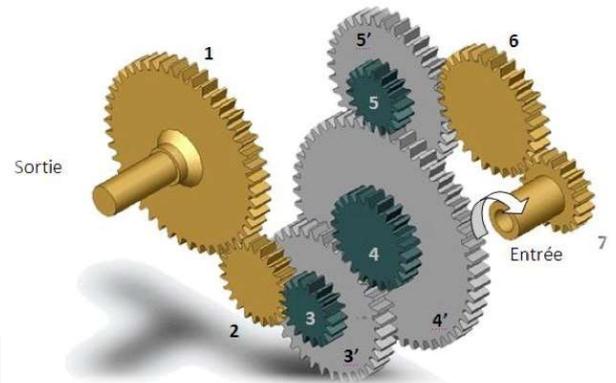


## EXERCICE 1 : Train d'engrenages simple

Un train d'engrenages, dans lequel toutes les roues dentées sont en mouvement de rotation par rapport au bâti 0 autour d'axes parallèles entre eux, est représenté sur la figure ci-contre :



On donne le nombre de dents de chacune des roues :

Z1	Z2	Z3	Z3'	Z4	Z4'	Z5	Z5'	Z6	Z7
65	32	24	48	38	82	26	54	42	30

**Q1 :** Indiquer à l'aide de flèches le sens de rotation de chacune des roues.

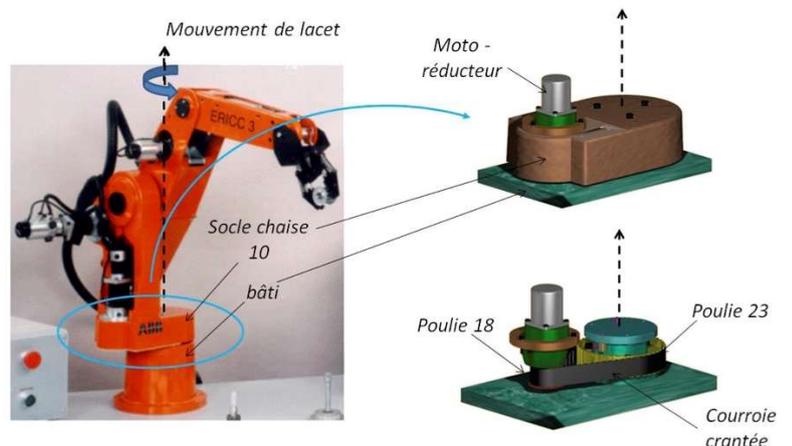
**Q2 :** Lister les roues considérées comme menantes et les roues considérées comme menées.

**Q3 :** Donner l'expression du rapport de réduction  $k = \frac{\omega_{s/0}}{\omega_{e/0}}$  de ce train d'engrenages et faire l'application numérique. En déduire s'il s'agit d'un réducteur ou d'un multiplicateur de vitesse.

## EXERCICE 2 : Axe de lacet du robot ERICC

On s'intéresse au réducteur poulie-courroie crantée utilisé dans la chaîne d'énergie du mouvement de lacet du robot ERICC. La poulie motrice 18, liée à l'arbre de sortie du moto-réducteur, est en liaison pivot par rapport au socle chaise 10.

La poulie réceptrice 23 est fixe par rapport au bâti. Cela permet au socle chaise 10, en liaison pivot par rapport au bâti, de pivoter autour de l'axe de lacet lors de la mise en marche du moto-réducteur.

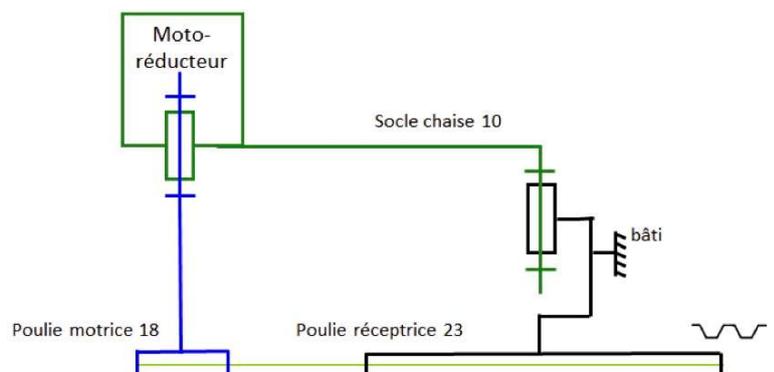


On donne :  $D_{18} = 24 \text{ mm}$

$D_{23} = 80 \text{ mm}$

**Q1 :** Déterminer l'expression du rapport de réduction  $r = \frac{\omega_{23/10}}{\omega_{18/10}}$  en fonction des diamètres des poulies.

**Q2 :** En déduire la vitesse de rotation du robot autour de l'axe de lacet lorsque le moto-réducteur tourne à la vitesse maximale de 50 tr/min.



### EXERCICE 3 : Chariot de manutention motorisé

On s'intéresse à un chariot motorisé du fabricant HYSTER utilisé pour assister des opérateurs dans des tâches de manutention de charges lourdes.

La rotation du timon autour d'un axe vertical permet de diriger le chariot dans la direction souhaitée.

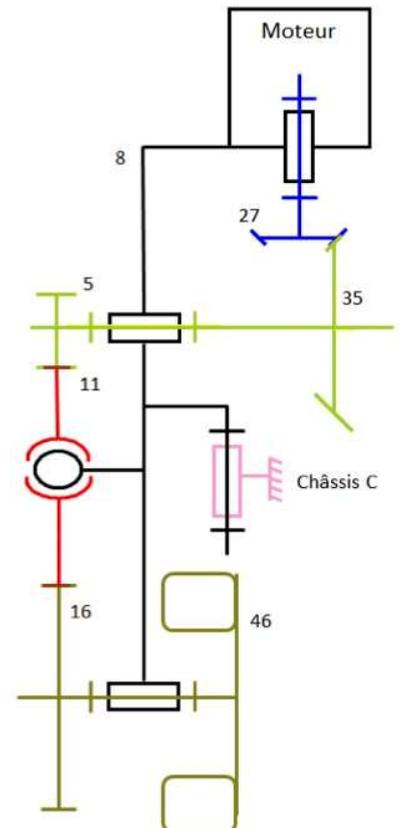
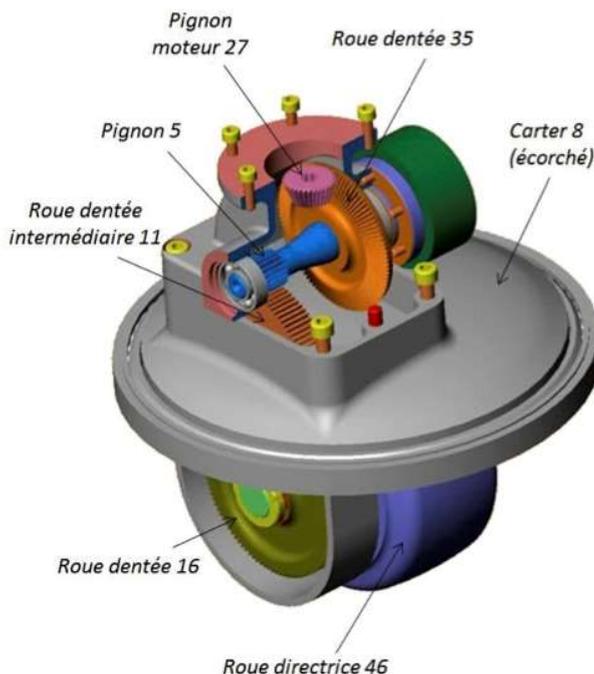
La rotation du timon autour d'un axe horizontal permet de freiner le chariot. Le freinage est automatiquement appliqué et le courant coupé lorsque le timon se trouve en position haute ou basse.

Les commandes des vitesses avant et arrière et la commande d'élévation de la fourche qui supporte la charge sont placées en bout du timon, sous la main de l'utilisateur.



L'étude porte plus particulièrement sur l'unité **motrice** et **directrice** du chariot dont une représentation technique 3D, ainsi qu'un schéma cinématique sont donnés ci-dessous. Cet ensemble se compose :

- d'un carter 8 qui peut pivoter par rapport au châssis C du chariot autour de l'axe vertical ;
- d'un moteur à courant continu (non représenté sur la représentation 3D), 24 Volts, à axe vertical, alimenté par batteries.  $N=1500$  tr/min ;
- d'une chaîne cinématique composée de :
  - un engrenage conique à denture droite :
    - pignon moteur 27 :  $z_{27} = 16$  dents,  $m=1,5$  mm.
    - roue dentée conique 35 :  $z_{35} = 84$  dents,
  - un train d'engrenages cylindriques à denture droite :
    - pignon 5 :  $z_5 = 14$  dents,  $m=1,5$  mm,
    - roue dentée intermédiaire 11 :  $z_{11} = 56$  dents,
    - roue dentée 16 :  $z_{16} = 75$  dents,
  - une roue directrice 46 dont le rayon est de  $r = 90$  mm.



Extrait du cahier des charges :

Exigence	Critère	Niveau
Présenter peu de danger pour l'utilisateur	Vitesse d'avance du chariot	2 km/h maxi

L'objectif est de vérifier l'exigence du cahier des charges ci-dessus.

**Q1 :** Compléter le tableau ci-dessous en donnant les caractéristiques des roues dentées et des pignons :

Repère de la roue	Module m	Nombre de dents Z	Diamètre primitif D
27			
35			
5			
11			
16			

**Q2 :** Déterminer, en tr/min, la vitesse de rotation de la roue 46 par rapport au carter 8.

**Q3 :** On suppose qu'il y a roulement sans glissement au contact roue 46/sol.

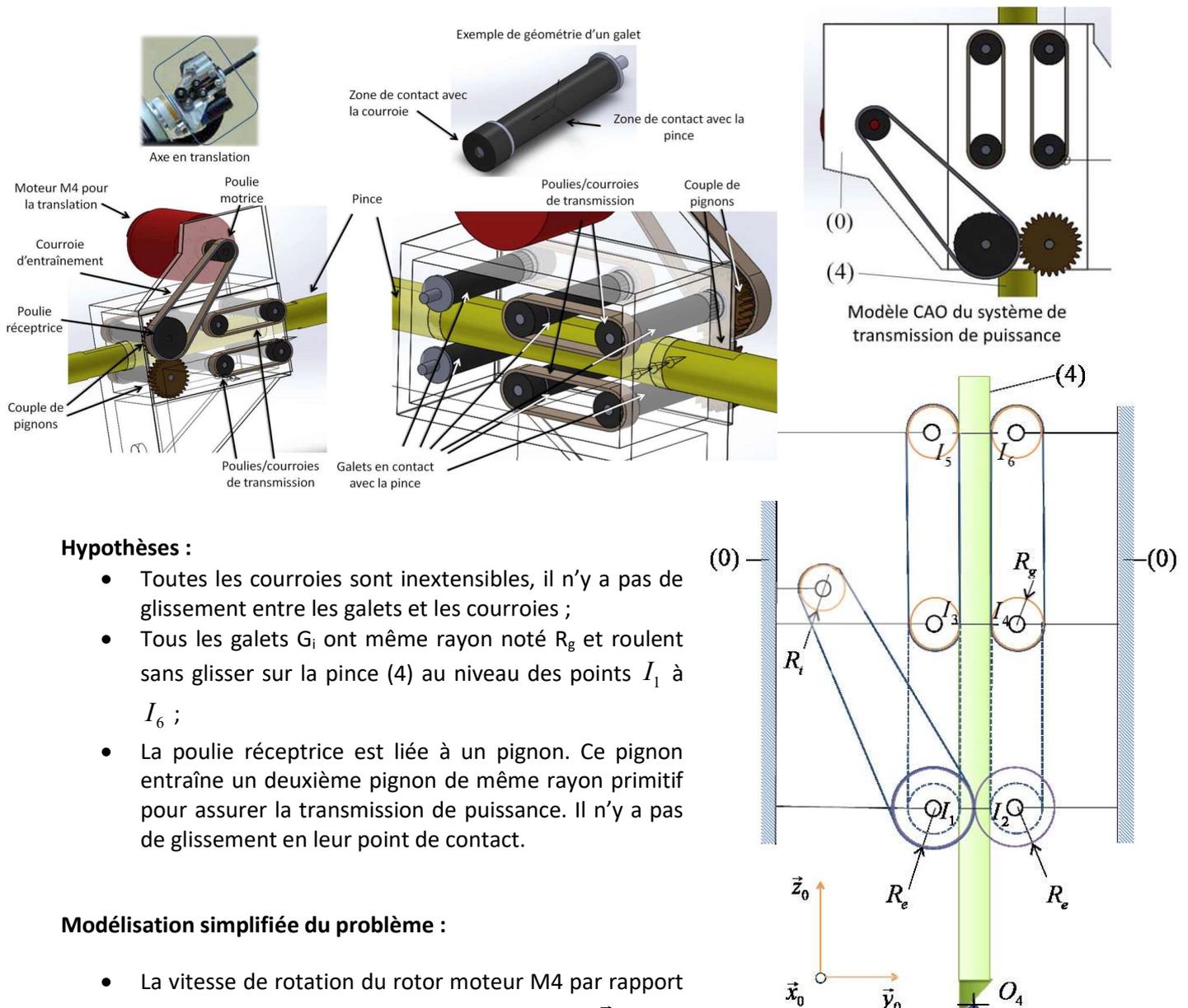
On note I le point de contact roue 46/sol.

En traduisant la condition de RSG en I, déterminer la vitesse d'avance du chariot (c'est à dire  $\vec{V}_{I,8/sol}$ )

**Q4 :** Conclure quant au respect de l'exigence « présenter peu de danger pour l'utilisateur ».

## EXERCICE 4 : Micromanipulateur compact pour chirurgie endoscopique d'après Mines-Ponts 2016

La transmission d'effort d'un micromanipulateur pour chirurgie endoscopique est représentée ci dessous ainsi qu'un schéma cinématique simplifié minimal de cet axe pour cette étude.



### Hypothèses :

- Toutes les courroies sont inextensibles, il n'y a pas de glissement entre les galets et les courroies ;
- Tous les galets  $G_i$  ont même rayon noté  $R_g$  et roulent sans glisser sur la pince (4) au niveau des points  $I_1$  à  $I_6$  ;
- La poulie réceptrice est liée à un pignon. Ce pignon entraîne un deuxième pignon de même rayon primitif pour assurer la transmission de puissance. Il n'y a pas de glissement en leur point de contact.

### Modélisation simplifiée du problème :

- La vitesse de rotation du rotor moteur M4 par rapport à son stator fixe (lié au bâti (0)) est notée  $\omega_m \cdot \vec{x}_0$
- La poulie motrice a un rayon  $R_i$  et tourne à la vitesse  $\omega_i(t)$  (vitesse de rotation après réduction) ;
- La poulie réceptrice a un rayon  $R_e$  et tourne à la vitesse  $\omega_e(t)$  ;
- Les deux pignons en contact ont même rayon primitif, supposé égal à  $R_e$  ;
- On note  $\vec{V}(O_4, 4/0) = v(t) \cdot \vec{z}_0$  ;
- $r = \frac{\omega_i}{\omega_m}$ , rapport de réduction constant du motoréducteur.

**Q1 :** Déterminer la relation entre  $v(t)$  et  $\omega_m(t)$ .

## EXERCICE 5 : Train épicycloïdal : Poulie REDEX

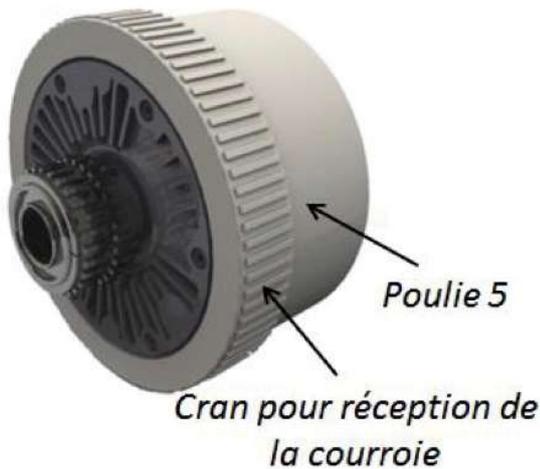
Le système poulie Redex est un réducteur à poulie (voir ci-dessous).

Une courroie crantée (non représentée) impose le mouvement d'entrée à la poulie 5.

Les trois satellites doubles 6-10 sont en liaison pivot par rapport à la poulie 5.

Le planétaire 24 est solidaire du bâti 18.

Le planétaire 31 est solidaire de l'arbre de sortie 32.



Caractéristiques des roues dentées				
N°	24	10	6	31
m	1,75	1,75	1,75	1,75
Z	49	31	34	46

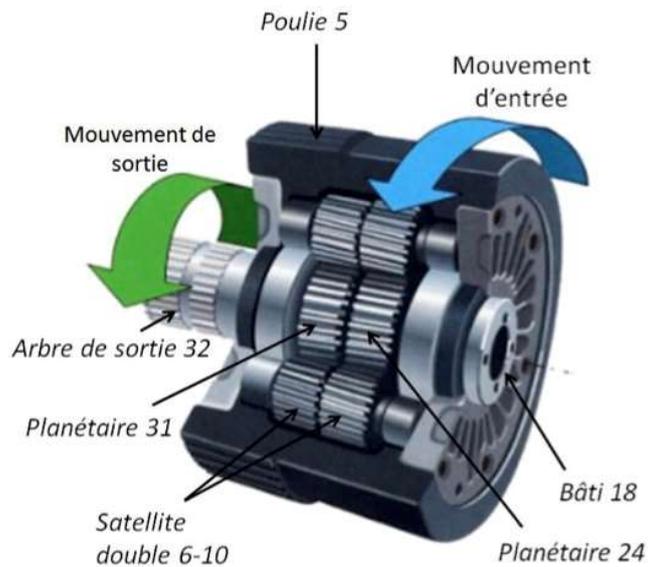
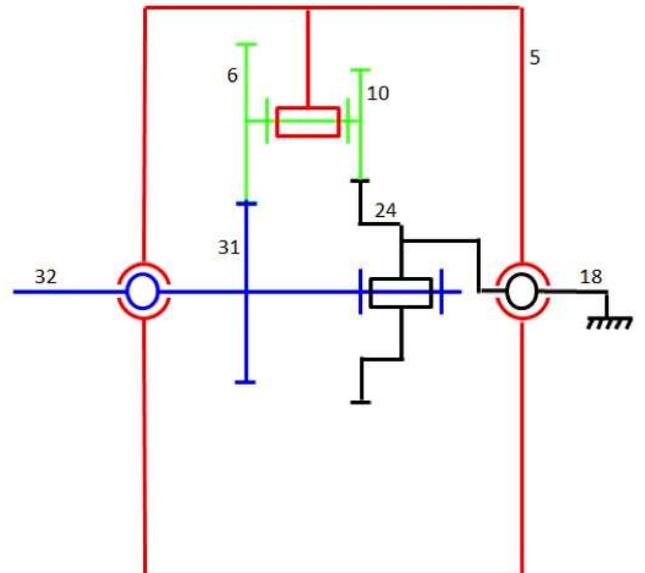


Schéma cinématique :



**Q1 :** Déterminer l'expression du rapport de réduction  $r = \frac{\omega_{s/18}}{\omega_{e/18}}$  en fonction des nombres de dents des roues dentées. Faire l'application numérique.

**Q2 :** Retrouver ce résultat en inversant l'ordre des planétaires dans la relation de Willis par rapport au choix fait initialement.

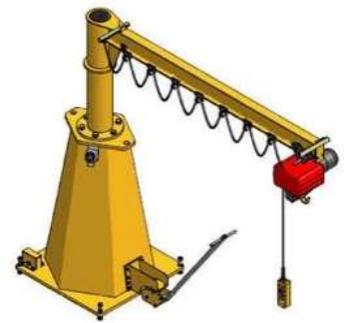
## EXERCICE 6 : Train épicycloïdal : Système de levage

Le réducteur à trains épicycloïdaux représenté ci-dessous est utilisé dans les appareils de manutention et de levage lorsqu'on a besoin d'une grande vitesse lors d'une phase d'approche ou de dégagement, et d'une petite vitesse lors d'une phase de travail.

### Fonctionnement « Petite vitesse » (PV) :

Seul le moteur PV tourne à 1500 tr/min. La couronne 25 est entraînée en rotation par l'intermédiaire de la roue 13 et de la vis sans fin 34 liée à l'arbre moteur PV.

Le pignon 19 est maintenu fixe par le frein du moteur GV (Grande Vitesse).



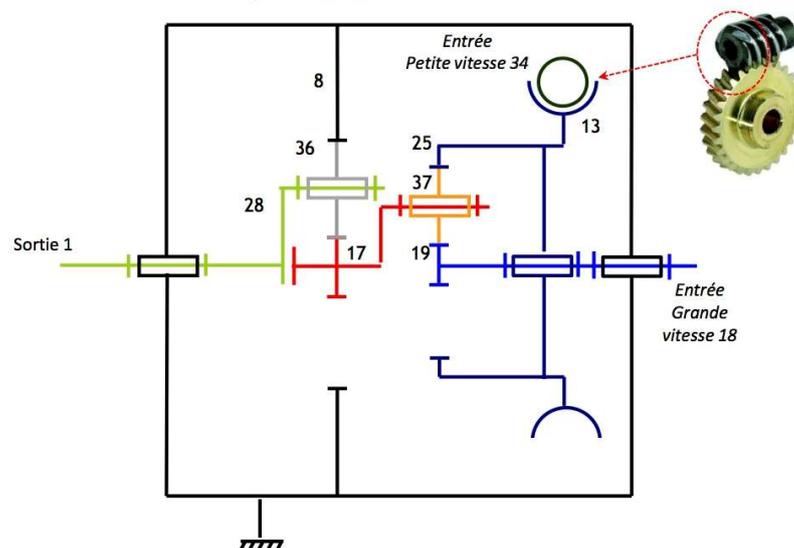
### Fonctionnement « Grande vitesse » (GV) :

Les deux moteurs GV et PV tournent en même temps à 1500 tr/min.

### Extrait de la nomenclature :

37	3	Pignon satellite	$z_{37} = 32$ dents
36	3	Pignon satellite	$z_{36} = 31$ dents
34	1	Vis sans fin (entrée PV)	1 filet – pas à droite
25	1	Couronne	$z_{25} = 83$ dents
19	1	Pignon d'entrée GV	$z_{19} = 19$ dents ; $m = 1,25$ mm
17	1	Pignon porte satellite	$z_{17} = 17$ dents
13	1	Roue	$z_{13} = 41$ dents
8	1	Couronne fixe	$z_8 = 79$ dents ; $m = 1,8$ mm
1	1	Arbre de sortie	
Rep	Nb	Désignation	Caractéristiques

### Schéma cinématique :

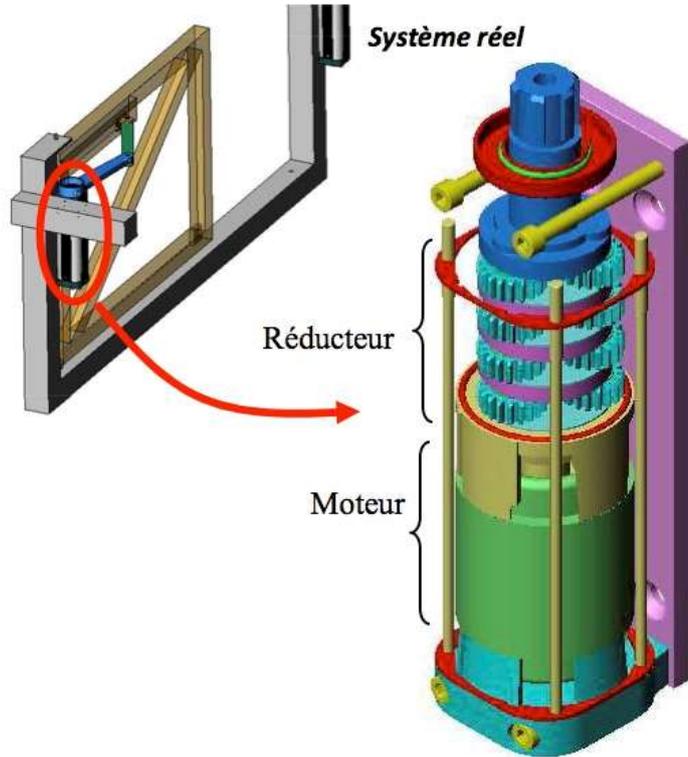


- Q1 :** Mettre en évidence qu'il existe 2 trains épicycloïdaux dans ce mécanisme. Déterminer alors les S, PS, PLA et PLB de chacun des trains.
- Q2 :** Dans le 1<sup>er</sup> train épicycloïdal, déterminer la relation entre  $\omega_{19}$ ,  $\omega_{25}$  et  $\omega_{17}$ .
- Q3 :** Dans le 2<sup>ème</sup> train épicycloïdal, déterminer la relation entre  $\omega_{17}$ ,  $\omega_8$  et  $\omega_{28}$ .
- Q4 :** Déterminer la relation entre  $\omega_{13}$  et  $\omega_{34}$
- Q5 :** Déterminer alors l'expression de  $\omega_{\text{sortie}}$  en fonction de  $\omega_{GV}$  et  $\omega_{PV}$

**EXERCICE 7 : Mécanisme d'ouverture de portail**

On s'intéresse au motoréducteur d'un ouvre portail. Pour mettre en mouvement les vantaux du portail le moteur entraîne un bras, la rotation du moteur est entre temps réduite par un ensemble de 4 étages de trains épicycloïdaux (les 4 trains épicycloïdaux sont les mêmes).

L'objectif est de cette étude est de vérifier une performance du motoréducteur dont on donne un extrait du cahier des charges fonctionnel ainsi que le dessin d'ensemble.



Exigences	Critère	Niveau
2.4	Rapport de réduction réducteur	< 0,001
...	...	...

- Q.1.** Identifier les classes d'équivalence cinématique sur le dessin d'ensemble.
- Q.2.** Construire le schéma cinématique du réducteur dans le même plan que le dessin d'ensemble.
- Q.3.** Calculer le rapport de réduction pour un étage de train épicycloïdal. En déduire le rapport de réduction du réducteur et conclure vis-à-vis du cahier des charges.

**Données :**  $Z_{planétaire} = 9$ ,  $Z_{satellite} = 18$ ,  $Z_{couronne} = 45$ .

**EXERCICE 8 : Train compensateur de bulldozer**

Un train compensateur est un élément de transmission de puissance que l'on retrouve sur les bulldozers. Il permet notamment d'adapter la vitesse de rotation délivrée par le moteur pour les roues motrices des chenilles droites et gauche.

L'objectif est de cette étude est de vérifier une performance du réducteur du train compensateur dont on donne un extrait du cahier des charges fonctionnel ainsi que le dessin d'ensemble.



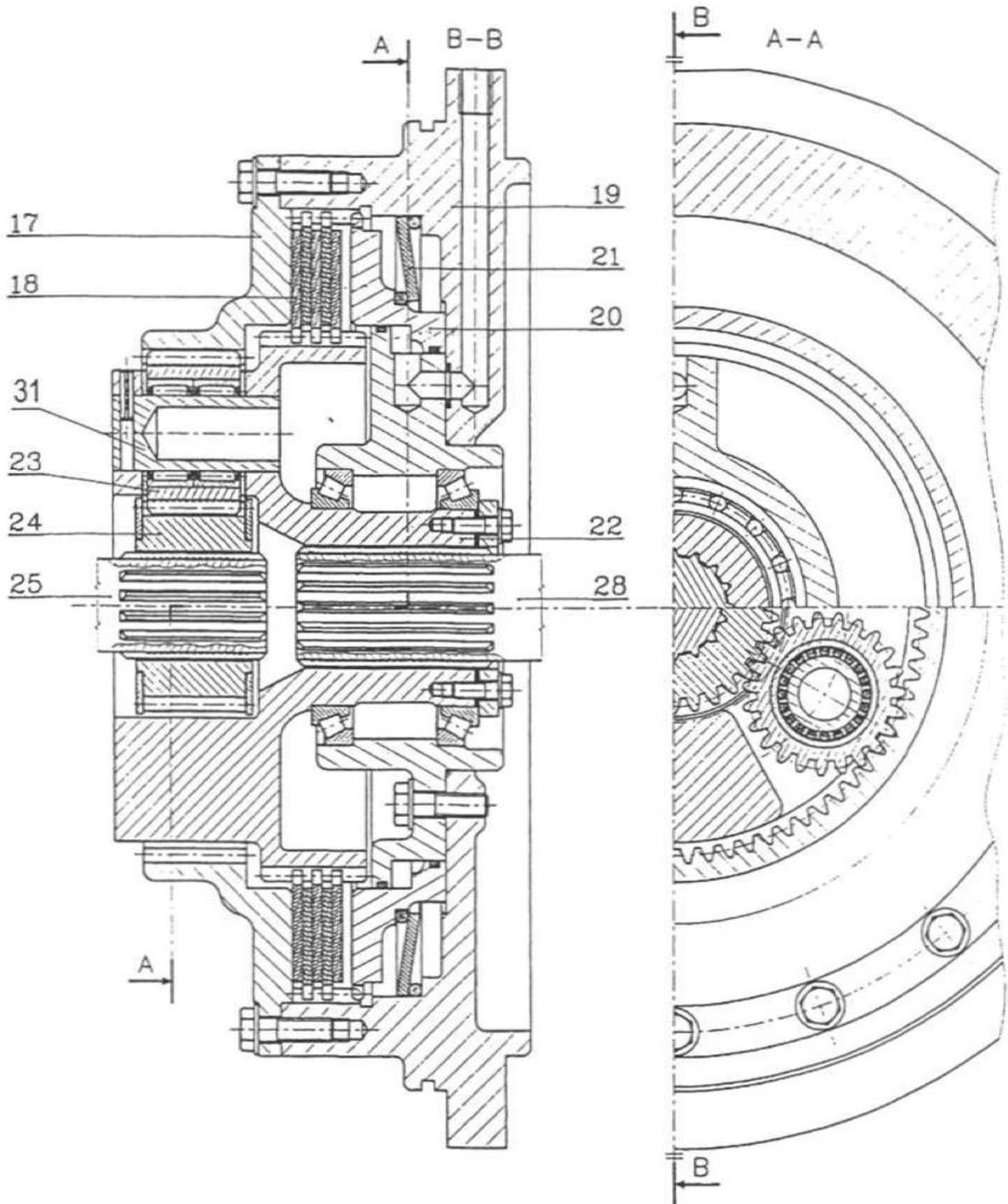
Exigences	Critère	Niveau
4.6	Rapport de réduction réducteur	< 0,3
...	...	...

**Q.1.** Identifier les classes d'équivalence cinématique sur le dessin d'ensemble.

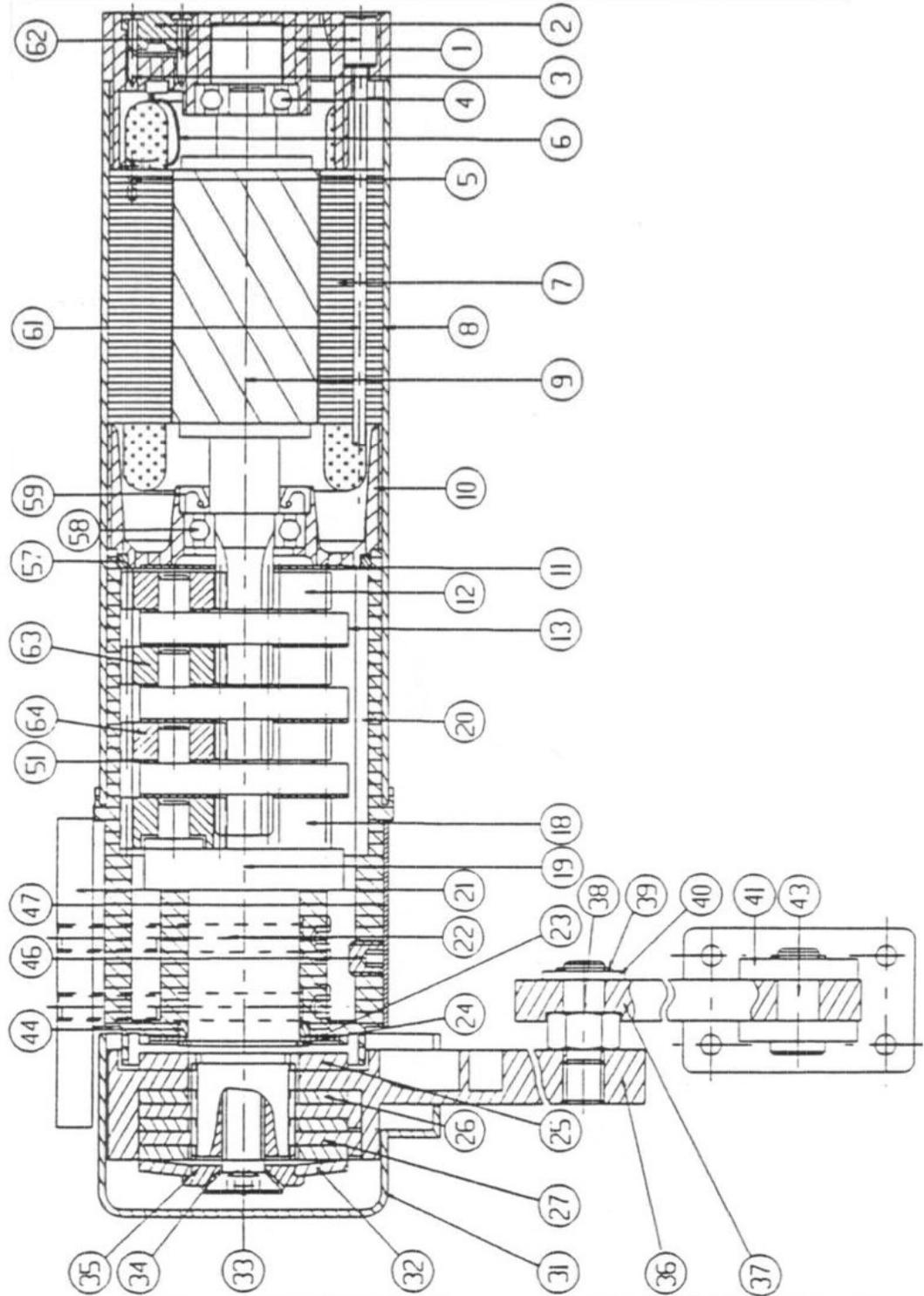
**Q.2.** Construire le schéma cinématique du réducteur dans le même plan que le dessin d'ensemble.

**Q.3.** Calculer le rapport de réduction du réducteur et conclure vis-à-vis du cahier des charges.

**Données :**  $Z_{25} = 32$ ,  $Z_{23} = 23$ ,  $Z_{17} = 78$ .



Dessin d' ensemble : Mécanisme d' ouverture de portail

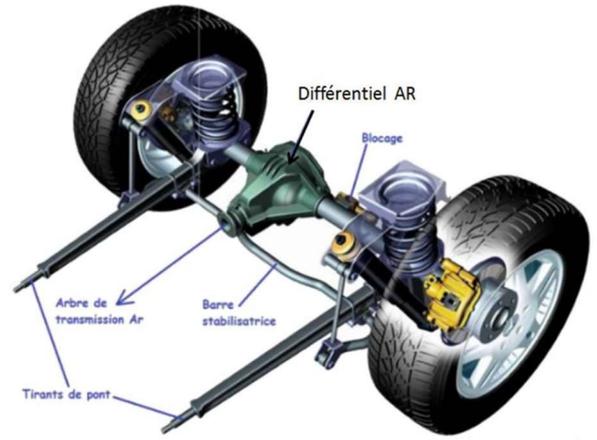


Rep	Nb	Designation
62	4	ECROU CYLINDRIQUE M3,5 - C6x0,55
61	1	FRANT FILETE M3,5
59	1	JOINT A LEVRE
58	1	ROULEMENT 17FC 10
57	1	JOINT TORIQUE 3,5x3,6x10
51	1	RONDELLE PLATE 21x20x1
47	1	CACHE DES VIS DE FIXATION
46	1	VIS FANT TETE HCM 10-10 CH
44	1	JOINT TORIQUE 3,5x3,6x14
43	1	AXE CHAÎNE
41	1	CHAÎNE FIXATION SUR PORTAIL
40	1	RONDELLE PLATE 21x20x1,5
39	2	CIRCLIPS EXTERIEUR 12H
38	1	AXE FILETE
37	1	BRAS DE POUSSÉE
36	1	BRAS MOTEUR
35	1	RONDELLE CONIQUE LISSE CL 30-58-3
34	1	RONDELLE CONIQUE A DENTS
33	1	VIS FHC M3-20
32	1	RONDELLE D'APPUI VIS FHC
31	1	CAPOT DE PROTECTION
27	2	DISQUE DE FRICTION Ø20 D=60
26	3	DISQUE DE FRICTION E=4 D=60
25	1	DISQUE DE FRICTION E=5 D=60
24	1	CIRCLIPS EXTERIEUR 32H 5
23	1	RONDELLE CONIQUE 22x14x50,4
22	4	VIS CHC M8 10-25
21	1	PLATINE SUPPORT MOTEUR
20	1	COURONNE DENTÉE
19	1	ARRÊTE SORTIE
18	3	SATELLITE DE SORTIE
17	1	PORTE SATELLITE
16	3	SATELLITE
15	3	SATELLITE
14	1	SATELLITE
13	1	PORTE SATELLITE
12	3	SATELLITE
11	4	RONDELLE PLATE 15x15x0,1
10	1	PAUVIER ROT OR
9	1	MOTEUR
8	1	FUT CARTER MOTEUR REDUCTEUR
7	1	STATOR
6	1	COSSE ELECTRIQUE
5	2	VIS CHLZ S14x10F
4	1	ROULEMENT A BILLES 10 BC02
3	1	VIS CHLZ S14x10C
2	1	CAPUCHON MAINTIEN CABLE
1	1	FOND CARTER MOTEUR
Rep	Nb	Designation

## EXERCICE 9 : Différentiel de véhicule

Le **différentiel** est présent sur toutes les voitures.

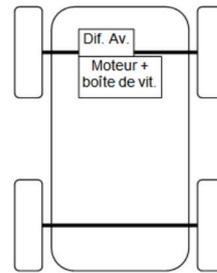
Dans certaines phases d'utilisation du véhicule, il permet aux roues motrices (entraînées par le moteur) de tourner à des vitesses différentes pour faciliter la prise de courbe et limiter l'usure des pneus.



### Architecture structurelle de la transmission :

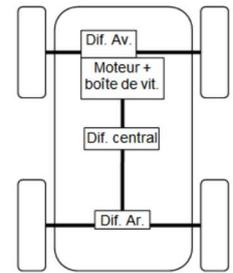
Sur un véhicule à 2 roues motrices (4x2), un seul différentiel est installé entre les roues droite et gauche.

Véhicule 4x2

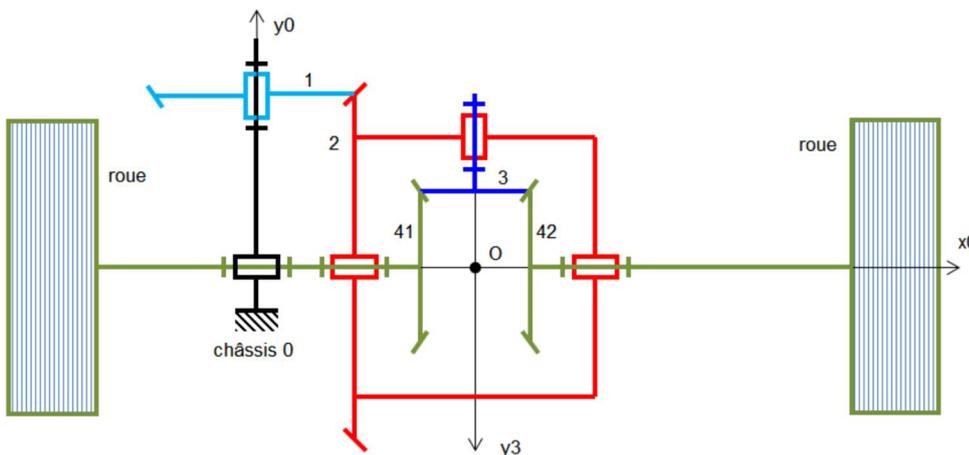
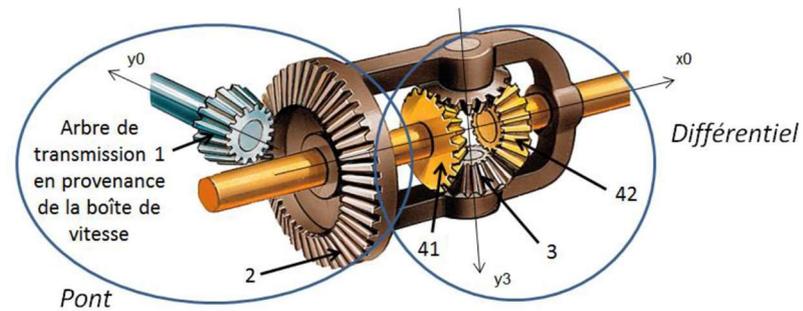


Sur un véhicule à 4 roues motrices (4x4), trois différentiels sont installés entre les ponts avant et arrière, et entre les roues droite et gauche de chaque pont.

Véhicule 4x4



Le pont qui est associé au différentiel permet une réduction supplémentaire par rapport à celle effectuée par la boîte de vitesse.



Comme on peut le voir sur le schéma cinématique, un différentiel est un train d'engrenage épicycloïdal, dit **sphérique**.

**Q 1 :** Déterminer la relation qui lie en permanence les vitesses de rotation  $\omega_{41/0}$  et  $\omega_{42/0}$  de chacune des roues avec la vitesse de rotation  $\omega_{2/0}$  de 2 mis en mouvement grâce à l'arbre de transmission 1.

**Q 2 :** En déduire la vitesse de rotation  $\omega_{2/0}$ , puis  $\omega_{3/2}$  lorsque le véhicule est en ligne droite.