

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**

Du système réel

*Pelleteuse électrique
industrielle*

Pelleteuse électrique Vovlo



au système didactique

*Bras de Pelleteuse électrique
avec IA intégrée*



Le carter supérieur a été enlevé
pour la prise de la photo

Le banc didactique comprend :

- ✓ Un **bras articulé** composé de **3 axes asservis en position angulaire** : flèche, balancier et godet
- ✓ **3 vérins électriques** instrumentés pour orienter chaque élément du bras
- ✓ **4 codeurs angulaire** pour l'asservissement et l'étude du système 4 barres (mise en mouvement du godet)
- ✓ une **carte Teensy** (contrôle/commande via USB)
- ✓ **2 joysticks proportionnel** pour piloter le bras manuellement (commande identique au système réel)
- ✓ plus d'une **quarantaine de signaux exploitables**

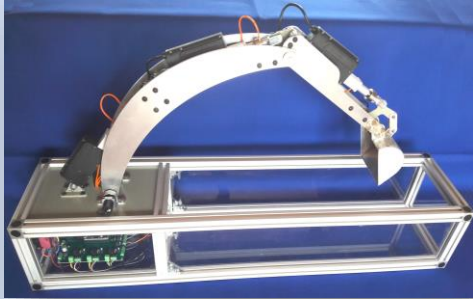
La fourniture comprend :

- ✓ un **Bras de Pelleteuse Électrique avec IA intégrée** monté sur châssis
(LxlxH = 120 cm x 32 cm x 58 cm, poids 25 kg)
- ✓ un **logiciel de pilotage et d'acquisition**
- ✓ un **jumeau numérique** (modèle virtuel)
- ✓ un **dossier technique** (industriel et didactique)
- ✓ un **dossier pédagogique** avec activités de TP rédigées et corrigées

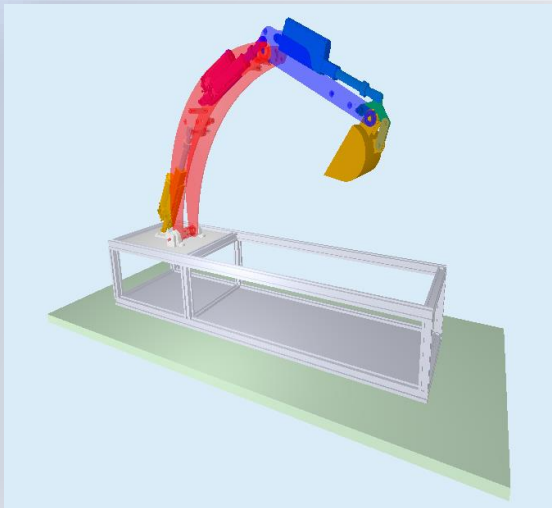
Référence : S2I//1200

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** et d'un **capteur d'effort** permettant de traiter les points suivants du programme :

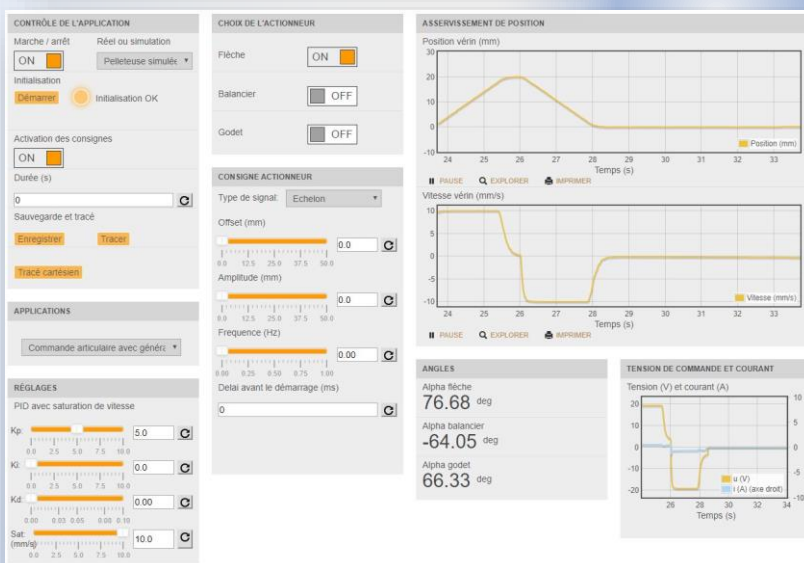


- **Asservissement** (caractérisation, identification, modélisation, correction)
- **Loi géométrique/cinématique en chaîne fermée et ouverte** (système 4 barres)
- **Statique**
- **Dynamique/Energétique/Puissance.**
- **Programmation Python**
- **Processus IA**



Le logiciel de pilotage, MyViz, intègre

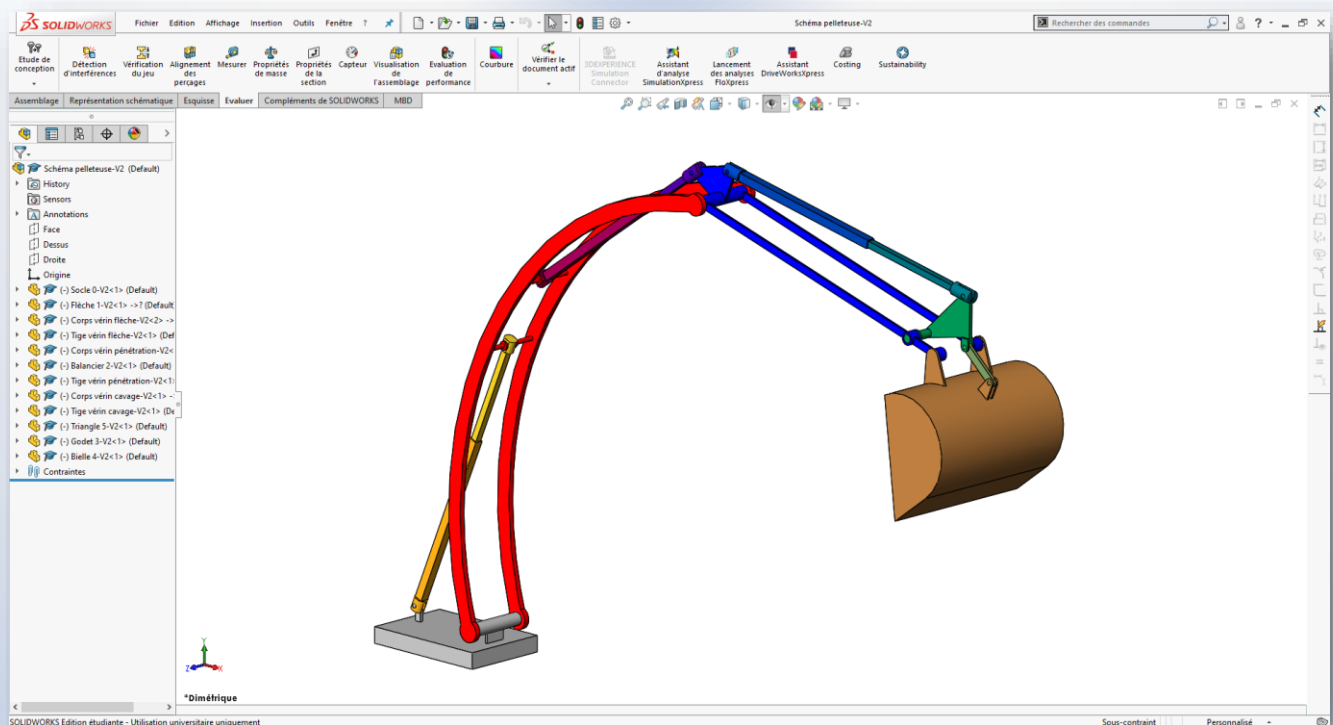
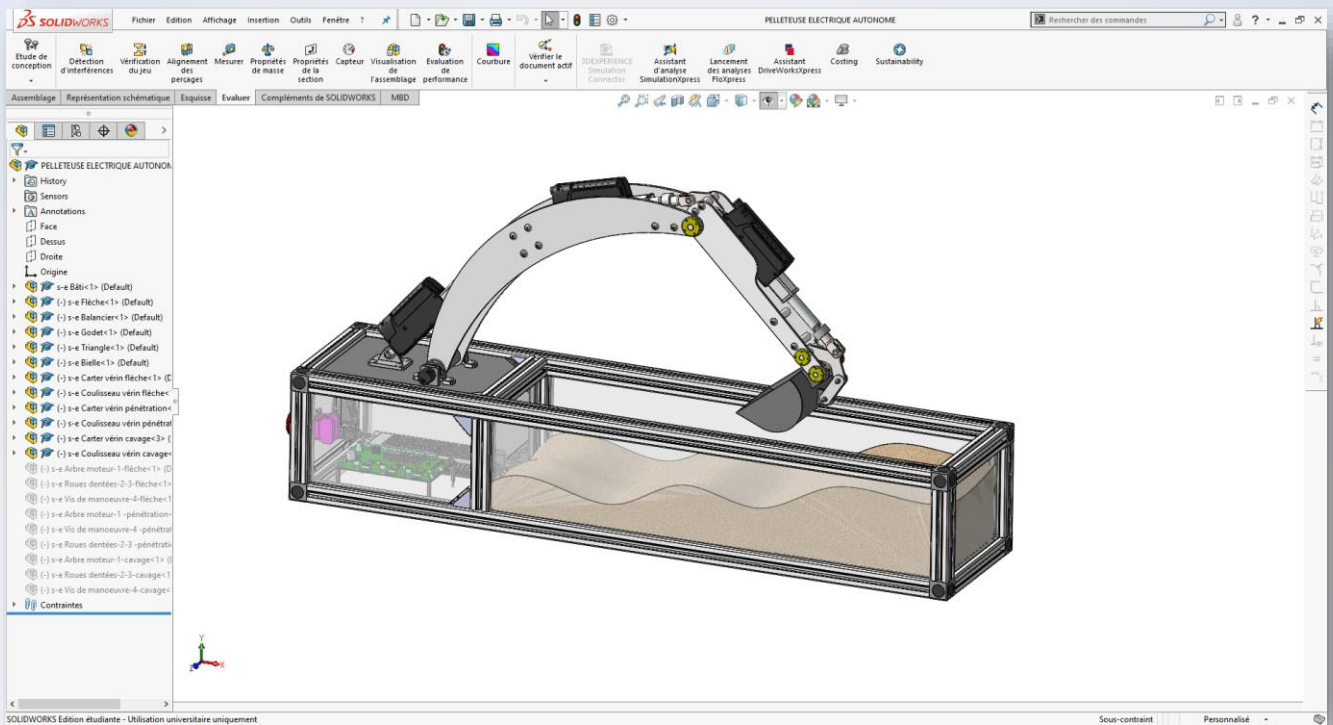
- Un modèle 3D pilotable en temps réel, reprenant la dynamique réelle du système (**jumeau numérique**). Tous les élèves peuvent travailler en même temps sur ce jumeau numérique, les **activités en îlot** sont facilitées
- Un mode de pilotage en **Python** (via des commandes de haut niveau)



- Un mode de pilotage autonome par **Intelligence Artificielle** (détermination et optimisation d'un parcours par **apprentissage par renforcement**).

Le système didactique sera livré avec :

- un dossier technique
- un dossier pédagogique avec activités de TP rédigées et corrigées
- **2 modèles volumique Solidworks** (complet et simplifié) directement exploitable pour des **simulations avec Meca3D**
- les **schémas cinématiques**.



TP1 : Découverte des systèmes

Problématique technique

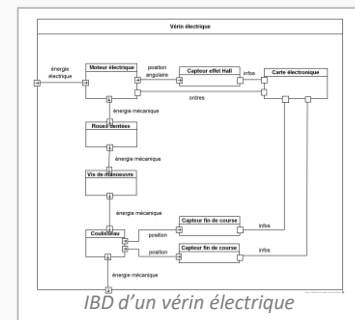
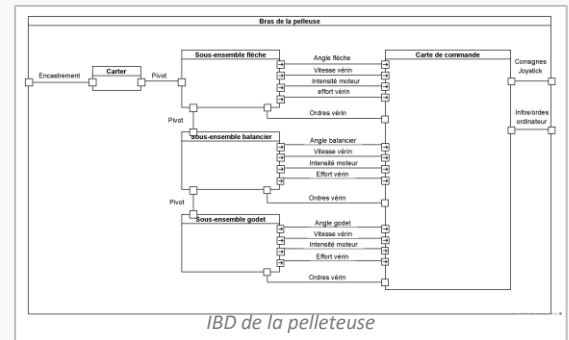
- Identifier les constituants d'un bras de pelleteuse

Compétences associées

- **A – Analyser**
 - A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurale
 - Associer les fonctions aux constituants
- **D – Expérimenter**
 - D1 – Mettre en œuvre un système
 - Repérer les constituants réalisant les principales fonctions des chaînes fonctionnelles

Activités proposées

L'activité de TP consiste 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 CLSI

Problématique technique

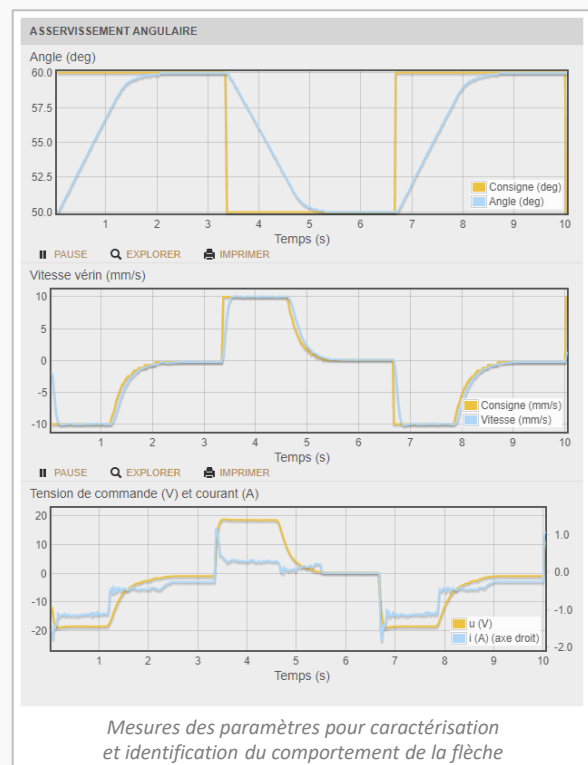
- Manipuler le bras en respectant au mieux les consignes de l'opérateur.

Compétences associées

- **A – Analyser**
 - A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurale
 - Identifier la structure d'un système asservi
- **B – Modéliser**
 - B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
 - Modéliser un système par schéma-blocs
 - Établir un modèle de comportement à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle

Activités proposées

L'activité de TP permet 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

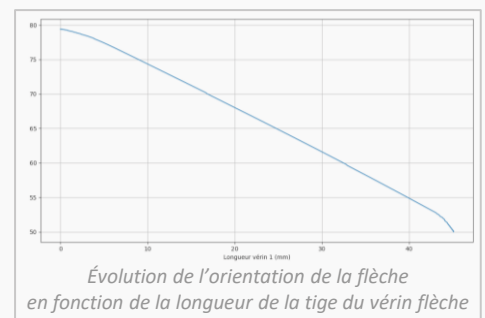
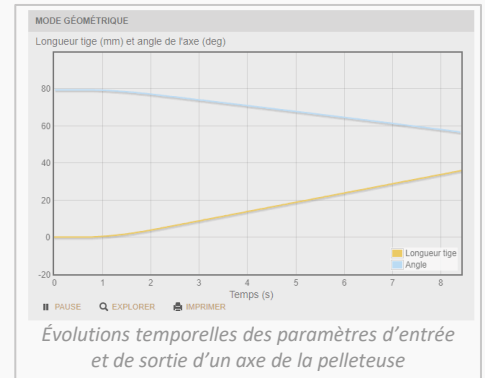
- Relier les actions de l'opérateur (commande des vérins) aux mouvements du bras

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
- C – Résoudre**
 - C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie

Activités proposées

L'activité de TP permet 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 : Analyse fréquentielle

Problématique technique

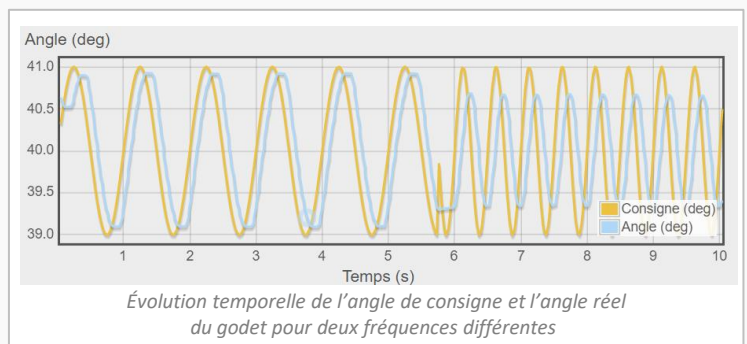
- Identifier le comportement d'un sous-ensemble par analyse fréquentielle

Compétences associées

- B – Modéliser**
 - B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
 - Modéliser le signal d'entrée
 - Établir un modèle de comportement à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle
- C – Résoudre**
 - C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
 - Allure des diagrammes réel et asymptotique de Bode

Activités proposées

L'activité de TP consiste à imposer une commande sinusoïdale à la chaîne cinématique du godet en faisant varier la fréquence de sollicitation, à réaliser, pour chaque mesure, l'identification du gain et de la phase et à tracer les diagrammes de Bode expérimentaux afin de proposer un modèle de comportement.



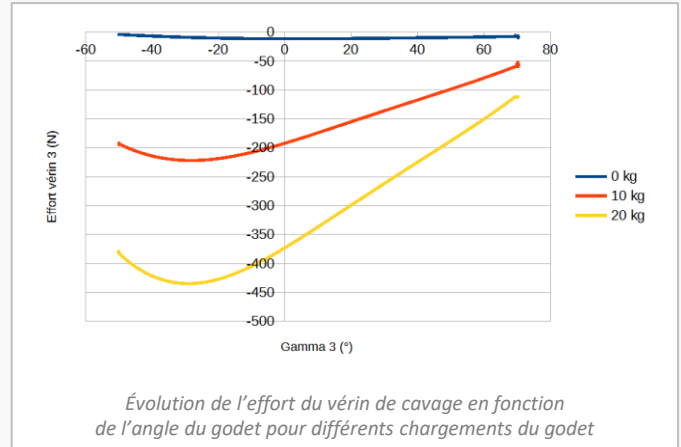
TP5 : Étude statique

Problématique technique

- Relier les efforts à fournir par 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
 - Torseurs couples et glisseur
- **C – Résoudre**
 - C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
 - Déterminer les actions mécaniques en statique



Activités proposées

L'activité de TP permet d'identifier la variation de l'effort fourni par le vérin de cage en fonction de l'orientation du godet. La modélisation du système et l'application du principe fondamental de la statique permet la mise en place de l'évolution théorique de l'effort de cage en fonction de l'angle du godet. Cette relation sera validée expérimentalement pour différent chargement du godet, permettant ainsi l'identification des frottements sec dans les liaisons.

TP6 : Choix d'un correcteur

Problématique technique

- Permettre un comportement optimal du bras de la pelleteuse (sécurité, productivité)

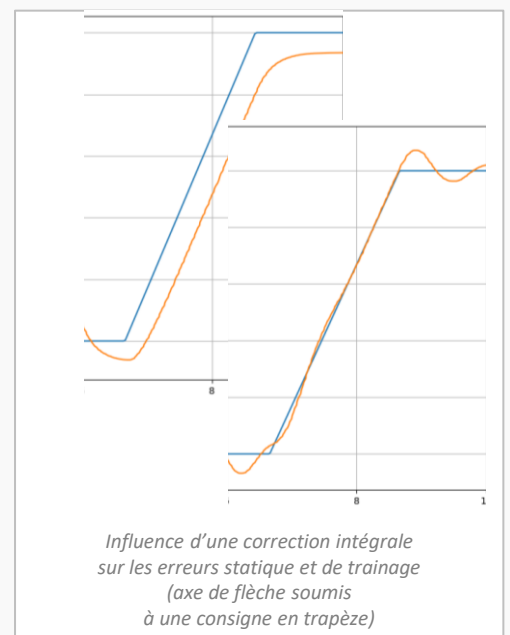
Compétences associées

- **C – Résoudre**
 - C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Proposer une démarche de réglage d'un correcteur
 - Torseurs couples et glisseur
- **F – Concevoir**
 - F2 – Proposer et choisir des solutions techniques
 - Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système

Activités proposées

L'activité de TP permet de visualiser l'influence des types de correcteurs sur le comportement du système (simulé ou réel).

La modification des paramètres du correcteur peut 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.



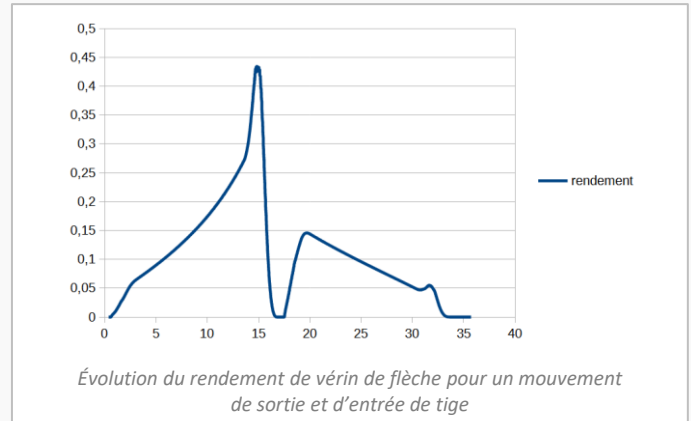
TP7 : Étude énergétique

Problématique technique

- Identifier le rendement d'un vérin électrique.
- Analyser l'influence d'une trajectoire sur la consommation énergétique

Compétences associées

- **C – Résoudre**
 - C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
 - Déterminer les actions mécaniques en dynamique
- **D – Expérimenter**
 - D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental
 - Effectuer des traitements à partir de données



Activités proposées

L'activité de TP permet dans un premier temps d'analyser le fonctionnement du vérin électrique et d'identifier expérimentalement son rendement. Dans un deuxième temps, l'influence du type de commande de la flèche et du balancier sera analysée afin d'identifier la « meilleure » commande à imposer d'un point de vue énergétique pour un parcours donné du godet. Enfin, un traitement de données expérimentales est proposé pour le calcul des énergies consommées et l'identification du rendement.

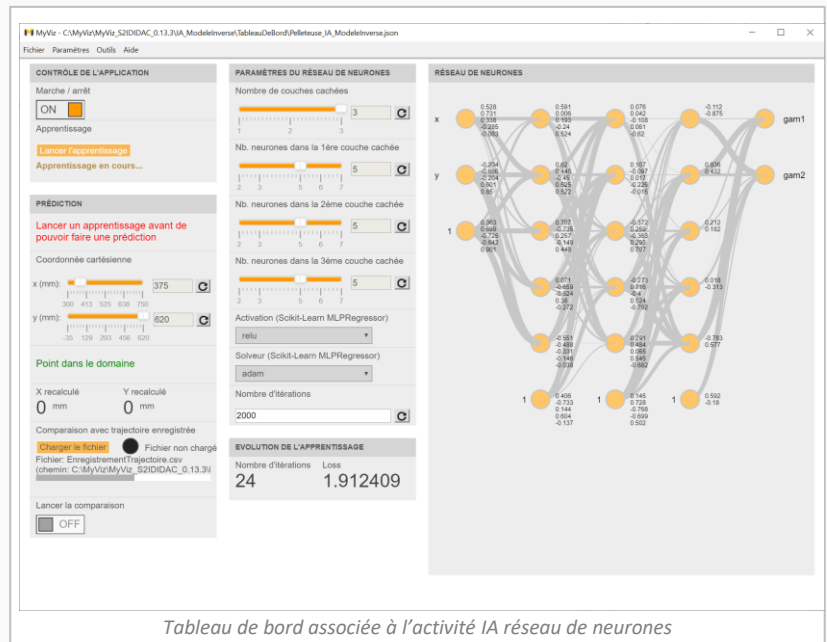
TP8 : IA Pelleteuse autonome

Problématique technique

- Rendre la pelleteuse autonome dans la gestion des commandes de déplacement du godet

Compétences associées

- **A – Analyser**
 - A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurale
 - Analyser les principes d'intelligence artificielle
- **C – Résoudre**
 - C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique ou d'intelligence artificielle
 - C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique
 - Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle



Activités proposées

L'activité de TP permet de rendre autonome le fonctionnement de la pelleteuse : l'apprentissage, par réseau de neurones ou par l'algorithme des k plus proches voisins, permet à la pelleteuse de déterminer les consignes angulaires à appliquer à la flèche et au balancier pour placer le godet à une position imposée.

Le réseau de neurones est paramétrable via un tableau de bord dédié dans Myviz. La réalisation des données d'apprentissage se fait grâce au modèle géométrique inverse via un programme Python dédié tout comme l'exploitation des résultats.

TP9 : IA Pelleteuse autonome

L'apprentissage par renforcement n'étant pas au programme, cette activité n'est pas développée, mais le tableau de bord associé est pleinement fonctionnel, la documentation technique présente l'approche de cette étude et la composition du tableau de bord.

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
- **C – Résoudre**
 - C1 – Proposer une démarche de résolution
 - Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique ou d'intelligence artificielle
 - C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique
 - Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle

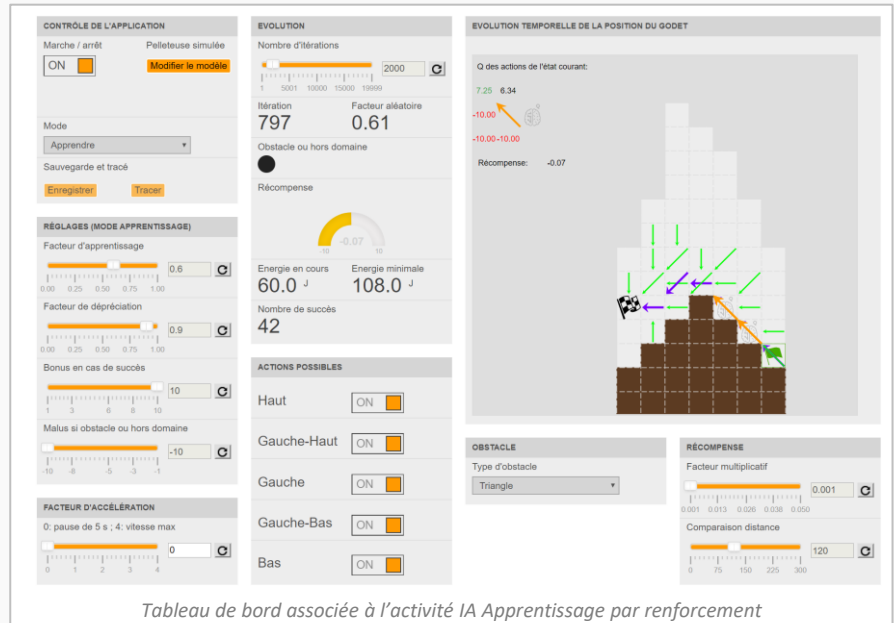


Tableau de bord associée à l'activité IA Apprentissage par renforcement

Activités proposées

L'activité de TP permet de rendre autonome le fonctionnement de la pelleteuse dans son environnement : faire un aller/retour (chargement/déchargement) en évitant un obstacle. Le choix des points de départ et d'arrivée et le choix entre deux types d'obstacle est proposé dans le tableau de bord de MyViz. Le calcul par IA du mouvement du bras est basé sur un apprentissage par renforcement où tous les paramètres de l'apprentissage peuvent être modifiés dans MyViz.