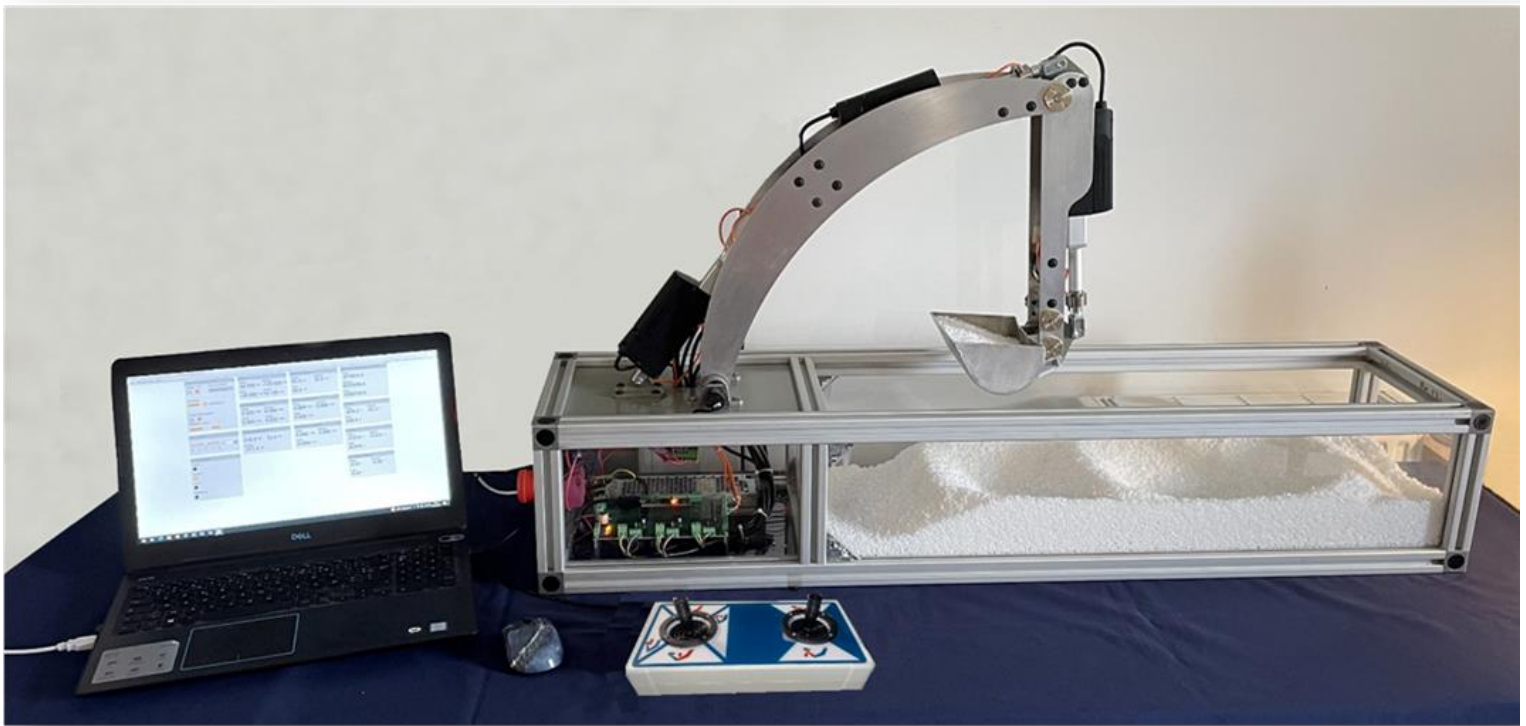


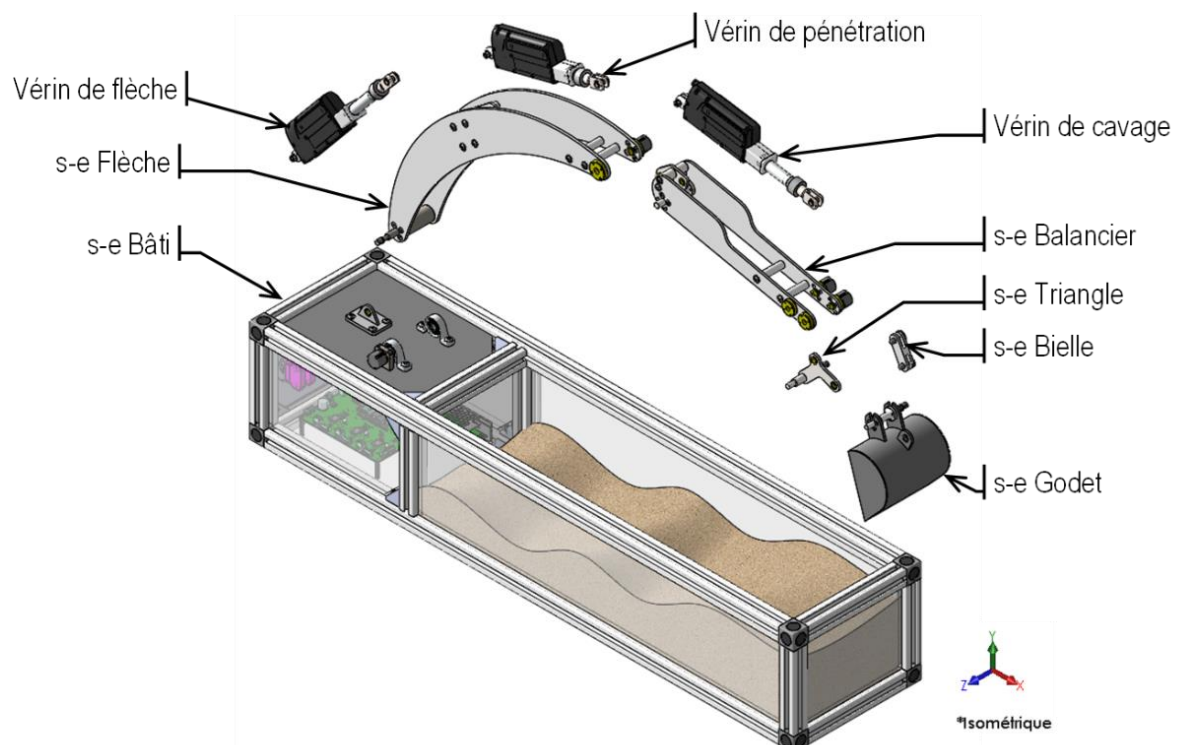
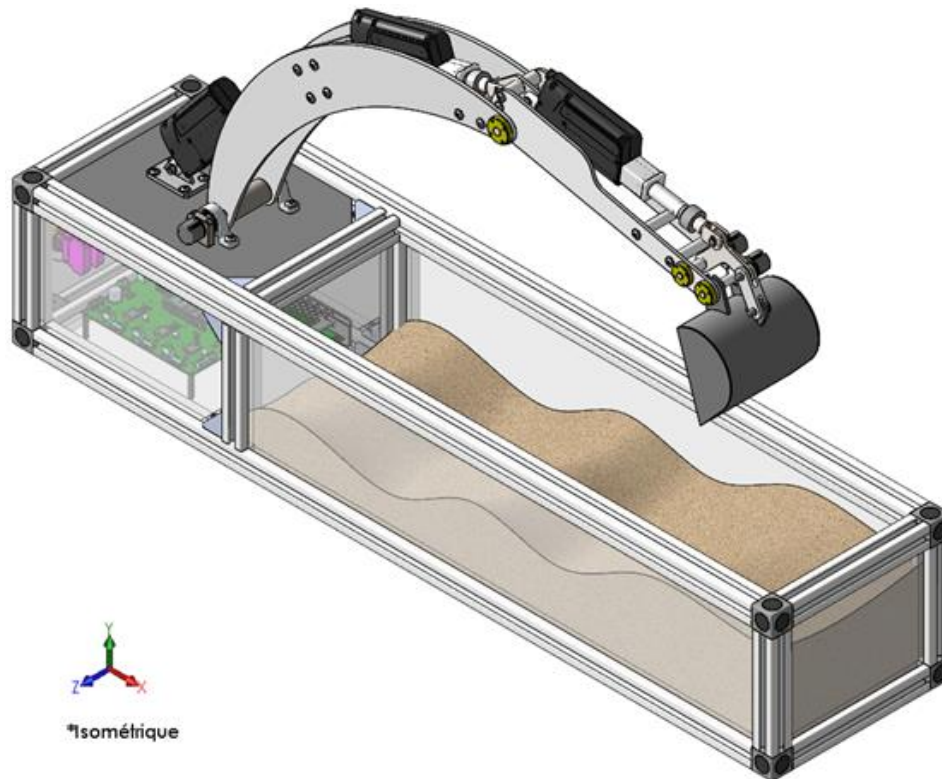
PELLETEUSE

DOSSIER RESSOURCES



VUE ECLATEE DE LA PELLETEUSE (version numérique)

La pelleuse électrique autonome est constituée essentiellement de six sous-ensembles principaux (cinématiquement équivalents) actionnés par trois vérins électriques.



VUE ECLATEE DU VERIN ELECTRIQUE

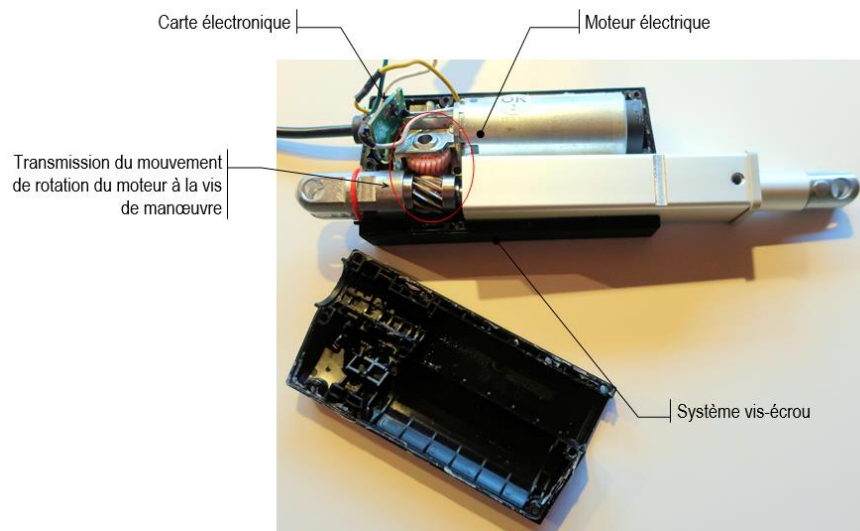
CONSTITUTION MECANIQUE

Le vérin électrique TA38 est un produit conçu et fabriqué par la société TiMOTION.

Le démontage de la partie supérieure du carter fait apparaître les pièces et les sous-ensembles du vérin.

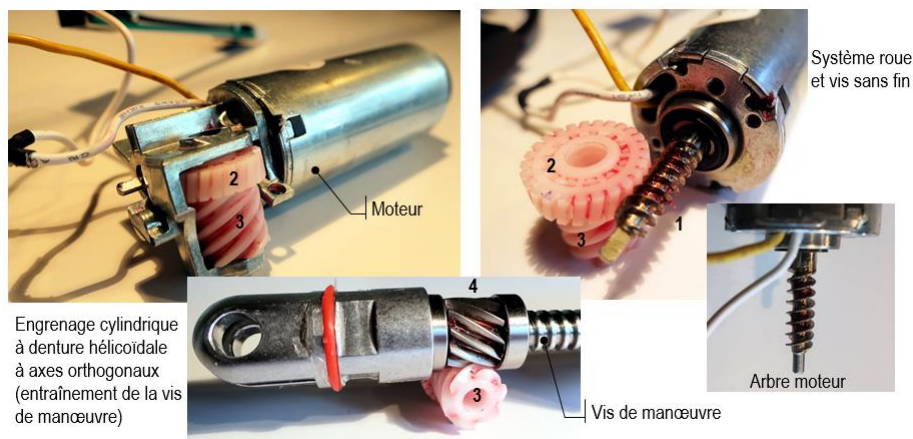
Dans le carter, en deux parties, se trouvent principalement :

- un moteur électrique
- une carte électronique
- un système de transmission du mouvement de rotation du moteur à un système vis-écrou



Ensemble du vérin électrique

La figure suivante montre le détail de la transmission du mouvement depuis l'arbre moteur jusqu'à la vis de manœuvre. L'arbre moteur (vis sans fin 1 à deux filets) engrène avec une roue hélicoïdale 2 de 25 dents. Cette dernière est liée complètement à une roue hélicoïdale 3 de 6 dents qui engrène avec une roue hélicoïdale 4 de 11 dents d'axe orthogonal à 3.

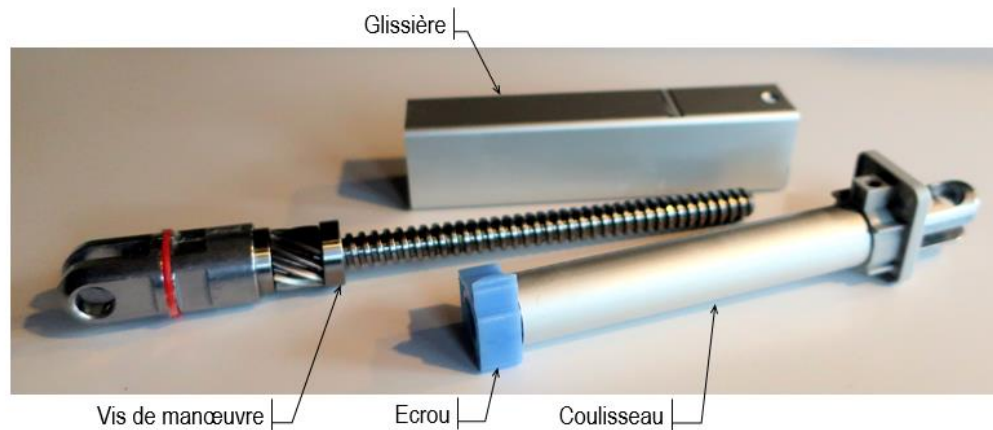


Détail de la transmission de mouvement

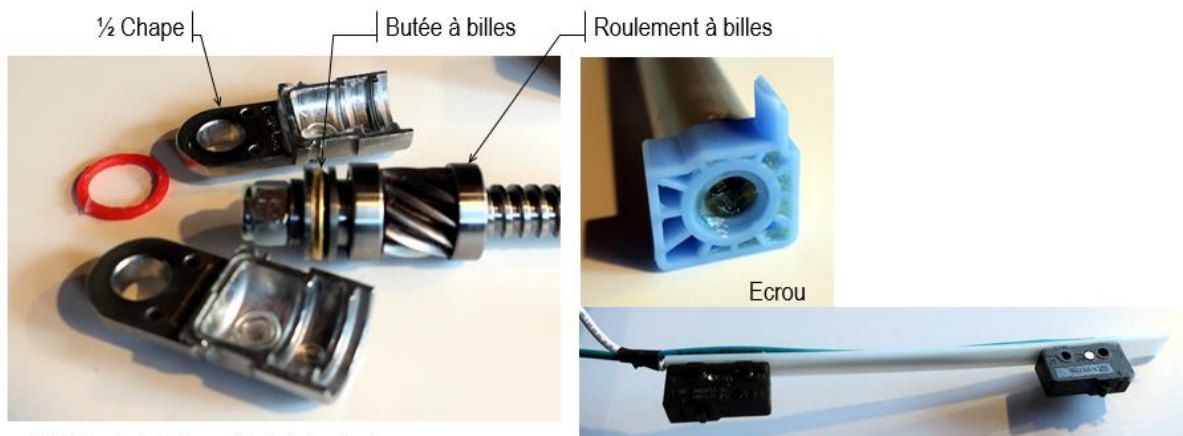
La figure suivante montre la constitution du système vis-écrou. Il est principalement et classiquement constitué d'une glissière (tube carré), d'un écrou lié complètement à un tube cylindrique (coulisseau) et d'une vis de manœuvre en liaison pivot par rapport au carter.

La liaison pivot est, plus précisément, réalisée entre les deux $\frac{1}{2}$ chapes liées complètement au carter et la vis de manœuvre par deux roulements à billes et une butée à billes simple effet.

La glissière est munie de deux interrupteurs de fin de course actionnés par l'intermédiaire de l'ergot de l'écrou.



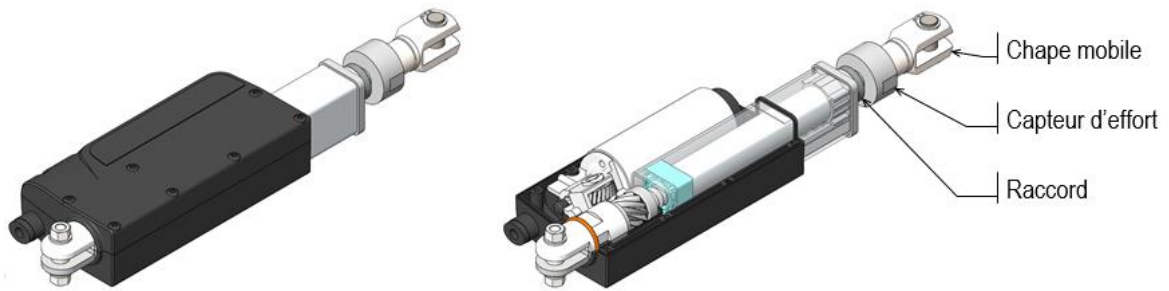
Système de transformation de mouvement (système vis-écrou)



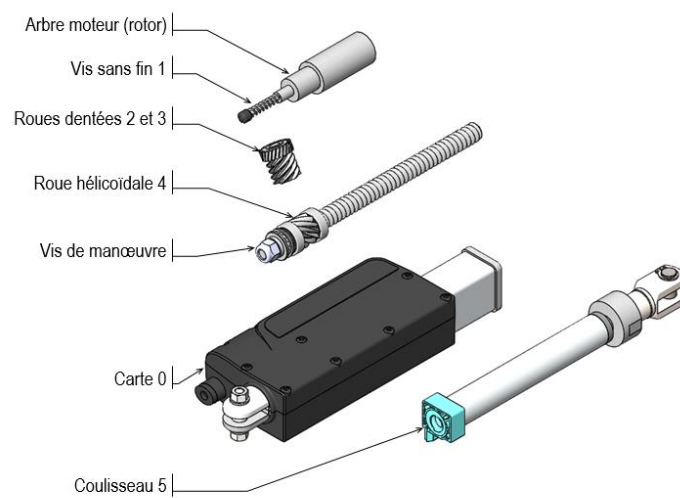
Détails de la liaison pivot de la vis de manœuvre avec le carter

Deux capteurs de fin de course (logés dans la Glissière)

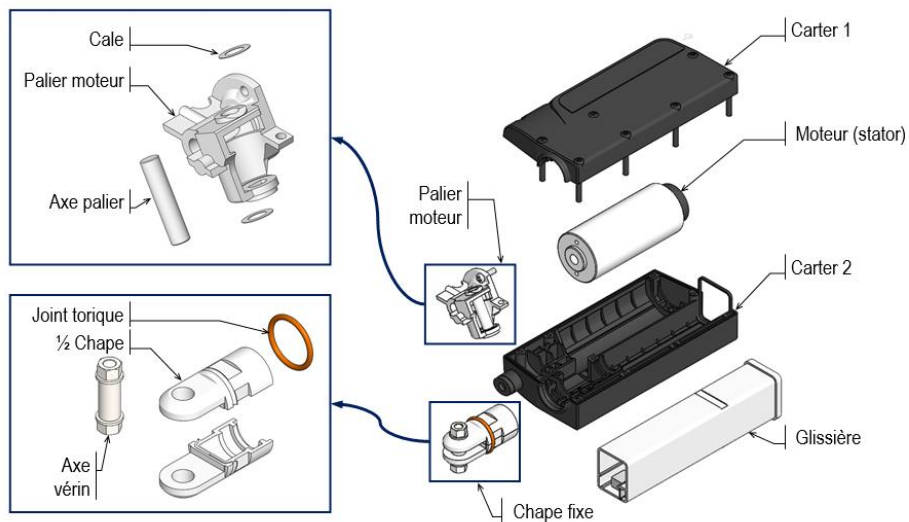
Détails de la liaison pivot de la vis de manœuvre et interrupteurs de fin de course

VUES ECLATEES DU VERIN (VERSION NUMERIQUE)

L'éclaté de la maquette numérique montre les cinq pièces de premier niveau.



Eclaté des pièces de premier niveau



MODELES DES MECANISMES

Le schéma de la pelleteuse est disponible selon deux versions notées V1 et V2. Le schéma de la pelleteuse électrique est constitué essentiellement de six pièces principales (socle compris) et de trois vérins. Chaque vérin est représenté par son corps et son coulisseau (représenté dans la maquette par une liaison glissière).

La version V1 est isostatique et la version V2 est hyperstatique comme la Pelleteuse électrique réelle.

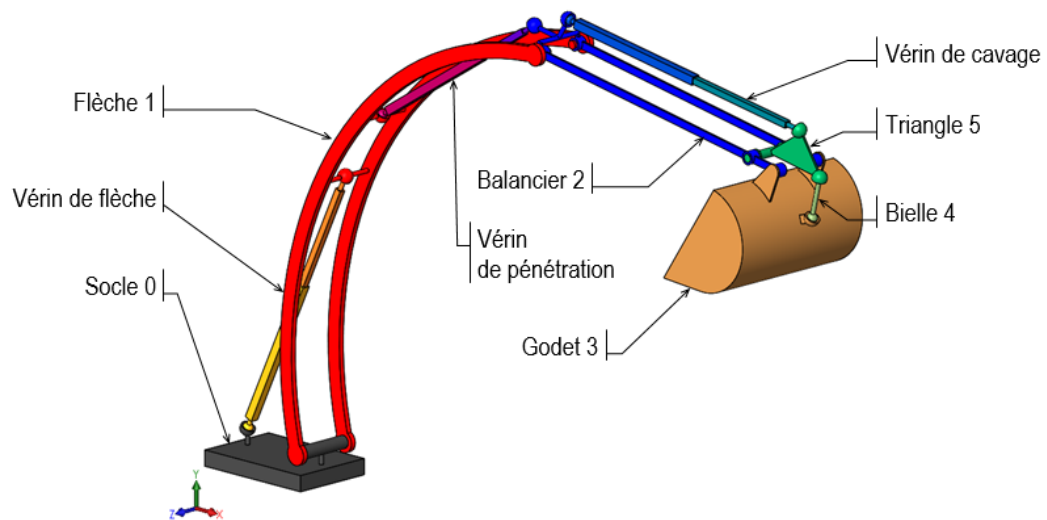
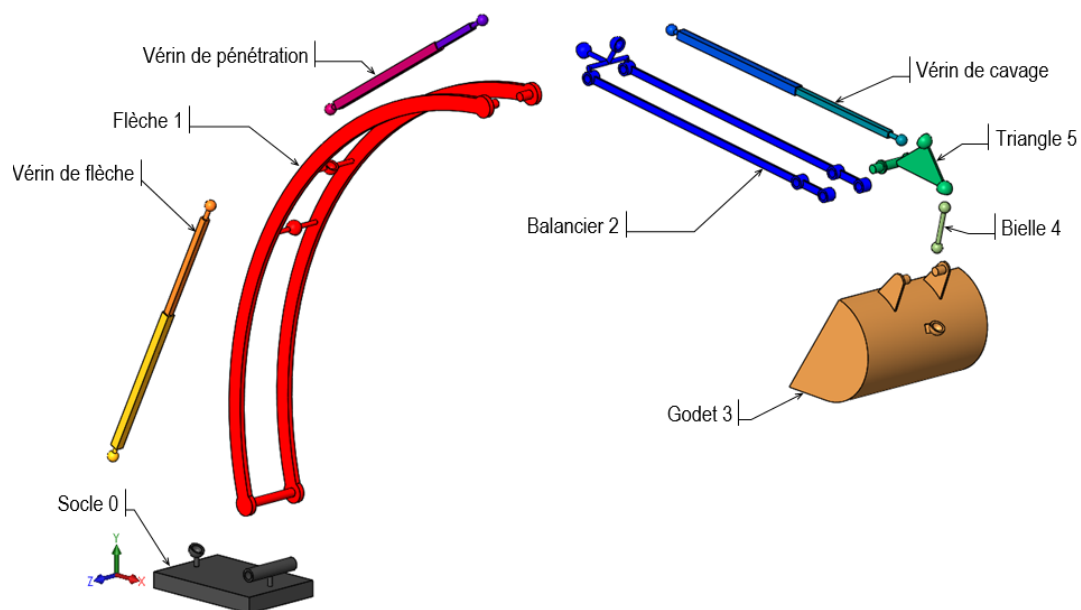


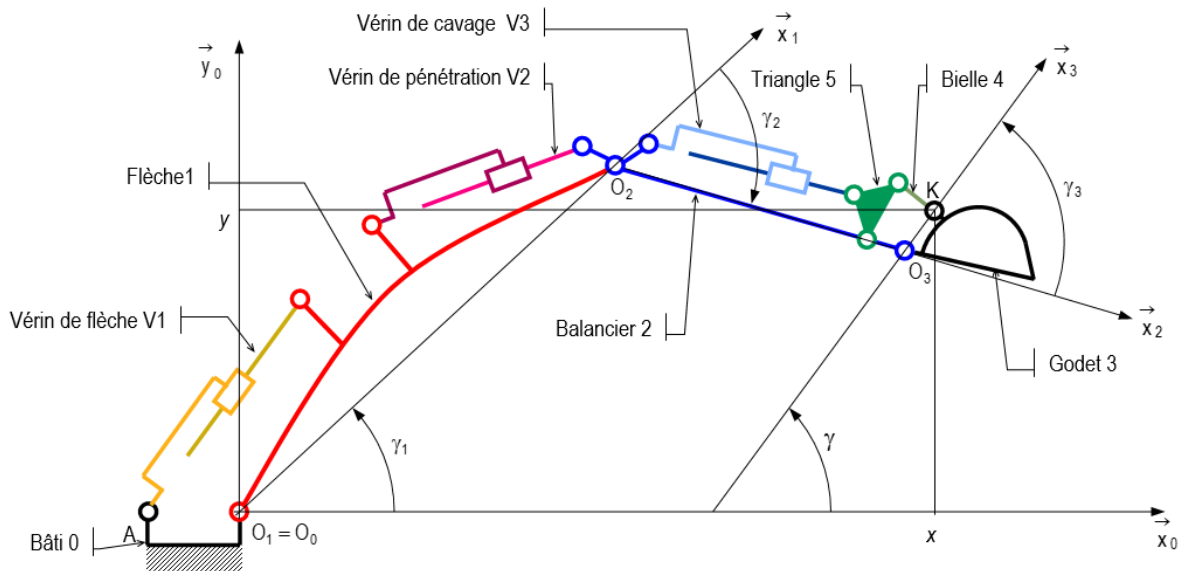
Schéma de la pelleteuse électrique (version V1)



Eclaté de la maquette (version V1)

SCHEMA CINEMATIQUE PARAMETRE DE LA PELLETEUSE

Le bras de pelleteuse est principalement constitué de six solides et de trois vérins (réduits à des liaisons glissières) qui actionnent respectivement la flèche 1, le balancier 2 et le godet 3 via le triangle 5 et la bielle 4.



Le repère $(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est lié au bâti 0.

Le repère $(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ est lié à la flèche 1.

Le repère $(O_2, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ est lié au balancier 2.

Le repère $(O_3, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ est lié au godet 3.

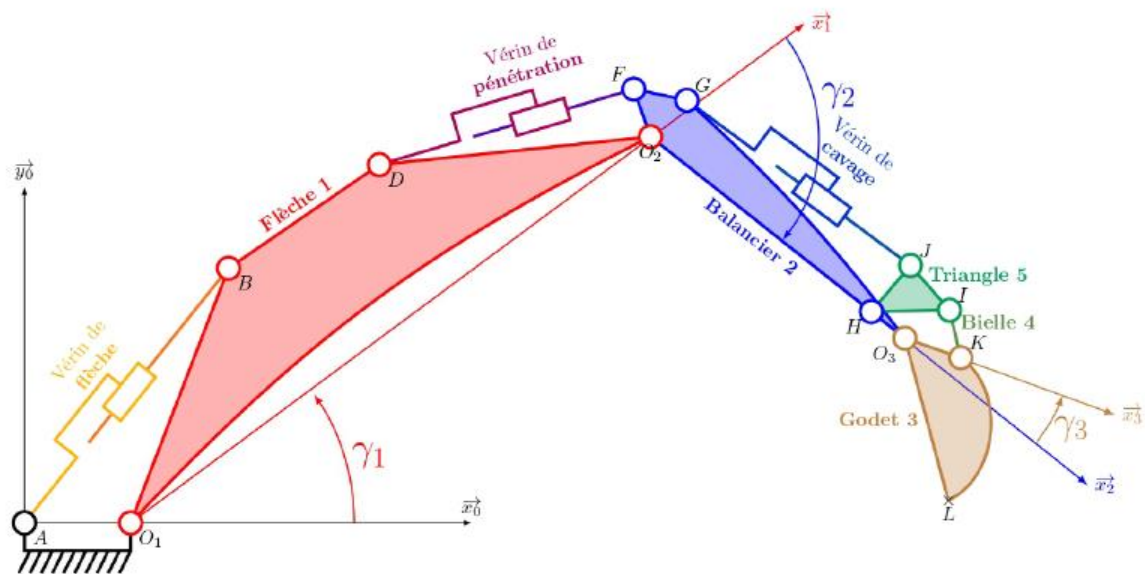
La position des centres des liaisons dans les repères liés aux solides est définie par son vecteur position :

$$\overrightarrow{O_0 O_1} = \vec{0} \quad \overrightarrow{O_1 O_2} = L_{01} \cdot \vec{x}_1 \quad \overrightarrow{O_2 O_3} = L_{02} \cdot \vec{x}_2 \quad \overrightarrow{O_3 K} = L_{03} \cdot \vec{x}_3$$

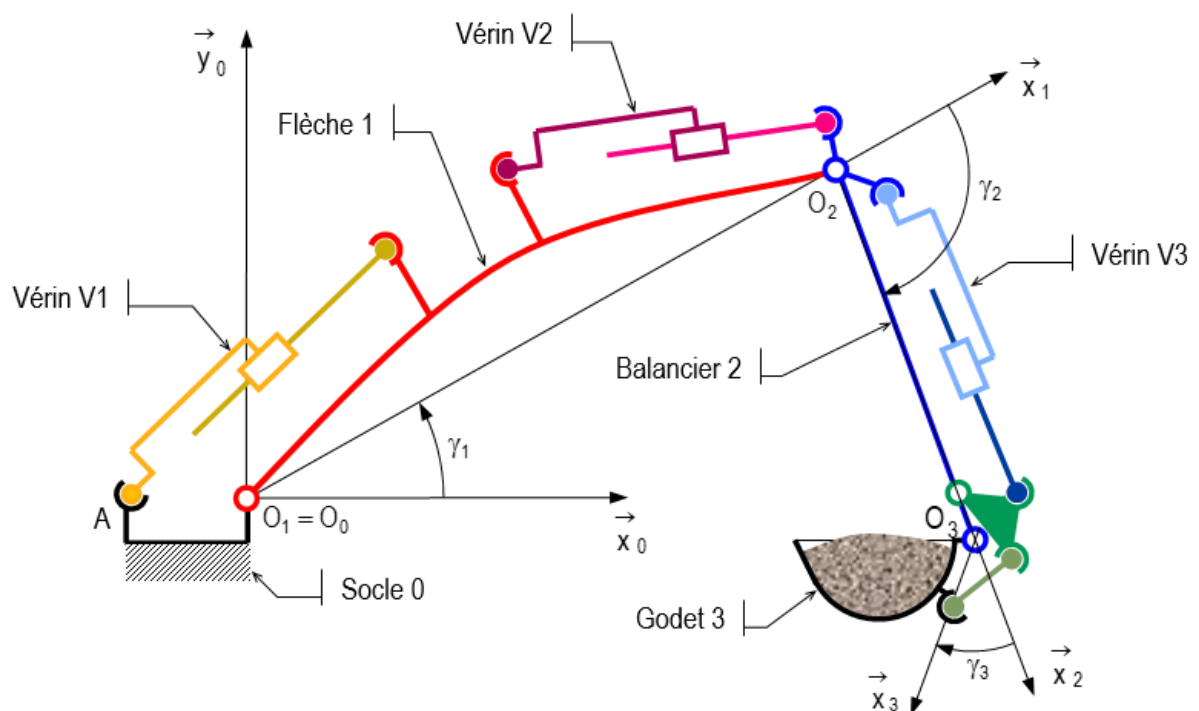
Les trois liaisons pivot montées en série sont définies par les coordonnées dites articulaires de la pelleteuse :

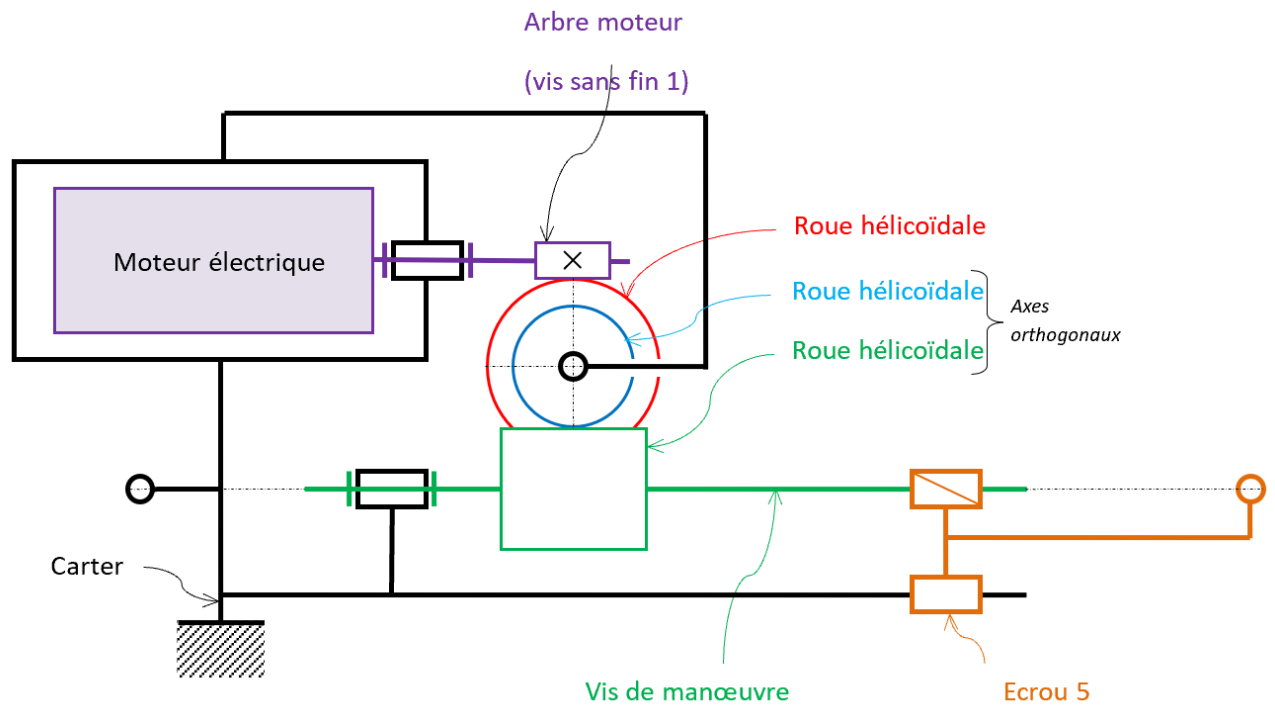
$$\gamma_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1) \quad \gamma_2 = (\vec{x}_1, \vec{x}_2) = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) \quad \gamma_3 = (\vec{x}_2, \vec{x}_3) = (\vec{y}_2, \vec{y}_3)$$

SCHEMA CINEMATIQUE DE LA PELLETEUSE



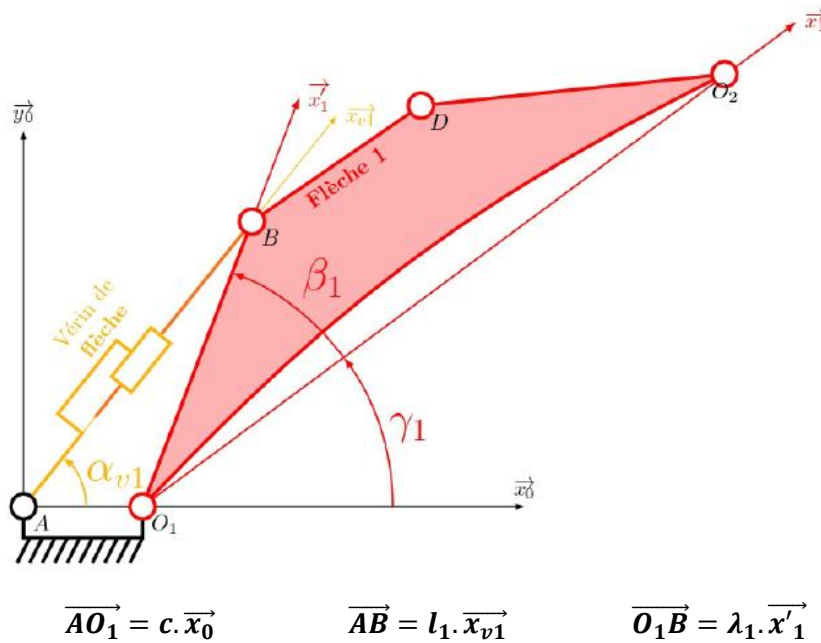
SCHEMA CINEMATIQUE (ISOSTATIQUE) DE LA PELLETEUSE



SCHEMA CINEMATIQUE DU VERIN ELECTRIQUE

LOIS ENTREE/SORTIE

LA FLECHE



Loi directe

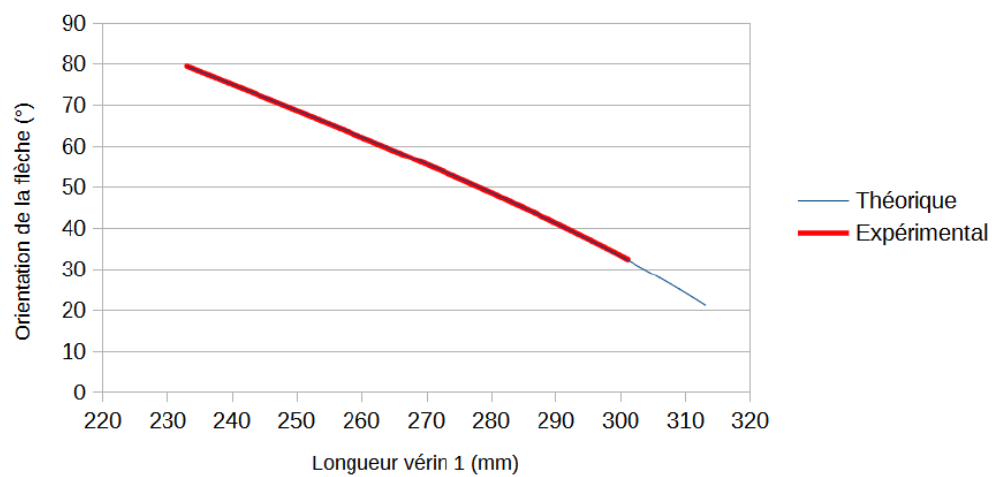
$$\gamma_1 = \arccos\left(\frac{l_1^2 - c^2 - \lambda_1^2}{2 \cdot c \cdot \lambda_1}\right) - \beta_1$$

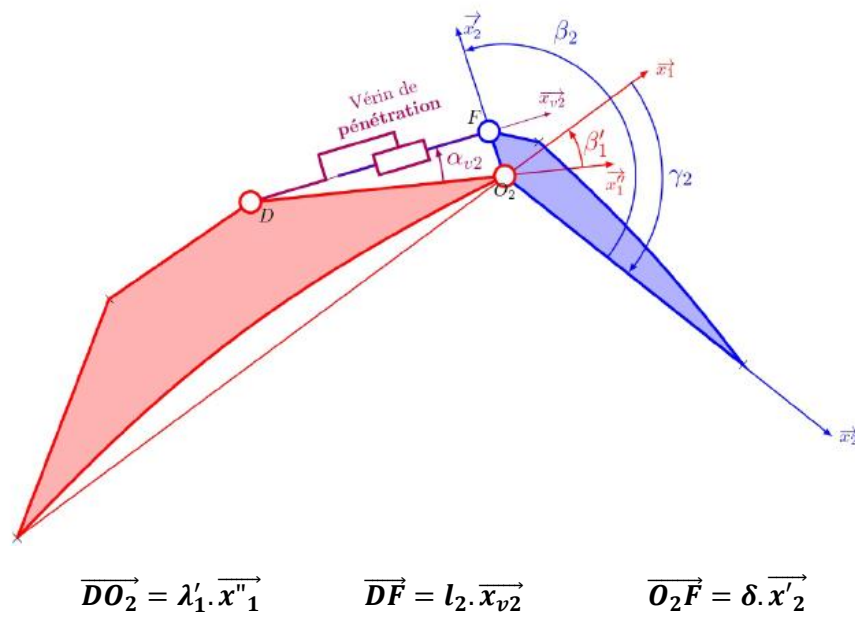
Loi indirecte

$$l_1 = \sqrt{c^2 + \lambda_1^2 + 2 \cdot c \cdot \lambda_1 \cdot \cos(\gamma_1 + \beta_1)}$$

Le vérin de flèche a une course de $\Delta\lambda_1 = 80 \text{ mm}$ et $233 \text{ mm} \leq l_1 \leq 313 \text{ mm}$

Loi E/S Flèche (vérin de flèche)



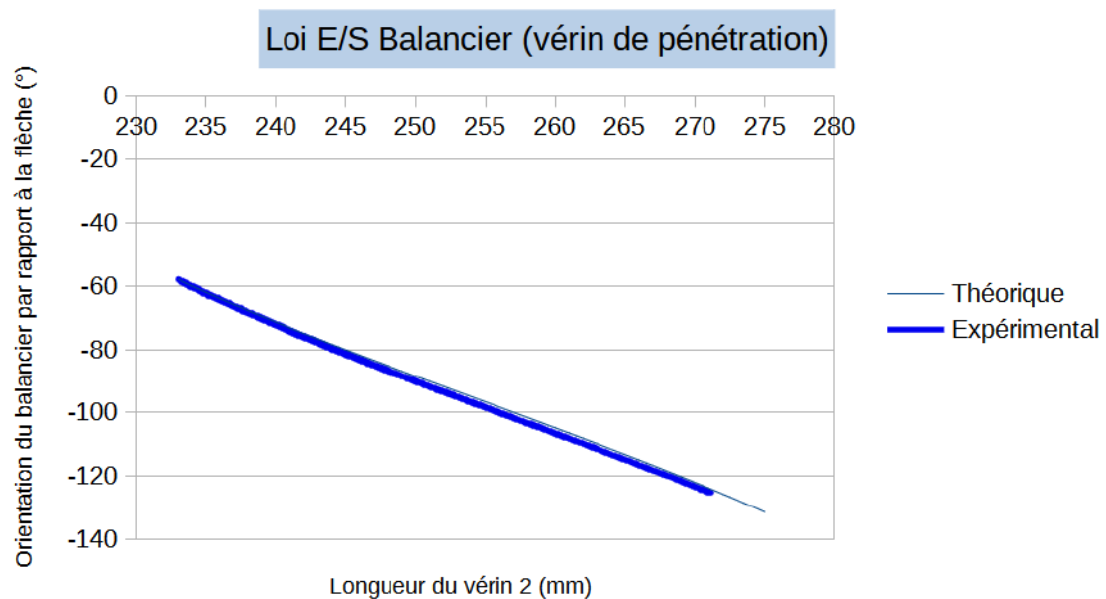
LE BALANCIERLoi directe

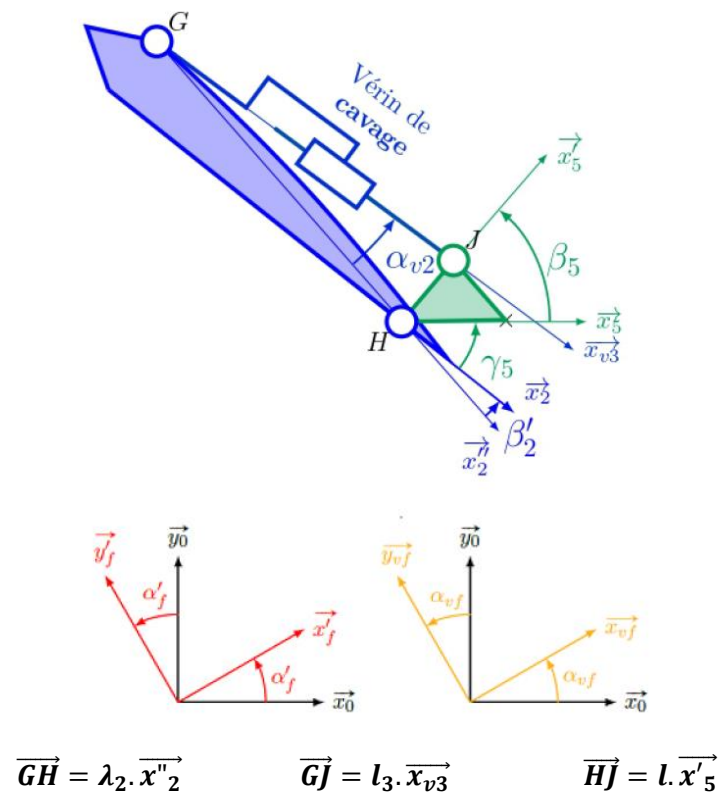
$$\gamma_2 = \arccos\left(\frac{l_2^2 - \lambda_1'^2 - \delta^2}{2 \cdot \lambda_1' \cdot \delta}\right) - \beta_1' - \beta_2$$

Loi indirecte

$$l_2 = \sqrt{\lambda_1'^2 + \delta^2 + 2 \cdot \lambda_1' \cdot \delta \cdot \cos(\beta_1' + \gamma_2 + \beta_2)}$$

Le vérin de pénétration a une course de $\Delta\lambda_2 = 42 \text{ mm}$ et $233 \text{ mm} \leq l_1 \leq 275 \text{ mm}$



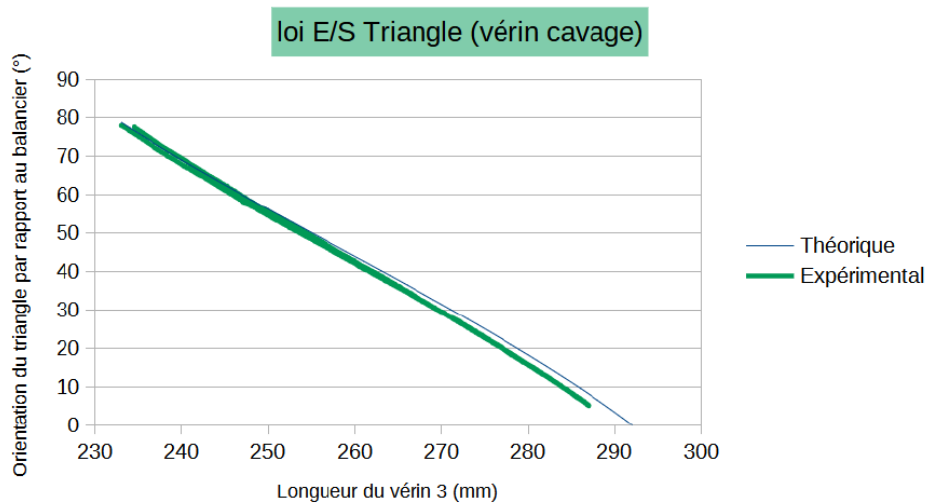
LE TRIANGLELoi directe

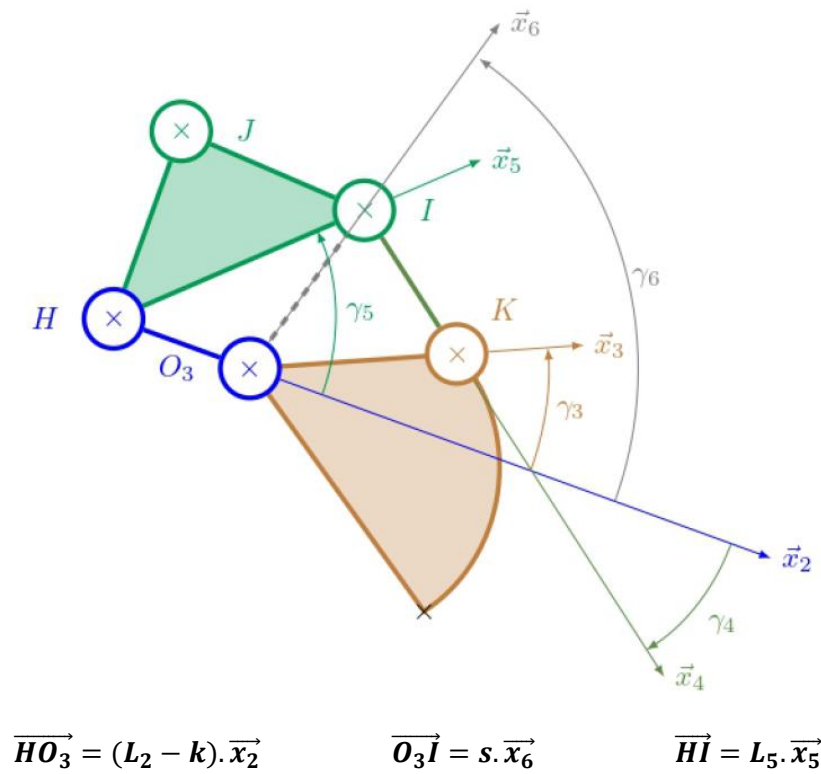
$$\gamma_5 = \arccos\left(\frac{l_3^2 - \lambda_2^2 - l^2}{2 \cdot \lambda_2 \cdot l}\right) - \beta'_2 - \beta_5$$

Loi indirecte

$$l_3 = \sqrt{\lambda_2^2 + l^2 + 2 \cdot \lambda_2 \cdot l \cdot \cos(\beta'_2 + \gamma_5 + \beta_5)}$$

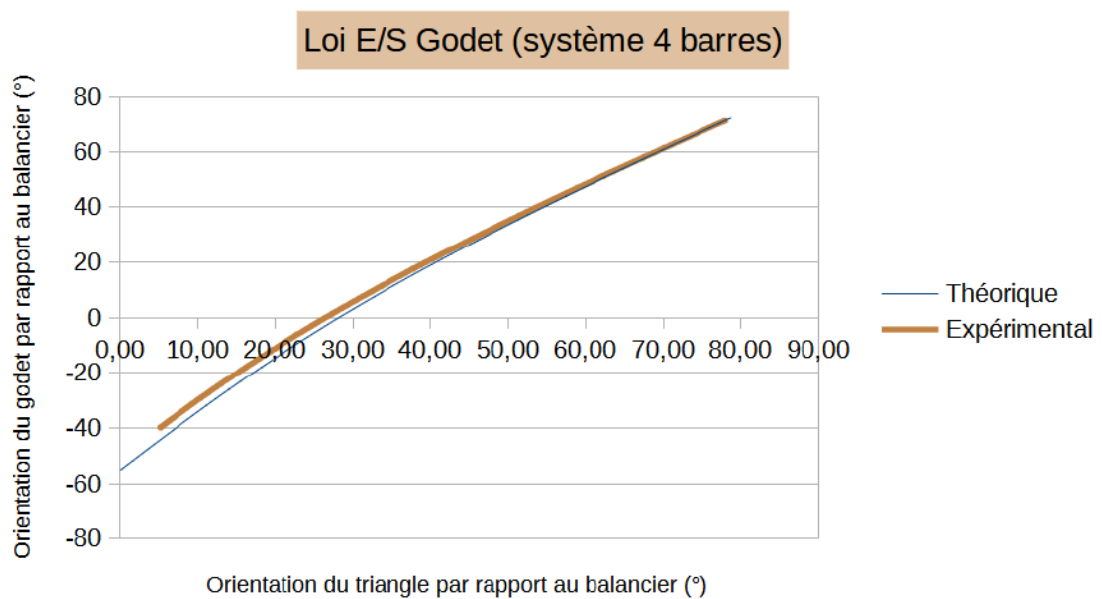
Le vérin de cavage a une course telle que $233,55 \text{ mm} \leq l_3 \leq 292,03 \text{ mm}$



LE GODETLoi directe

$$\gamma_3 = \phi - \arccos\left(\frac{s^2 + L_3^2 - L_5^2}{2 \cdot s \cdot L_3}\right)$$

La course du vérin de cavage implique un débattement angulaire du triangle tel que $0^\circ \leq \gamma_5 \leq 78^\circ$



CAPTEURS

CODEUR D'AXES

Présentation

Le codeur d'axe est un codeur absolu numérique Avago AEAT-6012-A06 avec interface SSI.

Le bras de pelleuse en compte 4, permettant la mesure des angles relatifs :

- flèche \ bâti (γ_1)
- balancier \ flèche (γ_2)
- triangle \ balancier (γ_3)
- godet \ triangle (γ_4)



Position angulaire des axes

Sa mesure est codée sur 12 bits, ce qui signifie que la résolution angulaire brute est de $0,088^\circ$, selon la formule $\frac{360}{2^{12}} = \frac{360}{4096} \approx 0,088^\circ$

Cependant, un algorithme particulier a été mis en place pour éliminer les mesures aberrantes observées dans certains cas de figure :

- Une mesure est faite toutes les 2 ms
- Toutes les 10 ms, on fait la moyenne sur les 5 dernières mesures
- Les trois mesures les plus éloignées de la moyenne sont éliminées
- La position angulaire fournie par le système est la moyenne des 2 mesures restantes. La résolution angulaire est alors de $0,044^\circ$
- Dans le cas particulier des modes « Statique » et « Energétique / Puissance », la position est en plus filtrée par un premier ordre de constante de temps 0,05 s

Vitesse angulaire des axes

Ce capteur est également utilisé pour calculer, toutes les 10 ms, la vitesse angulaire des axes (en divisant par 0,01 l'écart entre la position courante et la position précédente) et en faisant une moyenne glissante sur 10 échantillons.

Avant la moyenne glissante, la résolution sur la valeur angulaire est égale à $\frac{0,044}{0,01} = 4,4^\circ/\text{s}$.

CODEUR DE VERIN

Présentation

Le moteur du vérin est doté d'un codeur incrémental afin de mesurer sa position et de calculer sa vitesse de rotation. Ce codeur incrémental fournit deux signaux carrés en quadrature, comme sur la capture ci-dessous.



Deux signaux en quadrature sont indispensables pour connaître le sens de rotation. En effet, lorsqu'un front (montant ou descendant) est compté sur une voie, le niveau (haut ou bas) du signal sur l'autre voie permet de savoir si le moteur tourne dans le sens positif ou dans le sens négatif.

Le codeur du moteur du vérin intègre un seul aimant. Il génère donc 1 impulsion par tour (PPR) ce qui conduit à 4fronts par tour (CPR) car on est capable de compter les fronts montants et descendants produits par cet aimant sur les deux capteurs à effet Hall décalés de 90°, attachés à la partie fixe du moteur.

Position du vérin

Dans la mesure où la fonction essentielle du moteur est de déplacer la tige du vérin, nous allons nous intéresser ici à la résolution linéaire de la mesure de position et du calcul de vitesse.

La résolution sur la position se calcule sachant que le moteur fait 7,16 tours pour un déplacement de la tige de 1 mm. Le CPR étant égal à 4, la résolution est donc égale à $\frac{1}{4 \cdot 7,16} \approx 0,035 \text{ mm}$.

Vitesse du vérin

La vitesse est calculée toutes les 10 ms en divisant par 0,01 l'écart entre la position courante et la position précédente et en faisant une moyenne glissante sur 10 échantillons. Avant la moyenne glissante, la résolution est donc $\frac{0,035}{0,01} = 3,5 \text{ mm/s}$.

La moyenne glissante permet d'obtenir une résolution 10 fois inférieure, de 0.35 mm/s.

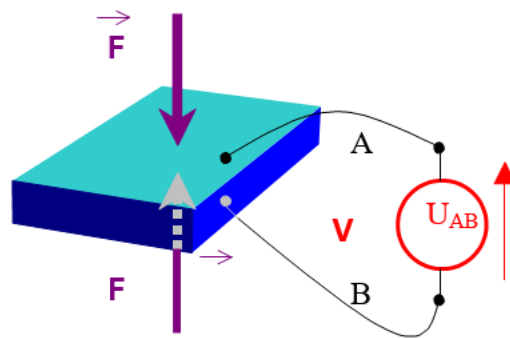
CODEUR D'EFFORT

Les capteurs d'effort, montés entre les tiges de vérins et respectivement la flèche, le balancier et la bielle du godet, sont de type piézoélectrique.

Effet piézo-électrique : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.

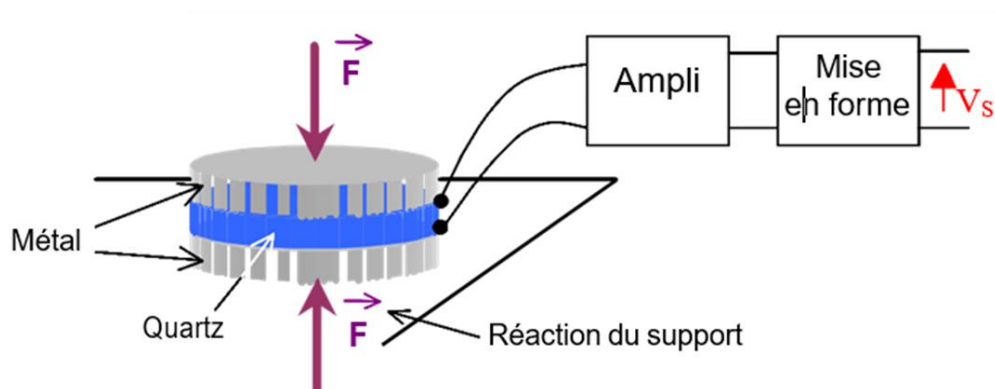
Capteur à effet piézoélectrique

Une force appliquée à une lame de quartz induit une déformation qui donne naissance à une tension électrique.



Capteur de force

La tension V_S de sortie sera proportionnelle à la force F : $V_S = k \cdot (F + F) = 2k \cdot F$ avec k constante.



ANALYSE SYSTEME – SYSML

DIAGRAMME DE CONTEXTE

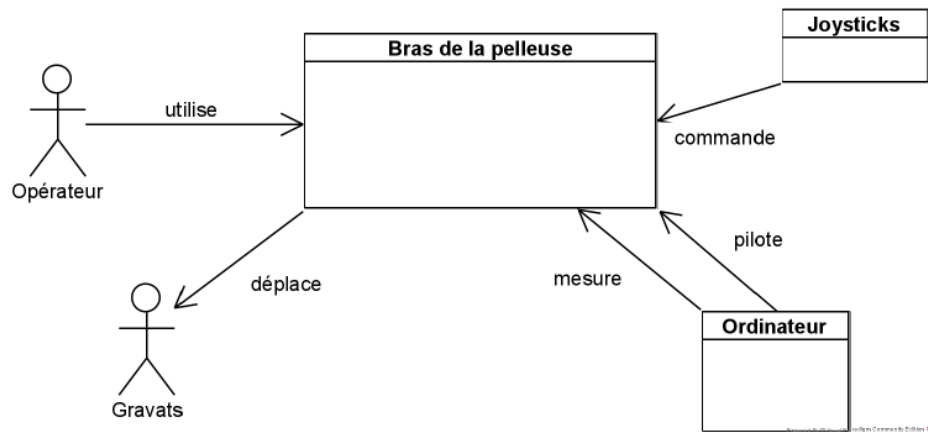


DIAGRAMME DE DEFINITION DE BLOC DE LA PELLETEUSE

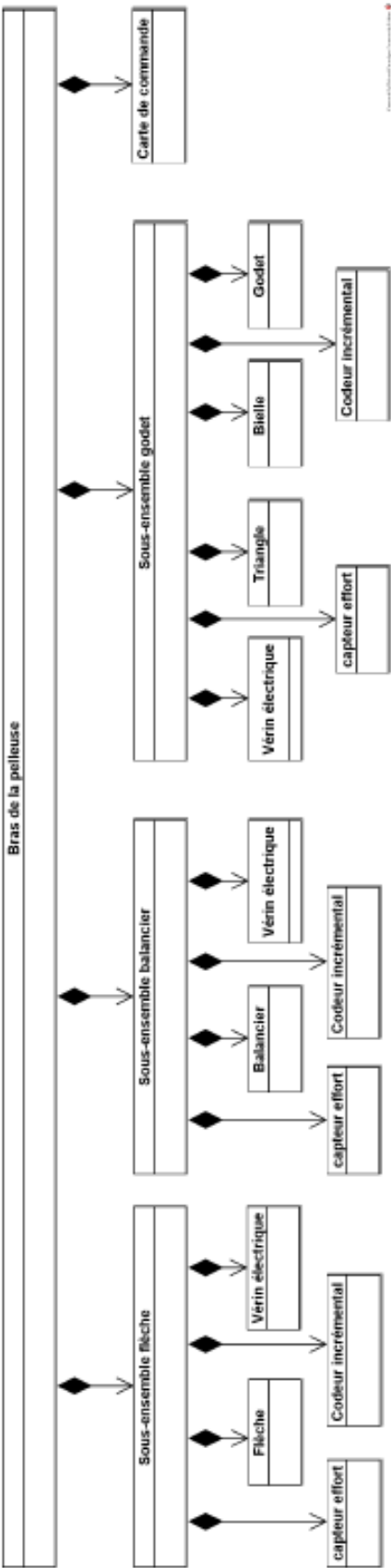


DIAGRAMME DE DEFINITION DE BLOC DU VERIN

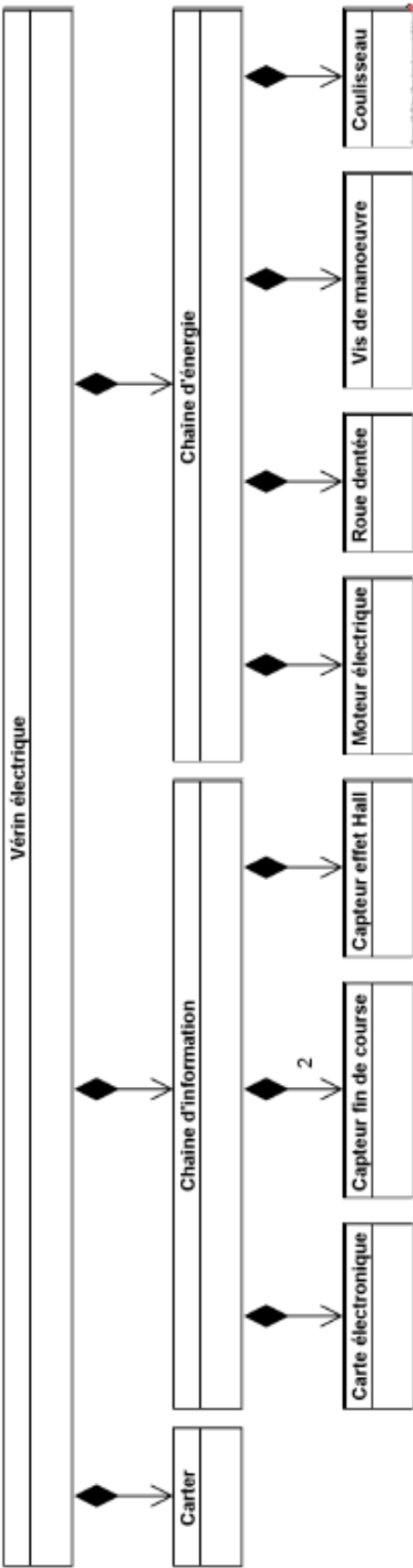


DIAGRAMME DE BLOC INTERNE DE LA PELLETEUSE

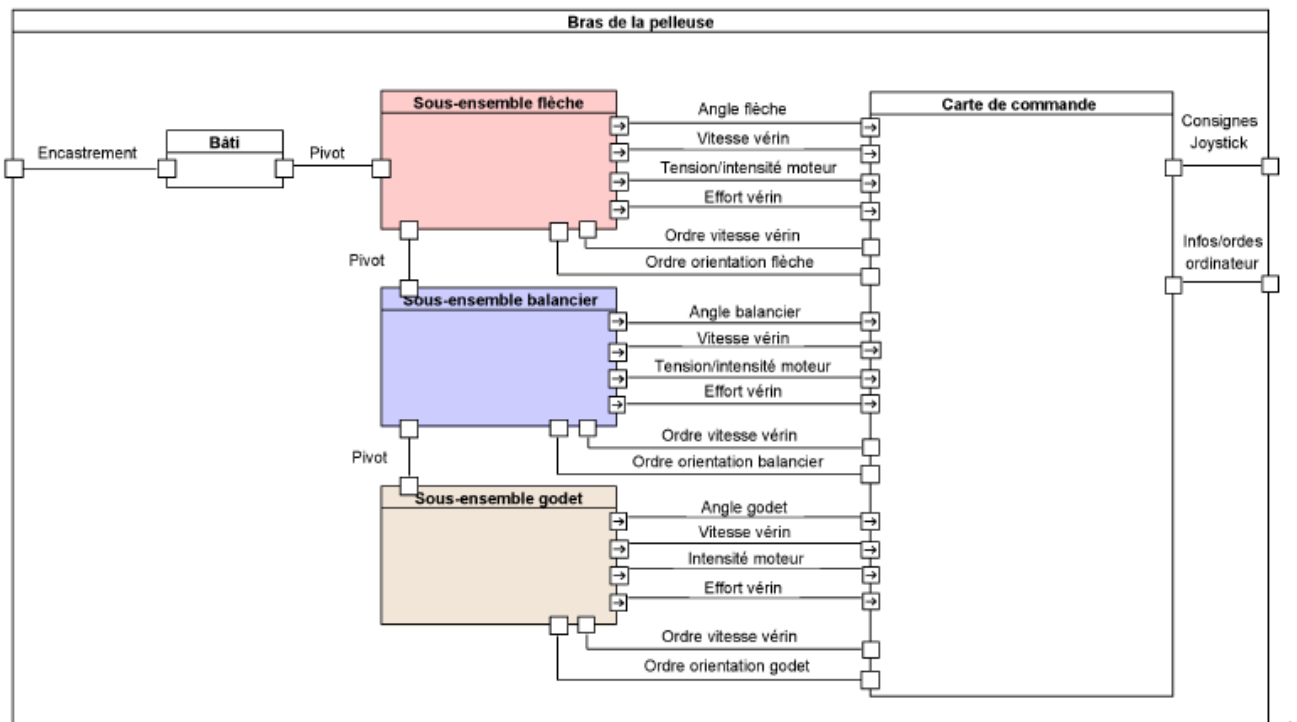
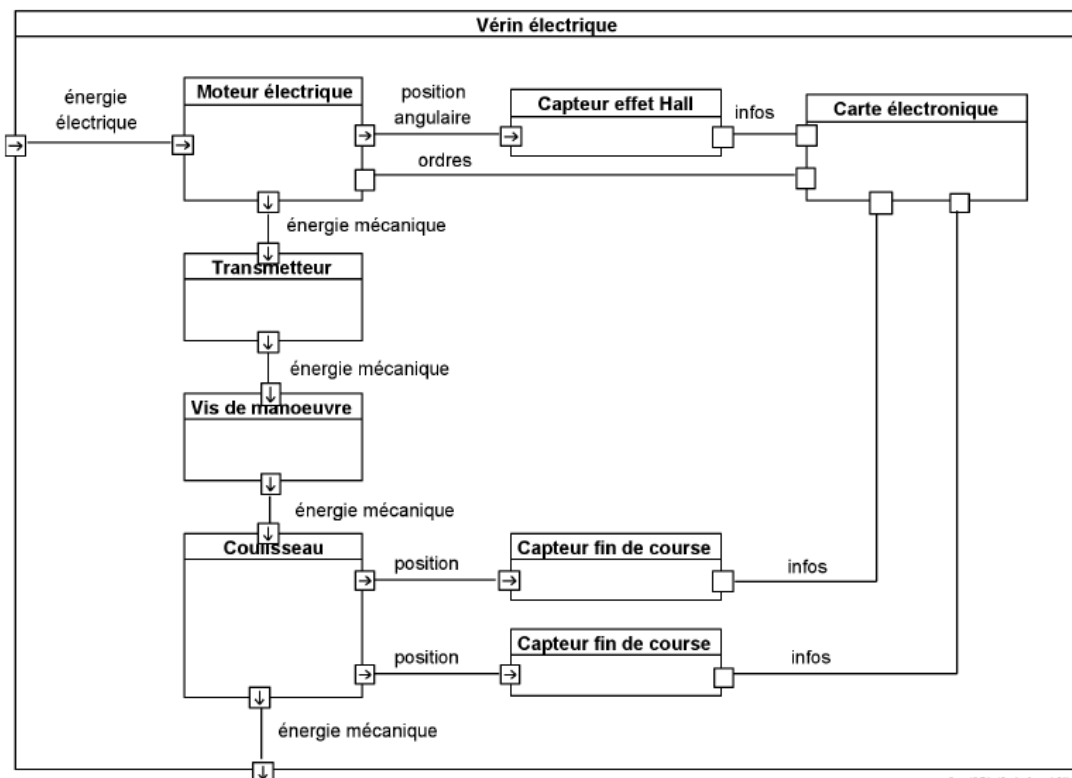


DIAGRAMME DE BLOC INTERNE DU VERIN



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

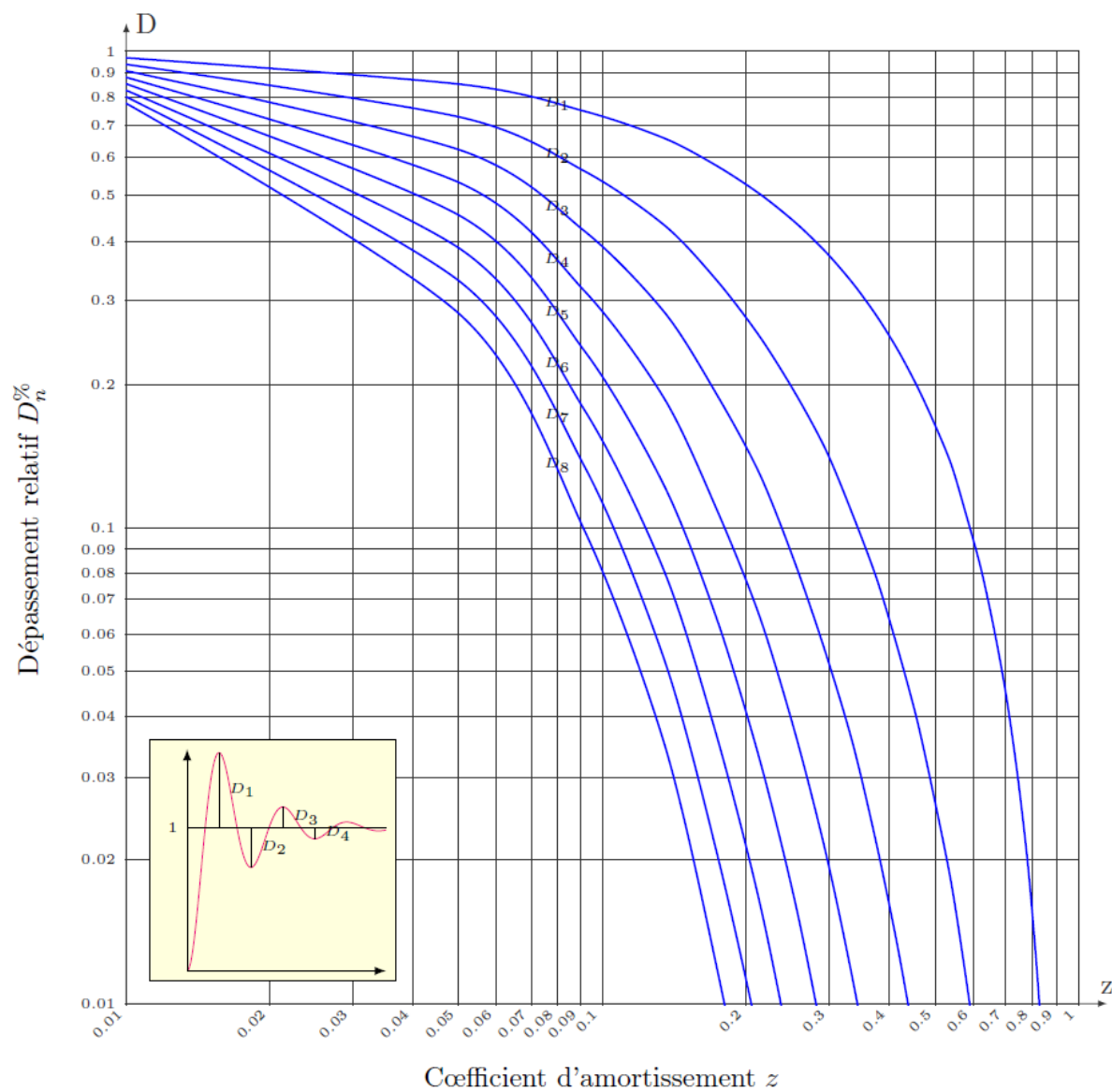
HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES FREQUENTES

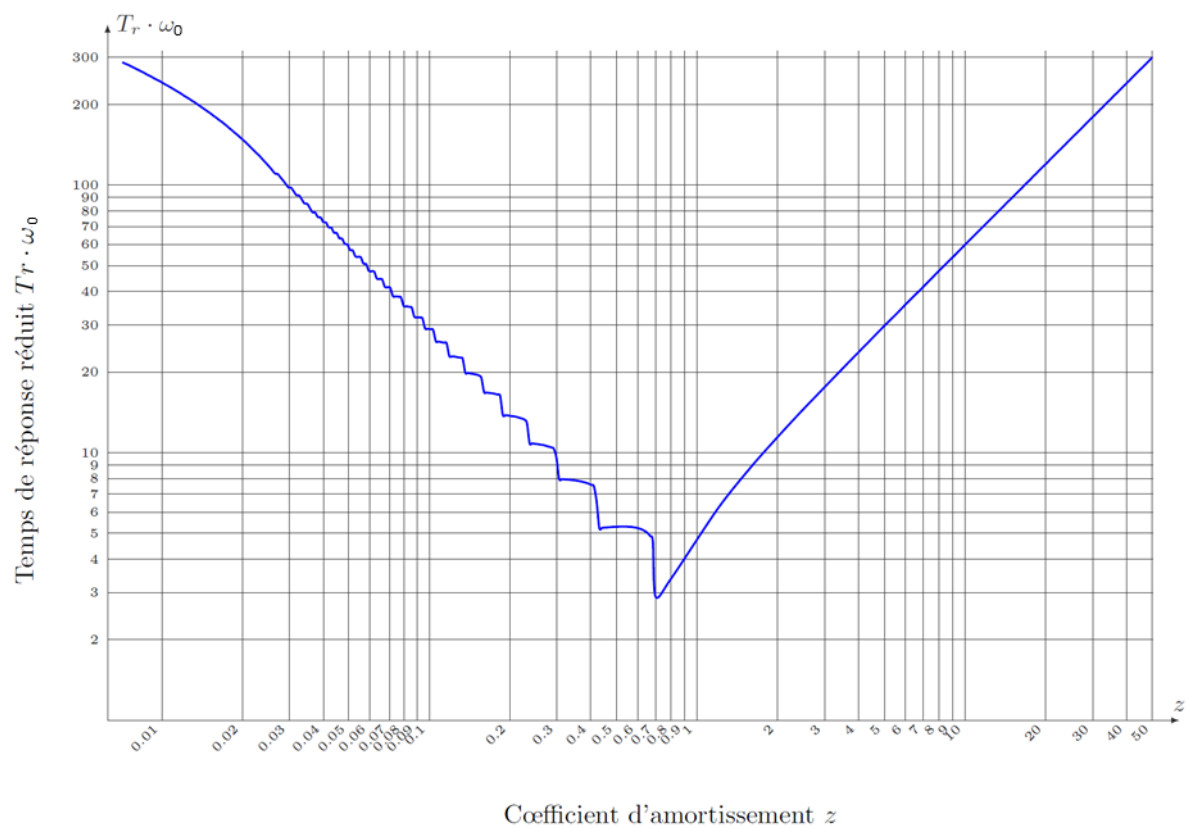
- Les frottements secs et visqueux sont négligés.
- L'inductance de l'induit du moteur est négligée.
- $K_t = K_e$

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 $K_t = K_e$.

ABAQUE DES DEPASSEMENTS

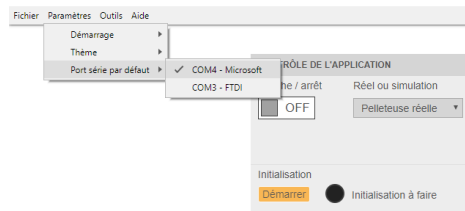


ABaque du temps de réponse réduit $t_{5\%} \cdot \omega_0$ 

UTILISATION DU LOGICIEL

Démarrage du système

- Mettre sous tension la pelleteuse.
- Vérifier que le port série est le port COM *X* – Microsoft (de base COM 4 – Microsoft)



- Démarrer le logiciel MyViz et choisir le tableau de bord "*Prise en main*".
- Dans le cadre "Contrôle de l'application" choisir "Pelleteuse réelle" et actionner le bouton Marche/Arrêt.



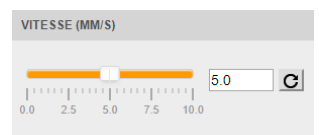
Après un temps de démarrage, le bouton Démarrer d'Initialisation devient actif.

- Cliquer dessus et attendre que le bouton "Initialisation à faire" passe à "Initialisation OK".

Pilotage manuel

Mouvements simples

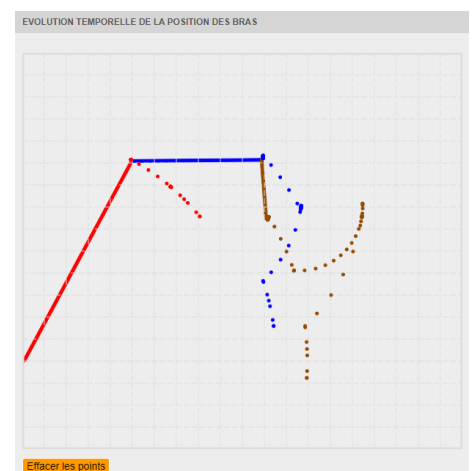
A l'aide des joysticks, modifier indépendamment l'orientation de la flèche, le balancier et du godet pour s'approprier les commandes proportionnelles de actionneurs. La vitesse maximale de sortie de tige du vérin peut être modifiée entre 0 et 10 mm/s.



Mouvements complexes

Les opérations classiques sur un chantier imposent au conducteur de manipuler les 3 axes en même temps.

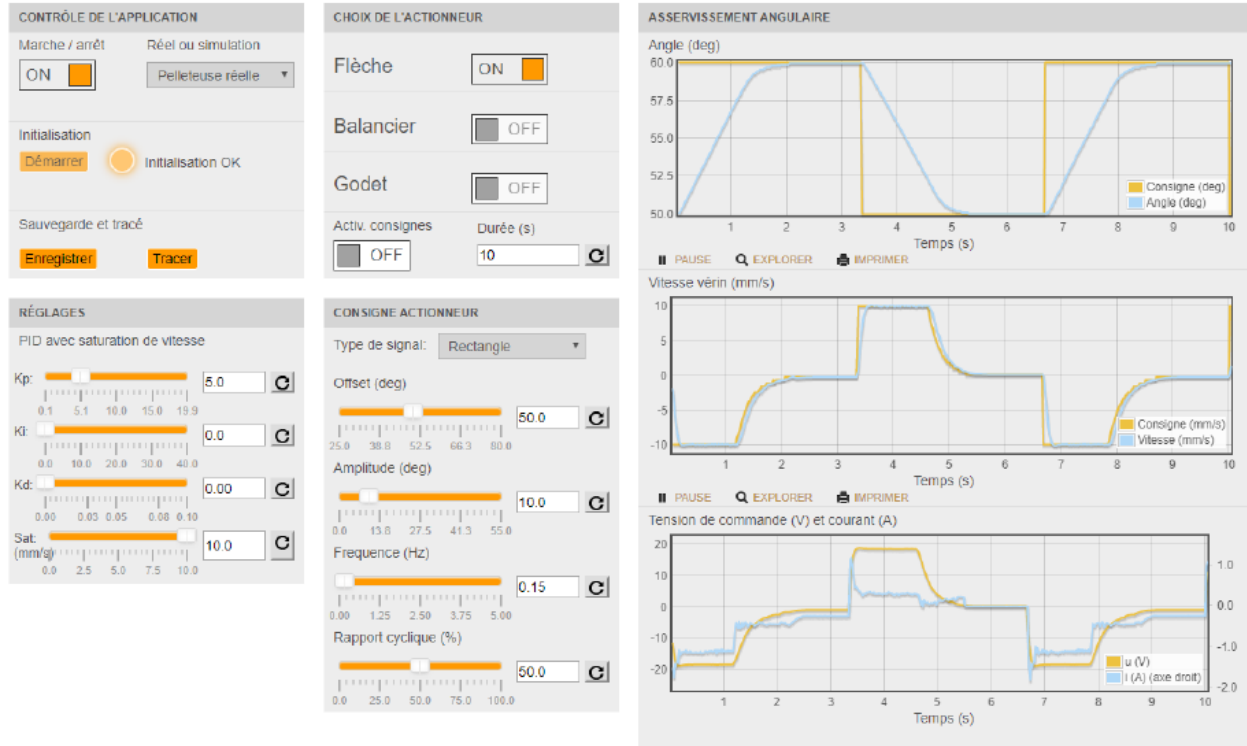
- Faire une opération de prise de gravats et essayer de déplacer le godet à l'aide des 3 commandes dans le plan **sans perdre le chargement**.
- Réaliser une opération de nivelage (translation horizontale ou verticale du godet avec une orientation constante du godet par rapport au bâti du système).



L'historique des positions des extrémités des 3 axes est donnée dans la partie droite de MyViz, elle permet notamment de vérifier le respect de la trajectoire du godet.

Etude des performances du système

Cette étude se fera en utilisant le tableau de bord "Asservissement". La procédure de mise en marche et d'initialisation est identique à la partie précédente.



Réglage du correcteur

Le choix du type de correcteur fait en imposant les gains K_p , K_i et K_d et correspond à la fonction de transfert du correcteur : $C(p) = K_p(1 + \frac{K_i}{p} + K_d \cdot p)$. Ces réglages se font dans le cadre **Réglages**.

Choix de l'axe piloté

Dans ce tableau de bord, seul un seul axe peut être piloté. Le choix de l'axe se fait dans le cadre **Choix de l'actionneur**. Le bouton **Activation des consignes** permet de lancer une mesure. La durée de l'acquisition peut être modifiée (10 s par défaut). Il est nécessaire de désactiver les consignes pour pouvoir exploiter les résultats via les boutons **Enregistrer** et **Tracer** du cadre **Contrôle de l'application**.

Saturation en vitesse

La boucle de vitesse présente une saturation dont la valeur peut être modifiée dans le cadre **Réglages**.

Consignes

Plusieurs types de consignes sont proposées avec chacune leurs paramètres de réglages :

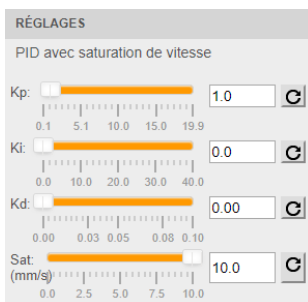
- Rectangle (correspond à une consigne en échelon)
- Sinus
- Trapèze
- Triangle
- Rampe

Réponse indicielle de la flèche

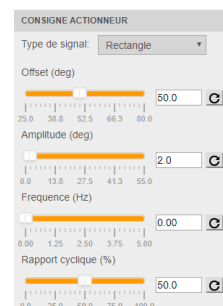
Réglage du système et de la consigne

Exemple de manipulation :

- Dans un premier temps, régler les paramètres du PID ($K_p = 1, K_i = 0$ et $K_d = 0$) et choisir la vitesse de saturation en vitesse maximale de 10 mm/s.
- Choisir la **Flèche** comme **actionneur** et placer sur **ON** le bouton **Activ. Consignes**.



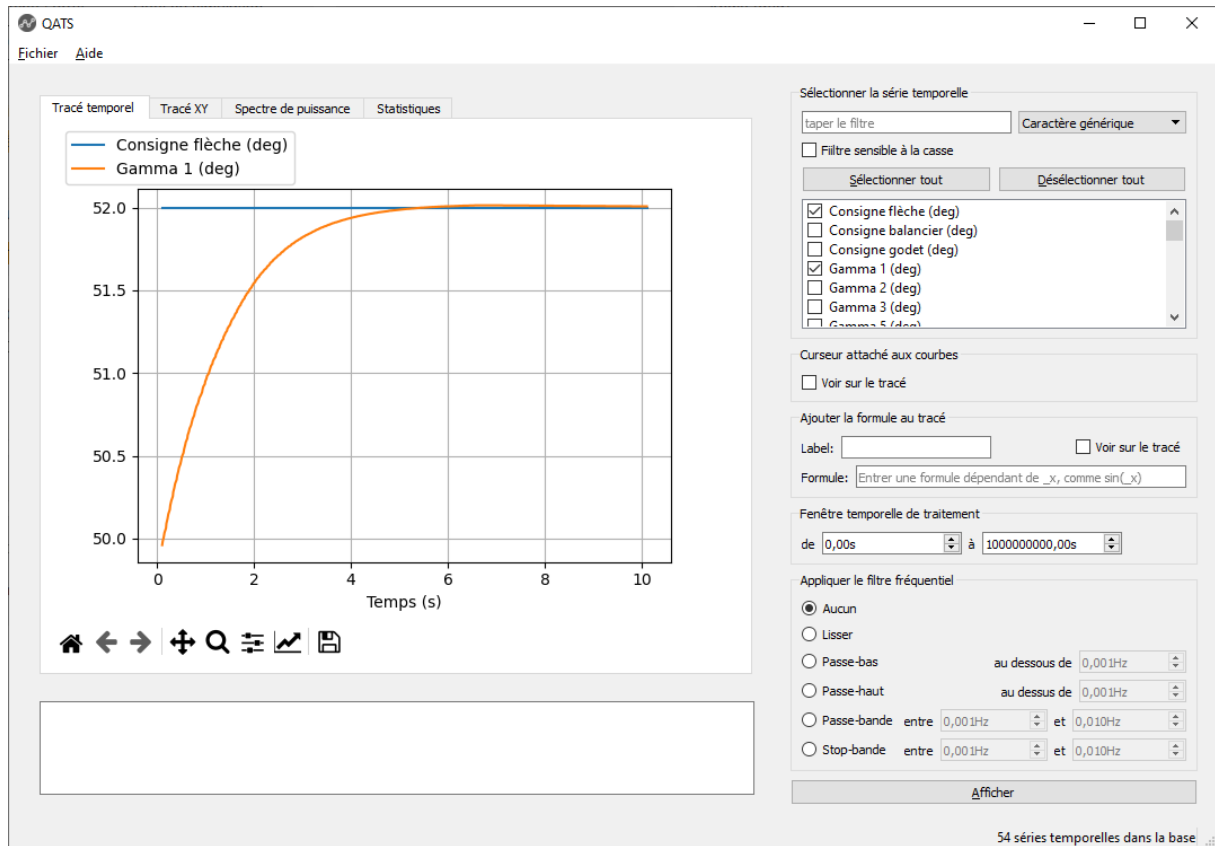
Réglage du PID



Réglage de la consigne

- Pour travailler, par exemple, à partir d'une position de 50°, paramétrer une consigne de type **rectangle** avec un **Offset de 50°**. Une fois ce choix validé, la flèche de la pelleuse doit se mettre à la position 50°.
- Une fois la pelleuse immobile, désactiver les consignes, indiquer une **amplitude de 2°** (ou alors un offset de 52°), choisissez une **durée de consigne de 10 s** et activer de nouveau les consignes : une acquisition sera réalisée et au bout de 10 secondes, les consignes seront désactivées.

On obtient la courbe de réponse indicielle en cliquant sur le bouton *Tracer* du volet *Contrôle* de l'application et en sélectionnant les grandeurs Consigne flèche et Gamma 1 (angle de flèche).



Sensibilité à une perturbation

Réglage du système et de la consigne

La sensibilité à une perturbation sera traitée en utilisant la **Pelleteuse Virtuelle**. En effet, dans ce mode, il est possible de modifier la masse embarquée dans le godet. Pour cela, un bouton "Modifier le modèle" apparaît dans le volet *Contrôle* de l'application. Il est donc plus facile d'imposer directement une charge dans le godet plutôt que de réaliser un chargement du godet avant de réaliser un essai.

Afin de visualiser les effets du chargement dans le godet sur le comportement de la flèche en montée et en descente, une consigne cyclique va être appliquée à la flèche.

The screenshot shows the 'Paramètres' dialog box for 'Moteurs vérins et charge godet'. It has a 'Réinitialiser aux valeurs par défaut' button at the top. Below are several input fields with their ranges and current values:

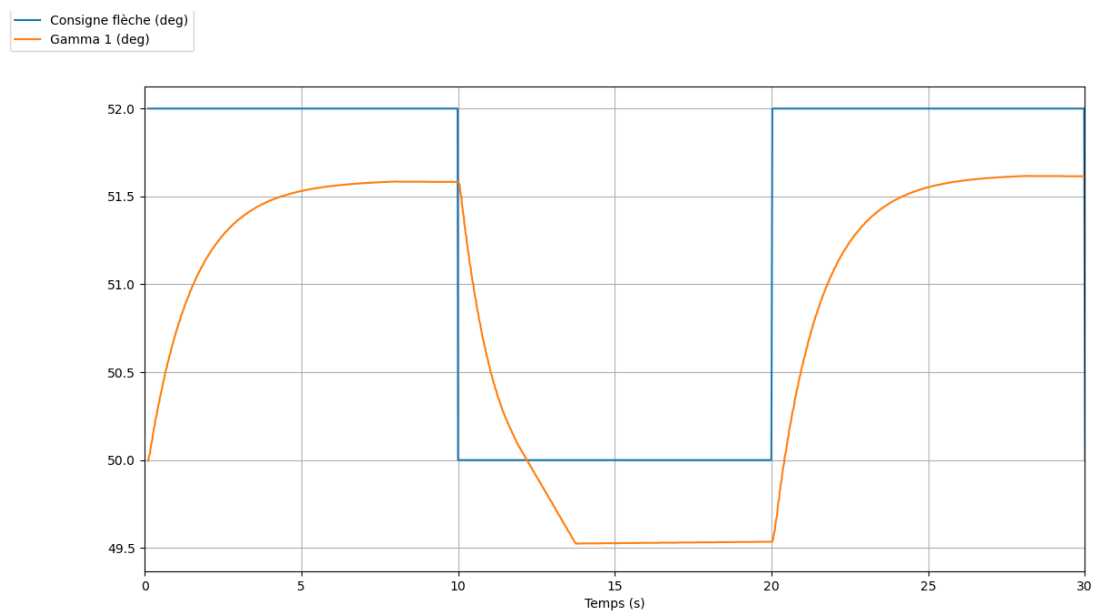
- Inertie (entre 1e-6 et 9e-6 kg.m²): 4.6e-6
- Constante de couple (entre 0.01 et 0.09 N.m/A): 0.038
- Résistance (entre 1 et 9 ohms): 2.5
- Frottement visqueux (entre 0 et 0.01 N.m.s/rad): 0.0015
- Frottement sec (entre 0 et 5 N.m): 0.49
- Charge godet (entre 0.01 et 200 kg): 10

At the bottom is an 'Enregistrer' button.

Exemple de manipulation :

- Imposer une charge de 20kg dans le godet
- Choisir une consigne en rectangle avec une orientation de la flèche de départ de 50° (Offset), une amplitude de mouvement de 2°, une fréquence de 0,05 Hz et faire une mesure sur 40 s.

On obtient la courbe de l'évolution temporelle de l'angle de la flèche avec une charge de 20 kg dans le godet.



Remarque : En montée, le poids est résistant, sans correction, la flèche n'atteint pas la position angulaire demandée. En descente, le poids est moteur, sans correction, le flèche dépasse la position angulaire demandée.