca
25,3	11,3	W/°K	Tr_ca

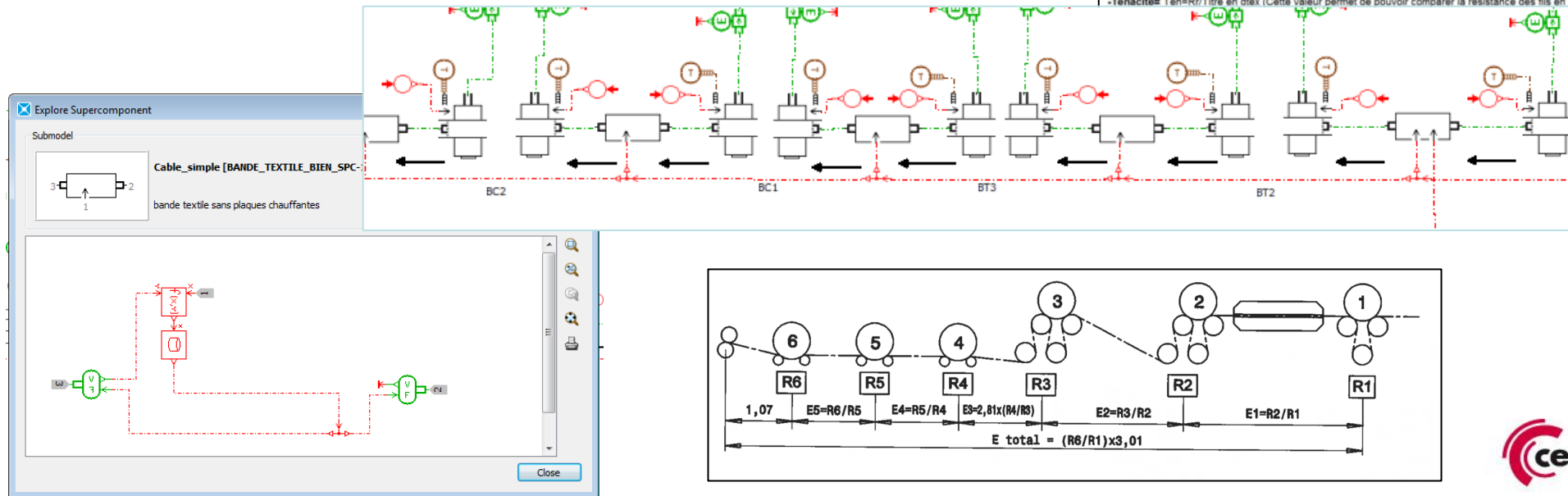
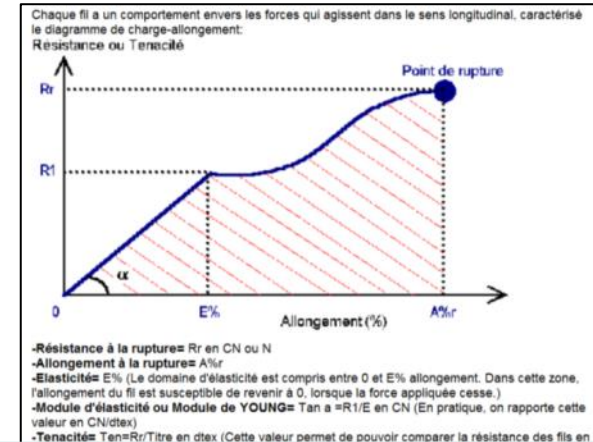


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Modélisation de la machine

### ➤ Détail des composants : câble textile

- Modélisation du câble :
  - Réparti en plusieurs sous éléments entre les blocs
  - Modélisé par une caractéristique « tension-étirement »
  - Le modèle reçoit l'information de vitesse, calcule l'étirement et la tension, et renvoie les efforts aux extrémités
  - Caractéristiques des textiles obtenues par l'expérience métier de la société NSC + tests à la machine de traction
  - Représente la charge de la machine : paramètre clé du modèle pour estimer la consommation globale de la machine

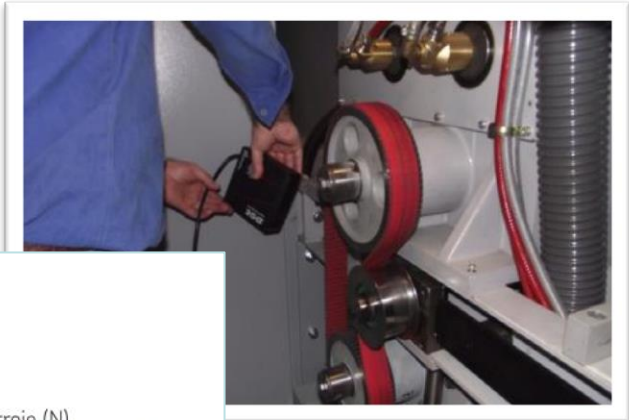


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Mesures sur Machine pour calibration du modèle

- Calibration des pertes globales par un essai à vide (sans matière)
- Vérification du comportement du textile par quelques essais en charge

- Calcul de tension par méthode de la fréquence
- Mesure de la fréquence de battement
  - Capteur optique à grande résolution (1 micron)
  - Acquisition du signal à 2 kHz
- Post-traitement
  - Identification des fréquences parasites (faux-rond poulies)
  - Identification de la fréquence propre en post-traitement



$$T = 4ml^2 f^2$$

Avec

T = Tension de la courroie (N)

m = masse par unité de longueur (kg/m)

l = longueur de portée (m)

f = fréquence de vibration (Hz)



- Mesure de la puissance électrique, des tensions et courants en charge
  - Général / Plaques chauffantes / Variateur principal
  - Mesure de la vitesse moteur par bande réfléchissante
  - Estimation du couple moteur et de la puissance mécanique (Estimation variateur + Estimation manuelle à partir du rendement et de la puissance électrique)

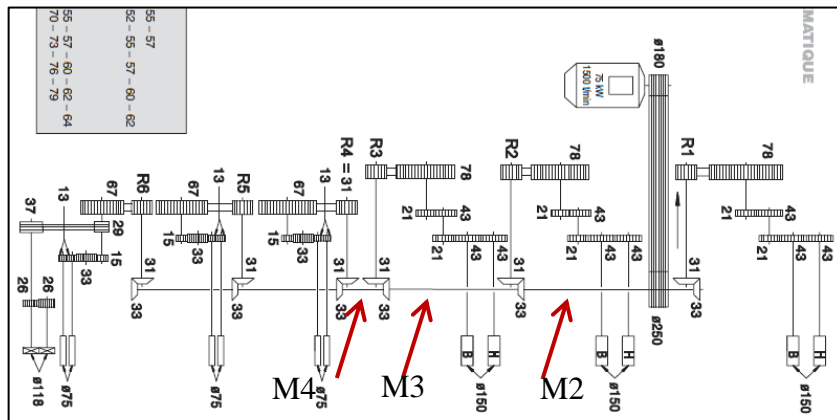


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Mesures sur Machine pour calibration du modèle

### ➤ Mesures de couple

- Instrumentation de 2 cardans et 1 accouplement
  - Collage de jauges de déformation en opposition
  - Jauges insérées dans un montage pont complet
  - Alimentation du pont par des piles fixées sur l'arbre
  - Mise en place d'un modulateur et d'une antenne émettrice
- Etalonnage des arbres sur banc de torsion
  - Application d'un couple étalon jusqu'à 600Nm
  - Identification de la droite de linéarisation
  - Ecarts résiduels inférieurs à 1 %/FS (1Nm / 3Nm / 5Nm)

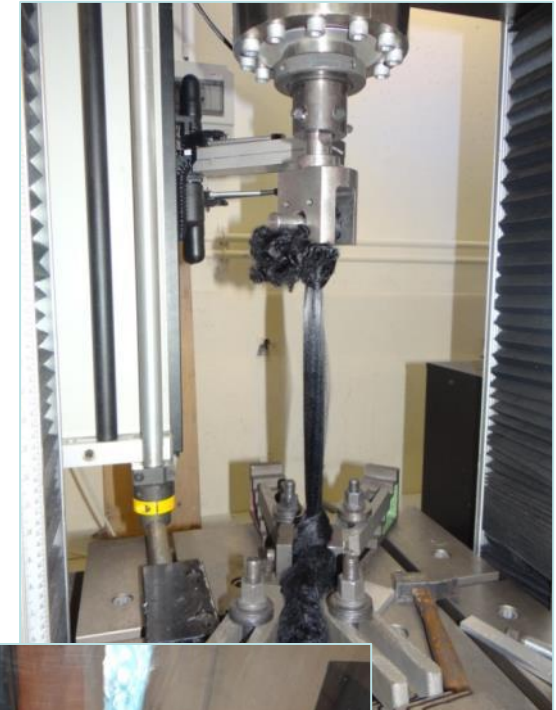
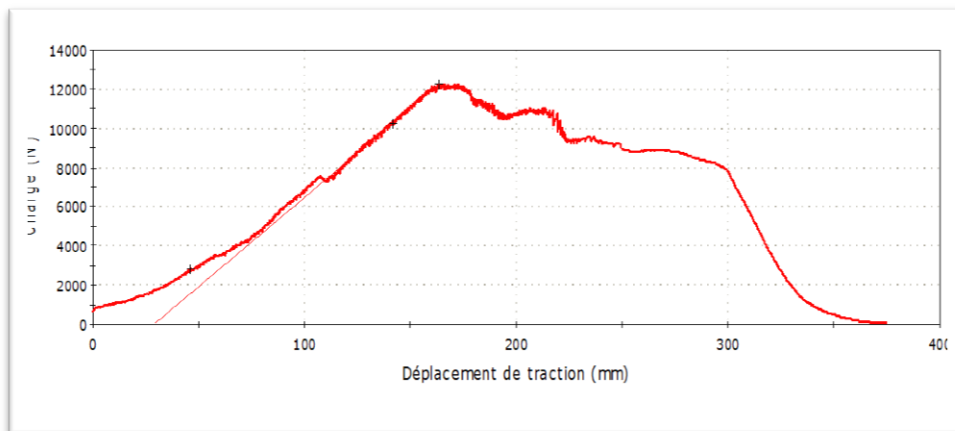


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Mesures sur Machine pour calibration du modèle :

### ➤ Essai de traction de bande textile

- Effort maximum atteints :
  - Fisipe Neochrome : 12 kN
  - Dralon L700 : 12 kN
  - Dralon L900 : 6 kN
- Difficultés de l'essai
  - Fixation aux extrémités par des nœuds : phénomènes de glissement
  - Tension non homogène des fibres au sein du câble : câble moins résistant
- Conclusions
  - Tension maximale de câble plus faible que sur Machine textile
  - Donnée d'allongement peu exploitable

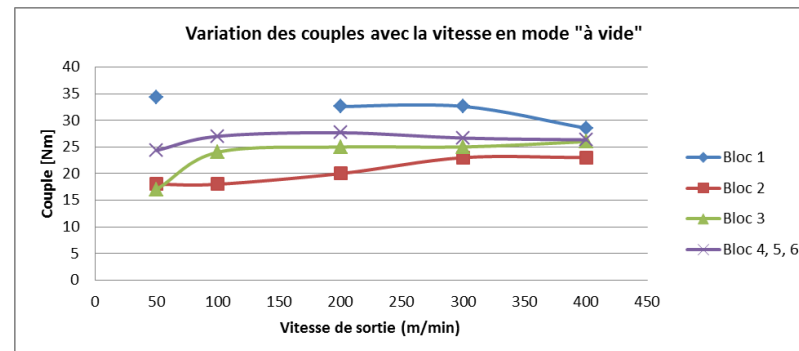
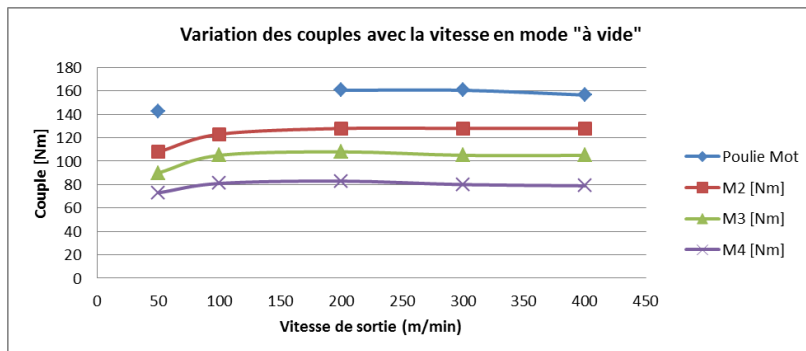
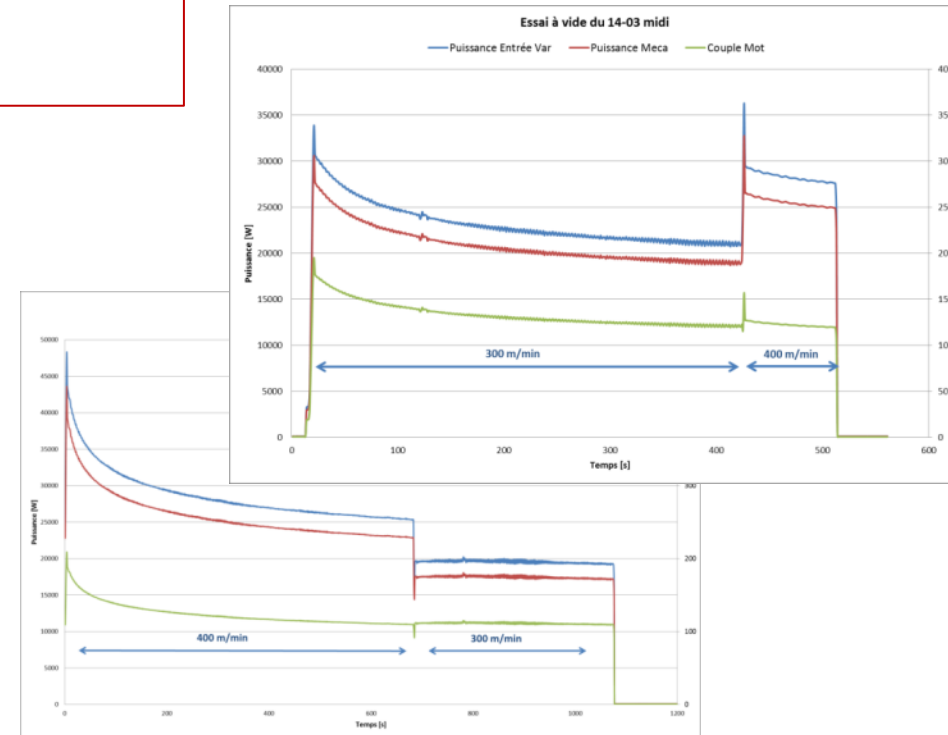


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Mesures sur Machine pour calibration du modèle

### ➤ Essai à vide : mise en évidence des pertes

- Mesures électriques :
  - Mesure de la puissance variateur du moteur principal
  - Estimation du couple moteur connaissant la vitesse de rotation et les rendements moteur et variateur
- Mesures de couple :
  - Effet de mise en chauffe : atténuation asymptotique des couples dans le temps
  - Faible influence de la vitesse sur les pertes en régime permanent
  - Détermination des pertes par bloc : environ 25 Nm par bloc sur l'arbre transversal
- Mesures de tension de courroie :
  - Identification des pertes dans les blocs de transmission (après les renvois d'angle)
  - Incertitude de mesure élevée pour les essais à vide

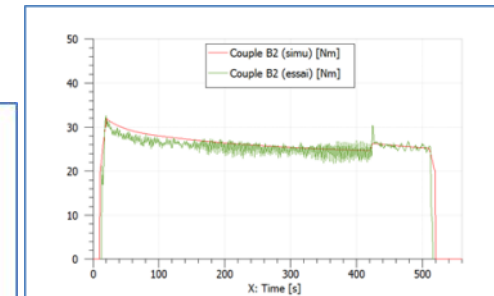
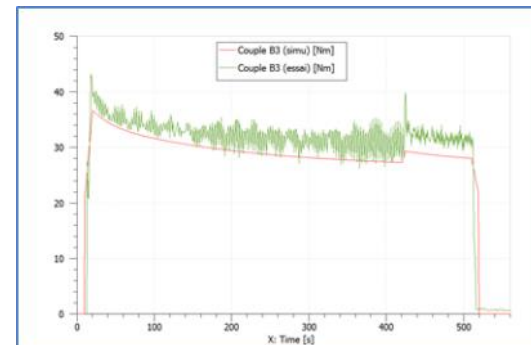
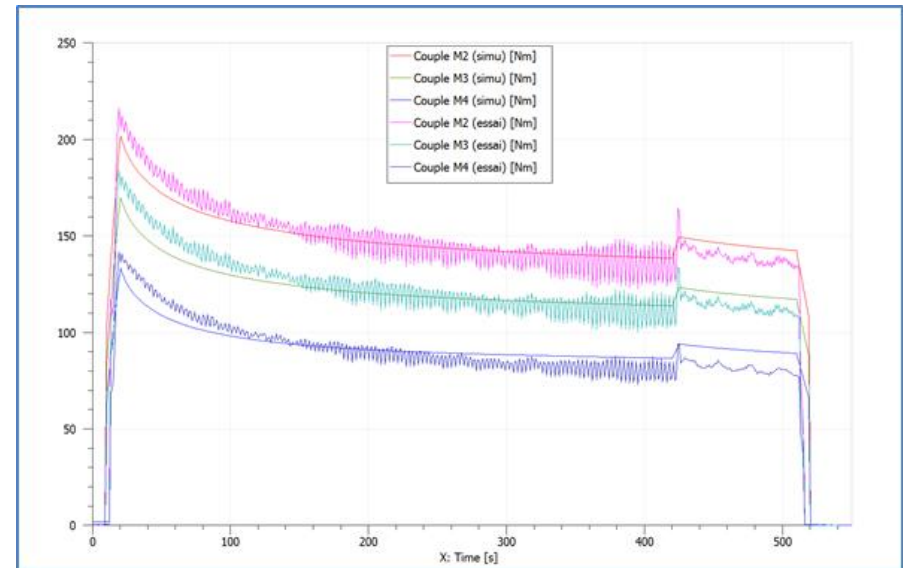


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Mesures sur Machine pour calibration du modèle

### ➤ Essai à vide : mise en évidence des pertes

- Comparaison essai-simulation :
  - Comparaison des mesures de couple après stabilisation thermique, pour différents paliers de vitesse
  - Comparaison du comportement transitoire thermique ; Mise en chauffe à 300 m/min puis 400 m/min
- Observations :
  - Sous-estimation notable des pertes à vide avec le modèle initial
  - Correction effectuée sur les pertes par brassage des roues dentées et sur les pertes des roulements
  - Après corrélation, reproduction correcte des pertes en régime permanent
  - Ajustement des coefficient d'échange convectifs des carters pour reproduire le comportement thermique lors de la mise en chauffe
  - Difficulté : pas de mesure de Température d'huile et carter

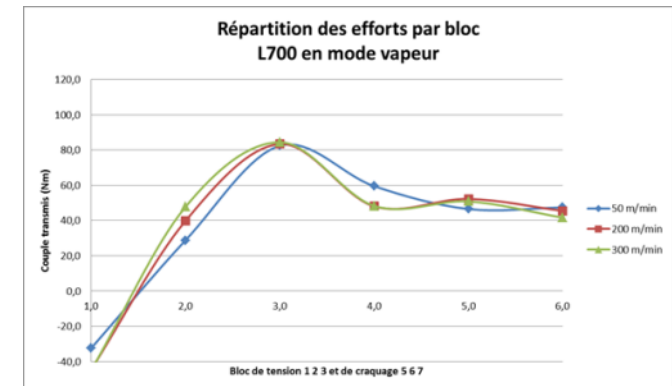
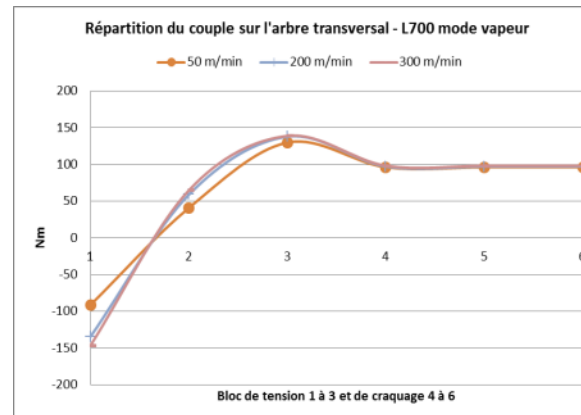
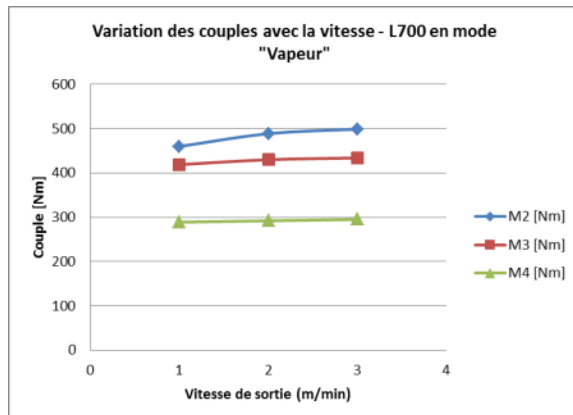


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Mesures sur Machine pour calibration du modèle

### ➤ Essai en charge : vérification du comportement en traction du textile

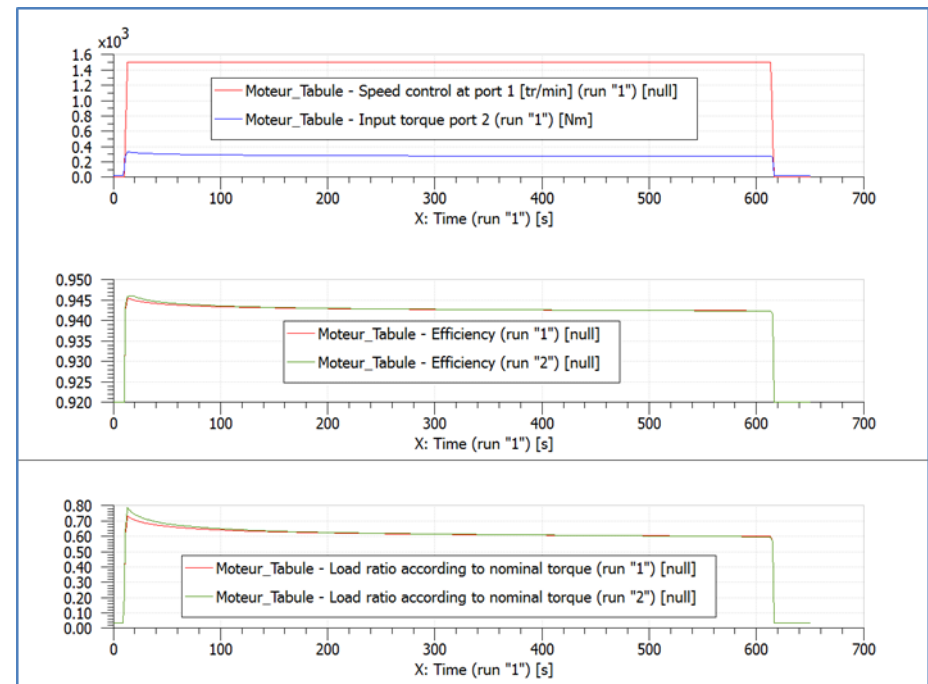
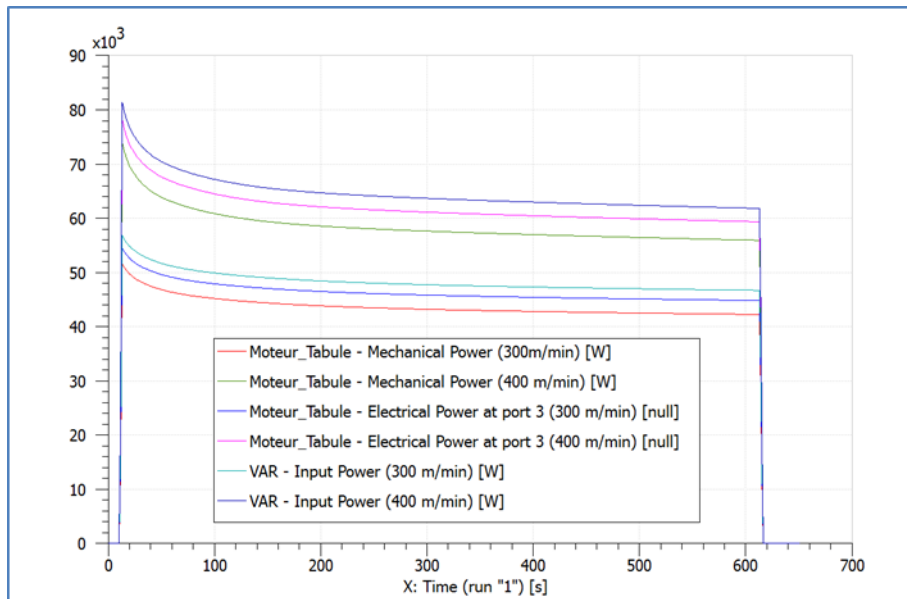
- Mesures de couple :
  - Forte influence de la charge textile sur les couples mesurés
  - Faible influence de la vitesse sur les couples mesurés
  - Mode Vapeur / Plaques chauffantes : Le couple M2 est faible en mode « plaques chauffantes »
- Mesures de tension de courroie :
  - Calcul de la tension des courroies puis de l'effort transmis dans les 6 blocs
  - Estimations complémentaires aux 3 mesures de couple
  - Incertitude de mesure élevée (85 N) soit 8% à 20% de la mesure
- Essais en charge pour 3 textiles :
  - Ecart initial Simulations / Mesures : sous-estimation globale des couples
  - Ajustement dans le modèle des caractéristiques Effort / Allongement des textiles
  - Après ajustement, erreurs résiduelles Simulations / Mesures de 5%



## Simulations et Analyse énergétique

### ➤ Fonctionnement en charge : L700 Vapeur

- Exemple de simulation pour du L700 mode Vapeur
  - Fonctionnement pour 2 vitesses : 300 m/min et 400 m/min
  - Grandeurs de fonctionnement du moteur principal (ci-contre)
  - Puissance moteur, variateur et puissance électrique intermédiaire (ci-dessous)

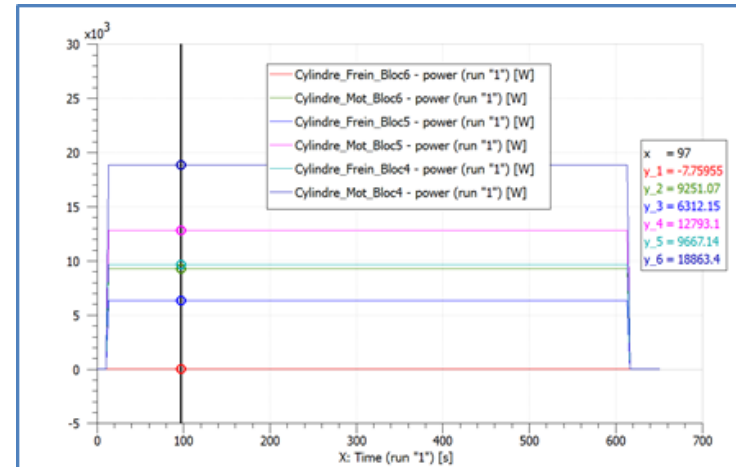
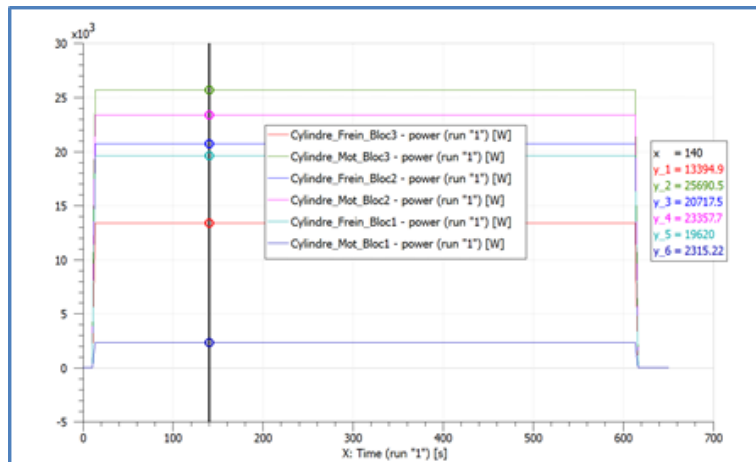
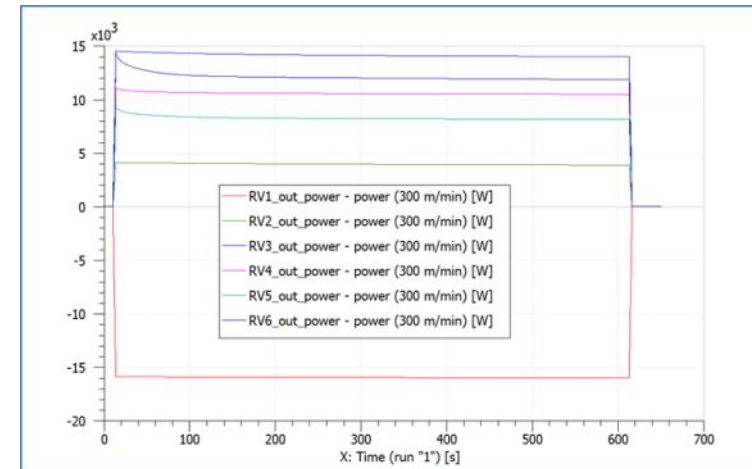


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## Simulations et Analyse énergétique

### ➤ Fonctionnement en charge : L700 Vapeur

- Distribution de la puissance entre les blocs au niveau de l'arbre transversal :
  - Fonctionnement à un débit matière de 300 m/min
  - Répartition de la puissance entre les blocs de tension et de craquage (ci-contre)
- Puissance transmise entre le textile et les cylindres :
  - Des blocs de tension (à gauche, blocs 1 à 3)
  - Des blocs de craquage (à droite, blocs 4 à 6)

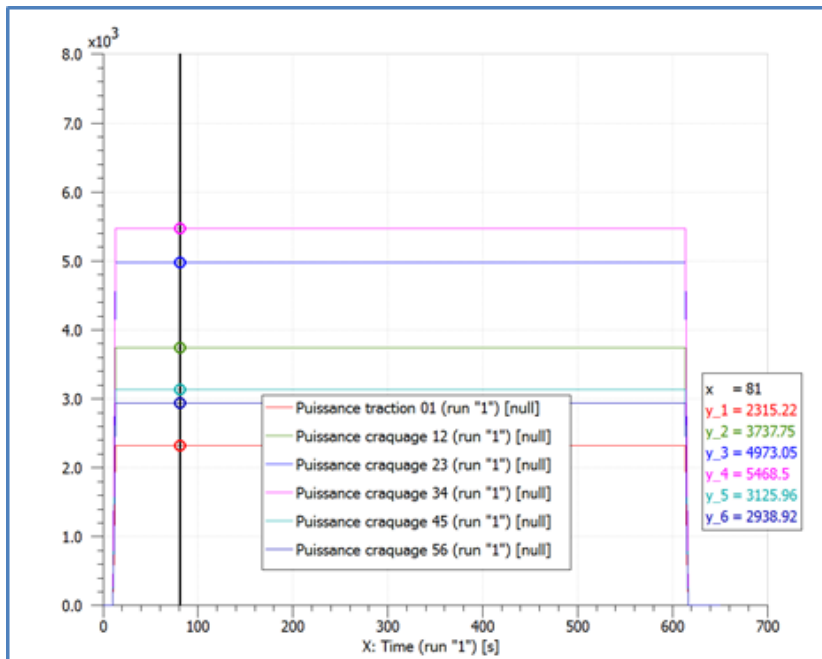
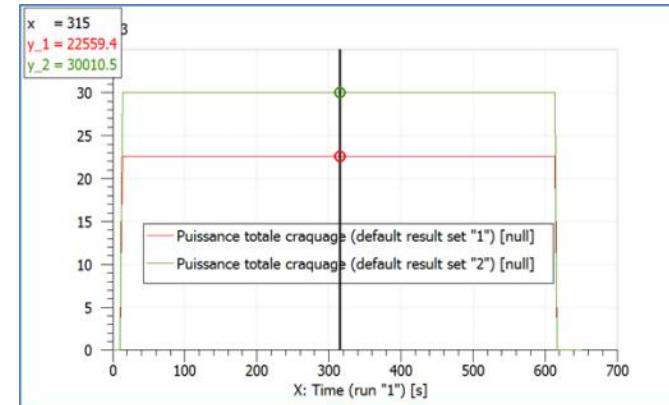


# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

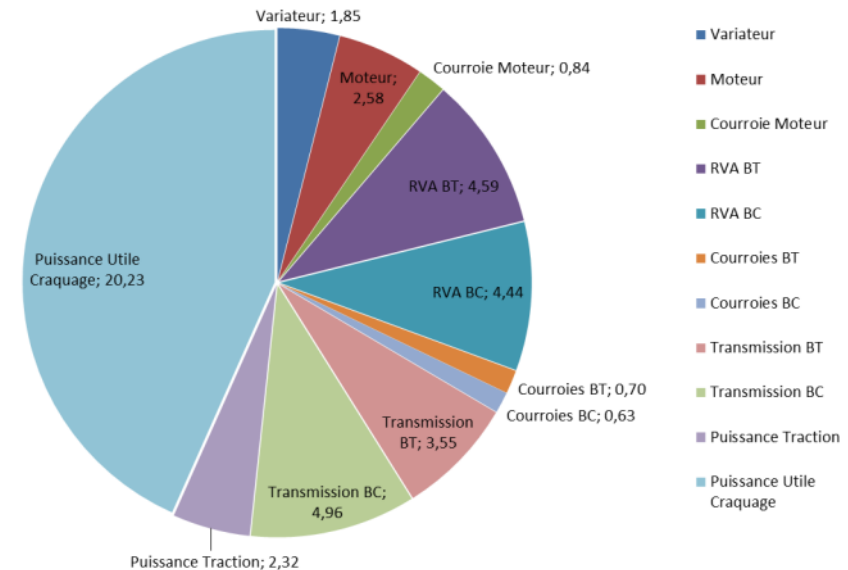
## Résultats de simulation

### ➤ Fonctionnement en charge : L700 vapeur

- Puissance de craquage = puissance utile
  - Puissance de craquage totale à 300 m/min et 400 m/min : 22,60 kW et 30,01 kW (ci-contre)
  - Répartition de la puissance de craquage du câble dans les différentes zones inter-blocs (ci-dessous)



## Répartition des pertes - L700 mode Vapeur







# Modélisation 1D d'une machine textile et analyse de ses performances énergétiques

## *Simulations et Analyse énergétique*

### ➤ *Exploitation du modèle*

- **Simulation avec d'autres matières et réglages**
  - Simulation du fonctionnement avec 10 autres matières
  - Etude des réglages de la machine : vitesse de production / mode de chauffe / réglages de poulies
  - Détermination des indicateurs de performance : Rendement & Consommation spécifique v/s Vitesse de production et Type de matière textile
- **Bilan énergétique par diagramme de Sankey :**
  - Utilisation du logiciel E-Sankey (IFU Hamburg GmbH)
  - Mise en évidence du cheminement de la puissance dans la chaîne complète et des bouclages
  - Mise en évidence des pertes et de la distribution de puissance entre les blocs
  - Mise en évidence du fonctionnement « moteur » ou « générateur » des cylindres
  - Mise en évidence des variations de fonctionnement selon les cas de charge : matière / mode de chauffe



# Innover

en mécanique