

EXOSQUELETTE

DOSSIER RESSOURCES



PRESENTATION DU SYSTEME

Les exosquelettes sont des solutions biomécaniques destinées à apporter une assistance ou un soutien physique à ceux qui les utilisent.

L'exosquelette « Japet.W » est un dispositif médical motorisé conçu par l'entreprise française Japet Medical. Il est la solution idéale pour lutter contre le mal de dos, tout en maintenant sa mobilité pour les postes de travail aux fortes contraintes lombaires. Cet exosquelette lombaire est en priorité destiné au marché du travail et a vocation à soulager les salariés qui l'utilisent dans leurs mouvements quotidiens, en particulier dans les domaines de l'industrie ou de la logistique.

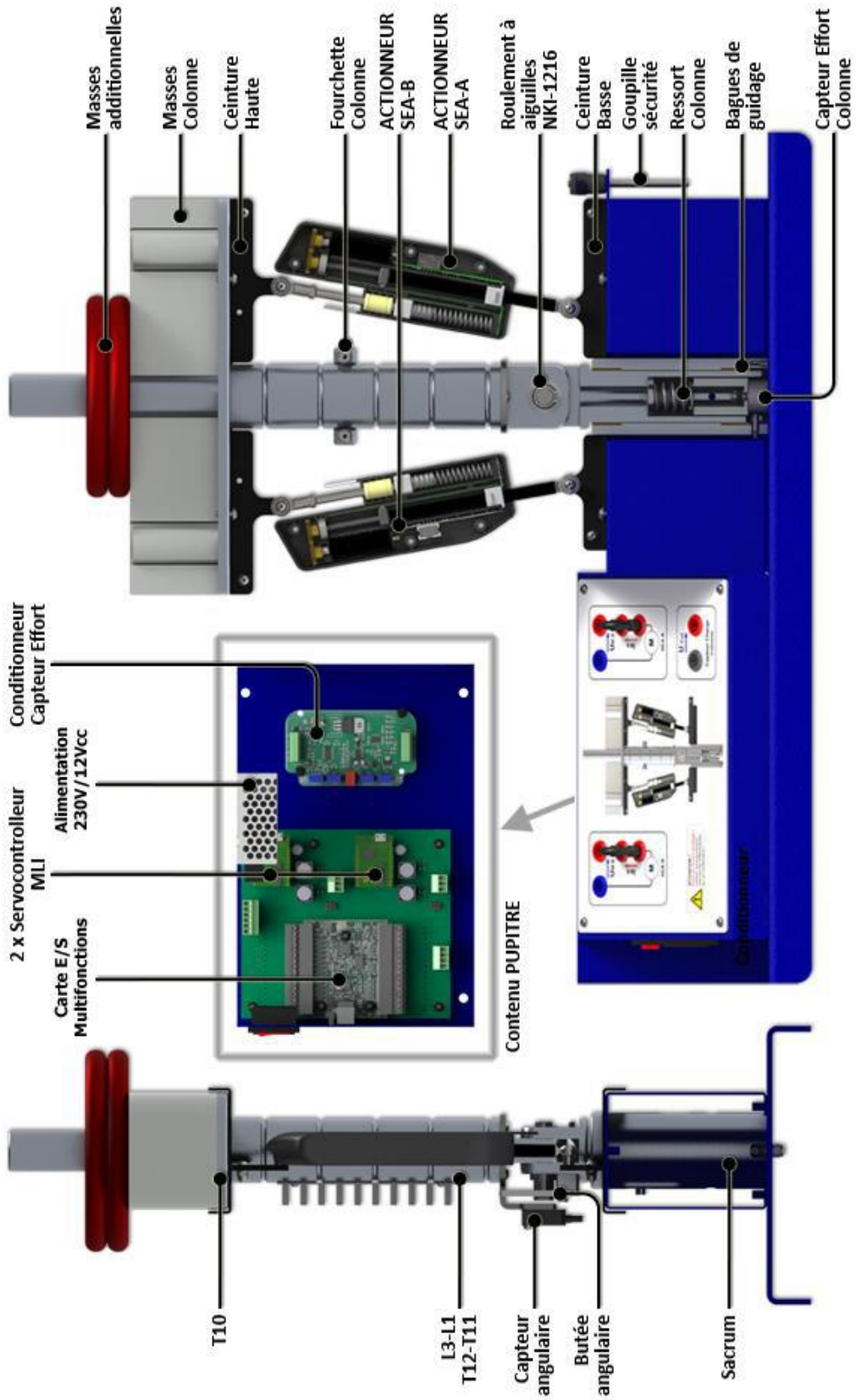
Il est également destiné au soin de patients souffrant de lombalgie, en hôpital ou à domicile.

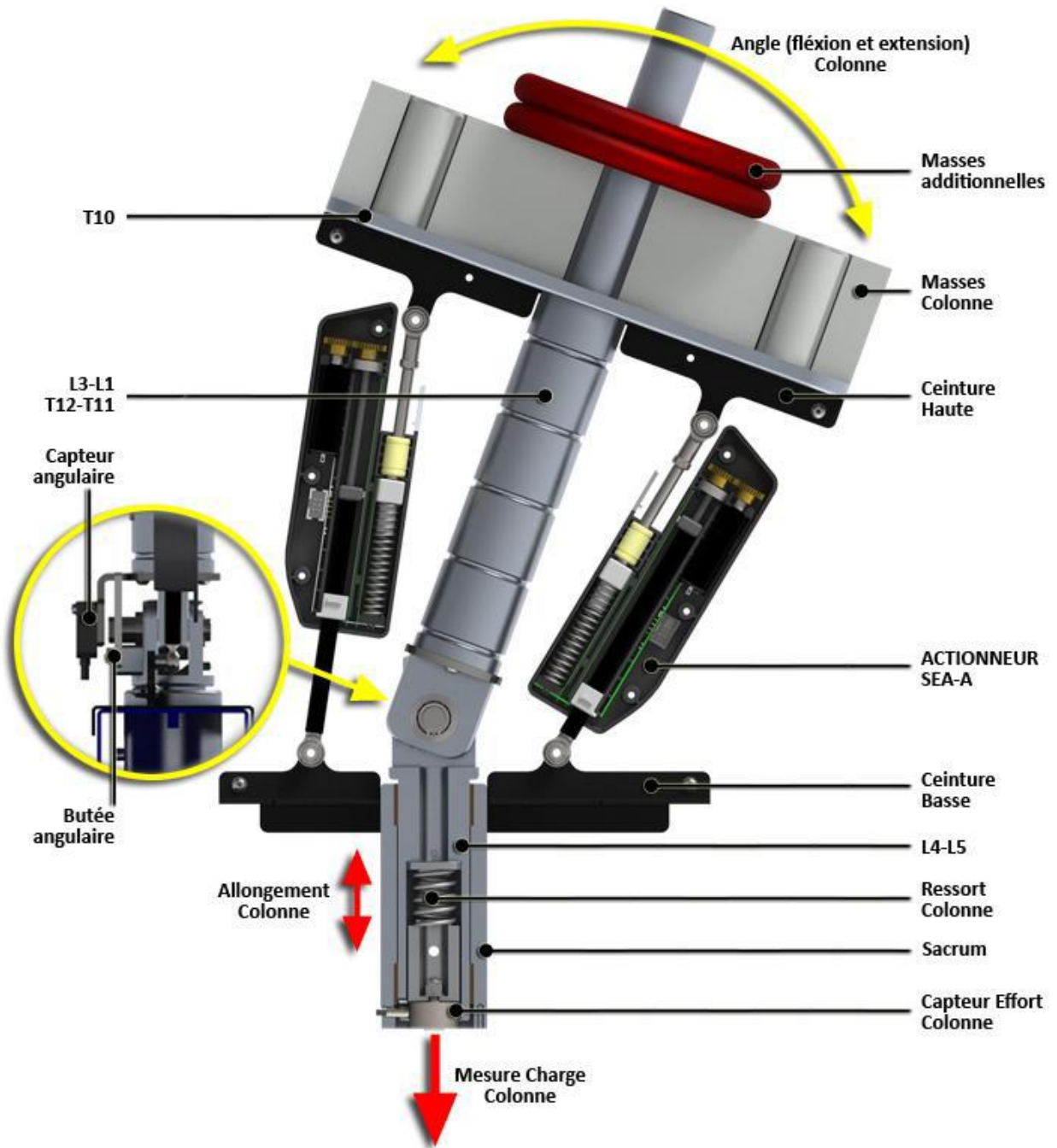


Cet exosquelette n'a pas pour but d'augmenter les capacités physiques de l'être humain mais de les maintenir à un niveau satisfaisant, cette assistance permet ainsi de conserver une activité professionnelle normale.



Description du système pédagogique





ANALYSE SYSTEME – SYSML

DIAGRAMME DE CONTEXTE

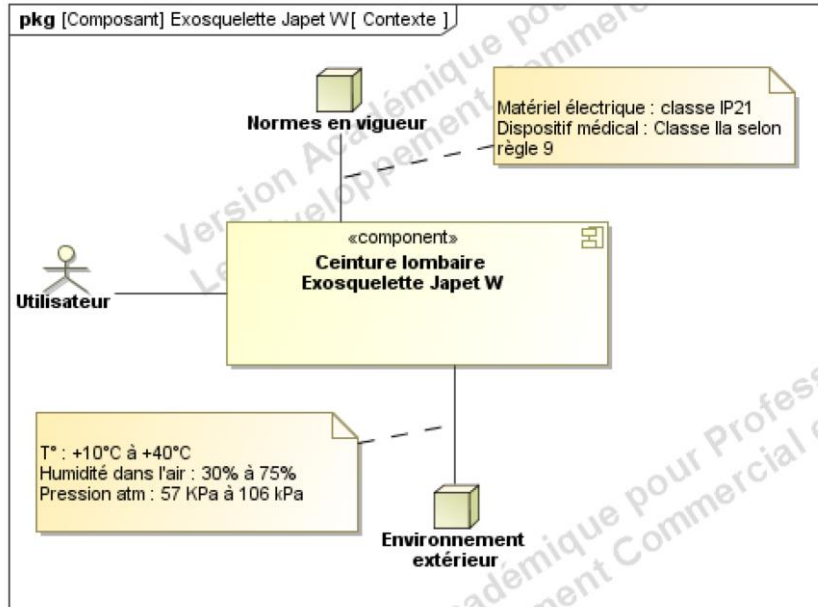


DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION

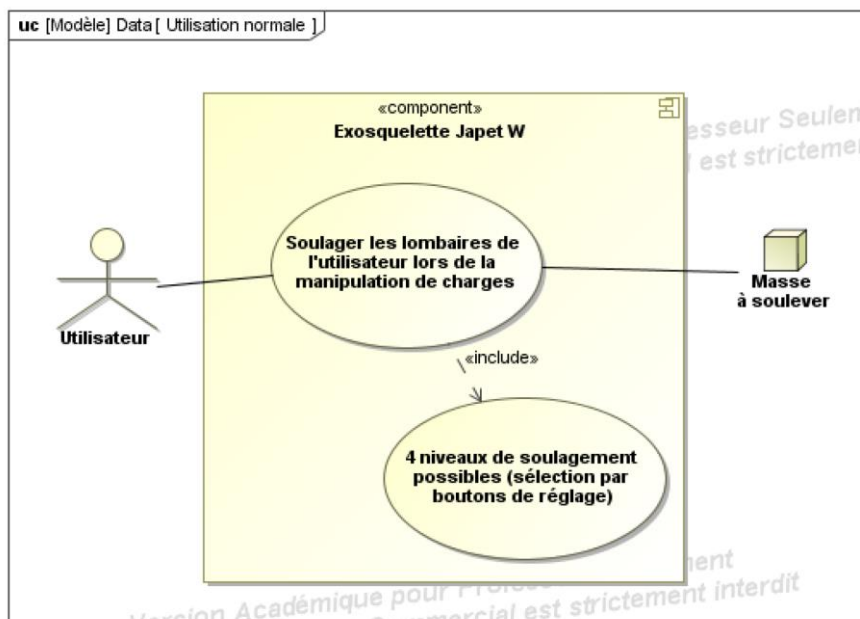


DIAGRAMME DES EXIGENCES

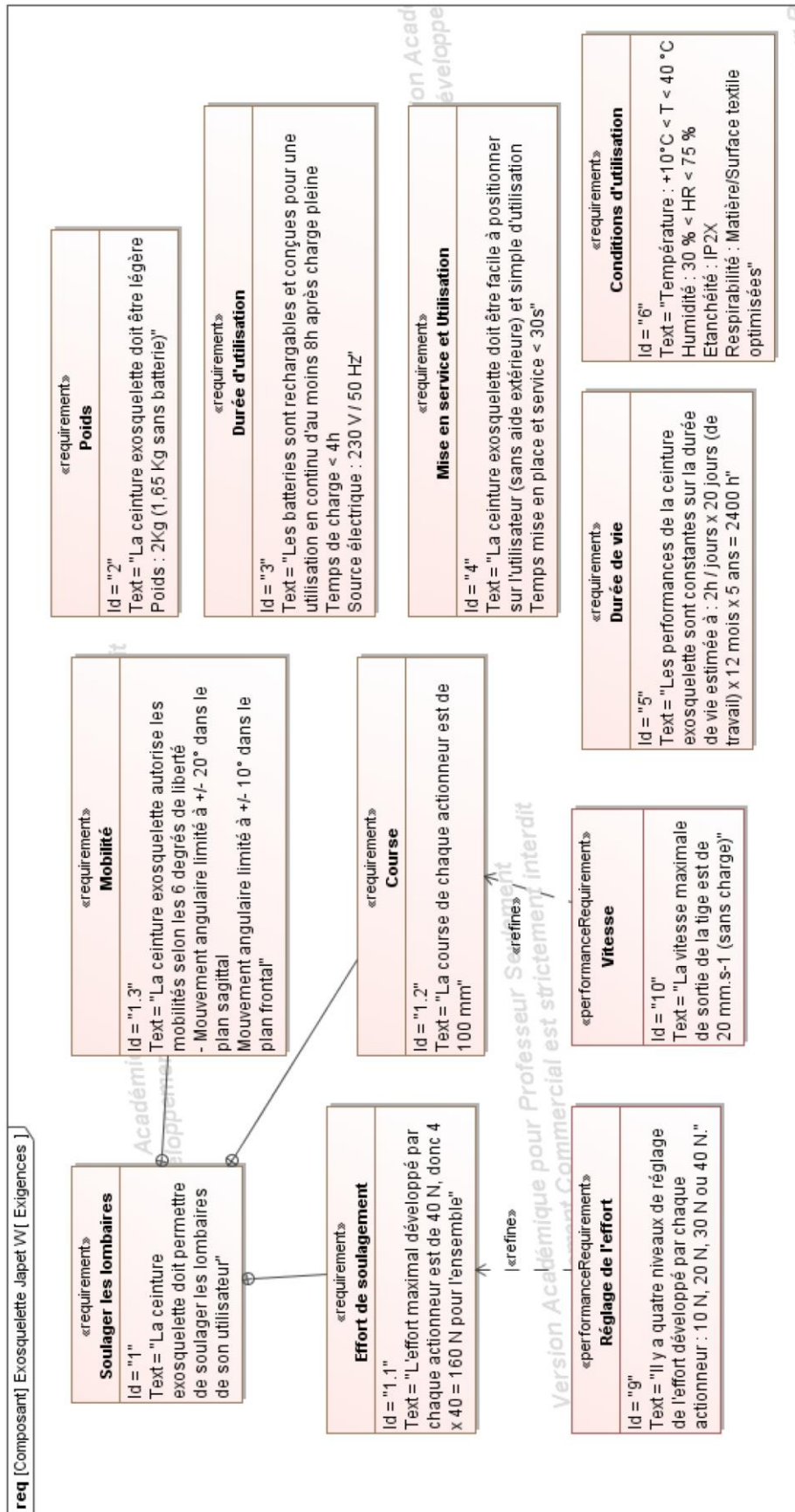


DIAGRAMME DE DEFINITION DE BLOC

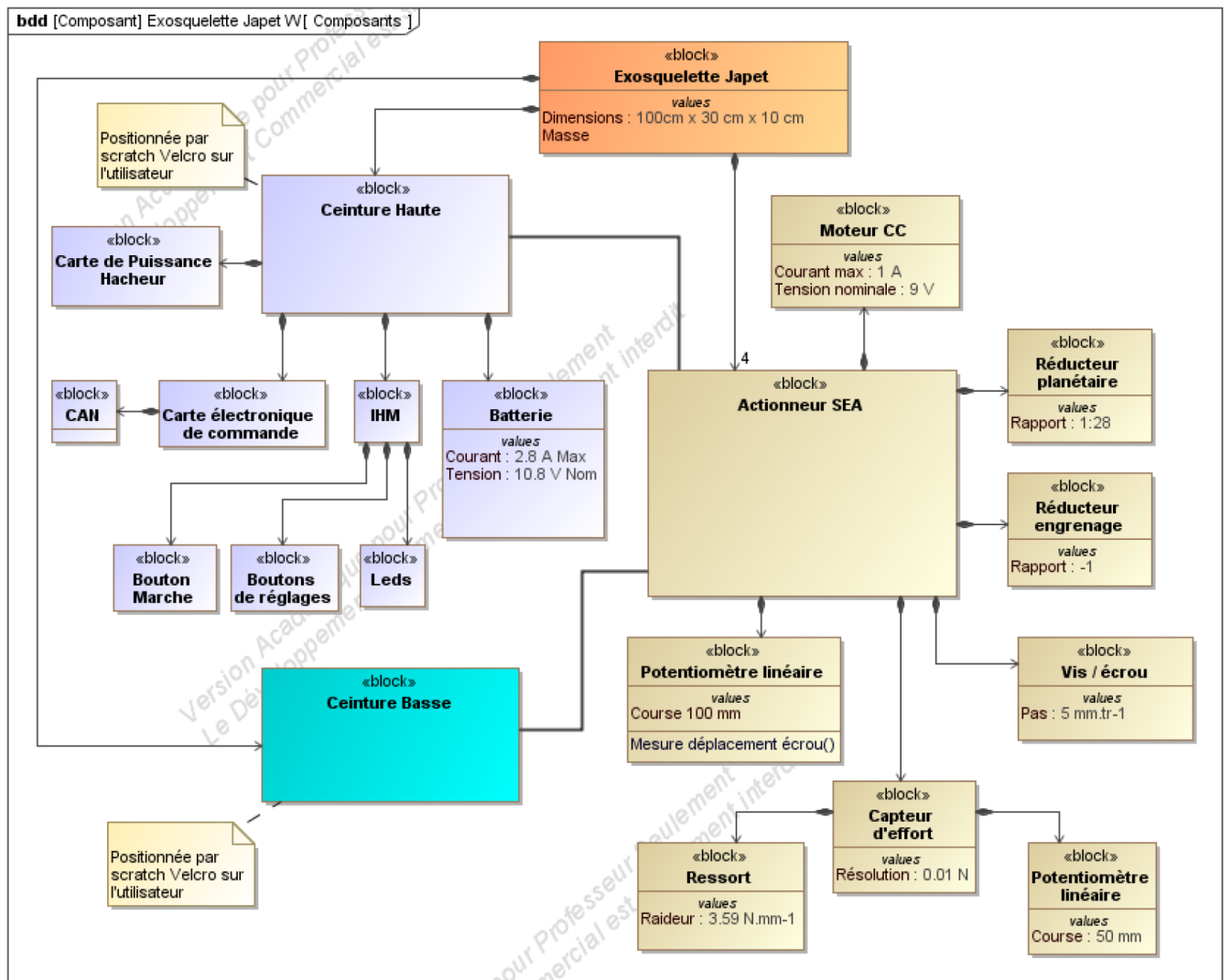


DIAGRAMME DE BLOC INTERNE – CEINTURE COMPLETE

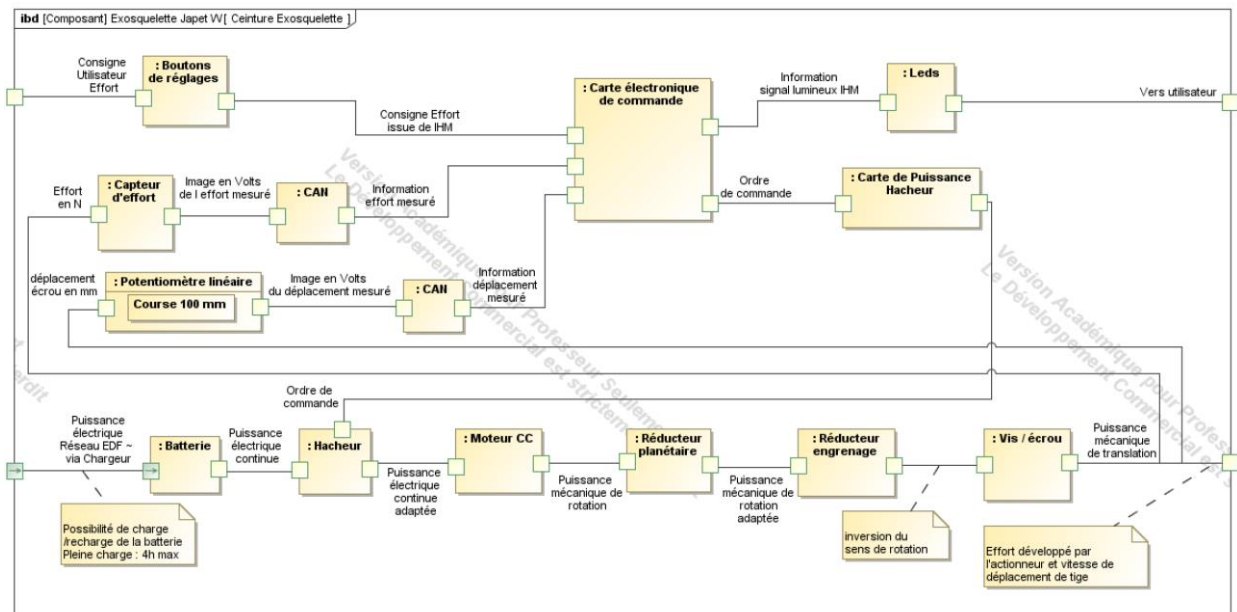
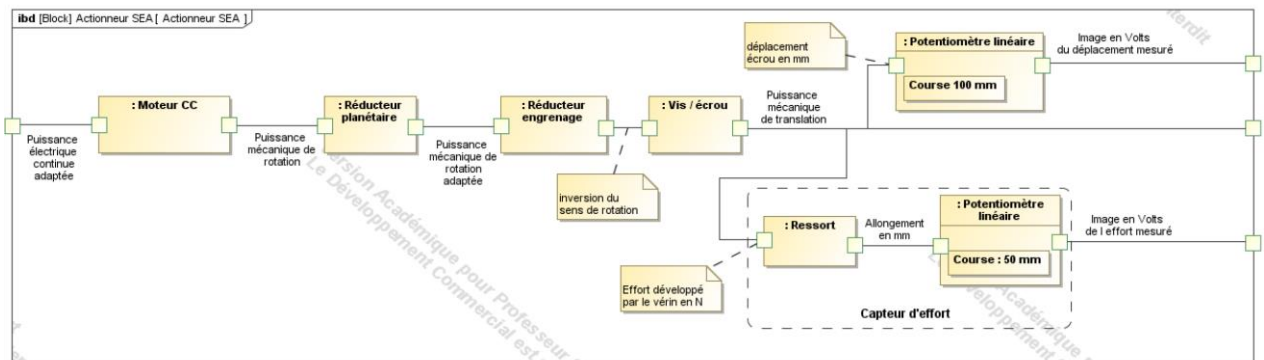


DIAGRAMME DE BLOC INTERNE – VERIN SEUL



CAPTEURS

Capteur de position angulaire colonne

QR series



QR30N-360HB-VK
Absolute rotary encoder (contactless)
Output 0 - 5 V
Supply voltage 10 - 32V dc
Measuring range 360°



General specifications 11400, v20180418	
Housing	Quadro30: PBT black
Dimensions (indicative)	30x30x15 mm
Mounting	2x steel zinc plated M3x16 mm screws
Ingress Protection (IEC 60529)	IP67
Relative Humidity	0 - 95% (non condensing, fully potted)
Weight	approx 15 gr (excl. cable)
Magnet type	11,2 x 5,5 x 8 mm Neodymium/N35/nickel coated/remanention 1,2 T included
Magnet distance to sensor	0 to 7 mm, magnet at front side, see magnet distance picture on page 2
Max. radial magnet misalignment	1 mm Radial Off Axis (< 0,3 mm for minimum non-linearity)
Direction of magnetization	Axial in 8 mm (Northpole marked)
Supply voltage	10 - 32V dc
Polarity protection	Yes
Current consumption	≤ 25 mA
Operating temperature	-25 to 80°C
Storage temperature	-25 to 85°C
Measuring range	360°
Programmable center position	No
Accuracy	
Resolution	12 bit over 360° (min. step 0,09°)
Sensitivity error	±0.5% typ. (@20°C), ±1% typ. (full Temp. range)
Offset error	Magnet + Sensor: <3° typ. (with perfect external magnet positioning)
Non linearity	< ± 1° (in magnet alignment range)
Repeatability	0,13°
Response time	< 4 ms
Max speed	100 rpm
Output signal	0 - 5 V
Short circuit protection	Yes (T<55°C), Max 10 s (T>55°C)
Output load resistor	≥ 20 kΩ
Connection (length ±10%)	Cable 2 m PVC/PVC Liyy, black Ø 4,6 mm, wires: 3x0,34 mm² Sensor colors (static usage)
Wire coding	Brown + Supply voltage Black Output Blue Gnd

General specifications 11400, v20180418	
Housing	Quadro30: PBT black
Dimensions (indicative)	30x30x15 mm
Mounting	2x steel zinc plated M3x16 mm screws
Ingress Protection (IEC 60529)	IP67
Relative Humidity	0 - 95% (non condensing, fully potted)
Weight	approx 15 gr (excl. cable)
Magnet type	11,2 x 5,5 x 8 mm Neodymium/N35/nickel coated/remanention 1,2 T included
Magnet distance to sensor	0 to 7 mm, magnet at front side, see magnet distance picture on page 2
Max. radial magnet misalignment	1 mm Radial Off Axis (< 0,3 mm for minimum non-linearity)
Direction of magnetization	Axial in 8 mm (Northpole marked)
Supply voltage	10 - 32V dc
Polarity protection	Yes
Current consumption	≤ 25 mA
Operating temperature	-25 to 80°C
Storage temperature	-25 to 85°C
Measuring range	360°
Programmable center position	No
Accuracy	
Resolution	12 bit over 360° (min. step 0,09°)
Sensitivity error	±0.5% typ. (@20°C), ±1% typ. (full Temp. range)
Offset error	Magnet + Sensor: <3° typ. (with perfect external magnet positioning)
Non linearity	< ± 1° (in magnet alignment range)
Repeatability	0,13°
Response time	< 4 ms
Max speed	100 rpm
Output signal	0 - 5 V
Short circuit protection	Yes (T<55°C), Max 10 s (T>55°C)
Output load resistor	≥ 20 kΩ
Connection (length ±10%)	Cable 2 m PVC/PVC Liyy, black Ø 4,6 mm, wires: 3x0,34 mm² Sensor colors (static usage)
Wire coding	Brown + Supply voltage Black Output Blue Gnd

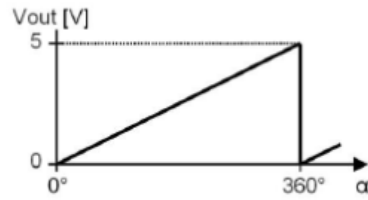
QR series



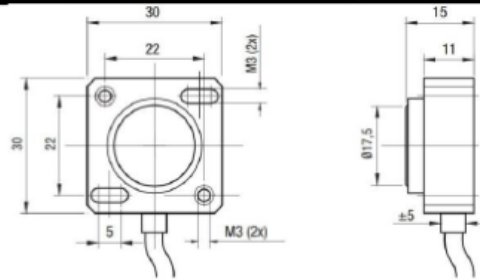
QR30N-360HB-VK

Output approx. 0V when magnetic field outside specifications

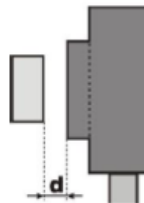
Transfer characteristic



Dimensions (indicative only)

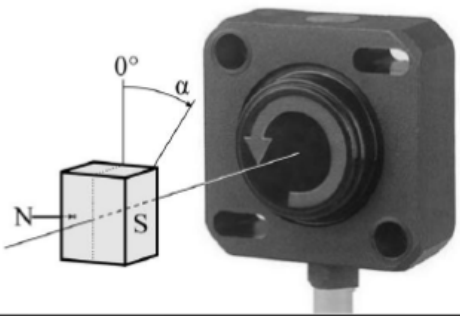


Magnet distance (side view)



Front view
 Magnet drawn in $\alpha=0^\circ$ position
 Magnet rotates clockwise: α increases
 Magnet North pole is indicated
 Magnet surface to sensor: 11,2 x 8mm
 Magnet height: 5,5mm

Magnet orientation



Capteur Effort Colonne**DYMH-103** Membrane box sensor**Features:**

- High stability
- Can be installed in a small space
- Can be non-standard customized
- Anti-interference signals are stable
- Quality stainless steel
- widely used in automobile compression, automatic assembly, 3C production Product testing, new energy product assembly, medical testing, machine Maker field, mold assembly and other industrial testing, since Field of dynamic equipment and testing.

qualification		
Rated quantitative schedule	Kg	0-500 EXO-V : 20 Kg
Output sensitivity	mV/V	1.0-1.5 ±10%
Zero point output	%F. S.	±2
Non-linear	%F. S.	0.3
lag	%F. S.	0.1
Repeatability	%F. S.	0.1
Creep (30 min)	%F. S.	0.2
Temperature sensitivity drift	%F. S. /10°C	0.1
Zero temperature drift	%F. S. /10°C	0.1
Response frequency	Hz	1k
Material		stainless steel
impedance	Ω	350
Insulation resistance	MΩ/100V DC	≥5000
Use voltage	V	0-10
Operating temperature range	°C	-20-80
Safety overload	%R. C.	150
Extreme overload	%R. C.	200
Cable line specifications	m	Φ3*2m
Cable limit pull force	N	98
TEDS		selectable

- 1) High temperature sensors are available, with a maximum operating temperature of 150°C.
- 2) High impedance sensors can be provided with an output impedance of 1000 Ω.

MODELISATION DU MOTEUR A COURANT CONTINU

ÉQUATIONS DE FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement d'un moteur à courant continu peut être modélisé par les équations physiques suivantes :

D'un point de vue électrique, l'induit peut être caractérisé par une résistance en série avec une inductance et une force contre-électromotrice, ce qui conduit à l'équation de maille :

$$u(t) = e(t) + R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

D'un point de vue mécanique, l'équation du rotor en rotation conduit à :

$$J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f \cdot \omega_m(t)$$

Ce type de moteur répond aux équations électromagnétiques :

$$C_m(t) = K_t \cdot i(t) \quad \text{et} \quad e(t) = K_e \cdot \omega_m(t)$$

Terme	Signification	Unité
$u(t)$	tension d'alimentation du moteur	V
$e(t)$	tension de la fem	V
$i(t)$	intensité du courant	A
R	résistance de l'induit	Ω
L	inductance du bobinage	mH
J	inertie du rotor	kg.m ²
f	paramètre de frottement fluide (visqueux)	N.m.s
$c_m(t)$	couple moteur	N.m
$c_r(t)$	couple résistant éventuel (perturbation)	N.m
$\omega(t)$	vitesse de rotation de l'arbre du moteur	rad.s ⁻¹
K_t	coefficient de couple	N.m.A ⁻¹
K_e	coefficient de vitesse	V.s.rad ⁻¹

HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES FREQUENTES

- Les frottements secs et visqueux sont négligés.
- L'inductance de l'induit du moteur est négligée.
- $K_t = K_e$

REMARQUE IMPORTANTE

Dans les documents qui précisent les caractéristiques des moteurs, les constructeurs donnent $1/K_e$ et non pas K_e . Dans ces conditions et en respectant les unités, on vérifie aisément que $K_t = K_e$.

UTILISATION DU LOGICIEL

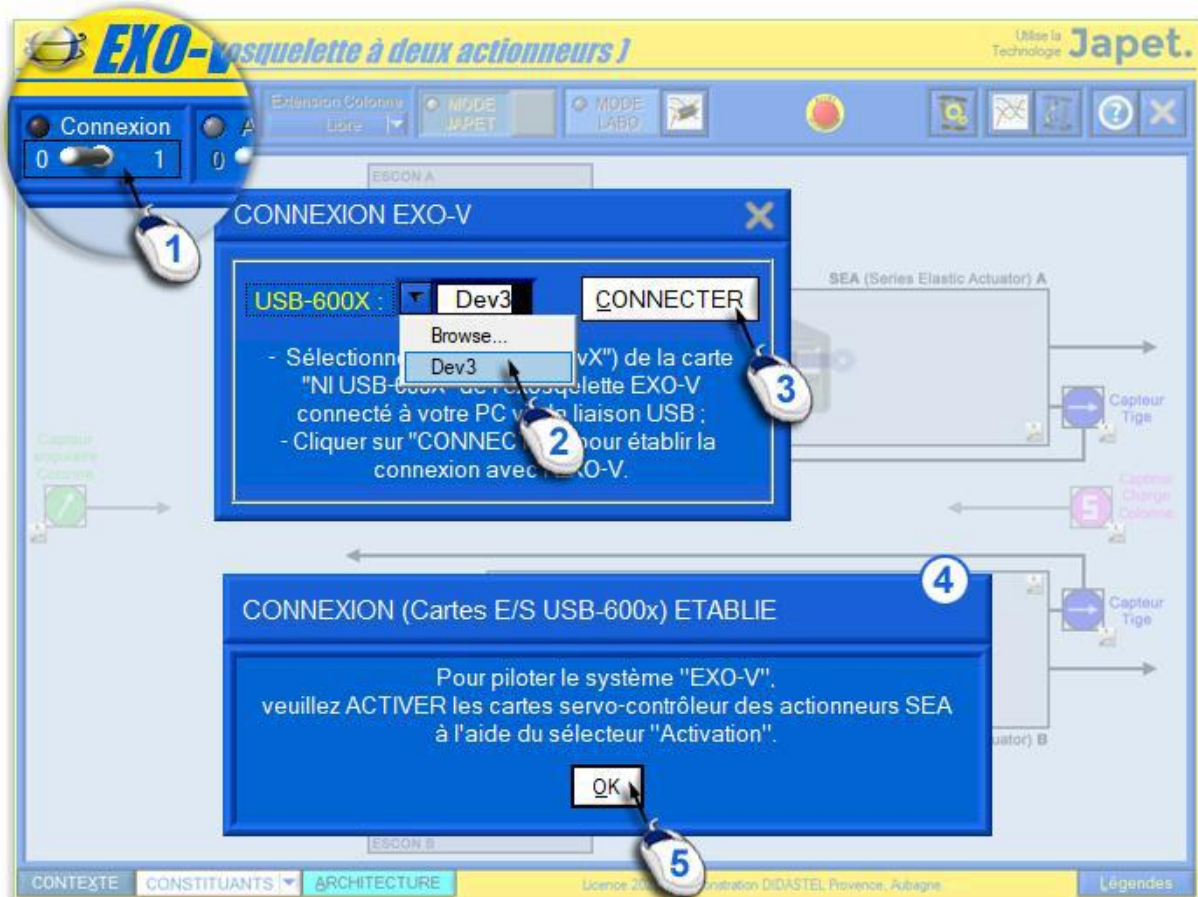
CONNEXION



Lancez l'Interface de l'EXO-V à l'aide de la barre de tâches Windows « Programmes / Interface EXO-V (Exosquelette) », l'écran d'accueil s'affiche sur votre PC.



- Cliquez sur « Continuer » pour accéder à la fenêtre principale de l'Interface de l'EXO-V.



(1) - Dans la fenêtre principale de l'interface cliquez sur l'interrupteur « *Connexion* »

(2) - A l'aide de l'objet « *USB-600x* » sélectionnez l'adresse de la carte d'acquisition « *NI-USB-600x* » présente dans le pupitre du système EXO-V, adresse « *Dev1* » par défaut s'il n'y a pas d'autres cartes d'acquisition « *NI* » déjà installées sur votre PC

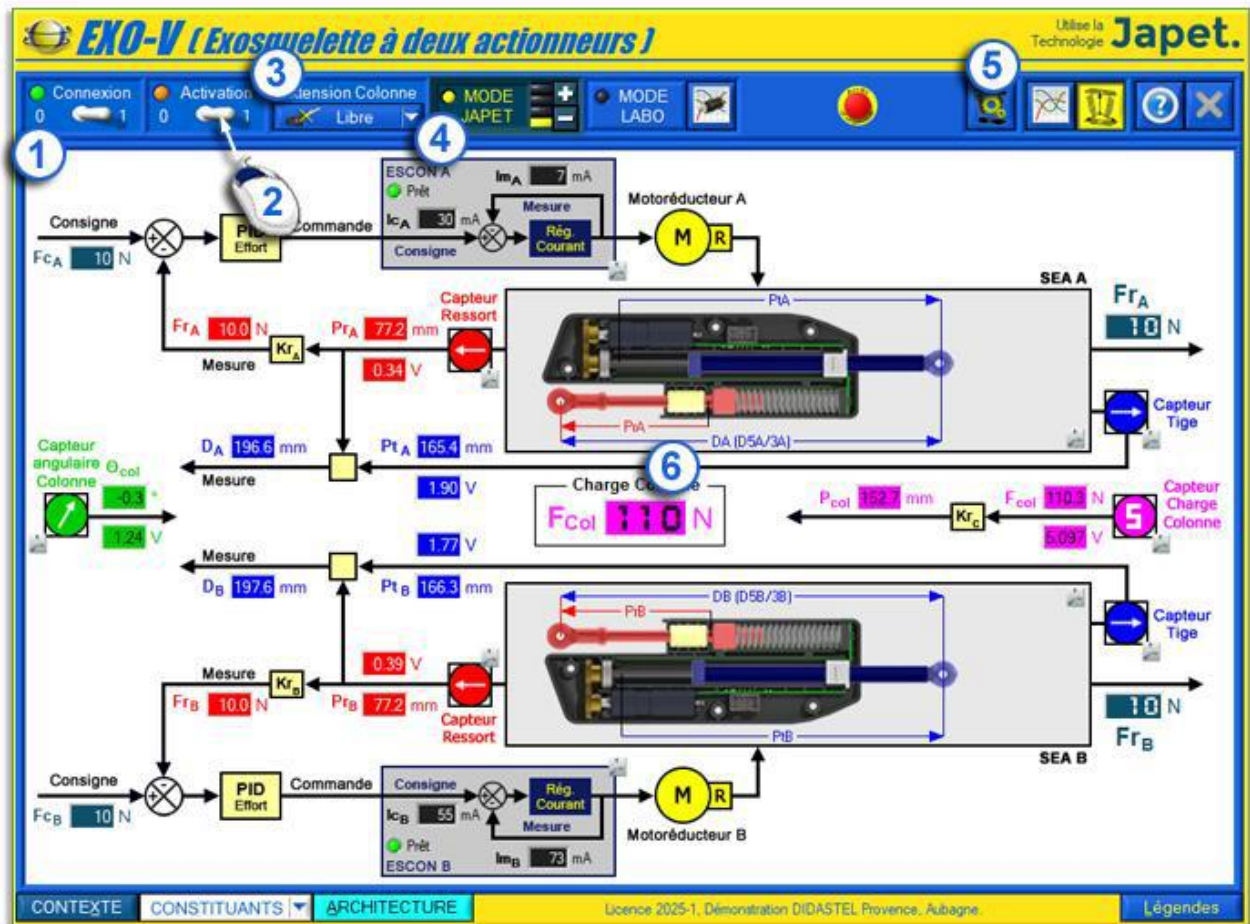
(3) - Cliquez sur le bouton « *CONNECTER* », l'interface tente de détecter la carte d'acquisition « *NI-USB-6009* », s'affiche à l'écran le message suivant : « *Lancement gestion ENTREES / SORTIES ...* »

(4) - Si la communication est correctement établie, s'affiche à l'écran le panneau « *CONNEXION ETABLIE* », le dialogue entre le PC et l'EXO-V est opérationnel

(5) - Cliquez sur « *OK* », de retour à la fenêtre principale de l'Interface, la LED verte « *Connexion* » est allumée

Avant de piloter l'EXO-V, vous devez Activer (asservissement) les cartes servo-contrôleur des actionneurs SEA.

ACTIVATION EXO-V

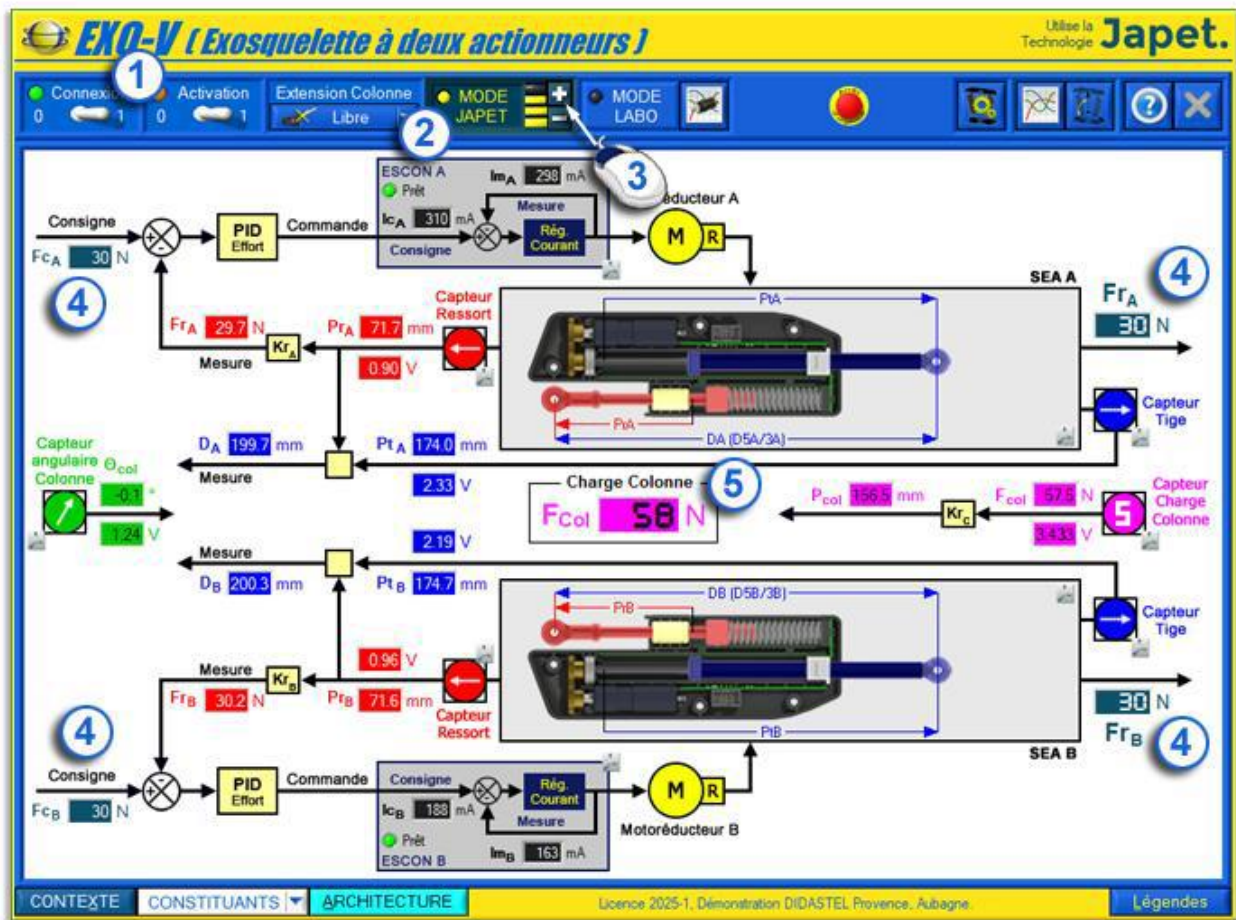


- (1) - L'Interface PC est connectée (LED verte « Connexion ») à l'EXO-V
- (2) - Cliquez sur l'interrupteur « Activation »
- (3) - La puissance et l'asservissement des cartes servo-contrôleur des actionneurs SEA sont activés (LED orange « Activation »)
- (4) - Le système a démarré en mode JAPET niveau 1, les deux actionneur SEA sont asservie en effort
- (5) - Les icônes utiles au pilotage de l'EXO-V deviennent accessibles
- (6) - Le synoptique (schéma blocs simplifié) du système EXO-V et actif :
 - Visualisation de l'état des actionneur SEA A et SEA B
 - Affichage des grandeurs physiques (mesures, consignes, commandes)

Pilotage des Fonctions de l'EXO-V

MODE JAPET

Le Mode JAPET permet de jouer la fonction globale du système réel.



(1) - L'Interface PC est connectée (LED verte « Connexion ») à l'EXO-V et les cartes servo-contrôleur des actionneurs SEA sont activées (LED orange « Activation »)

(2) - Le mode exosquelette JAPET est sélectionné avec le bouton « MODE JAPET » activé

(3) - A l'aide des boutons « + » et « - » du panneau « MODE JAPET » augmentez le niveau de soulagement de la colonne :

(4) - La consigne en Effort « F_{CX} » des 2 actionneurs SEA est alors augmentée

(5) - La charge « F_{COL} » sur la colonne diminue

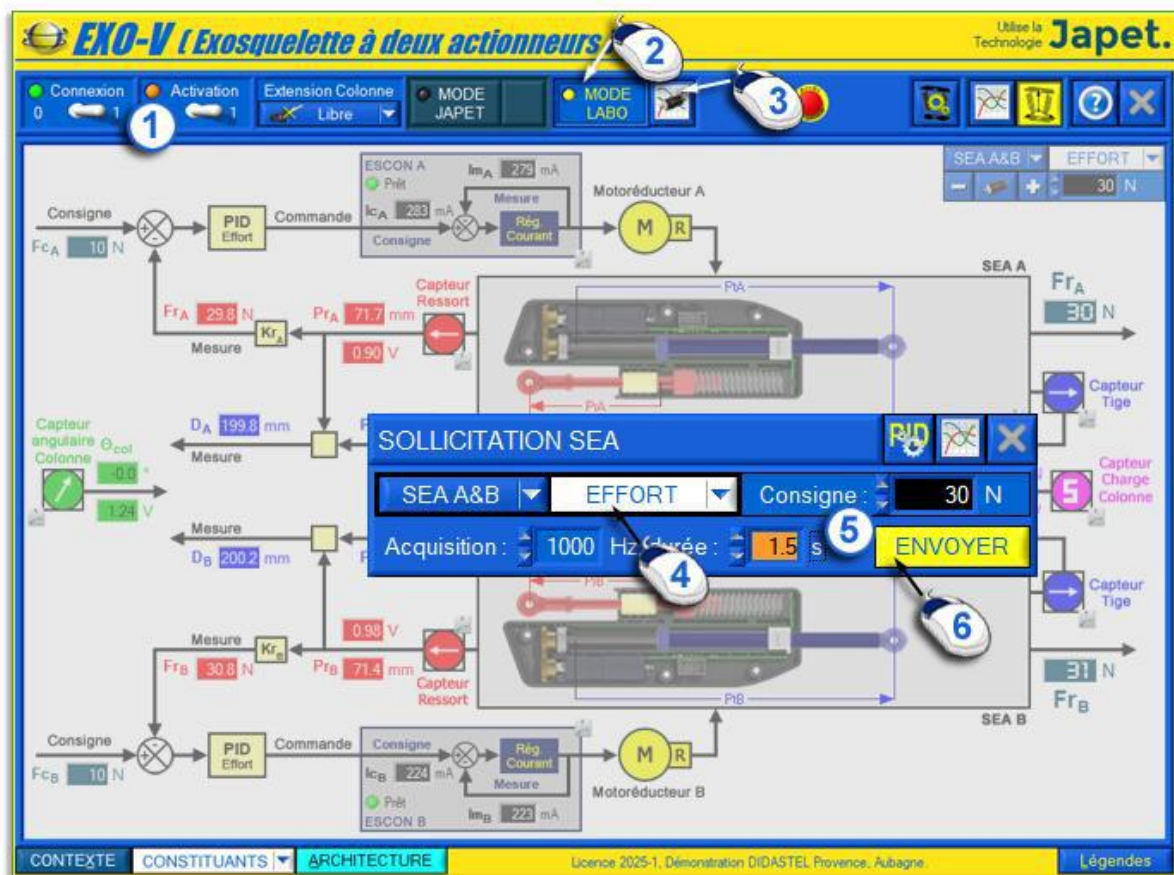
(6) - Vous pouvez escamoter la fourchette et manipuler le flexion et extension de la colonne pour vérifier l'action des actionneurs sur la colonne.



Mode LABO (Banc d'asservissement)

Dans ce mode, l'EXO-V est utilisé comme banc d'asservissement des actionneurs SEA, l'utilisateur peut envoyer différentes consignes sur chaque actionneur SEA :

- Consigne d'Effort avec actionneur asservi en *Effort*
- Consigne de Courant avec actionneur asservi en *Courant*



(1) - L'Interface PC est connectée (led verte « Connexion ») à l'EXO-V et les cartes servo-contrôleur des actionneurs SEA sont activées (led orange « Activation »)

(2) - Sélectionnez le mode Laboratoire en activant le bouton « MODE LABO »

(3) - Cliquez sur l'icône « Sollicitation et Acquisition » pour afficher le panneau « SOLLICITATION SEA »

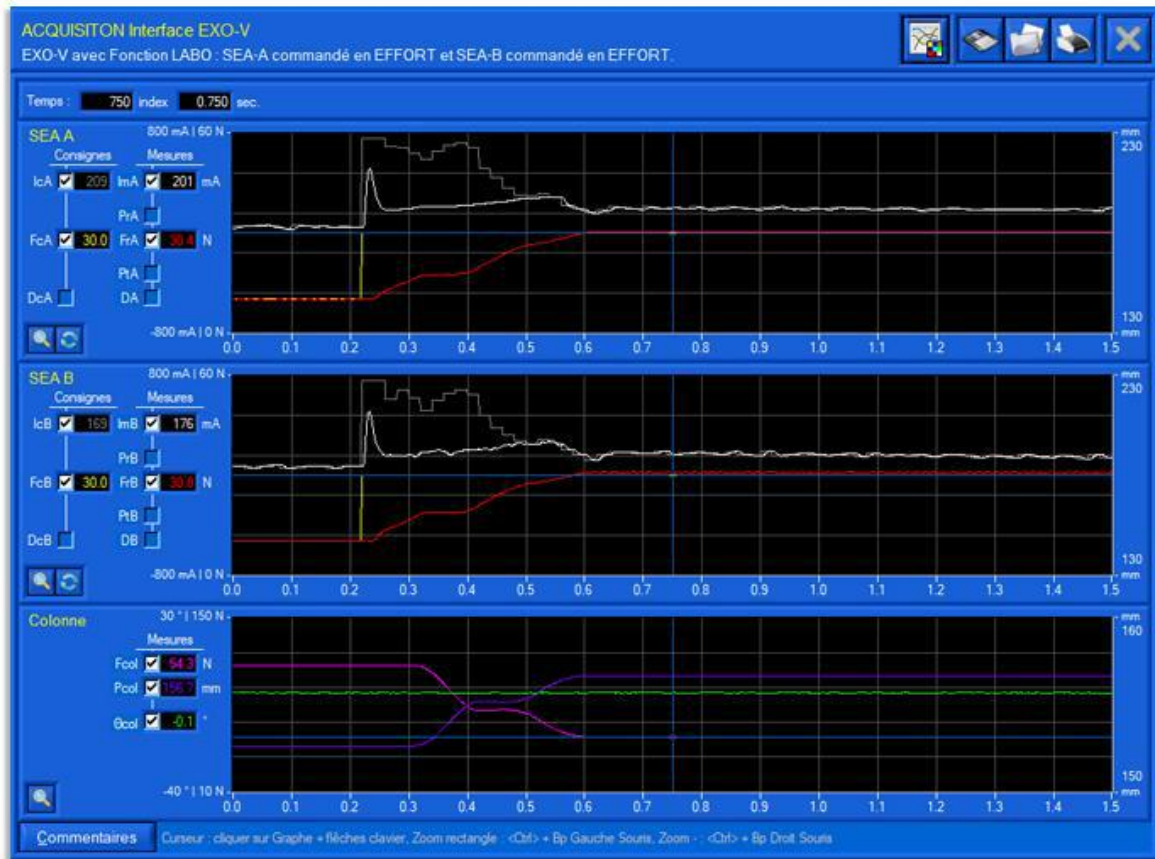
(4) - Sélectionnez le type de sollicitation que vous souhaitez envoyer sur les 2 actionneurs SEA, « EFFORT » sur l'exemple ci-contre

(5) - Saisissez les paramètres de la sollicitation et acquisition :

- La « Consigne » d'effort souhaitée, 30 Newton
- La durée d'acquisition, 1.5 secondes ci-contre

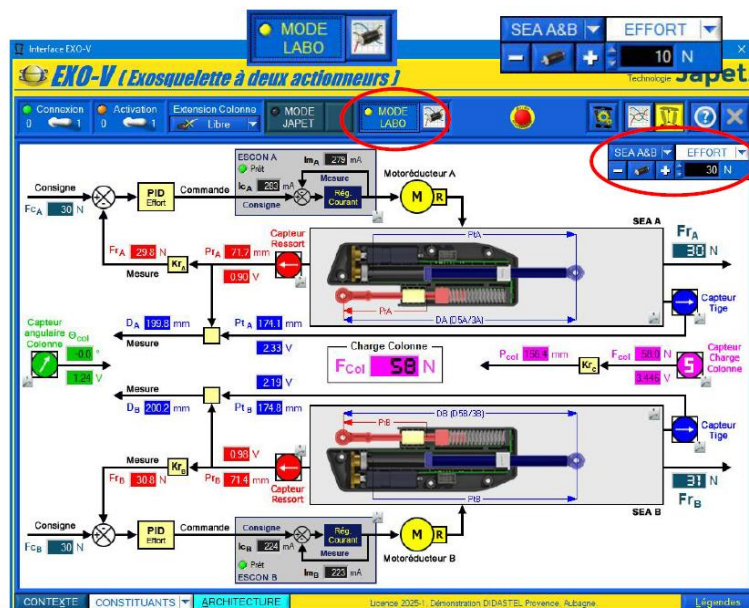
(6) - Cliquez sur le bouton « ENVOYER » pour envoyer la sollicitation

La sollicitation en effort est envoyée sur les deux actionneurs SEA, en fin d'acquisition est affiché la fenêtre « ACQUISITION Interface EXO-V » ci-dessous :



Le « MODE LABO » est alors activé :

- Le bouton « MODE LABO » est activé avec la LED jaune allumée ;
- Le panneau « Envoyer commande » sur les actionneurs SEA est affiché sur le synoptique :




Envoyer commande identique sur les 2 actionneurs SEA

- Sélectionnez sur le panneau « Envoyer commande » le type de commande que vous souhaitez envoyer sur les 2 actionneurs SEA, « EFFORT » sur l'exemple ci-dessous :



- Saisissez une « Consigne » d'effort de 30 Newton



- Cliquez sur le bouton « Envoyer Consigne » , la consigne en Effort « F_c » de 30 Newton est envoyée aux 2 actionneurs SEA.

Envoyer commande en Visualisation dynamique

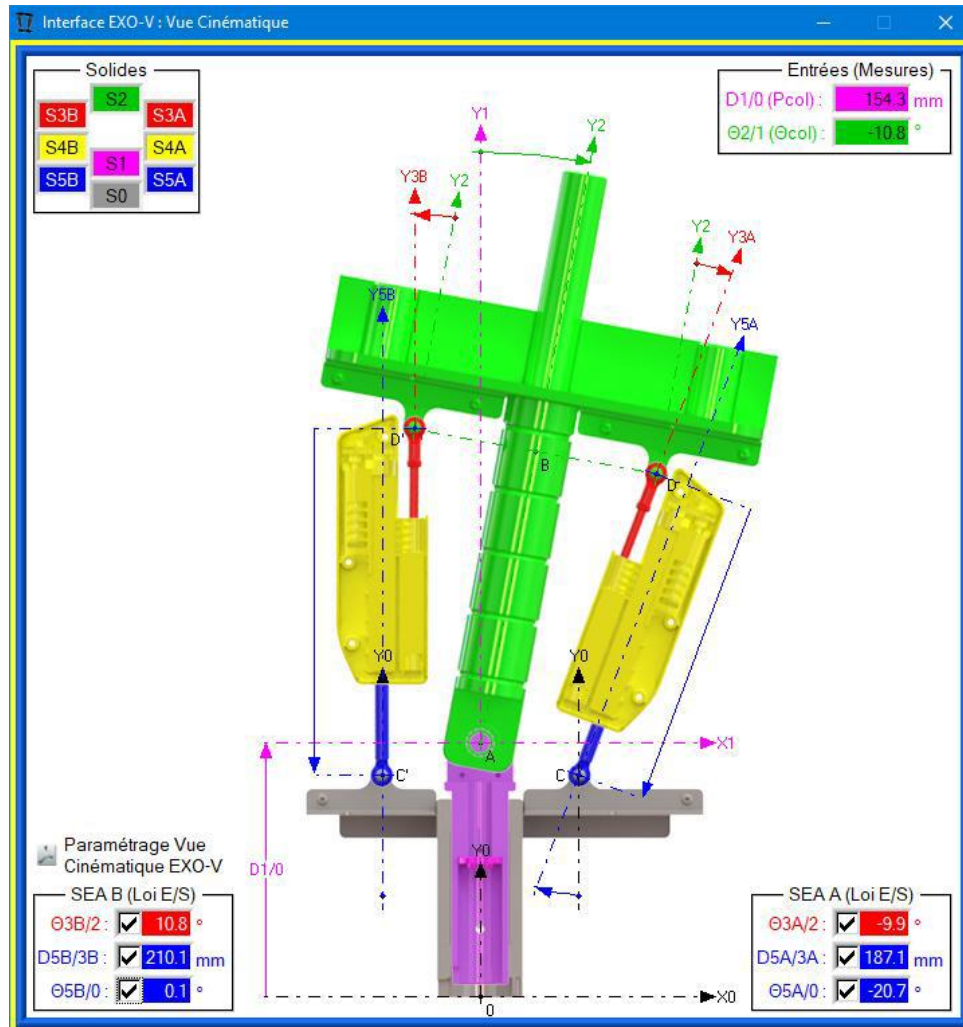
- Sélectionnez dans la barre de Menu de la fenêtre principale l'icône « Visualisation et Acquisition », s'affiche à l'écran, à la place du synoptique, le panneau « VISUALISATION DYNAMIQUE » avec le panneau « Envoyer commande » sur le Graphe :



- Cliquez sur les boutons « + » ou « - » , pour augmenter ou baisser la consigne en Effort « F_c » envoyée aux 2 actionneurs SEA et observer les réponses.

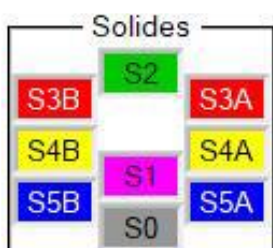
Visualisation cinématique

Sélectionnez dans la barre de Menu de la fenêtre principale l'icône « *Vue Cinématique* », s'affiche à l'écran la fenêtre « *Interface EXO-V : Vue cinématique* » suivante :



Cette fenêtre permet de visualiser la loi E/S du mécanisme en temps réel et vous offre :

- une illustration 2D (vue cinématique) du mécanisme connecté au système EXO-V
- un cadre « *Solides* » avec la numérotation des solides du mécanisme avec leur couleur de représentation sur la vue cinématique : le solide 0 en gris, ensemble « Châssis », composé du sous-ensemble châssis, sacrum et ceinture basse exosquelette :
 - le solide 1 en magenta, ensemble « Colonne basse », composé du sous-ensemble colonne L4
 - le solide 2 en vert, ensemble « Colonne haute », composé du sous-ensemble colonne L3, ceinture haute exosquelette et 3 x masses
 - les solides 3A et 3B en rouge, « Tige ressort » actionneur SEA
 - les solides 4A et 4B en jaune, « Corps » actionneur SEA
 - les solides 5A et 5B en bleu, « Tige vis/écrou » actionneur SEA



- une zone « Entrées (Mesures) » d'affichage des variables mesurées (capteurs colonne) en entrée du mécanisme :

Entrées (Mesures)	
D1/0 (Pcol):	154.3 mm
θ2/1 (θcol):	-10.8 °

- « $D1/0$ (Pcol) » : distance entre S1 (Colonne basse) et S0 (Châssis) en mm, mesure capteur effort colonne, « Pcol » sur le synoptique écran principale
- « $\theta2/1$ (θcol) » : angle entre S2 (Colonne haute) et S1 (Colonne basse) en degrés, mesure capteur angulaire colonne, « θcol » sur le synoptique écran principale
- possibilité, interface non connectée à l'EXO-V, de saisir la position « $D1/0$ (Pcol) » et l'angle « $\theta2/1$ (θcol) » de l'axe linéaire en entrée du mécanisme

- deux zones « SEA A » et « SEA B » d'affichage des variables calculées (loi E/S) en sortie du mécanisme en fonction de « $D1/0$ (Pcol) » et « $\theta2/1$ (θcol) » :

SEA A (Loi E/S)	
θ3A/2:	<input checked="" type="checkbox"/> -9.9 °
D5A/3A:	<input checked="" type="checkbox"/> 187.1 mm
θ5A/0:	<input checked="" type="checkbox"/> -20.7 °

SEA B (Loi E/S)	
θ3B/2:	<input checked="" type="checkbox"/> 10.8 °
D5B/3B:	<input checked="" type="checkbox"/> 210.1 mm
θ5B/0:	<input checked="" type="checkbox"/> 0.1 °

- « $\theta3AouB/2$ » : angle entre S3 (Tige ressort) et S2 (Colonne haute) en degrés
- « $D5AouB/3AouB$ » : distance entre S5 (Tige vis/écrou) et S3 (Tige ressort) en mm
- « $\theta5AouB/0$ » : angle entre S5 (Tige vis/écrou) et S0 (Châssis) en degrés
- possibilité de cocher ou décocher l'affichage de ces variables