

Carnet d'ingénierie

.....



Nom de l'élève:

Groupe:

Table des matières

Séance 1 : Définir le problème à résoudre	3
Terminologie liée à la conception de produits.....	3
Terminologie liée au commerce.....	3
Transformations géométriques.....	4
Séance 2 : Préciser le problème	5
Terminologie liée au développement de produits	5
Exemple d'arbre fonctionnel.....	9
Séance 3 : Choisir les mécanismes	11
Terminologie liée aux mécanismes et aux moteurs.....	11
Interprétation des rapports	17
Symboles pour représenter les mécanismes et les pièces qui les composent.....	17
Séance 4 : Dimensionner les mécanismes retenus	19
Calculs pour le dimensionnement du mécanisme pignon-crémaillère	19
Calcul de la vitesse de translation d'une crémaillère menée	20
Calculs pour le dimensionnement du mécanisme engrenage-vis sans fin	21
Séance 5 : Valider le robot	25
Terminologie liée aux essais de validation	25



Séance 1 : Définir le problème à résoudre

Terminologie liée à la conception de produits

Client/cliente : Personne ou organisation qui fait l'acquisition d'un service ou d'un produit. *Prenons l'exemple d'un parent qui achète un vélo pour son enfant. Le parent est un client.*

Utilisateur/utilisatrice : Personne qui utilise le service ou le produit. *Si l'on reprend l'exemple de l'achat d'un vélo, la principale personne qui roulera à vélo est l'enfant. L'enfant est donc un utilisateur. Le parent pourrait aussi être un utilisateur, par exemple s'il doit parfois réparer ou ranger le vélo.*

Besoin : Nécessité pour un client ou une cliente ou désir de celui-ci ou celle-ci. *Pour un vélo, des exemples de besoins sont :*

- être en mesure de régler la hauteur du siège;
- avoir une selle confortable;
- être résistant;
- être léger.

Il est à noter que les besoins peuvent différer en fonction du contexte d'utilisation qu'on fait d'un produit. Par exemple, un enfant de 5 ans, un cycliste olympique et un coursier à vélo n'auront pas les mêmes besoins pour leurs vélos.

Terminologie liée au commerce

Appel d'offres : Lorsqu'une organisation (p. ex., organisation A) veut se procurer un service ou un produit, elle peut lancer un appel d'offres. Dans ce cas, des entreprises (p. ex., entreprises B et C) pourront offrir leurs services ou leurs produits à un certain prix. En comparant les offres reçues des entreprises B et C, l'organisation A choisira l'une ou l'autre en fonction du prix et de la qualité de leurs services ou de leurs produits. En d'autres mots, c'est comme si l'organisation A lançait un concours et que les entreprises B et C y participaient.

Soumission : Une soumission est un document écrit avec lequel une entreprise (p. ex., entreprises B et C) fait une offre de services ou de produits (p. ex., à l'organisation A) et fixe un prix pour ses services ou ses produits.

Transformations géométriques

La translation : L'objet se déplace en suivant une seule ligne (droite ou courbe). L'objet en position finale (en noir) est parallèle à l'objet en position initiale (en gris pâle).

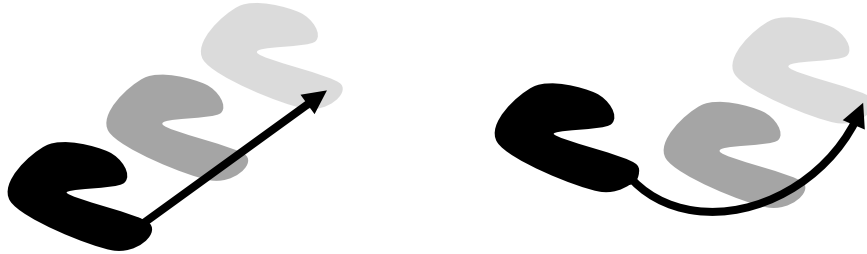


Figure 1 : Exemple de translation

La rotation : L'objet tourne autour d'un point. L'objet en position finale (en noir) n'est pas parallèle à l'objet en position initiale (en gris pâle), à moins d'avoir effectué une rotation complète de 360 degrés. Dans ce cas, l'objet revient à sa position initiale.

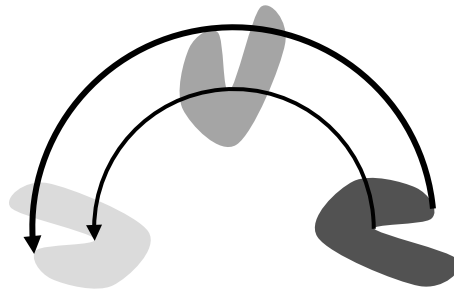


Figure 2 : Exemple de rotation

Séance 2 : Préciser le problème

Terminologie liée au développement de produits

Sous-système : Un système peut parfois se décomposer en sous-systèmes chacun composé de plusieurs pièces ou composantes. Chaque sous-système joue son rôle au sein du système entier.

Ex : Dans une voiture, il y a un sous-système de propulsion, un sous-système de freinage, un sous-système de direction, un sous-système d'habitacle, etc. Dans le robot effectuant des prises de sang, il y a un sous-système de positionnement de l'aiguille, un sous-système de réception du bras du patient ou de la patiente, etc.

Fonction : En ingénierie, on utilise les fonctions pour désigner ce que doit faire le produit à concevoir et ce que doivent être ses caractéristiques. Ici, nous utiliserons deux types de fonctions :

- **Fonction d'usage** : Une fonction d'usage exprime ce que fait le produit.
Ex. : Repérer la veine; positionner le bras.
- **Fonction d'estime** : Une fonction d'estime exprime des attributs ou des qualités du produit.
Ex. : Être construit solidement; être facilement nettoyable.

Arbre fonctionnel : L'arbre fonctionnel consiste en l'organisation des fonctions d'usage en différentes catégories ou différents sous-systèmes de façon hiérarchique.

- Le 1^{er} niveau correspond à la fonction (action) principale du produit.
- Souvent, le 2^e niveau correspond aux fonctions (actions) globales des sous-systèmes du produit.
- Le 3^e niveau précise les fonctions (actions) des sous-systèmes.
- Un arbre fonctionnel peut avoir deux ou trois niveaux (arbre de 2^e ou 3^e ordres), pas plus.
- Les fonctions d'estime sont regroupées dans un tableau sous l'arbre fonctionnel.

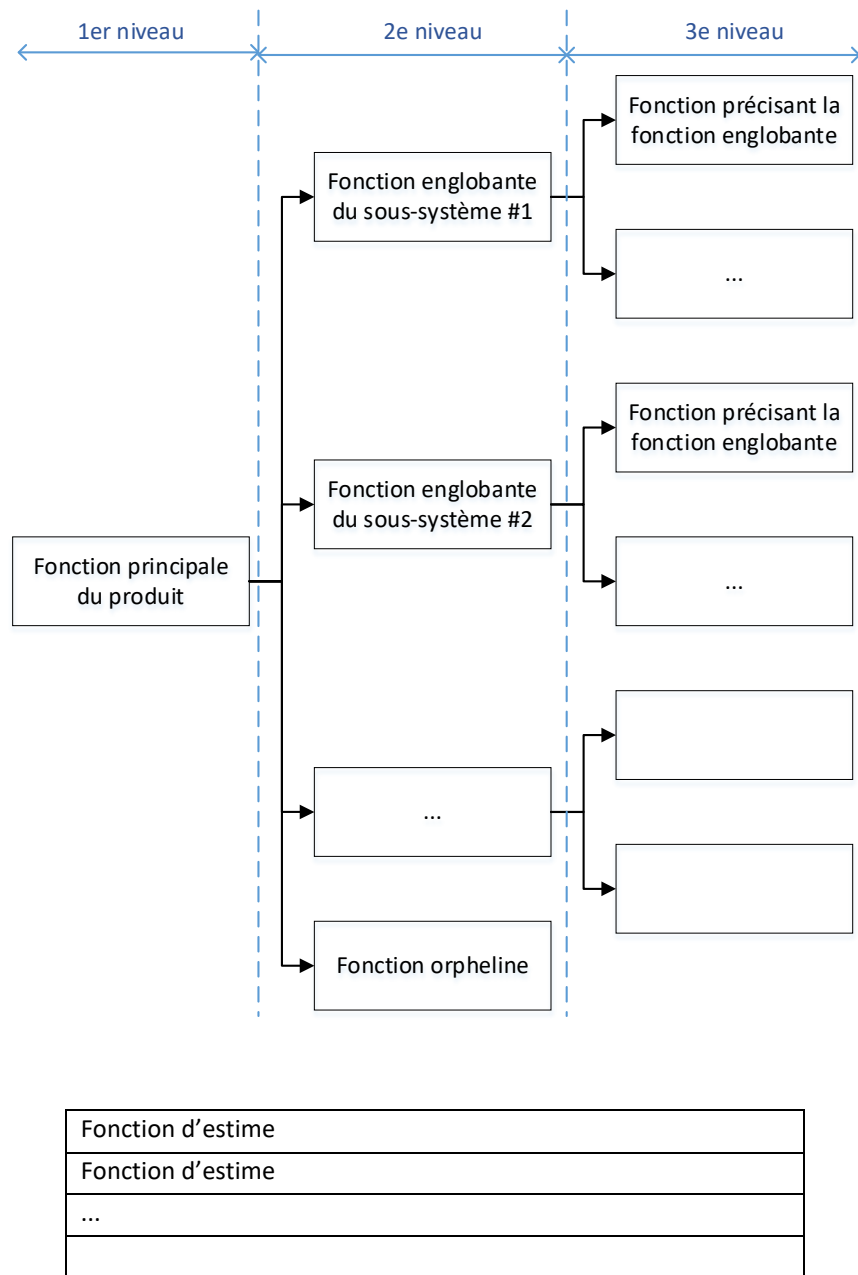


Figure 3 : Arbre fonctionnel à trois niveaux accompagné du tableau des fonctions d'estime

Cahier des charges fonctionnel : En ingénierie, lorsqu'on réalise un projet de conception, on rédige un cahier des charges fonctionnel. Il s'agit d'un document qui sert à s'assurer que les besoins du client ou de la cliente et des utilisateurs et utilisatrices seront respectés.

Tableau des spécifications : Ce tableau est un élément central du cahier des charges fonctionnel. On l'utilise pour préciser les fonctions à l'aide de critères numériques.

Tableau 1 : Exemple de tableau des spécifications

Fonction	Spécification	Valeur cible	Flexibilité
Aspirer le sang	Quantité de sang à prélever	15 ml	± 2 ml
	Vitesse d'aspiration du sang	0,5 ml/s	$\pm 0,1$ ml
Entreposer des aiguilles et des tubes de prélèvement utilisés	Nombre d'aiguilles souillées à entreposer	50	Minimum
Être abordable	Coût de fabrication	10 000 \$	Maximum
...			

Par exemple, on veut concevoir et valider un robot capable d'exécuter la fonction « aspirer le sang ». Pour ce faire, on a besoin d'informations plus précises. On doit déterminer certains critères de conception et de validation nommés **spécifications** comme :

- La quantité de sang à prélever, ou
- La vitesse d'aspiration du sang.

À chacun des critères (ou à chacune de ces spécifications), on peut associer une **valeur cible** comme une quantité en millilitres ou un débit en millilitres par seconde. Il s'agit de la valeur que l'on vise, que le robot doit être en mesure de réaliser.

Toutefois, il est souvent impossible d'atteindre une valeur cible de façon exacte, par exemple d'atteindre un coût de fabrication d'exactly 10 000 \$. Pour cette raison, on ajoute la **flexibilité** qui précise la plage ou l'intervalle de valeurs acceptables. La flexibilité peut prendre les formes suivantes :

- **Maximum** : Ceci indique que la valeur cible est le maximum possible. Toute valeur réelle égale ou inférieure à la valeur cible est donc acceptable.
- **Minimum** : Ceci indique que la valeur cible est le minimum possible. Toute valeur égale ou supérieure à la valeur cible est donc acceptable.
- **± variation** : Ceci indique que la valeur réelle doit se situer dans l'intervalle suivant : $[Valeur\ cible - Variation; Valeur\ cible + Variation]$.

Ex. #1 : Pour le coût de fabrication, la valeur cible est de 10 000 \$ et la flexibilité est fixée à un maximum. Ceci signifie qu'un coût réel de fabrication du robot doit être égal ou inférieur à 10 000 \$ pour être acceptable (par exemple 9 325 \$), mais qu'un coût supérieur à 10 000 \$ serait inacceptable (par exemple 10 001 \$).

Ex. #2 : Pour la quantité d'aiguilles souillées à entreposer, la valeur cible est de 50 aiguilles et la flexibilité est fixée à un minimum. Ceci signifie qu'une quantité réelle d'aiguilles doit être égale ou supérieure à 50 aiguilles pour être acceptable. Une quantité inférieure à 50 aiguilles serait inacceptable.

Ex. #3 : Pour la quantité de sang à prélever, la valeur cible est de 15 ml et la flexibilité est de ± 2 ml. Ceci signifie que la quantité de sang réellement aspiré doit se situer dans l'intervalle $[15\ ml - 2\ ml; 15\ ml + 2\ ml] = [13\ ml; 17\ ml]$. Donc, toute quantité de sang inférieure à 13 ml ou supérieure à 17 ml serait inacceptable.

Exemple d'arbre fonctionnel

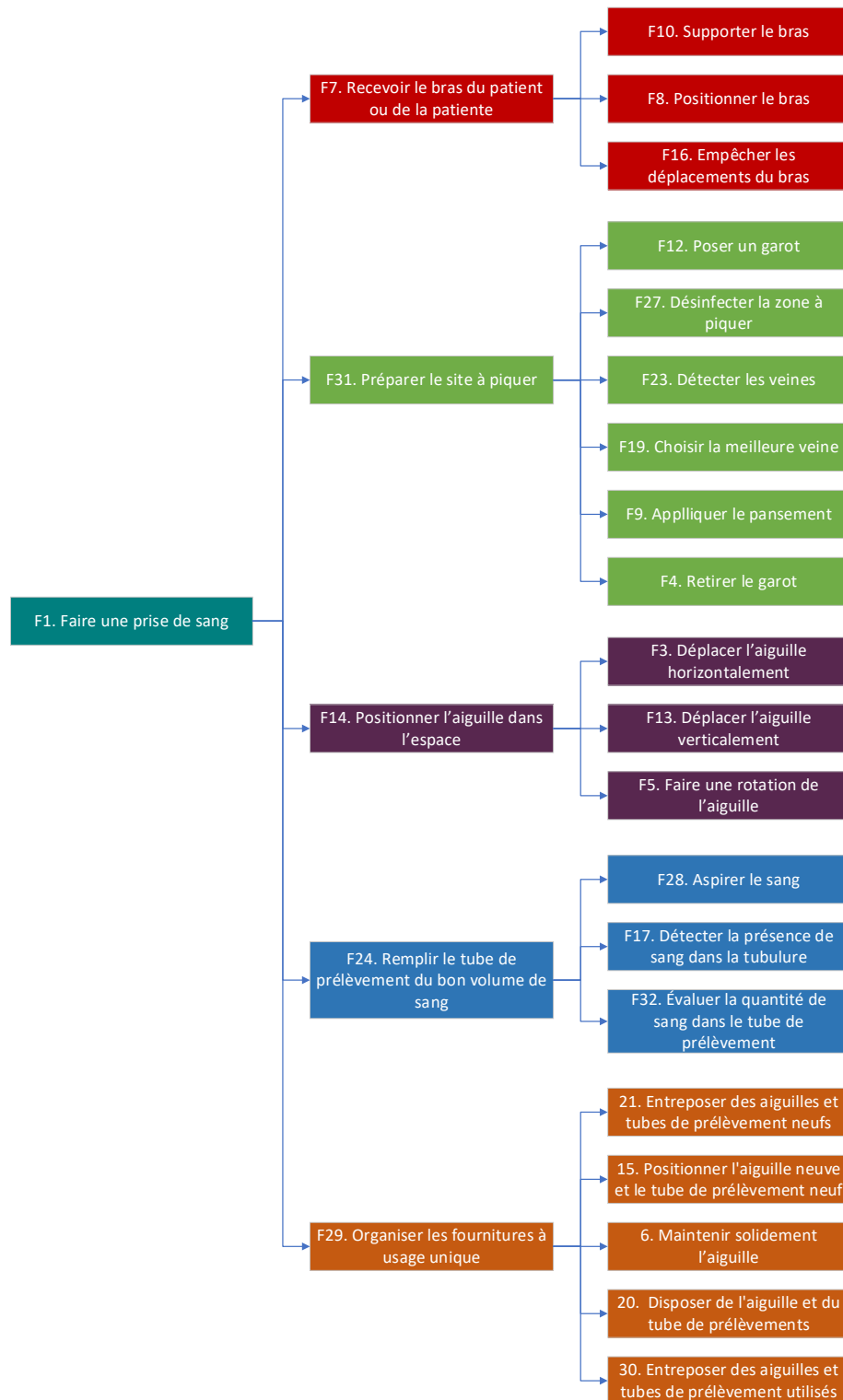


Figure 4 : Arbre fonctionnel pour le robot

Tableau 2 : Tableau des fonctions d'estime accompagnant l'arbre fonctionnel du robot

Fonctions d'estime
F22. Être facile à nettoyer
F2. Être simple d'utilisation
F18. Être abordable
F25. Être esthétique
F26. Être compact
F11. Être rassurant

Séance 3 : Choisir les mécanismes

Terminologie liée aux mécanismes et aux moteurs

Moteur : Un moteur est un appareil qui convertit une forme d'énergie (p. ex., électrique) en mouvement.



Informations pertinentes sur les moteurs

Dans le robot, les moteurs choisis génèrent tous un mouvement en rotation.

Ce type de moteur possède une tige que l'on appelle un « arbre ». Lorsque le moteur est en marche, il fait tourner l'arbre sur lui-même. Il est donc possible d'y jumeler un mécanisme afin de créer les déplacements voulus.

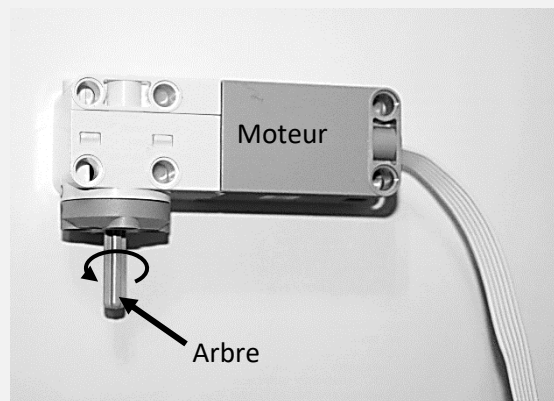


Figure 5 : Moteur du robot

Mécanisme : Un mécanisme est un assemblage de pièces conçues pour fonctionner ensemble.

Les mécanismes que nous utiliserons ici sont :

- Deux engrenages (aussi appelées « roues dentées »)

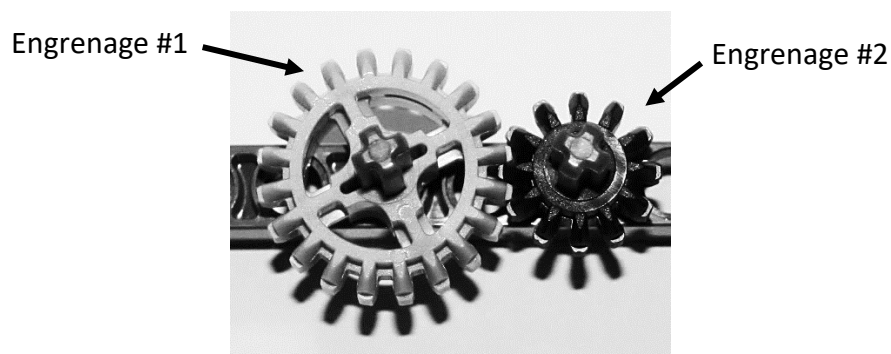


Figure 6 : Mécanisme à deux engrenages

Un pignon et une crémaillère

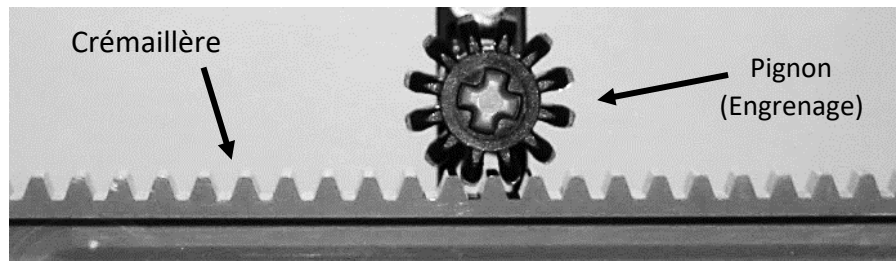


Figure 7 : Mécanisme à pignon (engrenage) et à crémaillère

- Un engrenage et une vis sans fin

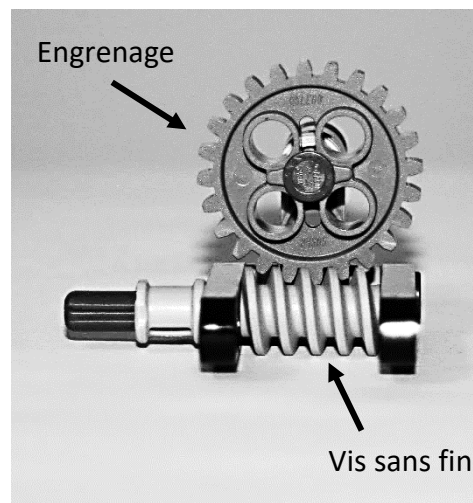


Figure 8 : Mécanisme à engrenage et à vis sans fin

- **Une came et un levier**

Dans ce mécanisme, la came et le levier sont en contact en tout temps grâce à un ressort ou un élastique. La came est une pièce qui tourne dans un même sens, soit horaire ou antihoraire. Lorsque la came tourne, la distance entre le centre de rotation de la came et le point de contact came-levier change. Ceci fait osciller le levier dans une direction, puis dans l'autre.

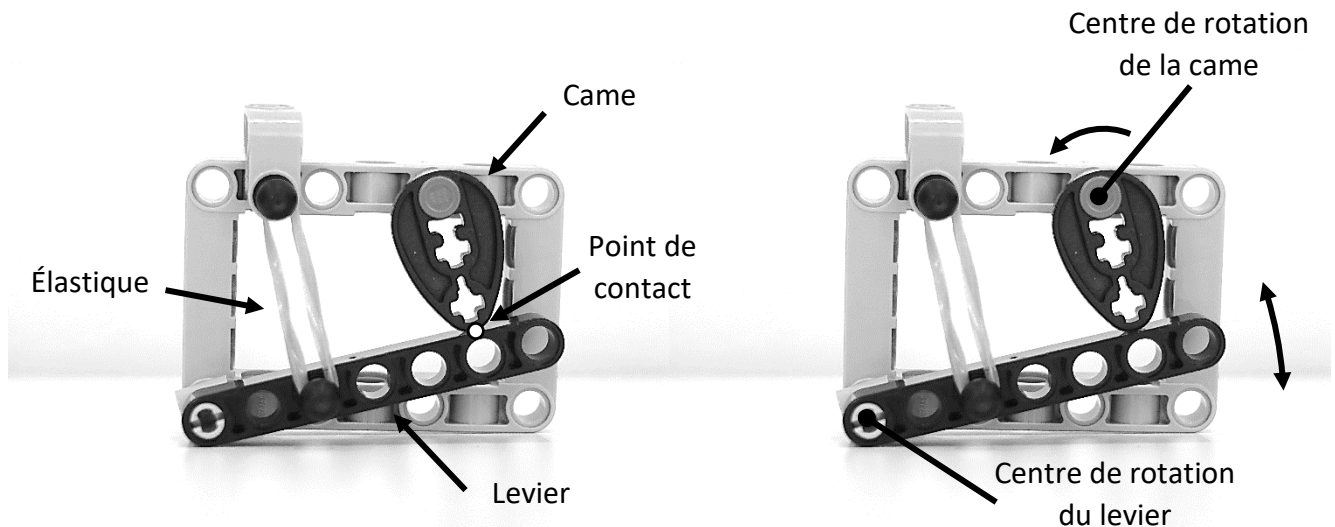


Figure 9 : Mécanisme à came et à levier

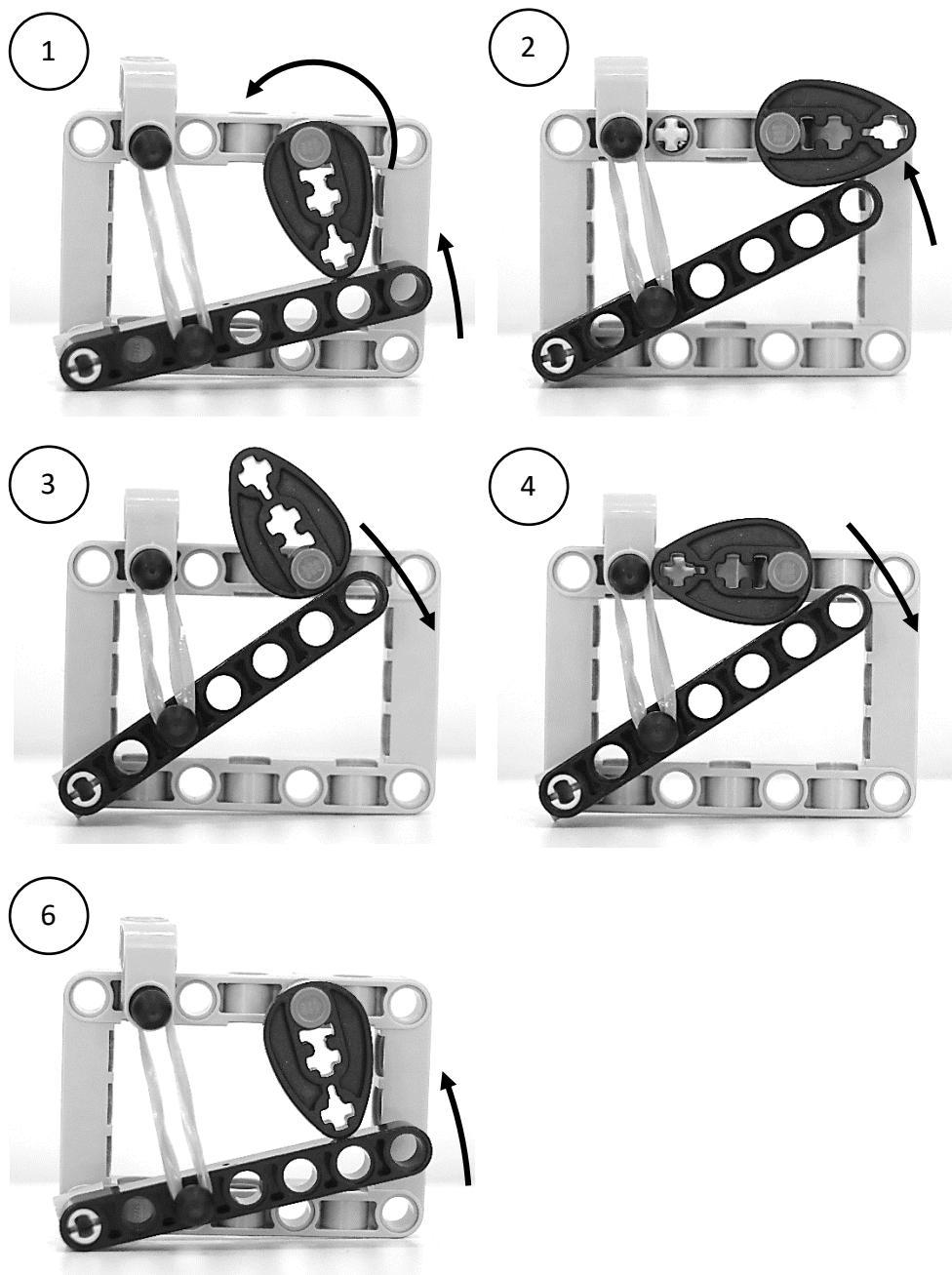


Figure 10 : Mouvement dans un mécanisme à engrenage et à vis sans fin

Pièce menante : C'est la pièce qui communique le mouvement engendré par une force extérieure à une autre pièce afin de faire fonctionner le mécanisme. Par exemple, dans le cas du robot, la pièce menante sera la pièce rattachée directement sur l'arbre du moteur qui communiquera le mouvement à la seconde pièce, rattachée à l'arbre des roues ou au porte-aiguille.

Pièce menée : Dans un mécanisme, c'est la pièce qui reçoit le mouvement provenant de la pièce menante.

Transmission du mouvement : Lorsque la pièce menée conserve le type de mouvement communiqué par la pièce menante, on dit qu'il s'agit d'une transmission du mouvement.

Ex. : Une pièce menante en rotation fait tourner la pièce menée. Le mécanisme transmet donc un mouvement de rotation.

Transformation du mouvement : Lorsque la nature du mouvement entre la pièce menante et la pièce menée est changée, il s'agit de transformation du mouvement.

Ex. : Une pièce menante en rotation entraîne un mouvement de translation de la pièce menée. Le mécanisme transforme donc un mouvement de rotation en mouvement de translation.

Glissement : Il y a glissement entre deux pièces A et B lorsqu'une pièce se déplace contre l'autre, et ce, sans la faire bouger. Imagine-toi un ski qui glisse sur la neige. Le ski effectue une translation, alors que la neige reste en place.

Réversibilité : Il y a réversibilité d'un mécanisme si la pièce A peut faire bouger la pièce B ET que la pièce B peut faire bouger la pièce A. En d'autres mots, les pièces A et B peuvent être les pièces menantes ET les pièces A et B peuvent être les pièces menées. Dans tous les cas, le mécanisme fonctionnera.

Rapport : Un rapport est une comparaison entre deux quantités ou deux grandeurs. Il peut être exprimé sous la forme $\frac{A}{B}$ ou A : B. Il est à noter que les deux quantités comparées doivent avoir les mêmes unités.

Ex. Le rapport entre la masse d'une orange (320 g) comparativement à la masse d'une clémentine (80 g) s'exprimera comme suit :

$$\frac{A}{B} = \frac{\text{Masse de l'orange}}{\text{Masse de la clémentine}} = \frac{320}{80}.$$

Un rapport fait intervenir la division de la quantité A (le numérateur) par la quantité B (le dénominateur). Ainsi, on peut écrire :

$$\frac{\text{Masse de l'orange}}{\text{Masse de la clémentine}} = \frac{320}{80} = 320 \div 80 = 4.$$

Changement de vitesse : Dans un mécanisme de transmission du mouvement, on parle de changement de vitesse lorsqu'il y a une différence entre la vitesse de la pièce menante et la vitesse de la pièce menée.

Rapport d'engrenage : Pour un mécanisme composé de deux engrenages, le rapport d'engrenage se calcule avec la formule suivante :

$$\text{Rapport d'engrenage} = \frac{\text{Nombre de dents de la pièce menante}}{\text{Nombre de dents de la pièce menée}}. \quad \textbf{Formule 1}$$

Le quotient du rapport d'engrenage quantifie le changement de vitesse dans le mécanisme.

Rapport de vitesse : Le rapport de vitesse d'un mécanisme à engrenage et vis sans fin se calcule avec la formule suivante :

$$\text{Rapport de vitesse} = \frac{1}{\text{Nombre de dents de l'engrenage}}. \quad \textbf{Formule 2}$$

Le quotient du rapport quantifie le changement de vitesse dans le mécanisme.

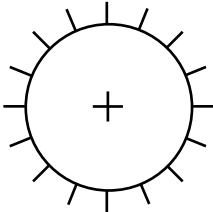
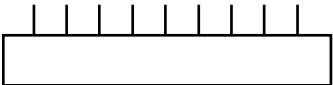
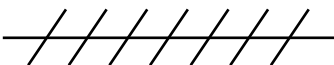


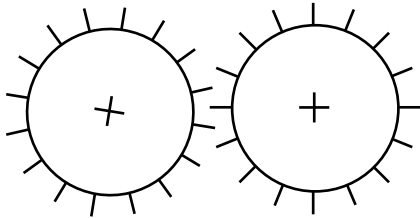
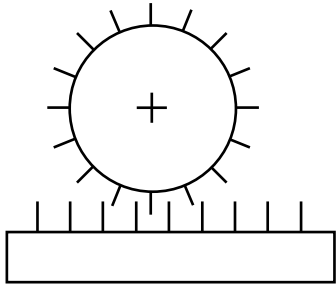
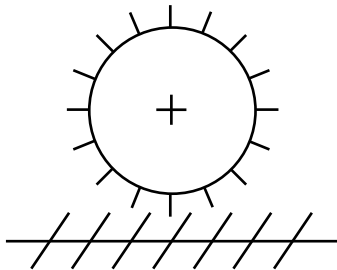
Interprétation des rapports

Dans un mécanisme à transmission de mouvement, le changement de vitesse peut être évalué à l'aide du quotient du rapport d'engrenage ou du rapport de vitesse, selon le type de mécanisme.

- Un quotient **supérieur à 1** indique que la pièce menante tourne plus lentement que la pièce menée. Il y a donc une augmentation de la vitesse.
- Un quotient **inférieur à 1** indique que la pièce menante tourne plus rapidement que la pièce menée. Il y a donc une diminution de la vitesse.
- Un quotient **égal à 1** indique que les pièces menante et menée tournent à la même vitesse.

Symboles pour représenter les mécanismes et les pièces qui les composent

Pièce	Représentation symbolique
Engrenage	
Crémaillère	
Vis sans fin	

Mécanisme	Représentation symbolique
Deux engrenages	
Un pignon et une crémaillère	
Un engrenage et une vis sans fin	

Séance 4 : Dimensionner les mécanismes retenus

Calculs pour le dimensionnement du mécanisme pignon-crémaillère

L'ensemble suivant a été sélectionné pour la translation verticale du module du porte-aiguille.

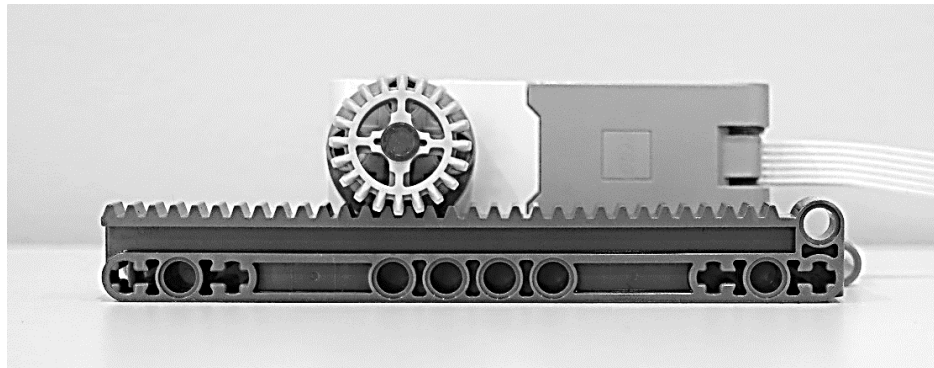


Figure 11 : Ensemble « moteur + mécanisme à pignon et à crémaillère »

Les prochaines sections décortiquent les étapes pour calculer la vitesse de translation de la crémaillère connaissant la vitesse du moteur et le nombre de dents de l'engrenage.

1. Calcul de la vitesse de rotation d'un engrenage (ou d'un pignon) fixé à l'arbre d'un moteur
Soit un engrenage ou un pignon fixé à l'arbre d'un moteur rotatif.

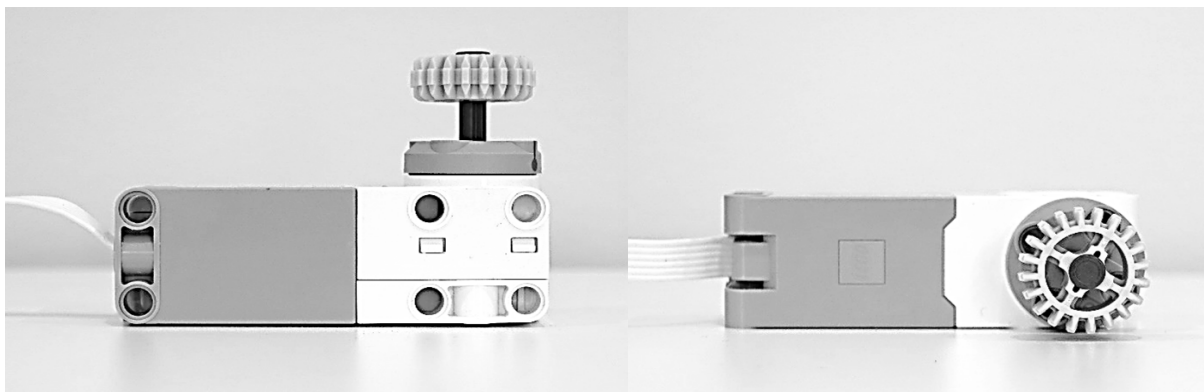


Figure 12 : Ensemble « moteur + pignon »

La vitesse de rotation de l'engrenage ou du pignon (tour/s) sera identique à la vitesse de l'arbre du moteur (tour/s). Pour transformer les unités de vitesse de « tour/s » à « dents/s », on utilise la formule ci-dessous.

$$\begin{aligned} \text{Vitesse de rotation de l'engrenage} \left(\frac{\text{dents}}{s} \right) \\ = \text{Vitesse de rotation du moteur} \left(\frac{\text{tour}}{s} \right) \\ \times \text{Nombre de dents de l'engrenage} \left(\frac{\text{dents}}{\text{tour}} \right) \end{aligned} \quad \textbf{Formule 3}$$

Voici un exemple avec les pièces suivantes :

- Pignon : Nombre de dents = 10 dents/tour
- Moteur : Vitesse de rotation = 0,5 tour/s

$$\text{Vitesse de rotation du pignon} \left(\frac{\text{dents}}{s} \right) = 0,5 \frac{\text{tour}}{s} \times 10 \frac{\text{dents}}{\text{tour}} = 5 \frac{\text{dents}}{s}$$

Calcul de la vitesse de translation d'une crémaillère menée

Soit un mécanisme pignon-crémaillère dont le pignon est la pièce menante et la crémaillère est la pièce menée.

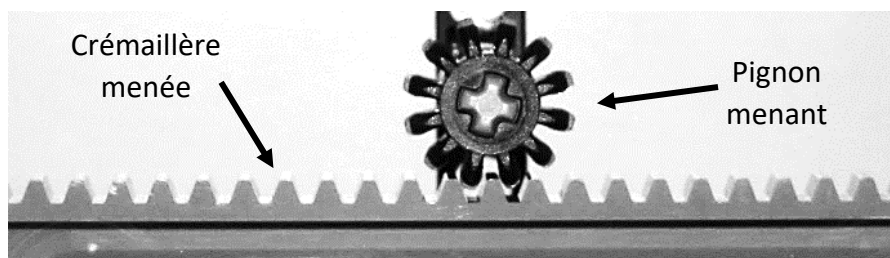


Figure 13 : Mécanisme à engrenage et à vis sans fin

On calcule la vitesse de translation de la crémaillère à l'aide de la formule suivante :

$$\begin{aligned} & \text{Vitesse de translation de la crémaillère } \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right) \\ &= \text{Vitesse de rotation du pignon } \left(\frac{\text{dents}}{\text{s}} \right) \\ &\times \text{Pas primitif de la crémaillère } \left(\frac{\text{mm}}{\text{dent}} \right) \end{aligned} \quad \text{Formule 4}$$

Voici un exemple avec les pièces suivantes :

- Pignon : Vitesse de rotation = 5 dents/s
- Crémaillère : Pas primitif = 2 mm/dent

$$\text{Vitesse de translation de la crémaillère } \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right) = 5 \frac{\text{dents}}{\text{s}} \times 2 \frac{\text{mm}}{\text{dent}} = 10 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Calculs pour le dimensionnement du mécanisme engrenage-vis sans fin

L'ensemble suivant a été sélectionné pour la translation horizontale du robot.

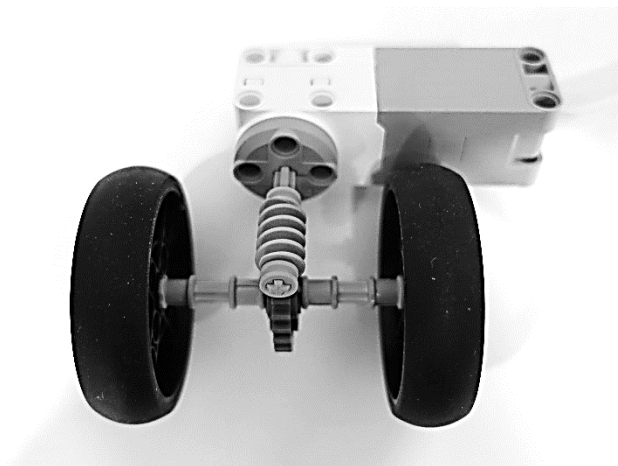


Figure 14 : Ensemble « moteur + mécanisme à engrenage et vis sans fin + roues »

Les prochaines sections décortiquent les étapes pour calculer la vitesse de translation du robot connaissant la vitesse du moteur, le nombre de dents de l'engrenage et le diamètre des roues.

1. Calcul de la vitesse de rotation de la vis sans fin fixée à l'arbre d'un moteur

Soit une vis sans fin fixée à l'arbre d'un moteur rotatif.

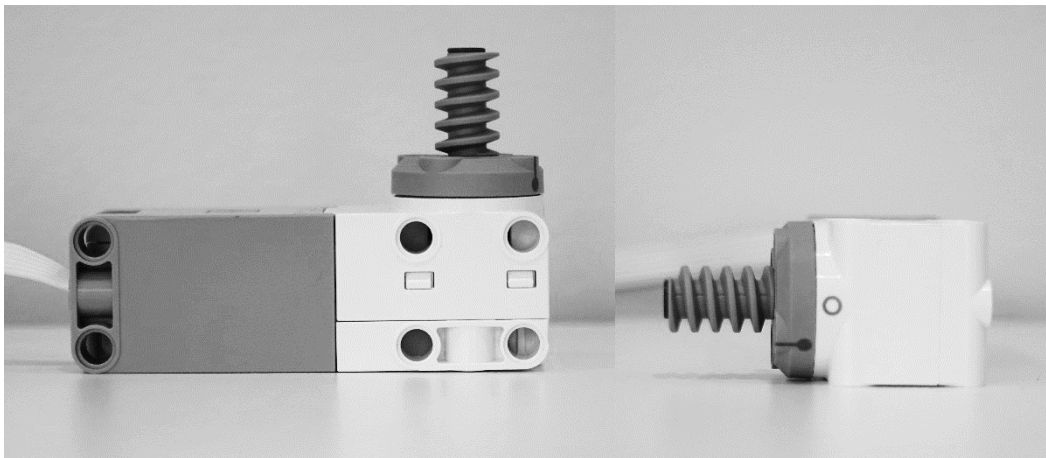


Figure 15 : Ensemble « moteur + vis sans fin »

La vitesse de rotation de la vis sans fin (tour/s) sera identique à la vitesse de l'arbre du moteur (tour/s).

2. Calcul de la vitesse de rotation d'un engrenage mené

Soit un mécanisme engrenage-vis sans fin dont la vis sans fin est la pièce menante et l'engrenage est la pièce menée.

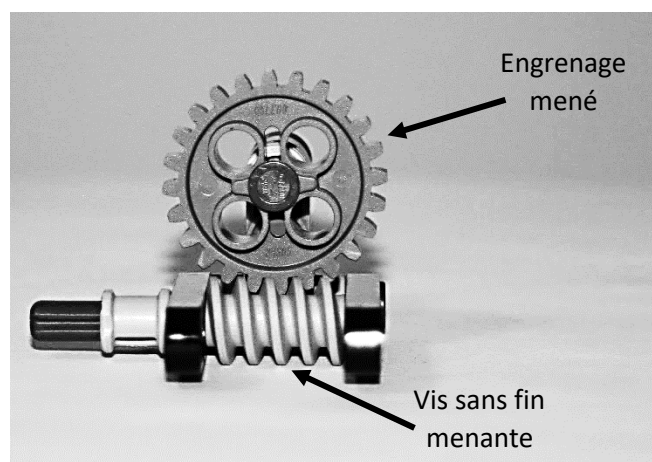


Figure 16 : Mécanisme à engrenage et à vis sans fin

Afin de trouver la vitesse d'avance du robot, on détermine premièrement la vitesse à laquelle l'engrenage tourne (tour/s). Pour ce faire, on utilise la formule suivante.

$$\begin{aligned} \text{Vitesse de rotation de l'engrenage} \left(\frac{\text{tour}}{\text{s}} \right) \\ = \text{Vitesse de rotation du moteur} \left(\frac{\text{tour}}{\text{s}} \right) \\ \times \text{Quotient du rapport de vitesse} \end{aligned} \quad \text{Formule 5}$$

Voici un exemple avec les pièces suivantes :

- Moteur : Vitesse de rotation = 10 tours/s
- Engrenage : Nombre de dents = 10 dents/tour
- Vis sans fin : Rapport de vitesse = 1/10; Quotient du rapport de vitesse = 0,1.

$$\text{Vitesse de rotation de l'engrenage} \left(\frac{\text{tour}}{\text{s}} \right) = 10 \frac{\text{tour}}{\text{s}} \times 0,1 = 1 \frac{\text{tour}}{\text{s}}$$

3. Calcul de la vitesse de rotation des roues

Soit une vis sans fin fixée à l'arbre d'un moteur rotatif.

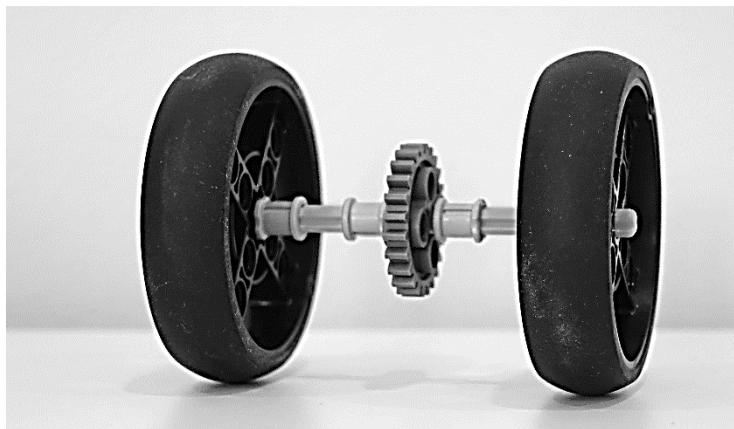


Figure 17 : Ensemble « engrenage + roues »

L'engrenage et les roues sont fixés à un même arbre. Ainsi, la vitesse de rotation des roues (tour/s) égale la vitesse de rotation de l'engrenage (tour/s).

4. Calcul de la vitesse de rotation des roues

La dernière étape est de calculer la vitesse d'avance du robot. Pour ce faire, on utilise la formule suivante.

$$\begin{aligned} \text{Vitesse d'avance du robot} \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right) \\ = \text{Circonférence des roues} \left(\frac{\text{mm}}{\text{tour}} \right) \\ \times \text{Vitesse de rotation de l'engrenage} \left(\frac{\text{tour}}{\text{s}} \right) \end{aligned} \quad \text{Formule 6}$$

Voici un exemple avec les pièces suivantes :

- Roue : Circonférence = 10 mm/tour
- Engrenage : Vitesse de rotation = 1 tour/s

$$\text{Vitesse d'avance du robot} \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right) = 10 \frac{\text{mm}}{\text{tour}} \times 1 \frac{\text{tour}}{\text{s}} = 10 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Séance 5 : Valider le robot

Terminologie liée aux essais de validation

Validation : Dans un processus de conception, l'étape de validation d'un produit permet de s'assurer qu'il répond aux besoins du client ou de la cliente et des utilisateurs et utilisatrices. Cela consiste, entre autres, à vérifier que chaque point énuméré dans le tableau des spécifications a été respecté.

Moyenne : Dans le contexte des essais de validation, on examine la moyenne des résultats aux essais expérimentaux, car il y a une certaine variabilité dans les résultats. On calcule la moyenne ainsi :

$$\text{Moyenne} = \frac{\text{Résultat \#1} + \text{Résultat \#2} + \text{Résultats \#3} \dots}{\text{Nombre de résultats}}$$

Formule 7