

Bras de Pelleteuse Electrique avec IA intégrée

Conçu à partir du système réel pour l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur

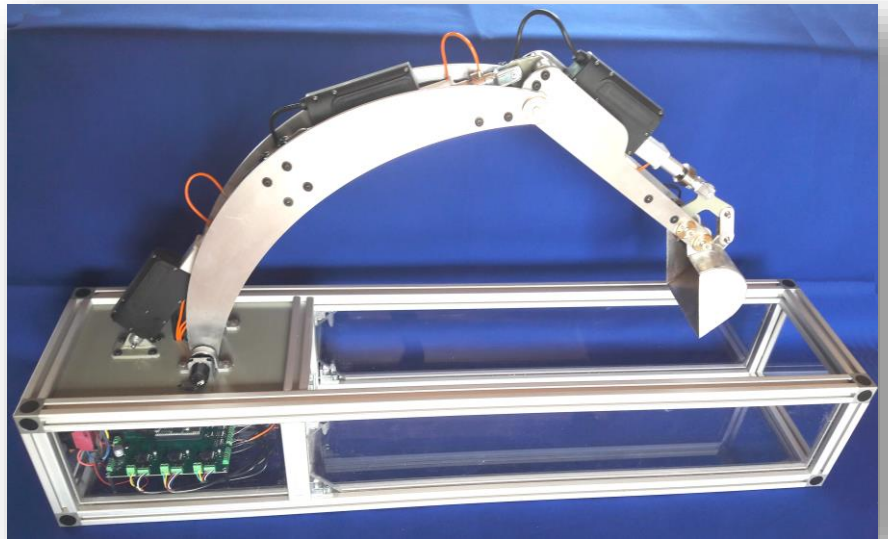
Un produit didactique pour les filières **CPGE PCSI/PSI - PTSI/PT - TSI - ATS**

**De la Pelleteuse
Electrique industrielle
(type Volvo)..**



Au système didactique :

**Bras de Pelleteuse
Electrique avec IA
intégrée..**



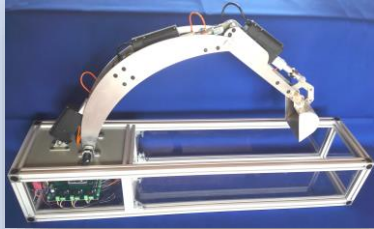
La fourniture comprend :

- ✓ Un Bras Pelleteuse Electrique avec IA intégrée (longueur 120 cm, largeur 32 cm, hauteur 58 cm, poids 25 kg) monté sur châssis
- ✓ Un contrôle commande et un logiciel de pilotage et d'acquisition
- ✓ Un modèle virtuel (jumeau numérique)
- ✓ Un dossier technique (industriel et didactique)
- ✓ Un dossier pédagogique avec activités de TP rédigées et corrigés

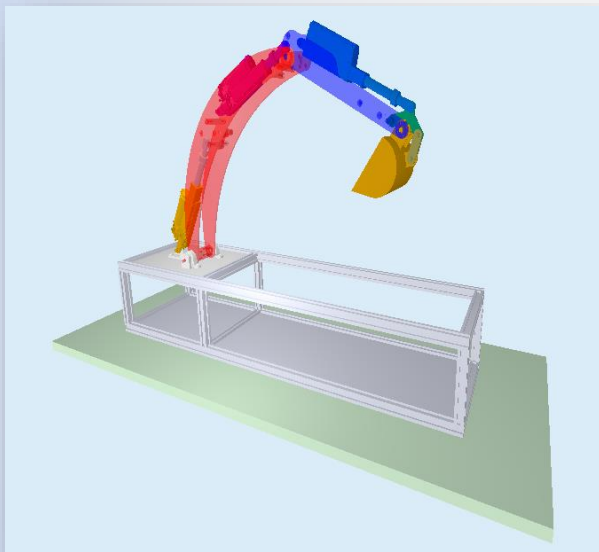
Référence : S2I//1200

Le Bras articulé, inspiré de celui d'une pelleteuse électrique, possède 3 axes asservis en position (avec boucle de vitesse) afin de rendre les travaux d'excavation autonomes.

Chaque axe est commandé par un vérin électrique et est équipé d'un codeur incrémental et d'un capteur d'effort permettant de traiter les points suivants du programme :

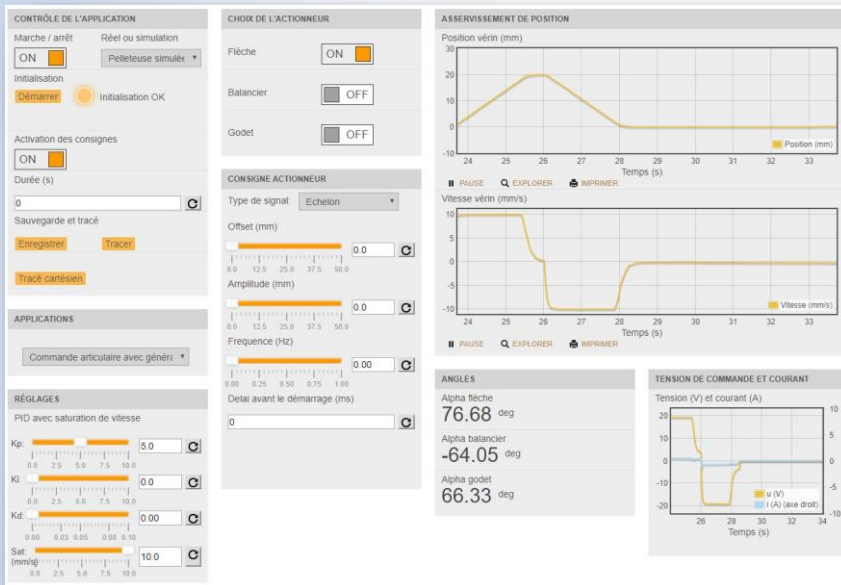


- Asservissement (caractérisation, identification, modélisation, correction)
- Loi géométrique/cinématique en chaîne fermée et ouverte (système 4 barres <-> informatique)
- Statique
- Dynamique/Energétique/Puissance.



Le logiciel de pilotage, MyViz, intègre

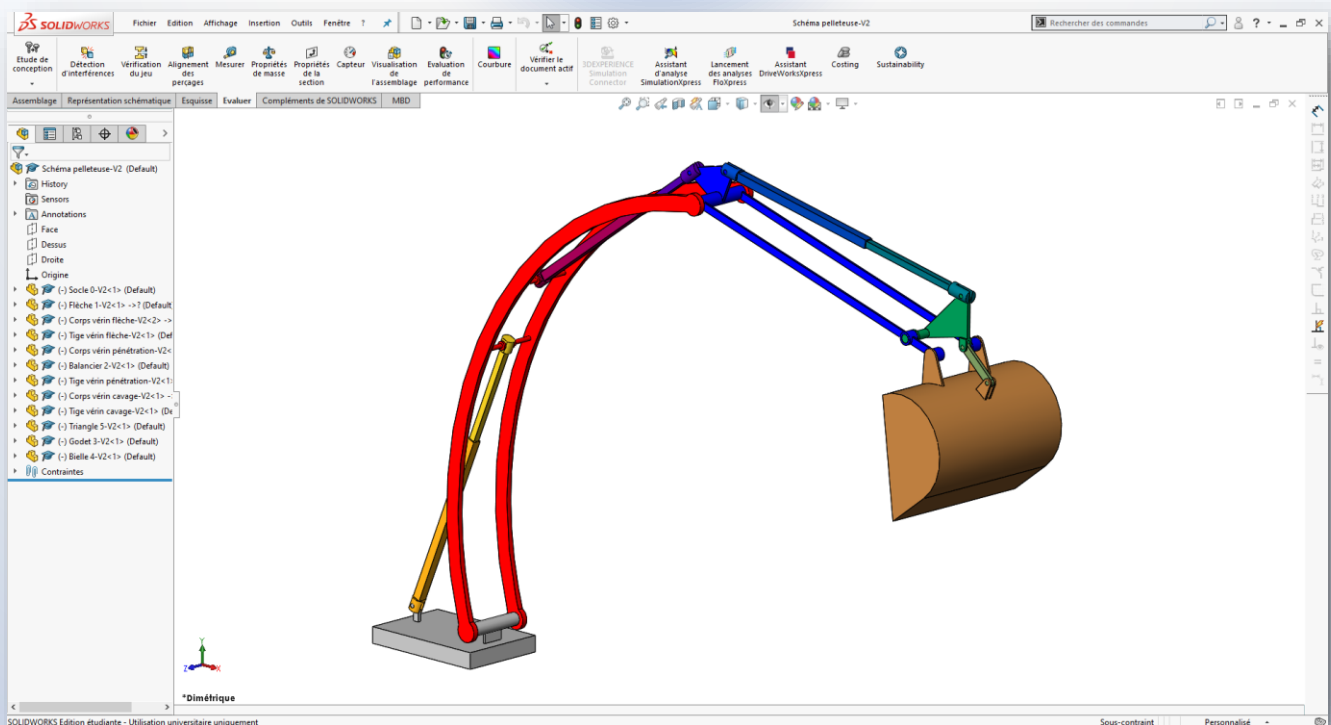
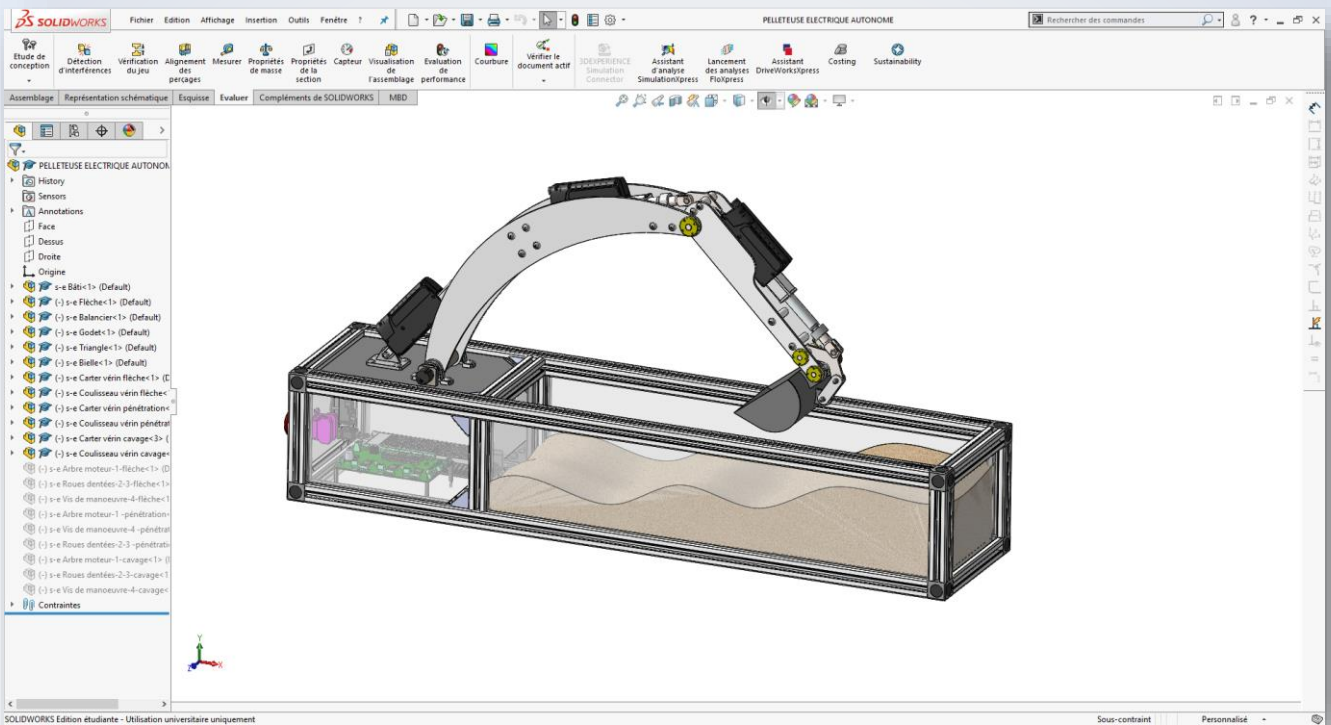
- Un modèle 3D pilotable en temps réel, reprenant la dynamique réelle du système (jumeau numérique).
Tous les élèves peuvent travailler en même temps sur ce jumeau numérique, les activités en îlot sont facilitées
- Un mode de pilotage par diagramme d'état (SysML)



- Un mode de pilotage en Python (via des commandes de haut niveau)
- Un mode de pilotage autonome par Intelligence Artificielle (mise en sécurité par reconnaissance d'obstacles (apprentissage supervisé), optimisation du parcours (apprentissage par renforcement)).

Le système didactique sera livré avec :

- un dossier technique
- un dossier pédagogique avec activités de TP rédigées et corrigées
- un **modèle volumique Solidworks** directement exploitable pour des **simulations avec Meca3D**
- **2 schémas cinématiques.**



TP1 : DÉCOUVERTE DES SYSTÈMES

Problématique technique :

Identifier les constituants d'un bras de pelleteuse.

Compétences associées

- **A – Analyser**
 - A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle
 - Associer les fonctions aux constituants (S1)
 - 📄 Architecture fonctionnelle et structurelle.
 - 📄 Diagramme de définition de blocs. Diagramme de bloc interne.
 - 📄 Chaines fonctionnelles (chaîne d'information et chaîne de puissance).
 - 📄 Fonctions acquérir, traiter et communiquer.
 - 📄 Fonctions alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir.
 - 📄 Systèmes asservis et séquentiels.
- **D – Expérimenter**
 - D1 – Mettre en œuvre un système
 - Repérer les constituants réalisant les principales fonctions des chaînes fonctionnelles (S1)
 - 📄 Fonctions acquérir, traiter et communiquer.
 - 📄 Fonctions alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir.

Activité pédagogique développée

Activités proposées

L'activité de TP consistera à identifier les composants (nom et fonction) du système et à compléter les chaînes fonctionnelles associées à partir de l'analyse du système réel et de la documentation technique fournie (diagrammes SysML tels que BDD, IBD, ...).

TP2 : MODÉLISATION ET PERFORMANCES DES SLCI

Problématique technique

Manipuler le bras en respectant au mieux les consignes de l'opérateur.

Compétences associées

- **A – Analyser**
 - A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle
 - Identifier la structure d'un système asservi (S1)
 - 📄 Grandeurs d'entrée et de sortie.
 - 📄 Capteur, chaîne directe, chaîne de retour, commande, comparateur, consigne, correcteur et perturbation.
 - 📄 Poursuite et régulation.
- **B – Modéliser**
 - B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
 - Modéliser un système par schéma- blocs (S1)
 - 📄 Schéma-blocs organique d'un système.
 - 📄 Élaboration, manipulation et réduction de schéma-blocs.
 - 📄 Fonctions de transfert : chaîne directe et chaîne de retour, boucle ouverte et boucle fermée."
 - Établir un modèle de comportement à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle (S2)
 - 📄 Premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain et retard.
 - 📄 Paramètres caractéristiques.
 - 📄 Allures des réponses indicielle et fréquentielle.
 - 📄 Diagramme de Bode.

Activités proposées

L'activité de TP permettra de modéliser le système sous forme de schéma-blocs à compléter par les fonctions de transfert des composants identifiées grâce aux résultats expérimentaux ou à la documentation technique.

TP3 : ÉTUDE DES SYSTÈMES SOLIDES*Problématique technique*

Relier les actions de l'opérateur (commande des vérins) aux mouvements du bras (articulations).

Compétences associées• **B – Modéliser**

- B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
 - Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique (S1)
 - 📖 Liaisons : liaisons parfaites ; degrés de liberté ; classe d'équivalence cinématique ; géométrie des contacts entre deux solides ;
 - 📖 Liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés ; paramètres géométriques linéaires et angulaires ; symboles normalisés. Graphe de liaisons. Schéma cinématique.
- C – Résoudre
- C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique (S1)
 - 📖 Fermetures géométriques.

Activités proposées

L'activité de TP permettra d'identifier les mouvements des pièces à partir des trajectoires mesurées, d'identifier les liaisons entre solides, de compléter un schéma cinématique et de procéder à une mise en place d'une loi E/S qui sera à valider grâce aux résultats expérimentaux.

TP4 : ÉTUDE STATIQUE*Problématique technique*

Relier les efforts à fournir pas les vérins en fonction de la configuration du bras et de l'effort à fournir sur le godet.

Compétences associées• **B – Modéliser**

- B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
 - Modéliser une action mécanique (S2)
 - 📖 Modèle local (densités linéique, surfacique et volumique d'effort).
 - 📖 Actions à distance et de contact. Modèle global.
 - 📖 Passage d'un modèle local au modèle global.
 - 📖 Frottements sec (lois de Coulomb) et visqueux.
 - 📖 Torseur des actions mécaniques transmissibles.
 - 📖 Torseur d'une action mécanique extérieure.
- Torseurs couple et glisseur.
- C – Résoudre
- C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
 - Déterminer les actions mécaniques en statique (S2)
 - 📖 Référentiel galiléen.
 - 📖 Principe fondamental de la statique.
 - 📖 Principe des actions réciproques.

Activités proposées

L'activité de TP permettra d'identifier la variation de l'effort fourni par le vérin en fonction de la configuration du bras. La connaissance de la position du centre de masse pour un système de solides permettra de déterminer, pour une configuration donnée du bras, la relation entre l'effort fourni par le vérin et l'action de la pesanteur qui s'applique sur le bras. Cette relation pourra être validée expérimentalement.

TP5 : COMPORTEMENT SÉQUENTIEL DU SYSTÈME*Problématique technique***Automatiser le mouvement du bras sur un cycle de chargement/déchargement***Compétences associées*

- **A – Analyser**
 - A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle (S2)
 - Interpréter tout ou partie de l'évolution temporelle d'un système séquentiel.
 - 📖 Diagramme d'états.
 - 📖 État, transition, événement, condition de garde, activité et action.
- **F – Concevoir**
 - F2 – Proposer et choisir des solutions techniques (S4)
 - Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système.
 - 📖 Modification d'un programme : système séquentiel et structures algorithmiques.

Activités proposées

L'activité de TP consistera à imposer le mouvement du bras de la pelleteuse via un diagramme d'états (programmation graphique dans l'IHM) ou un algorithme Python (via des commandes de haut-niveau permettant de déplacer les différents composants du bras sous différentes options (vitesse du bras, sens de déplacements...)).

TP6 : ÉTUDE DYNAMIQUE*Problématique technique***Prendre en compte la dynamique du bras dans les efforts à fournir par les vérins***Compétences associées*

- **C – Résoudre**
 - C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
 - Déterminer les actions mécaniques en dynamique dans le cas où le mouvement est imposé (S3)
 - 📖 Torseurs cinétique et dynamique d'un solide ou d'un ensemble de solides, par rapport à un référentiel galiléen. Principe fondamental de la dynamique en référentiel galiléen.
 - 📖 Énergie cinétique. Inertie et masse équivalentes.
 - 📖 Puissance d'une action mécanique extérieure à un solide ou à un ensemble de solides, dans son mouvement par rapport au repère galiléen.
 - 📖 Puissance intérieure à un ensemble de solides.
 - 📖 Théorème de l'énergie cinétique. Rendement en régime permanent.

Activités proposées

L'activité de TP permettra de montrer l'influence de l'inertie du bras sur les actions mécaniques à fournir par l'actionneur. La connaissance des propriétés massiques des pièces et du mouvement permettra, par application des théorèmes et/ou principe de la dynamique de mettre en place une loi reliant l'effort fourni par le vérin au paramètre angulaire de l'élément associé (orientation de la flèche dans le cas du vérin de flèche, orientation du balancier dans le cas du vérin de pénétration, ...). Cette loi pourra être validée expérimentalement.

TP7 : CHOIX D'UN CORRECTEUR*Problématique technique***Permettre un comportement optimal du bras de la pelleteuse (sécurité, productivité)***Compétences associées***B – Modéliser**

- B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
 - Modéliser un correcteur numérique (S4)
 - 📖 Caractérisation des signaux à temps discret (échantillonnage et quantification).
 - 📖 Modélisation par équations aux différences (équations de récurrence) d'un correcteur numérique (proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase).

C – Résoudre

- C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Proposer une démarche de réglage d'un correcteur (S3)
 - 📖 Compensation de pôles, réglage de marges, amortissement, rapidité et bande passante.
 - 📖 Application aux correcteurs de type proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase.

F-Concevoir

- F2 – Proposer et choisir des solutions techniques
 - Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système (S4)
 - 📖 Modification d'un programme : Choix et paramètres d'un correcteur.

Activités proposées

L'activité de TP permettra de visualiser l'influence des types de correcteurs sur le comportement du système (simulé ou réel). La modification des paramètres du correcteur pourra se faire dans l'IHM ou alors dans le programme python associé. Le choix du type de correcteur et de ses paramètres caractéristiques devra conduire au respect du cahier des charges imposé.

TP8 : IA – SÉCURITÉ EN MODE AUTONOME*Problématique technique***Permettre à la pelleteuse d'identifier la présence d'un objet/individu non désiré dans la zone de travail***Compétences associées***A – Analyser**

- A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle
 - Analyser les principes d'intelligence artificielle (S3)
 - 📖 Régression et classification, apprentissages supervisé et non supervisé.
 - 📖 Phases d'apprentissage et d'inférence.
 - 📖 Modèle linéaire monovarié ou multivarié.
 - 📖 Réseaux de neurones (couches d'entrée, cachées et de sortie, neurones, biais, poids et fonction d'activation).

C – Résoudre

- C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique ou d'intelligence artificielle (S3)
 - 📖 Décomposition d'un problème complexe en sous problèmes simples.
 - 📖 Choix des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple).
- C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique
 - Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle (S3)
 - 📖 Apprentissage supervisé.
 - 📖 Choix des données d'apprentissage.
 - 📖 Mise en œuvre des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple).
 - 📖 Phases d'apprentissage et d'inférence.

Activités proposées

L'activité de TP reposera sur l'apprentissage supervisé afin de mettre en place une condition d'arrêt par reconnaissance d'un objet non désiré (choisi par l'élève) dans la zone de travail de la pelleteuse. Cette condition pourra être intégré dans les diagramme d'états qui gère le fonctionnement autonome de la pelleteuse.

TP9 : IA – PELLETEUSE AUTONOME*Problématique technique***Rendre la pelleteuse autonome dans son fonctionnement avec prise en compte de son environnement***Compétences associées*

- **A – Analyser**
 - A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle
 - Analyser les principes d'intelligence artificielle (S3)
 - 📖 Régression et classification, apprentissages supervisé et non supervisé.
 - 📖 Phases d'apprentissage et d'inférence.
 - 📖 Modèle linéaire monovarié ou multivarié.
 - 📖 Réseaux de neurones (couches d'entrée, cachées et de sortie, neurones, biais, poids et fonction d'activation).
- **C – Résoudre**
 - C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique ou d'intelligence artificielle (S3)
 - 📖 Décomposition d'un problème complexe en sous problèmes simples.
 - 📖 Choix des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple).
 - C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique
 - Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle (S3)
 - 📖 Apprentissage supervisé.
 - 📖 Choix des données d'apprentissage.
 - 📖 Mise en œuvre des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple).
 - 📖 Phases d'apprentissage et d'inférence.

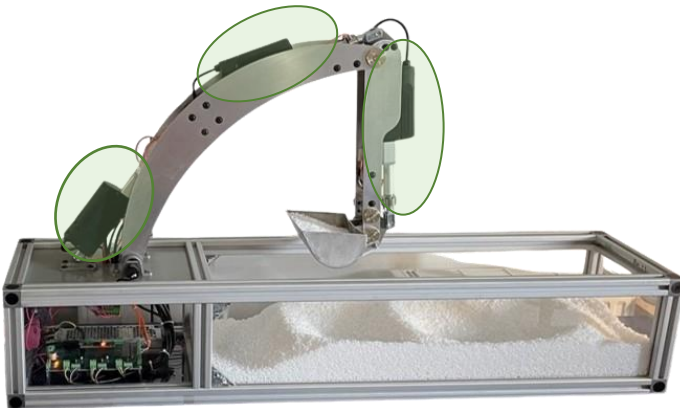
Activités proposées

L'activité de TP permettra de rendre autonome le fonctionnement de la pelleteuse dans son environnement (imposé par un profil de sol par exemple sous forme d'image à intégrer dans le programme d'apprentissage et à "coller" sur le châssis du système) : faire un aller/retour (chargement/déchargement) en évitant les obstacles. Le calcul par IA du mouvement du bras sera basé sur un apprentissage par renforcement. On pourra aussi imaginer une optimisation du parcours d'un point de vue consommation énergétique.

Vérin électrique seul – identification du comportement

Vérin électrique seul pour l'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur
Un produit didactique pour les filières **CPGE PCSI/PSI - PTSI/PT – TSI – ATS**

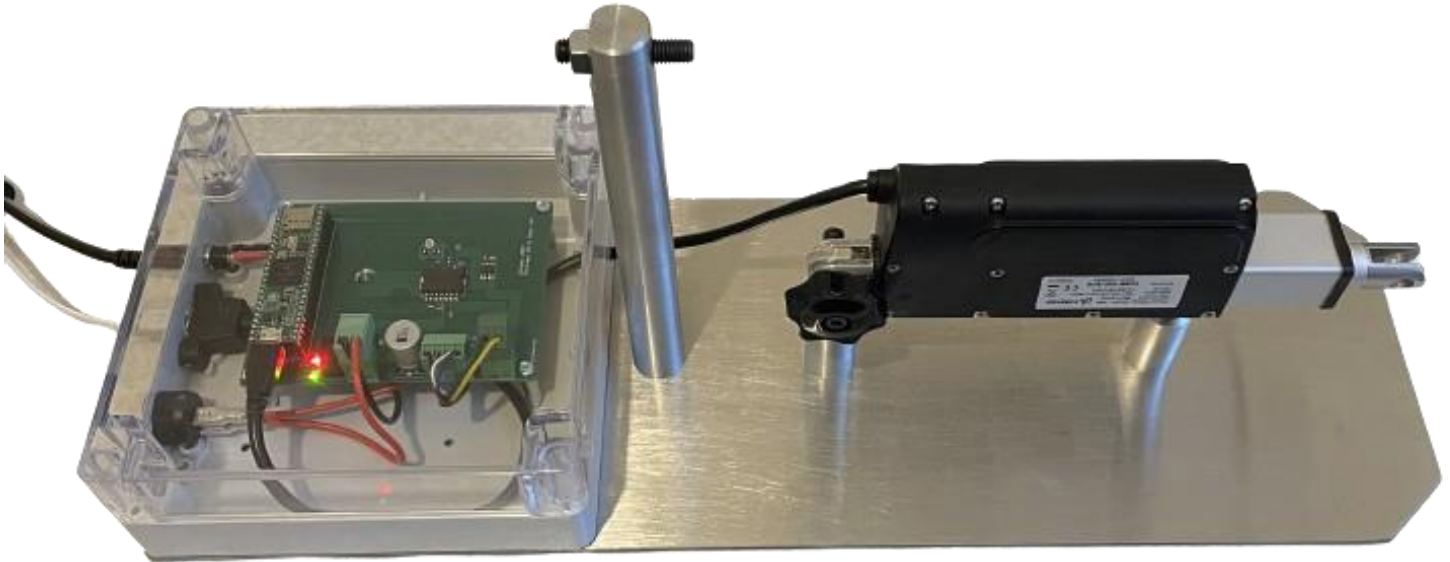
Bras de pelleteuse électrique



Stabilisateur gyroscopique de bateau



Vérin isolé pour identification du comportement



Le banc didactique comprend :

- ✓ un vérin électrique orientable
- ✓ une **carte Teensy** (contrôle/commande via USB)

La fourniture comprend :

- ✓ le **vérin isolé** sur son banc
- ✓ un **logiciel de pilotage et d'acquisition**
- ✓ un **dossier technique**
- ✓ un **dossier pédagogique** avec une activité de TP d'identification rédigée et corrigée

Référence : S2I//1220

Le **Vérin isolé** est identique aux vérins présents sur les systèmes *Bras de pelleteuse électrique* et *Stabilisateur gyroscopique de bateau*. Ce banc d'essai permet de manipuler le vérin en **boucle ouverte** sans dépendre des interactions avec l'extérieur.

Il est possible d'orienter le vérin de la position horizontale à la position verticale afin de prendre en compte ou non l'action de la pesanteur.

La carte **Teensy**, aussi présente sur les systèmes, est ici utilisée de manière optimale (uniquement 3 signaux mesurés) afin d'avoir une **cadence d'acquisition très élevée** (50 μ s) permettant l'identification assez précise des paramètres.

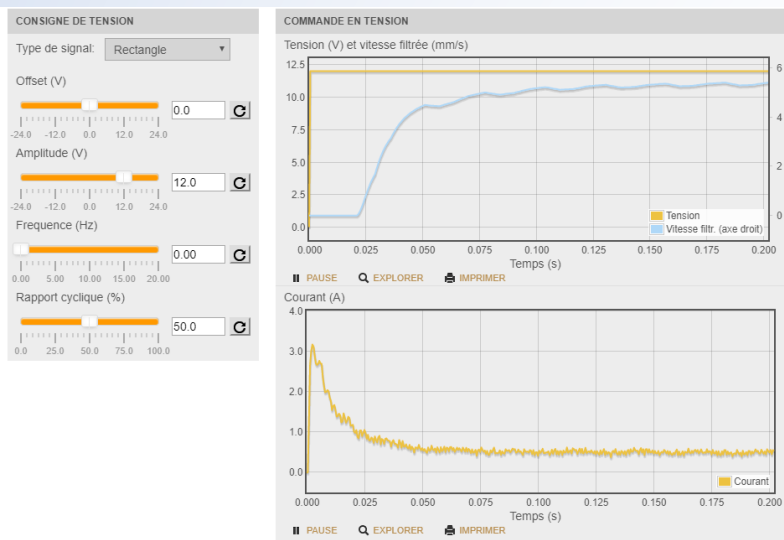


Vérin seul en position verticale

La carte **Teensy** permet d'avoir une **cadence d'acquisition très élevée** (50 μ s) permettant l'identification assez précise des paramètres.

Le logiciel de pilotage, **MyViz**, intègre un **tableau de bord** permettant

- d'imposer une tension au vérin (échelon, rampe, sinus,...) avec **possibilité de mener une identification fréquentielle**
- de visualiser les évolutions temporelles des grandeurs nécessaires à l'identification des paramètres (tension et courant du moteur et vitesse de la tige du vérin)



TP : Identification temporelle du comportement du vérin

Objectifs

- Identifier le modèle de comportement du vérin à partir des équations électrique et dynamique
- Prévoir les essais à mener pour identifier les différents paramètres
- Exploiter les résultats expérimentaux afin d'identifier les paramètres caractéristiques du vérin

Compétences associées

- **B – Modéliser**
 - B2 – Proposer un modèle de connaissance de comportement
 - Proposer un modèle dynamique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique
- **D – Expérimenter**
 - D1 – Mettre en œuvre un système
 - Identifier la nature des grandeurs physiques d'entrées et de sorties
 - D2 – Proposer et justifier un protocole expérimental et une démarche de résolution
 - Choisir les entrées à imposer et les sorties pour identifier un modèle de comportement

Activités proposées

Les activités de travaux pratiques consistent à « jouer » avec les équations de la dynamique et électrique afin de les simplifier en vue d'isoler les termes permettant l'identification expérimentale des paramètres caractéristiques du vérin.

Les élèves sont amenés à procéder aux différents essais identifiés afin de déduire les valeurs des paramètres caractéristiques.