

**DEFINIR LA STRUCTURE FONCTIONNELLE ET
IDENTIFIER LES PERFORMANCES D'UN SYSTEME
ASSERVI**

C 02

TD 1 : Décrire un système par les chaînes fonctionnelles.....	1
TD 2 : Structure et performances d'un système asservi	7

TD 1 : DECRIRE UN SYSTEME PAR LES CHAINES FONCTIONNELLES

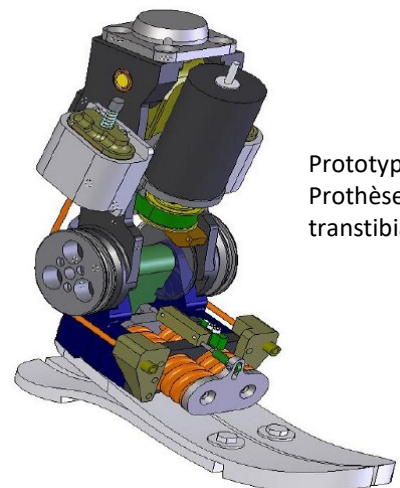
Exercice 1.1 : PROTHESE ACTIVE TRANSTIBIALE

(Adapté de Mines-Pont MP 2013)

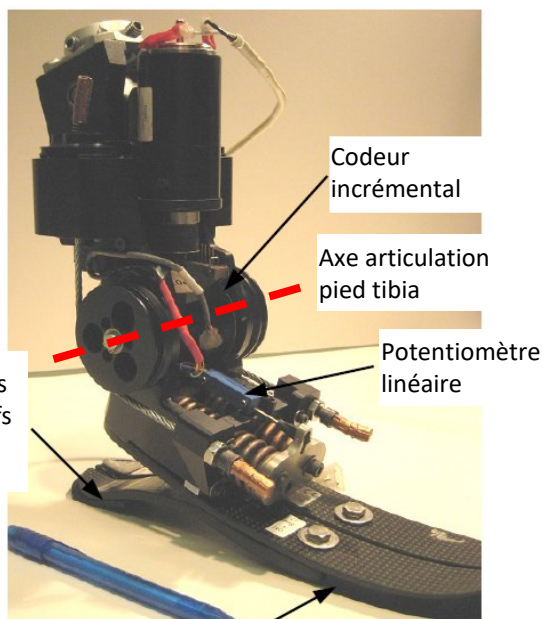
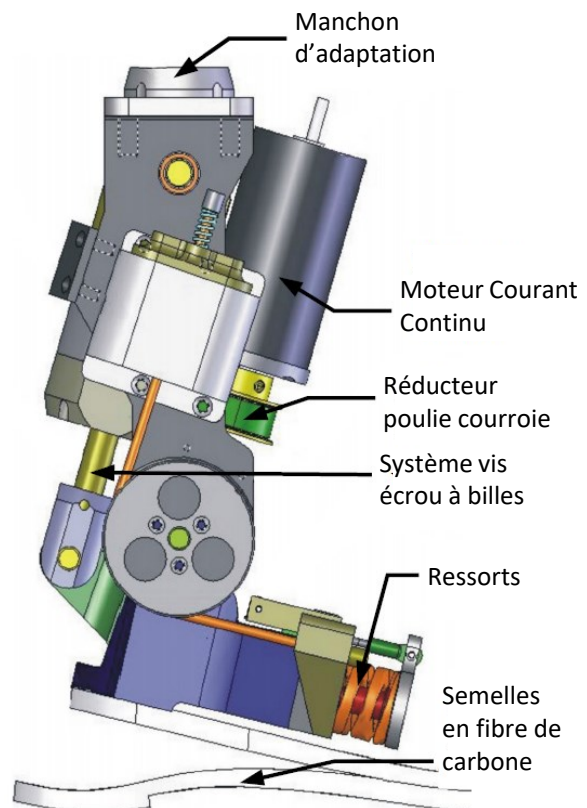
La majorité des prothèses transtibiales (pour une amputation en dessous du genou) utilisées aujourd'hui est purement passive, c'est-à-dire que leurs propriétés mécaniques restent fixes pendant la marche. Ces prothèses sont constituées, en général, de semelles ressorts en fibre de carbone conçues pour emmagasiner et restituer l'énergie mécanique de la marche par déformation.

On s'intéresse à un prototype développé par des ingénieurs du MIT qui a permis la mise au point d'une nouvelle génération de prothèse, dite active. Cette prothèse active transtibiale est capable de proposer un comportement similaire à celui des membres non amputés.

L'actionneur de la prothèse est un moteur à courant continu alimenté par une batterie rechargeable de 16 Volts à travers un hacheur. La puissance mécanique est transmise par un réducteur de type poulie courroie qui entraîne en rotation l'écrou d'un mécanisme vis-écrou. Des ressorts permettent d'accumuler de l'énergie et d'ajuster la souplesse du pied artificiel.



Prototype de
Prothèse
transtibiale

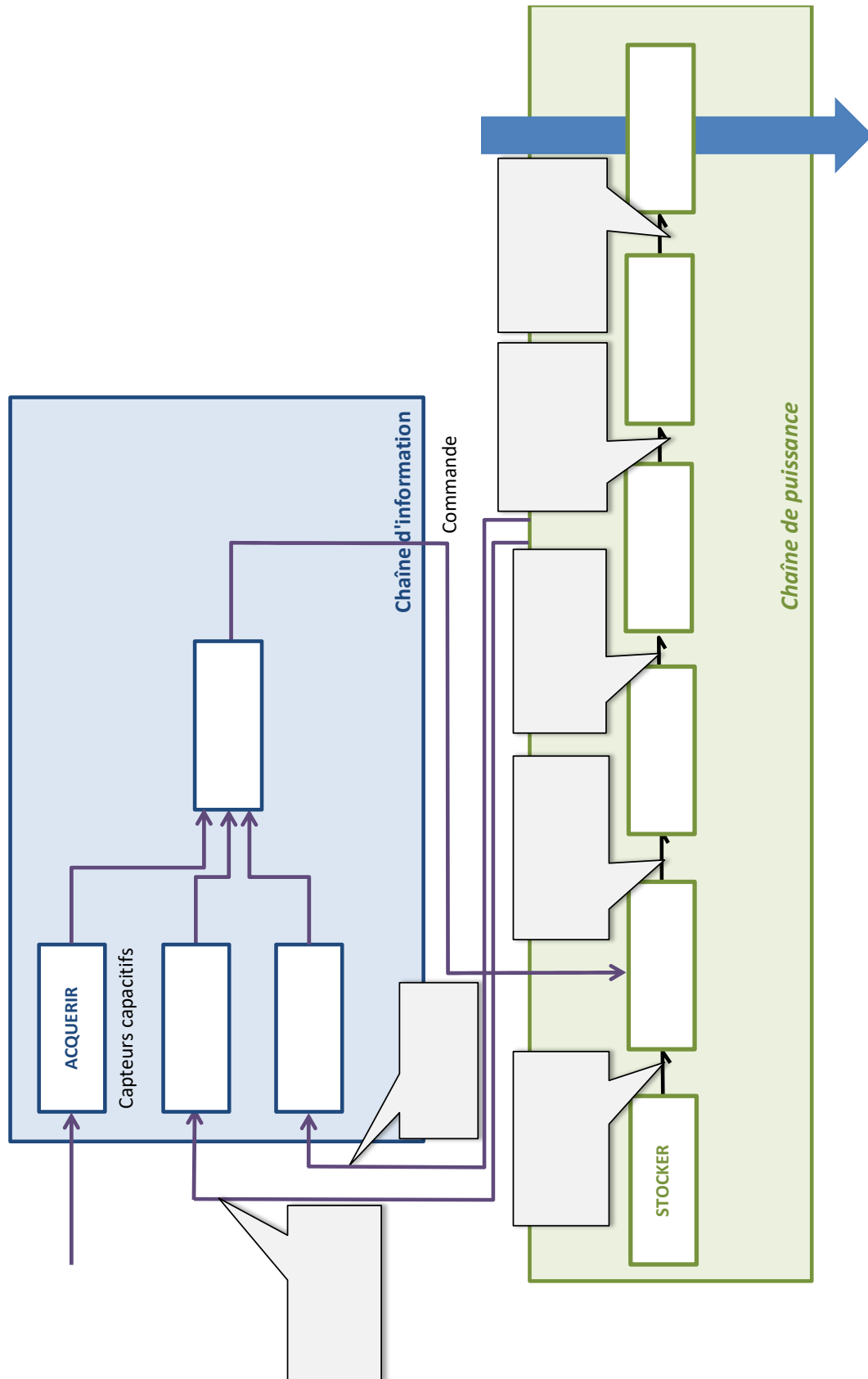


Capteurs capacitifs avant

Les informations délivrées par les capteurs sont traitées par un ordinateur qui élabore la commande du moteur.

Le système comprend un potentiomètre linéaire qui mesure l'écrasement des ressorts, un codeur incrémental placé au niveau de l'articulation pied/tibia, plusieurs capteurs capacitifs disposés sous la semelle du pied au niveau du talon (2 capteurs) et à l'avant du pied (4 capteurs) pour détecter le contact avec le sol.

- Q1 :** Lister les composants de la chaîne d'information et les composants de la chaîne de puissance (le ressort ne sera pas pris en compte).
- Q2 :** Déterminer la matière d'œuvre modifiée ainsi que l'effecteur.
- Q3 :** Identifier le composant transmettant une commande à la chaîne de puissance et le composant de la chaîne de puissance recevant cette commande. Identifier leur fonction.
- Q4 :** Compléter le diagramme chaînes de puissance et d'information ci-après.

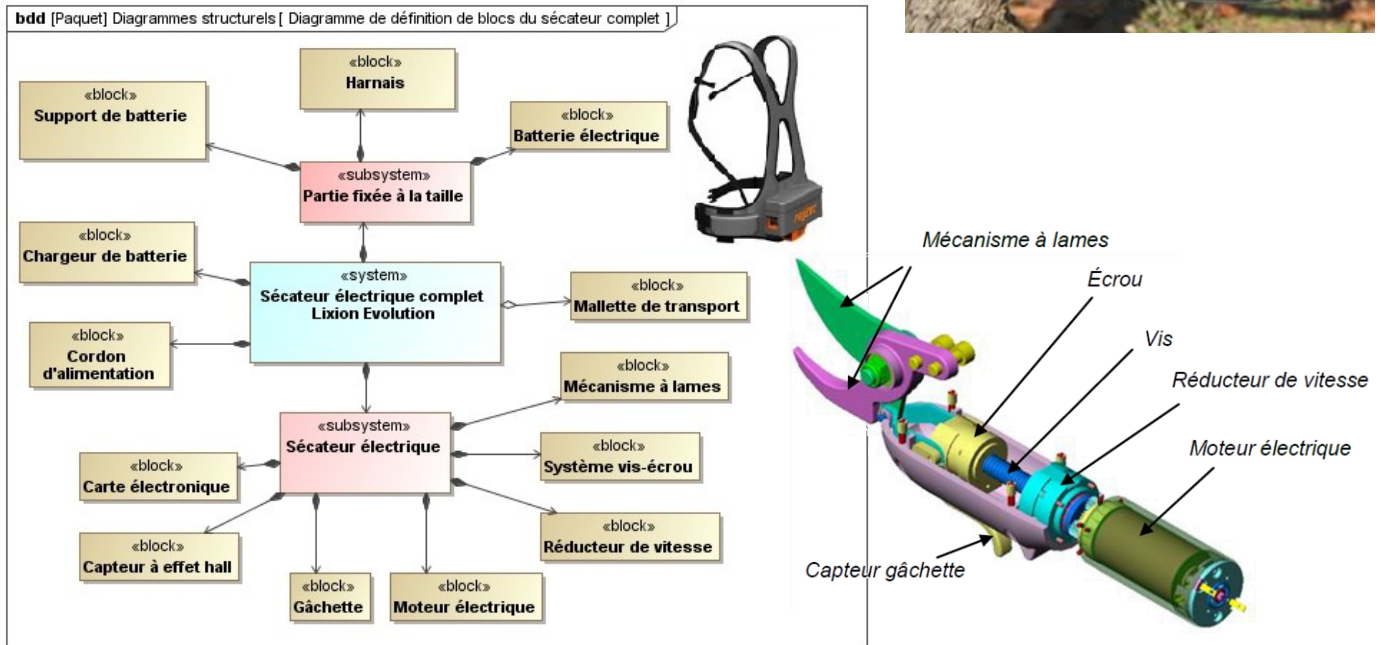


Exercice 1.2 : SECATEUR ELECTRIQUE PELLENC.

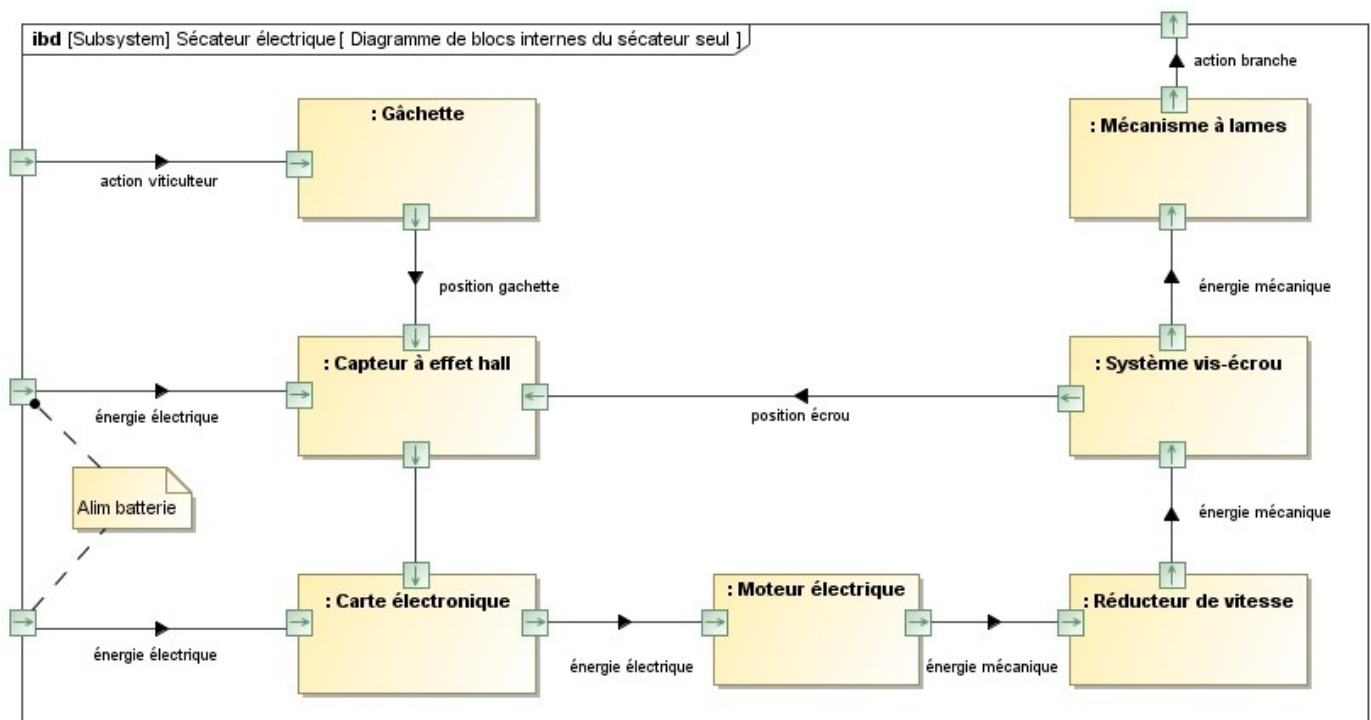
La période de la taille de la vigne dure environ 2 mois. Les viticulteurs coupent 8 à 10 heures par jour.

Pour réduire la fatigue de la main et du bras, la société PELLENC commercialise un sécateur. Ce système se compose d'une batterie (portée à l'aide d'un harnais par l'utilisateur) alimentant un sécateur par un câble.

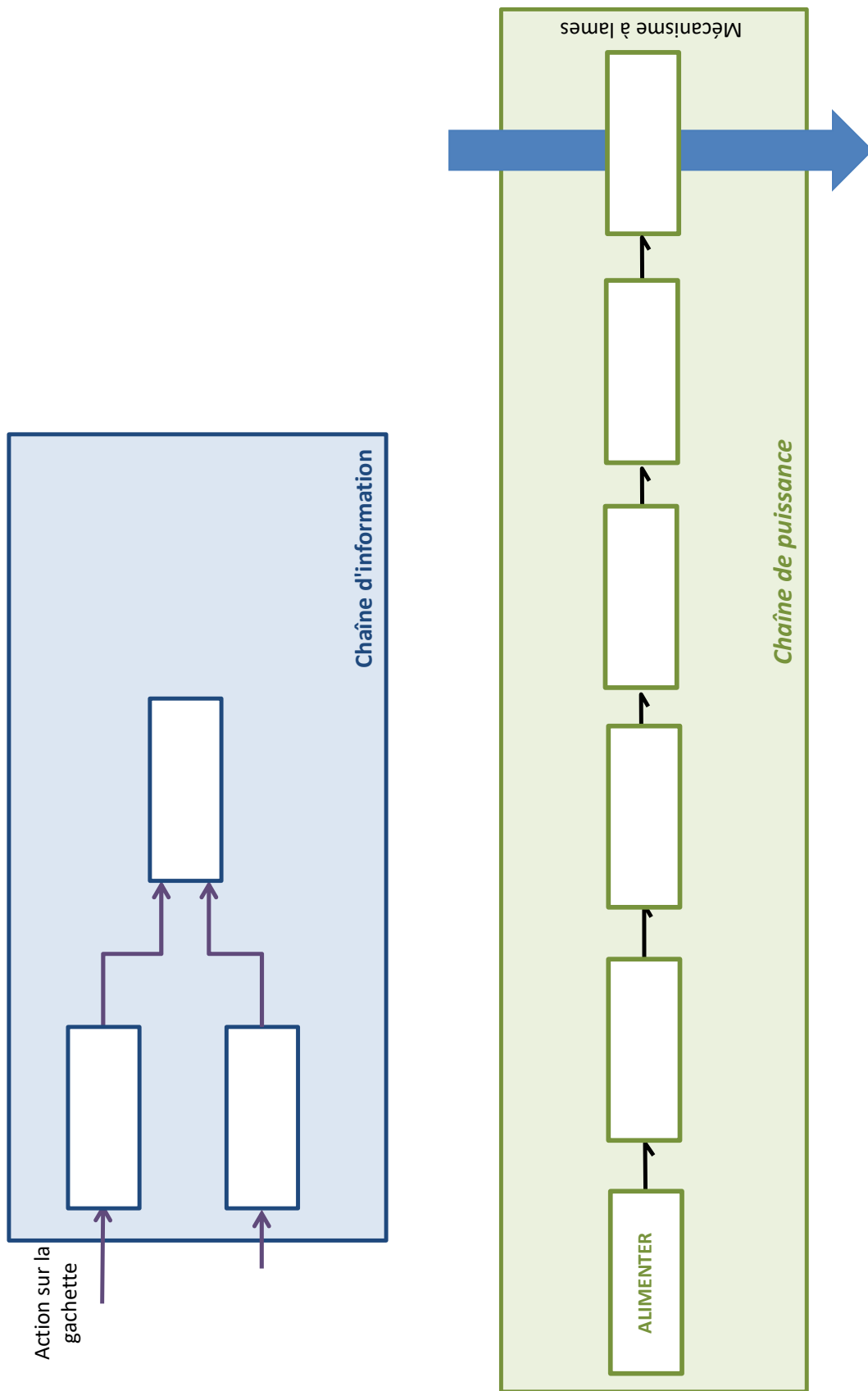
Diagramme de définition de blocs du système complet :



Le mécanisme à lames est composé d'une lame mobile (liée à l'écrou par l'intermédiaire d'une bielle) articulée par rapport à une contre lame fixe.



Q1 : Compléter les chaînes de puissance et d'information de l'activité « sectionner une branche ». Indiquer les grandeurs efforts et flux de chacune des puissances transmises.



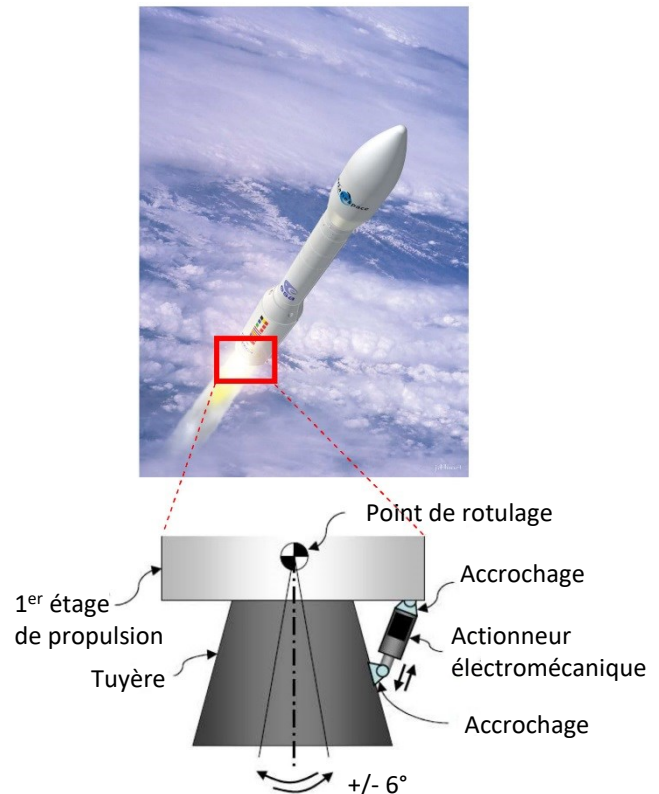
Exercice 1.3 : ACTIONNEUR ELECTROMECHANIQUE (EMA) DE LA TUYERE DE LA FUSEE VEGA

Le développement du lanceur européen VEGA a démarré en 1998 et s'est achevé en 2011. Ce projet répond à une demande de mise en orbite basse et polaire, à coûts réduits, de satellites scientifiques ou d'observation de la terre, dont la masse peut aller jusqu'à 2000 kg. On s'intéresse ici à l'Actionneur électromécanique (EMA) de la tuyère de cette fusée.

Lors du programme de développement, la minimisation des coûts s'est appuyée sur l'implémentation de technologies déjà disponibles et l'utilisation des installations des lanceurs Ariane. Cependant certaines parties ont fait l'objet d'innovation comme le système de contrôle vectoriel de poussée (« Thrust Vector Control ») du premier étage de propulsion P80.

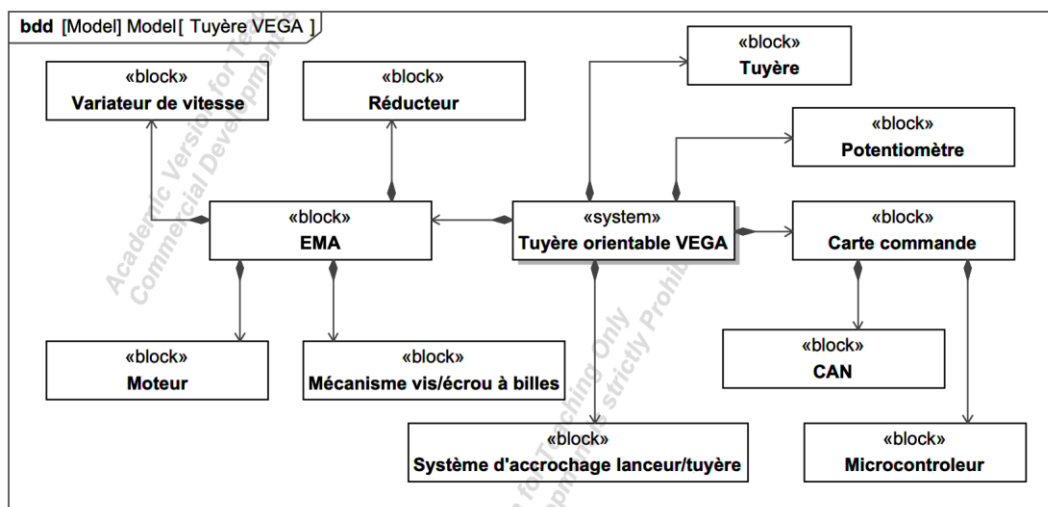
D'une longueur de dix mètres, le P80 est chargé de 88 tonnes de propergol solide. Ceci lui permet de disposer d'une poussée maximale de 3000 kN et d'un temps de combustion de 107 secondes. Afin de bien contrôler la trajectoire de la fusée il est indispensable d'orienter très rapidement et très précisément la tuyère du P80. Alors que sur Ariane 5 le pilotage vectoriel de la poussée est assuré par des dispositifs à source de puissance hydraulique, sur le P80 cette tâche est assurée par des dispositifs à source de puissance électrique (« Power By Wire »).

Le système d'orientation comprend un **mécanisme 3 barres** composé de la tuyère, du 1^{er} étage et de l'actionneur électromécanique. Ce mécanisme transforme la variation de longueur de l'actionneur en variation de la position angulaire de la tuyère.



La structure du système est définie par les diagrammes ci-après.

- Q1 :** Sur ce diagramme de bloc interne, colorier en rouge les flux correspondants à la puissance électrique de puissance (flux associés à la chaîne de puissance), en bleu les flux correspondants à la puissance mécanique et en vert les flux correspondant à des informations. Il peut rester des traits en noir.
- Q2 :** Compléter le diagramme des chaînes de puissance et d'information correspondant à l'activité d'orientation de la tuyère. Préciser le type de puissance transmise dans la chaîne de puissance.



TD 2 : STRUCTURE ET PERFORMANCES D'UN SYSTEME ASSERVI

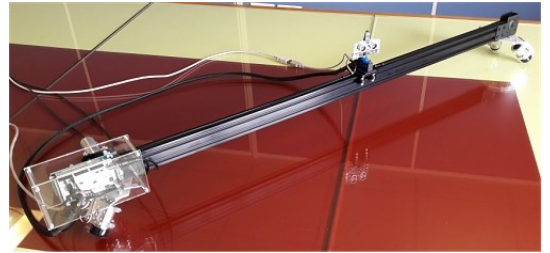
Exercice 2.1 : PONT-ROULANT

Le pont-roulant est une maquette permettant de contrôler la position d'un chariot sur un rail.

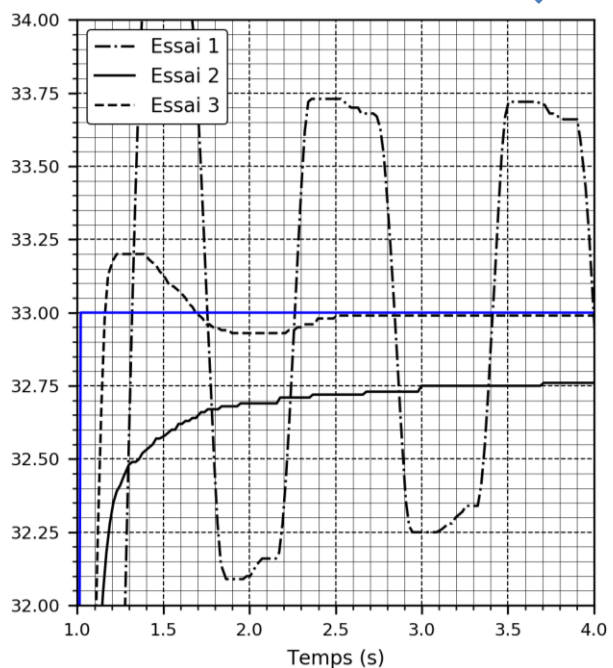
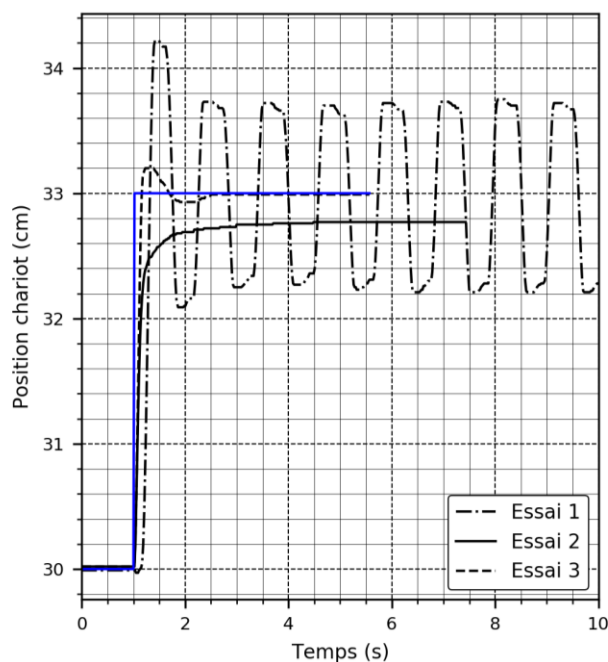
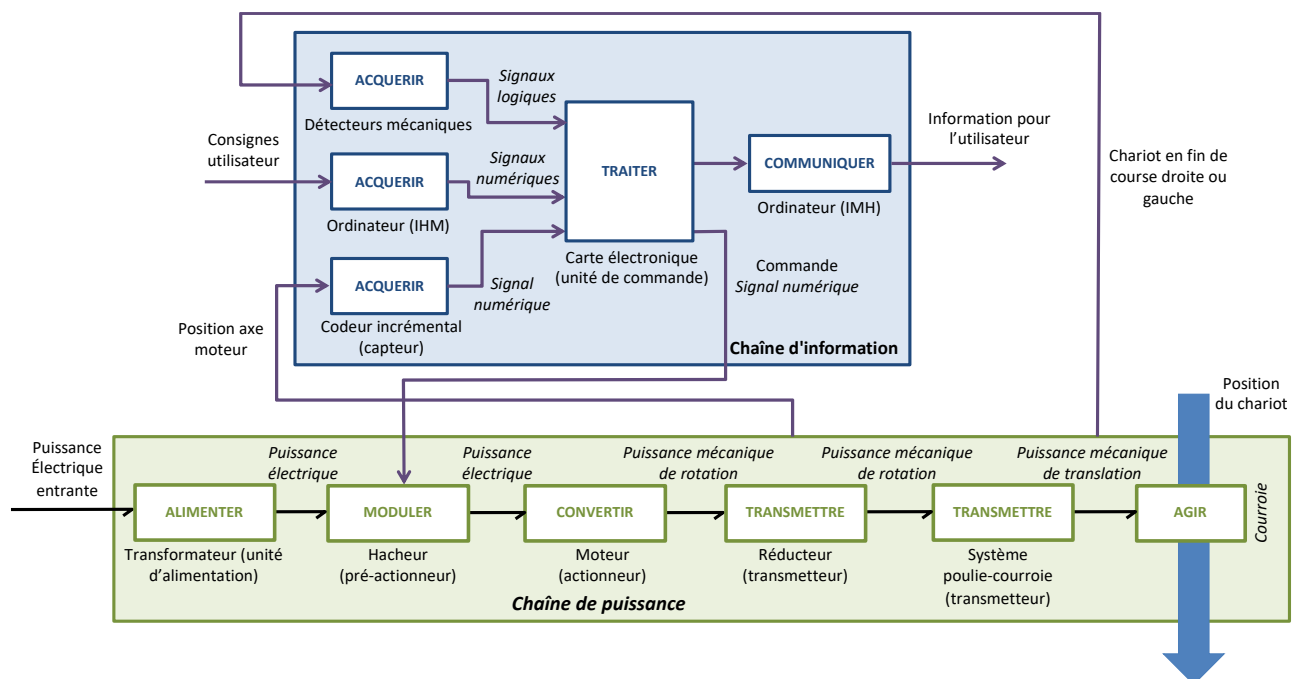
Le système comprend un asservissement de position.

On note $x_c(t)$ (cm) la consigne de position et $x(t)$ (cm) la position effective du chariot. On note aussi :

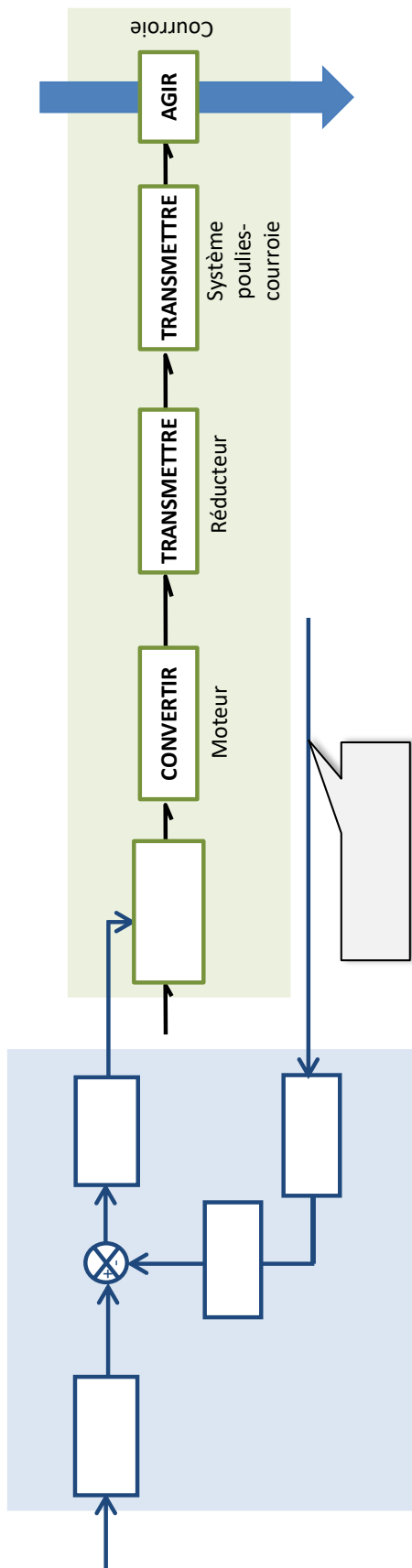
- $n_{mes}(t)$ (inc), le nombre d'incrément mesuré par le codeur incrémental ;
- $\varepsilon(t)$ l'image de l'erreur ;
- $u_c(t)$ la commande en tension.



La description sous forme de chaînes de puissance et d'information est donnée ci-dessous ainsi que les résultats d'essais.



Q1 : Compléter le schéma de la structure fonctionnelle de l'asservissement. Positionner sur le schéma les variables temporelles définies. Indiquer les fonctions réalisées par l'unité de commande.



Trois essais sont réalisés avec des réglages du correcteur différents pour évaluer les **performances en poursuite**.

La consigne est un échelon d'amplitude 3 cm débutant à l'instant $t_0 = 1$ s.

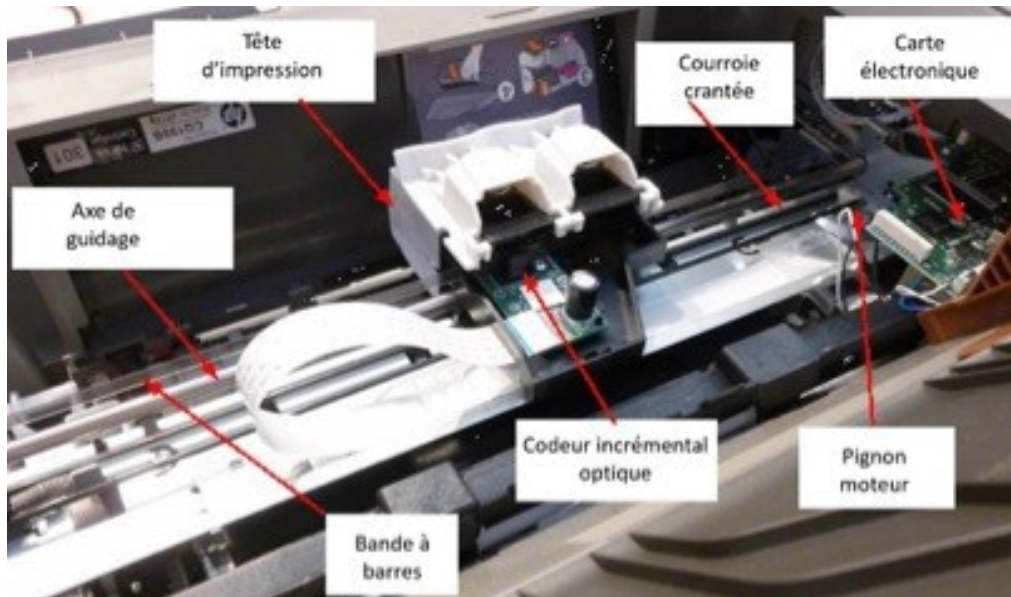
Q2 : Évaluer les performances de stabilité, rapidité et précision de l'essai 1.

Q3 : Évaluer les performances de stabilité, rapidité et précision de l'essai 2.

Q4 : Évaluer les performances de stabilité, rapidité et précision de l'essai 3.

Exercice 2.2 : IMPRIMANTE

L'étude porte sur le positionnement de la tête d'impression d'une imprimante.



La matière d'œuvre contrôlée par le système est la position $x(t)$ de la tête.

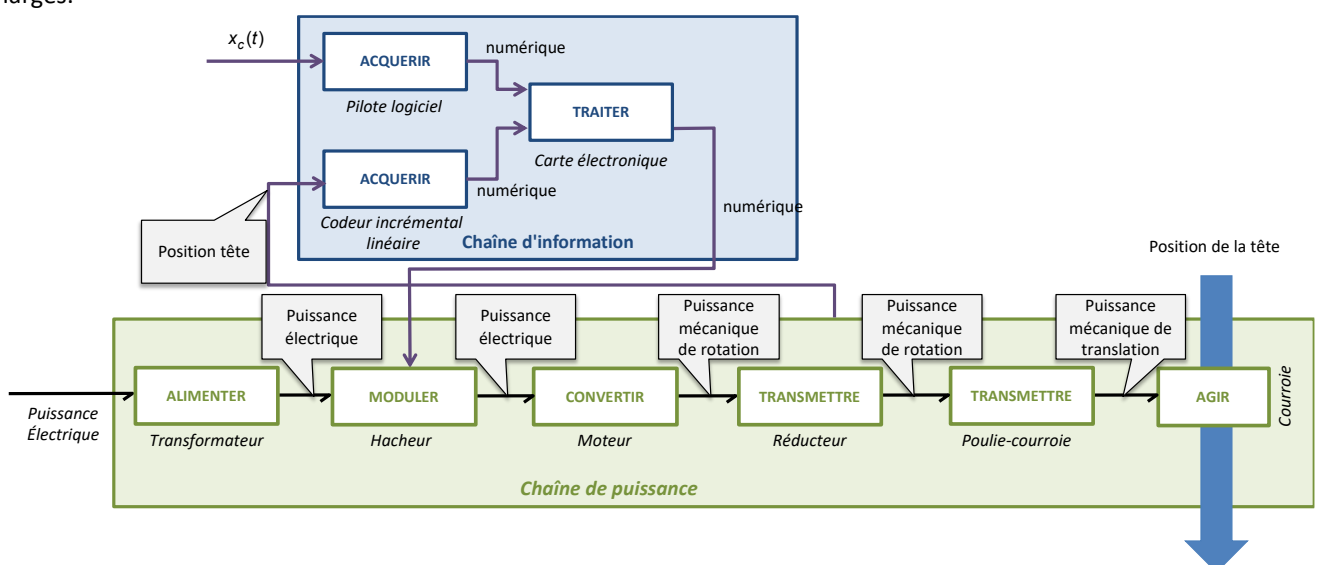
La chaîne de puissance est constituée d'un **transformateur** (230 V alternatif vers 12 V continu), d'un **hacheur**, d'un **moteur électrique**, d'un **réducteur** et d'un mécanisme **poulie-courroie** crantée qui permet de mettre en mouvement la tête d'impression.

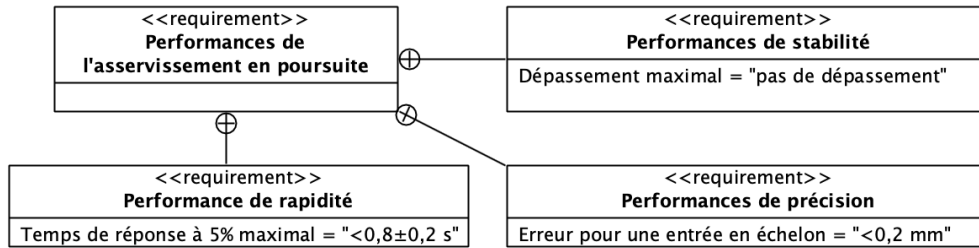
La **consigne** de position est notée $x_c(t)$. Le logiciel de pilotage traduit cette consigne en un entier noté $n_c(t)$, **image** de la position de consigne.

Un **capteur incrémental linéaire** constitué d'une bande à barres et d'un lecteur optique, mesure la position de la tête d'impression. Il retourne un entier correspondant à un nombre d'incrément, image de la position, noté $n_{mes}(t)$.

La **carte électronique** définit l'image de l'erreur $\varepsilon(t) = n_c(t) - n_{mes}(t)$ pour élaborer le signal de commande $n_v(t)$ du hacheur. La commande est un nombre entier.

La description en chaînes d'information et de puissance est donnée ci-dessous ainsi que des éléments du cahier des charges.





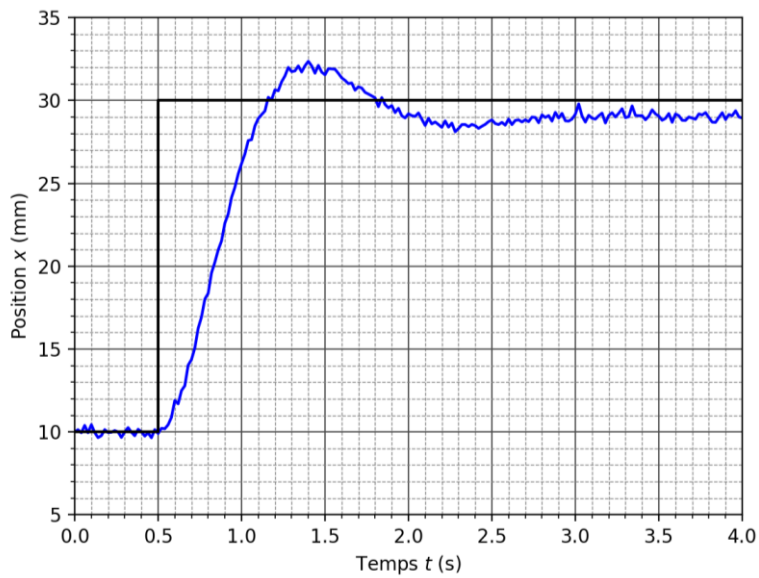
- Q1 :** Le système est-il un système asservi ? Si oui, quelle grandeur est asservie ? Quels phénomènes physiques peuvent perturber le fonctionnement du système ?
- Q2 :** Compléter le schéma de la structure fonctionnelle de l'asservissement. Entourer les fonctions réalisées par l'unité de commande.
- Q3 :** Quel composant des chaînes de puissance et d'information n'est pas pris en compte dans la structure de l'asservissement ? À quelle hypothèse cela correspond-t-il ?

Les performances du système sont évaluées de la manière suivante :

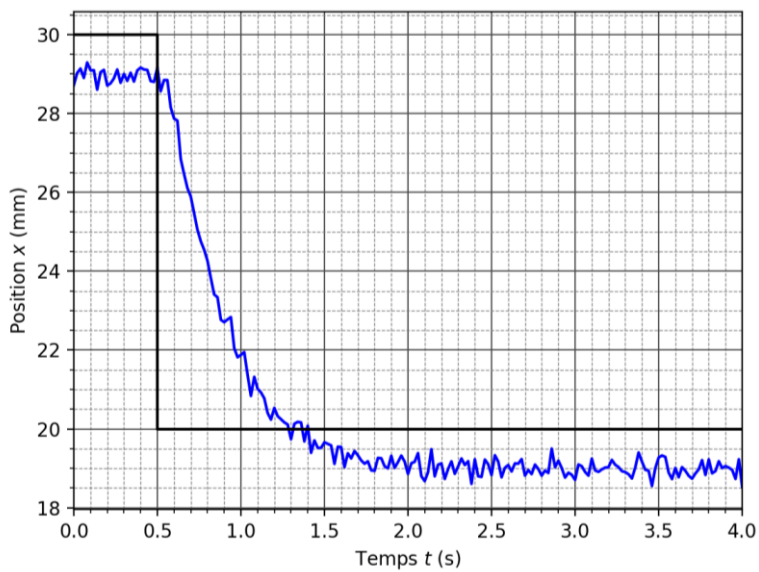
- test 1 (réglage 1 du correcteur) : système au repos en position $x=10$ mm, sans erreur. Un échelon de 20 mm est imposé ;
- test 2 (réglage 2 du correcteur) : à partir de l'état final du premier test, les réglages du correcteur sont modifiés et un échelon de -10 mm est imposé.

Les résultats seront exprimés en mm.

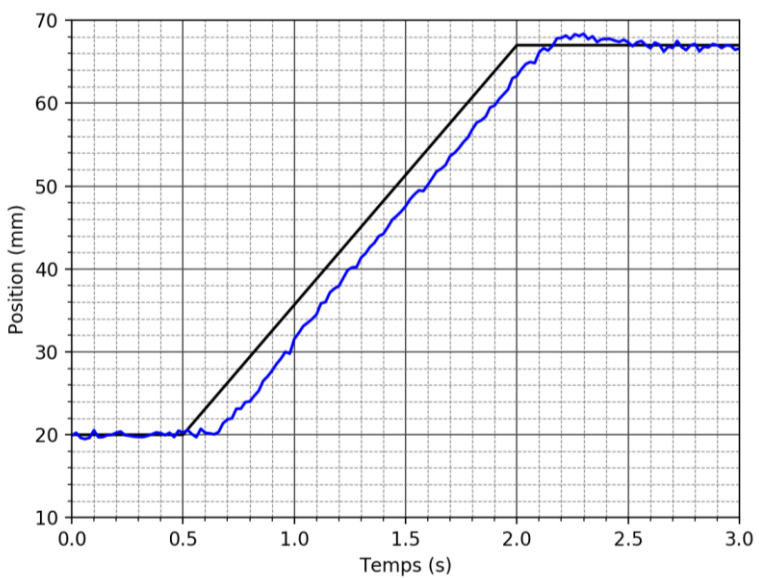
- Q4 :** Déterminer les performances de stabilité (valeur finale et premier dépassement), rapidité et précision du test 1.
- Q5 :** Déterminer les performances de stabilité, rapidité et précision du test 2.
- Q6 :** Conclure par rapport aux exigences.
- Q7 :** Le résultat d'un 3^{ème} test est présenté ci-dessous. Quelle performance permet-il d'évaluer ? Déterminer sa valeur.



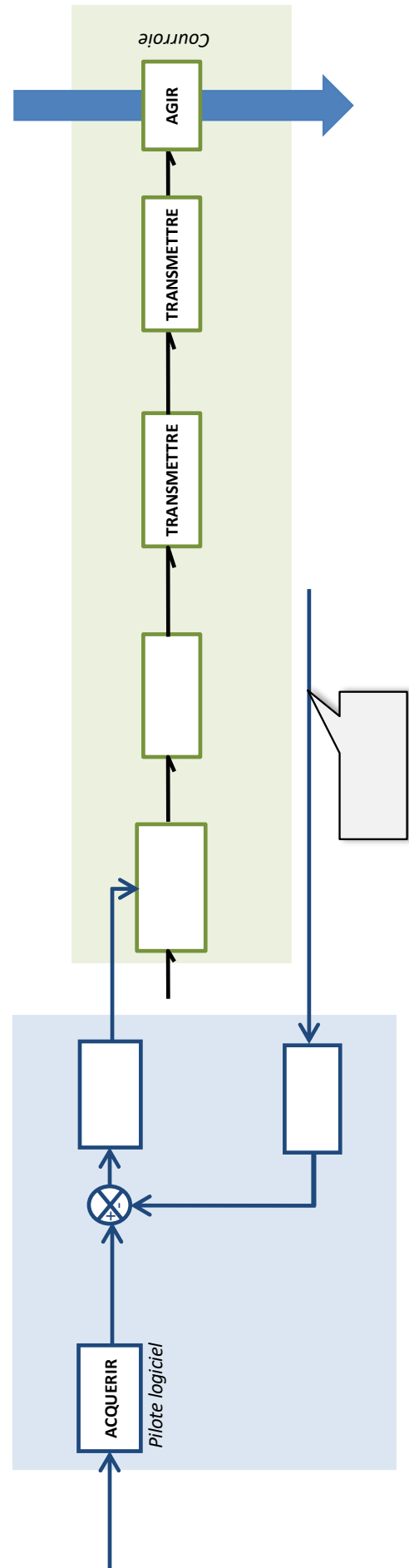
Résultat test 1



Résultat test 2



Résultat test 3



Exercice 2.3 : SYSTEME RAMSES

Présentation du système RAMSES

Après avoir été confrontée à des orages violents ayant entraînés des inondations exceptionnelles au début des années 80, la ville de Bordeaux a décidé de faire de son programme de lutte contre les inondations une priorité.

Presque trente ans plus tard et après plus d'un milliard d'euros de travaux réalisés, le système RAMSES est l'un des systèmes anti-inondations les plus performants au monde.



Observation en temps réel du comportement d'un bassin de stockage depuis la « tour de contrôle »

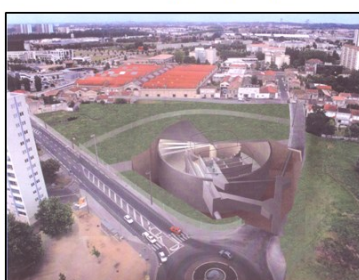
Le système RAMSES :	
Plus de 2052 km de canalisations de diamètre 300 mm à 4 500 mm	49 pluviographes
82 bassins d'étalement et de stockage offrant une capacité totale de 2 544 850 m ³	300 limnimètres (équipement permettant l'enregistrement et la transmission de la mesure de la hauteur d'eau, en un point donné, dans un cours d'eau, un barrage, un réservoir...)
61 stations de pompage d'un débit total de 133,4 m ³ /s	31 débitmètres
Un réseau d'échange d'informations et un télé-contrôle centralisé	6 marégraphes



Canalisation ($\varnothing = 4,5 \text{ m}$)



Station de pompage

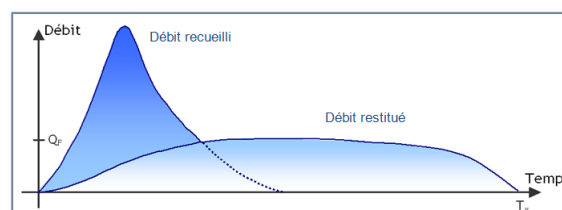


Bassin de stockage enterré



Bassin d'étalement extérieur

Grâce à un réseau de tranchées drainantes, l'eau est stockée localement dans différents bassins puis restituée progressivement à faible débit dans le réseau aval (Garonne ou usine de traitement) au moyen d'un ouvrage hydraulique de régulation.





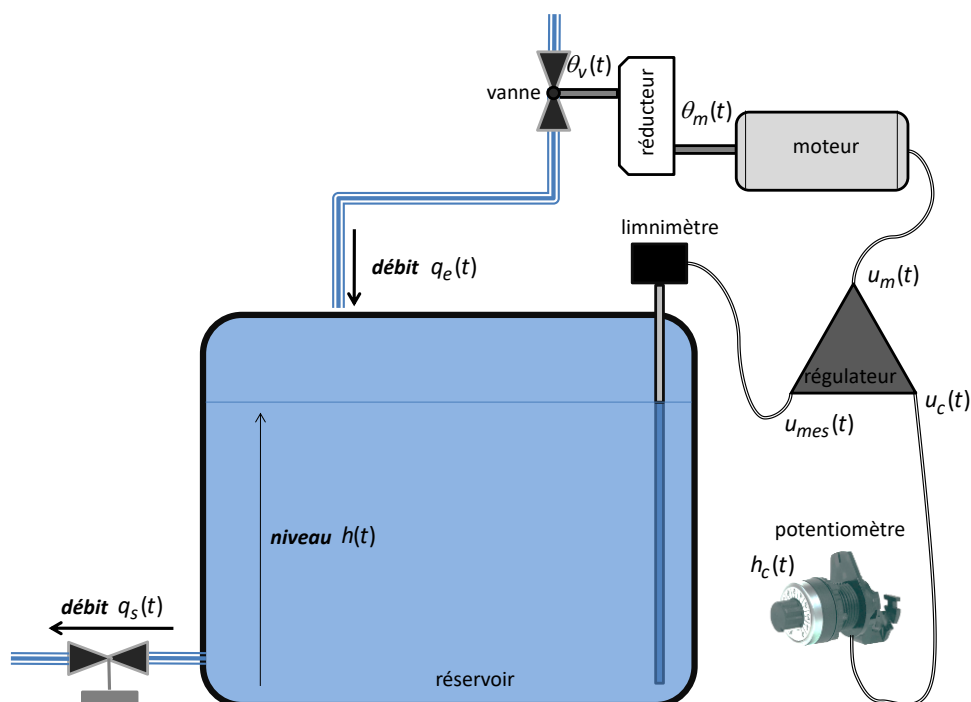
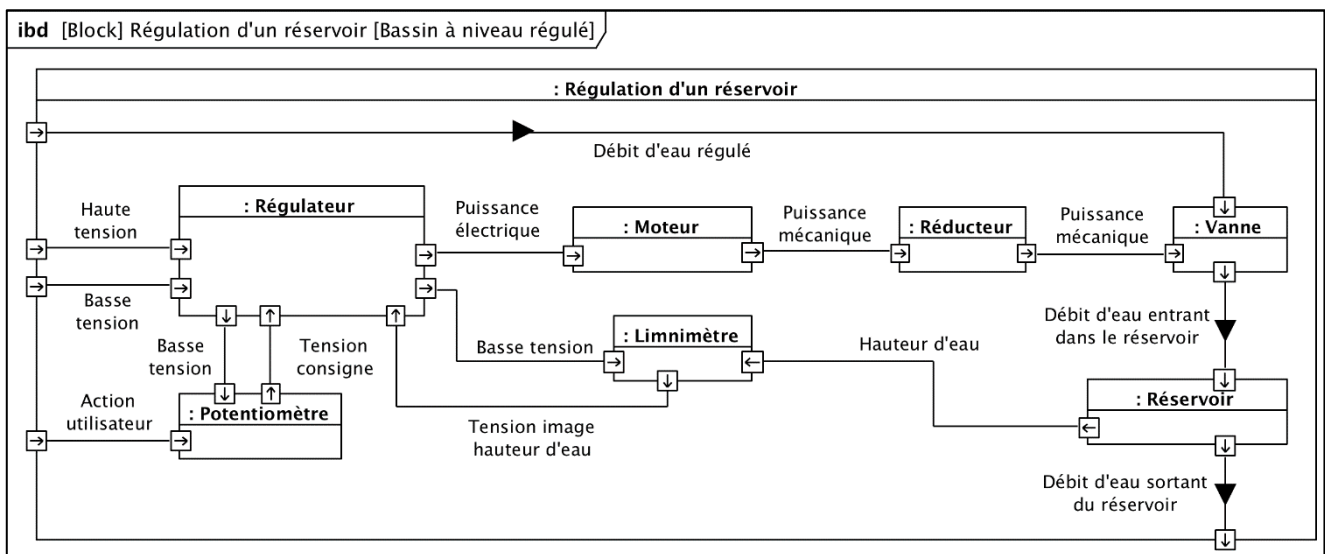
Tranchée drainante par temps sec et par temps de fortes pluies.

Présentation du système de régulation du niveau d'eau d'un bassin

Nous étudions le système d'asservissement du niveau d'eau d'un bassin enterré d'une contenance de 10 000 m³. L'IBD ci-dessous décrit les flux entre les composants principaux. Haute tension et Basse tension correspondent à des puissances électriques.

Le schéma de principe définit les principales variables de l'asservissement.

La commande du pré-actionneur, interne du régulateur, est une tension notée $u_r(t)$.



Structure fonctionnelle de l'asservissement

- Q1 :** Quelle est la grandeur asservie ? Quelle est la grandeur associée à la consigne ? Celle associée à une perturbation ?
- Q2 :** Compléter le schéma de la structure fonctionnelle de l'asservissement. Reporter les grandeurs de la chaîne d'information. Entourer les fonctions réalisées par l'unité de commande.

Observation des performances

Les relevés du niveau d'eau dans le bassin, réalisés lors d'essais, sont tracés ci-après.

L'état initial des essais est le suivant : hauteur d'eau stabilisée à 10 m ; débit de sortie $q_s(t)$ non nul, mais constant.

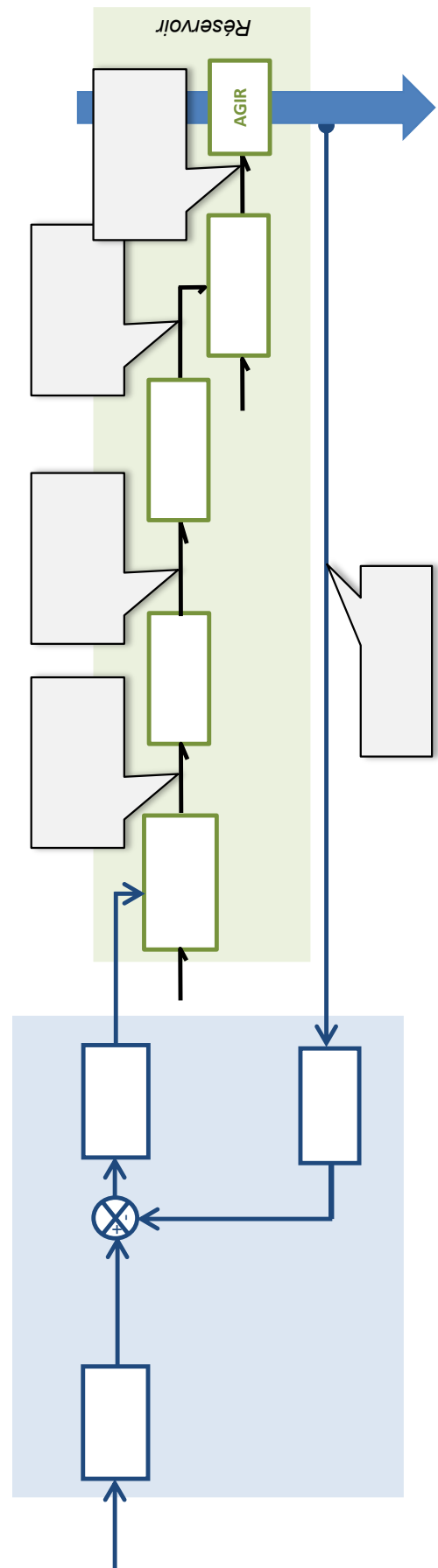
La consigne est un échelon (essais 1) ou une rampe (essais 2), appliquée à partir de l'instant $t_0 = 60$ mn.

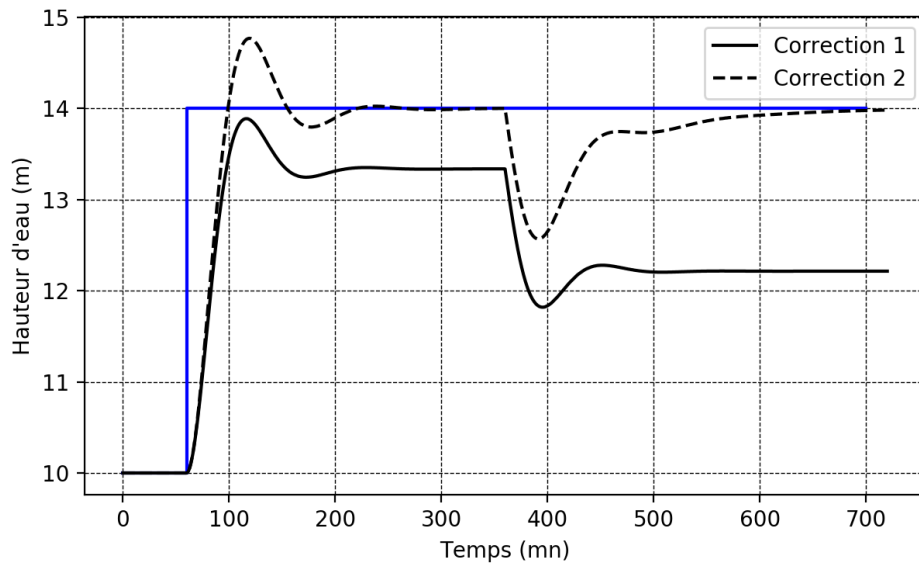
À l'instant $t_1 = 360$ mn et pour les deux essais, un échelon de perturbation est réalisé en augmentant brusquement le débit de sortie.

Deux correcteurs sont utilisés :

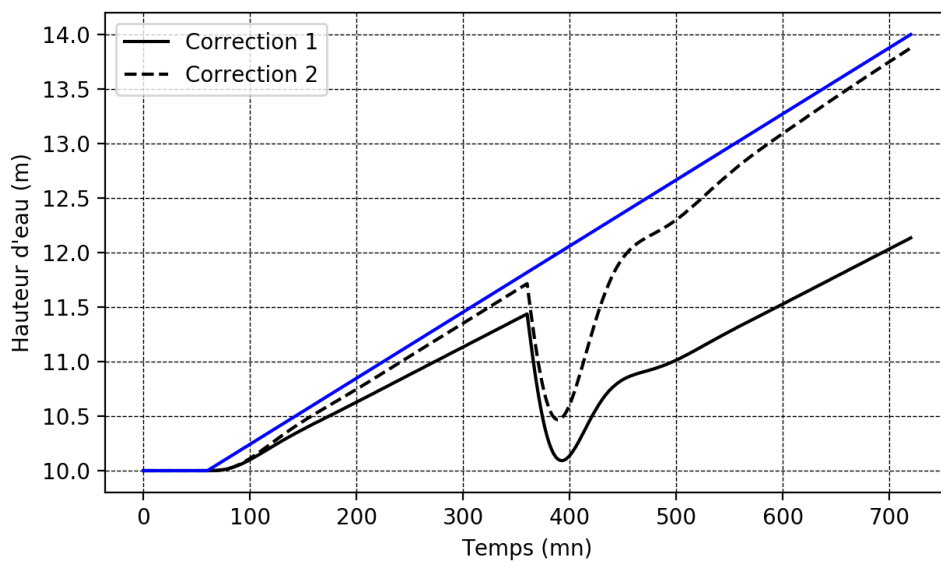
- correcteur 1 : commande proportionnelle à l'erreur ;
- correcteur 2 : commande calculée par combinaison linéaire de l'erreur et de l'intégrale de l'erreur.

- Q3 :** Pour l'essai 1 et pour les deux correcteurs, estimer approximativement et par lecture directe, les performances en **poursuite** suivantes : stabilité relative ($D_{1\%}$), rapidité et erreur statique relative.
- Q4 :** Pour l'essai 1 et pour les deux correcteurs, estimer approximativement et par lecture directe, lorsque cela est possible, les performances en **régulation** suivantes : sensibilité et erreur pour une perturbation en échelon.
- Q5 :** Pour l'essai 2 et pour les deux correcteurs, estimer, si possible, l'erreur de trainage. Retrouver l'effet de la sensibilité, ou de l'insensibilité, aux perturbations.





Essais 1 : échelon de consigne puis échelon de perturbation



Essais 2 : rampe de consigne et échelon de perturbation

Exercice 2.4 : FOUR ELECTRIQUE

Pour une tension d'alimentation de la résistance du four de 50 V, la température est stabilisée à 100°C.

La tension d'alimentation passe à 75 V à l'instant $t=100$ s. Le relevé de la température est donné figure ci-contre.

- Q1 :** Évaluer la performance de stabilité de ce système.
- Q2 :** Évaluer la performance de rapidité de ce système.
- Q3 :** Évaluer la performance de précision de ce système.

