Cours de Robotique et d'Automatisation

Exercices (partiel), sans corrigé

Pour la partie

2. Cinématique

Jean-Daniel Dessimoz

HAUTE ÉCOLE D'INGÉNIERIE ET DE GESTION DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch

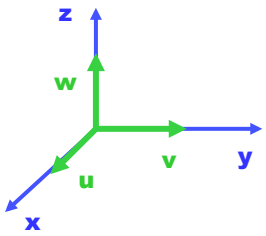
Institut d'Automatisation Industrielle
LaRA
Laboratoire de Robotique et Automatisation

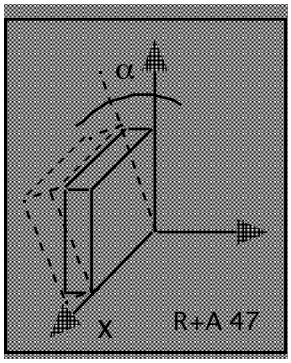
Hes·so
Haute Ecole Spécialisée de Suisse occidentale

2-0 Matrices de rotation

aaa.mm.jj

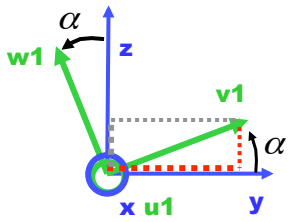
Faire le graphe des repères et transformations pour le cas de la page suivante (4 repères et rotations selon les axes de base, x,y,z.)

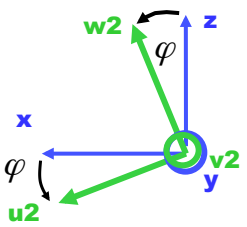


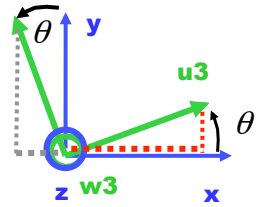


2-0 Matrices de rotation

aaa.mm.jj



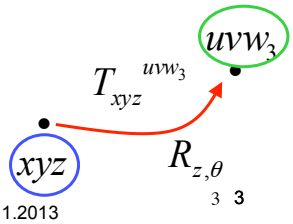




$$R_{x,\alpha} = \begin{array}{c} \\ x \\ y \\ z \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} u_1 & v_1 & w_1 \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C_\alpha & -S_\alpha \\ 0 & S_\alpha & C_\alpha \end{pmatrix} \end{array}$$

$$R_{y,\varphi} = \begin{array}{c} \\ x \\ y \\ z \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} u_2 & v_2 & w_2 \end{array} \\ \begin{pmatrix} C_\varphi & 0 & S_\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_\varphi & 0 & C_\varphi \end{pmatrix} \end{array}$$

$$R_{z,\theta} = \begin{array}{c} \\ x \\ y \\ z \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} u_3 & v_3 & w_3 \end{array} \\ \begin{pmatrix} C_\theta & -S_\theta & 0 \\ S_\theta & C_\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

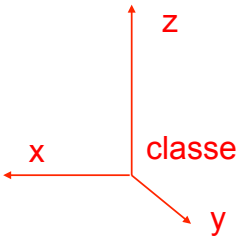


Rotations simples autour de x,y, et z

2-1 Matrice de rotation

007.10.30,008.03.11, 008.10.14 , 010.10.19 , 011.03.24, 011.10.20, 012.11.05, 013.10.29, 014.03.23

Donner la matrice de rotation décrivant l'orientation du stylo par rapport à la salle de classe dans le cas ci-dessous.

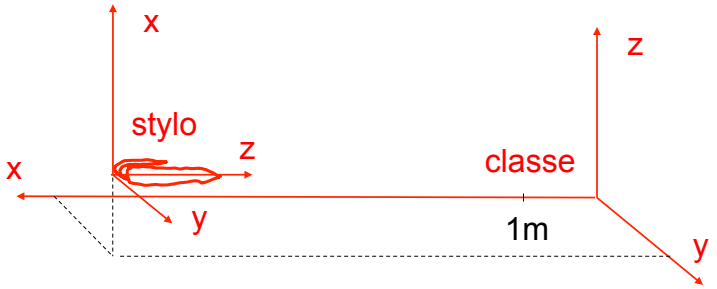


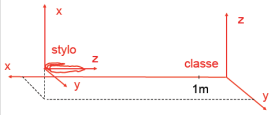
N14

2-2 Matrice de transformation

008.03.11, 008.10.28 , RVO009.03.19, 009.10.26 , 010.10.19 , 011.03.24 , 011.10.20, 012.11.05

Imaginer un stylo posé sur la table devant le tableau de la classe. Donner la matrice de transformation en coordonnées homogènes décrivant la position et l'orientation (« pose ») du stylo par rapport à la salle de classe (repère habituel) dans le cas ci-dessous.





N14.1

2-2 Matrice de transformation

015….

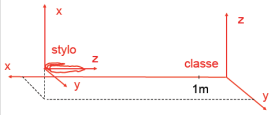
Qu'est-ce qu'une transformation dans notre contexte?

A Une translation

B Une rotation

C Une combinaison de translation et rotation

D Un changement de coordonnées



2-2 Matrice de transformation

015….

N14.2

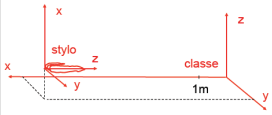
Comment représenter une transformation dans ce cas?

A Un vecteur 1x3

B Une matrice 3x3

C Une matrice 4x4

D Une liste de coordonnées



2-2 Matrice de transformation

015….

N14.3

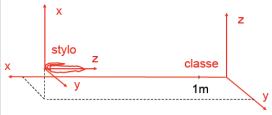
Quelle est la position du stylo (ignorons d'abord les rotations)?

A
$$\begin{array}{c} x_c \\ y_c \\ z_c \\ s \end{array} \begin{pmatrix} 6 \\ 2 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

B
$$\begin{array}{c} x_c \\ y_c \\ z_c \\ \\ \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

C
$$\begin{array}{c} x_c \\ y_c \\ z_c \\ \\ \end{array} \begin{pmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

D
$$\begin{array}{c} x_c \\ y_c \\ z_c \\ p \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$



2-2 Matrice de transformation

015….

N14.4

Quelle est la position et l'orientation (pose) du stylo?

A

$$\begin{array}{cccc} x_S & y_S & z_S & \vec{p} \\ \end{array}$$
$$\begin{pmatrix} 0° & 0° & 2° & 1 \end{pmatrix}$$

B

$$\begin{array}{c} x_c \\ y_c \\ z_c \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

C

$$\begin{array}{c} x_c \\ y_c \\ z_c \end{array} \begin{pmatrix} 0° & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0° & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 2° & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

D

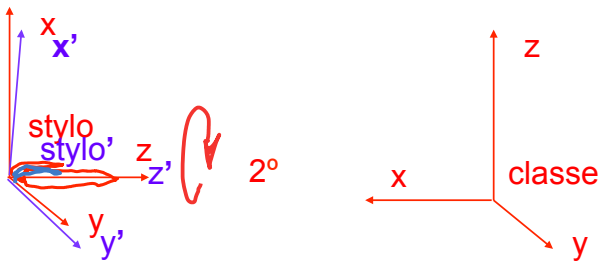
$$\begin{array}{c} \\ x_c \\ y_c \\ z_c \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} x_S & y_S & z_S & \vec{p} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 6 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

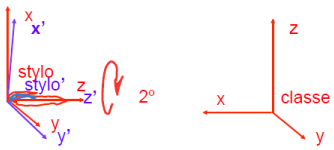
N15

2.2-1… Analogie graphique ,

RSA 011.10.20 , 012.11.05, 014.03.31

Donner la matrice de transformation en coordonnées homogènes décrivant la position et l'orientation (« pose ») du stylo par rapport à la salle de classe après qu'il ait tourné de 2 degrés autour de son propre axe z.





2.2-1… Analogie graphique

N15.1

Quelle est la matrice de base de rotation autour de z en coordonnées homogènes?

A

$$\begin{array}{c|cccc} & x_S & y_S & z_S & \vec{p} \\ \hline x_c & 0 & 0 & -1 & 6 \\ y_c & 0 & 1 & 0 & 2 \\ z_c & 1 & 0 & 0 & 1 \\ & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

B

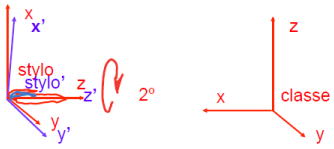
$$\begin{array}{c|ccc} & x_S & y_S & z_S \\ \hline xc & C\varphi & 0 & S\varphi \\ yc & 0 & 1 & 0 \\ zc & -S\varphi & 0 & C\varphi \end{array}$$

C

$$R_{z,\theta} = \begin{array}{c|ccc} & u & v & w \\ \hline x & C_\theta & -S_\theta & 0 \\ y & S_\theta & C_\theta & 0 \\ z & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

D

$$R_{z,\theta} = \begin{array}{c|cccc} & u & v & w & \vec{p} \\ \hline x & C_\theta & -S_\theta & 0 & 0 \\ y & S_\theta & C_\theta & 0 & 0 \\ z & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$



2.2-1… Analogie graphique

N15.2

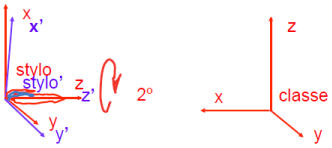
Que devient un repère dans le graphe des repères et transformations (GRT)?

A Cela reste un repère

B un point

C une flèche

D un vecteur position



2.2-1… Analogie graphique

N15.3

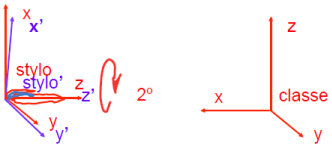
Que devient une transformation dans le graphe des repères et transformations?

A Une flèche avec origine selon le repère de lignes et l'extrémité selon le repère de colonnes

B Une flèche directe et une flèche inverse

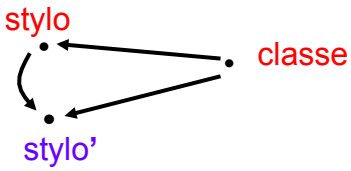
C Une flèche avec origine selon le repère de colonnes et l'extrémité selon le repère des lignes

D Deux flèches, l'une vers le repère de lignes et l'autre vers le repère de colonnes



2.2-1… Analogie graphique

N15.4



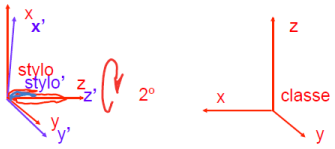
Quelles sont nos conventions d'écriture et d'expression orale pour les transformations (contexte GRT)?

A $T_{classe}^{\ \ stylo}$

B $classeT^{stylo}$

C $R_{z,2^\circ}$

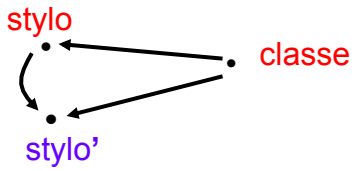
D $\begin{array}{c} \\ x_c \\ y_c \\ z_c \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} x_S & y_S & z_S & \vec{p} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 6 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$



2.2-1… Analogie graphique

N15.5

Comment les transformations se combinent-elles? Relations GRT et équations matricielles



A Aggrégation de flèches successives <=> produit des matrices correspondantes

C Flèche inverse <=> matrice inverse

E réponses A et C et D

B réponses A et C

D Si une opération est simple dans un repère r, alors:

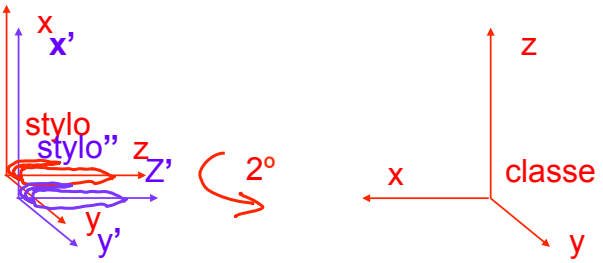
- y aller
- faire l'opération simple
- en revenir

2.2-1 Analogie graphique (GRT) ,

N16

008.10.28, , RVO009.03.19, 009.10.26 , 010.10.19 , 011.03.24 , 012.11.05 , 014.03.31, 014.10.27

Donner la matrice de transformation en coordonnées homogènes décrivant la position et l'orientation (« pose ») du stylo par rapport à la salle de classe après qu'il ait tourné de 2 degrés autour du z de la classe.



2.2-1 Analogie graphique (GRT) , N16.1

008.10.28, , RVO009.03.19, 009.10.26 , 010.10.19 , 011.03.24 , 012.11.05 , 014.03.31, 014.10.27

Donner la matrice de transformation en coordonnées homogènes décrivant la position et l'orientation (« pose ») du stylo par rapport à la salle de classe après qu'il ait tourné de 2 degrés autour du z de la classe.

A $T_{classe}^{stylo''} = T_{classe}^{stylo} \cdot R_{z,2^\circ}$

B $T_{classe}^{stylo''} = T_{classe}^{stylo} \cdot T \cdot R_{z,2^\circ} \cdot T^{-1}$

avec $T = \left(T_{classe}^{stylo}\right)^{-1}$

C $T_{classe}^{stylo''} = R_{z,2^\circ} \cdot T_{classe}^{stylo}$

D réponses B ou C

E réponses A ou B ou C

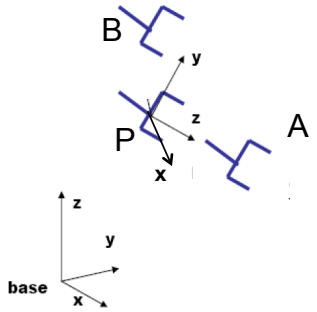
2.2-2 Analogie graphique 1 de 8

010.11. 01-02

Soit une pince, positionnée en P.

Dans un cas, étudier la spécification du point A, correspondant au déplacement dans l'axe de l'outil, z_{pince} , z_P , de 100 mm.

Dans le deuxième cas, étudier la spécification du point B, situé à100 mm en vertical , c'est-à-dire déplacé parallèlement à z_{base} .



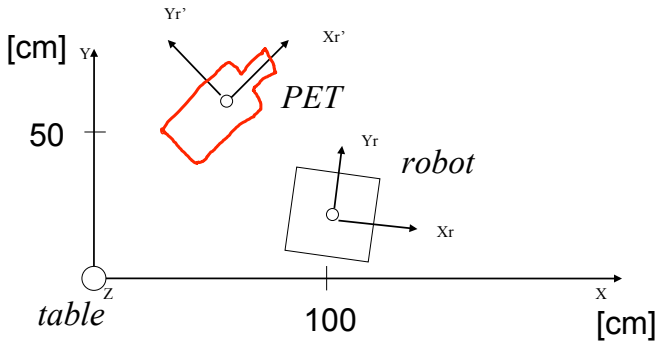
2. Matrices de transformation

Aller voir sous 2.4.

2.2.4 Graphe des transformations

006.11.17, 007.04.17, 007.11.05

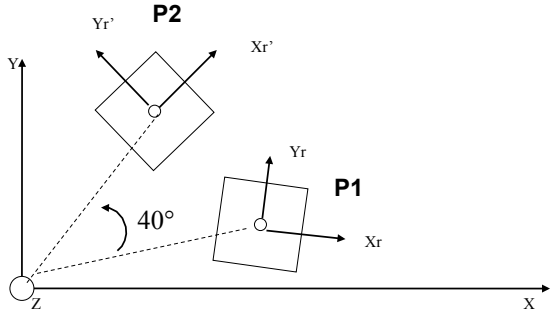
Soit une table de jeu avec une bouteille de PET et un robot. Si la position de la bouteille et celle du robot sont connues par rapport à la table, donner la position (« transformation ») de la bouteille par rapport au robot.



2.2.5 Graphe des transformations

005.12.09. 006.05.05, 007.11.06

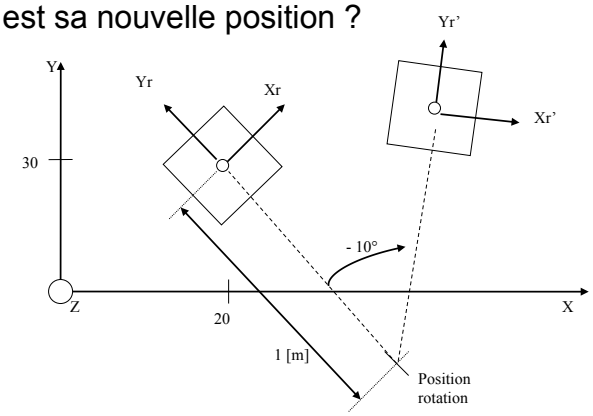
Dark18 est en P1. L'arbitre lui fait subir une rotation de 40° par rapport au Z de la table. Quelle est sa nouvelle position ?



2.2.6 Graphe des transformations

005.12.12, 006.12.11

Dark18 se trouve en 20, 30 et 40°. Il tourne à droite avec un rayon de courbure de 1 [m] et un angle de -10°. Quelle est sa nouvelle position ?



2.4.2.7 Matrice de transformation

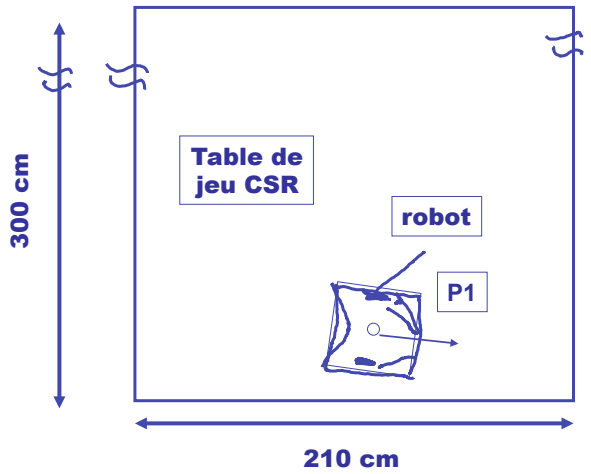
005.12.09, 007.11.05, 011.01.25

Donner la matrice $T_{Classe}^{Tableau}$ de transformation en coordonnées homogènes décrivant la « position » et l'orientation du tableau noir par rapport à la salle de la classe ?

2.4.2.8 Matrice de transformation

006.11.20

Où est le robot?

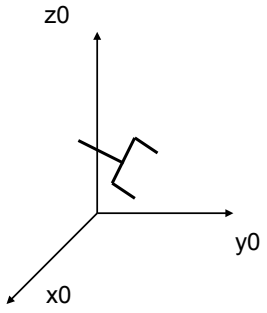


Exo 2.3.1 Angles d'Euler et robot

006.04.28b

- Interpréter les coordonnées linéaires et angulaires dans le cas d'un robot positionné ainsi:
- X Y Z Phi Theta Psi

500 400 800 45 120 60



(Theta , phi et psi sont les angles d'Euler au sens strict: ZYZ)

N17.0

2.5.3.1 Solutions cinématiques directe et inverse

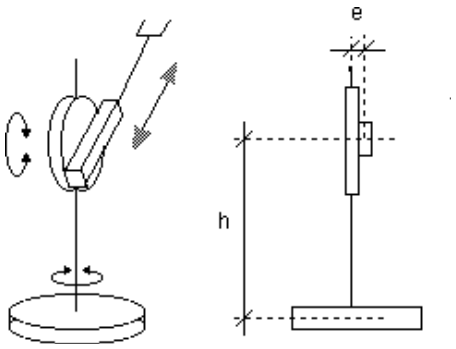
Que sont les solutions cinématiques directe et inverse en robotique, et à quoi servent-elles principalement?

2.5.3.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

N17

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07

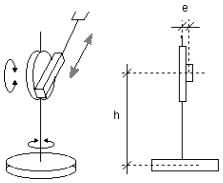
On désire trouver la « matrice du bras », pour le cas présenté dans la fig.ci-dessous. Définir les référentiels de ce bras selon la méthode Denavit-Hartenberg



- 2.5.3.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

N17.1

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03



Qu'est-ce que la solution cinématique directe?

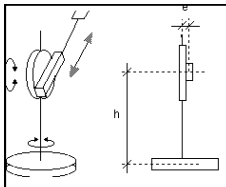
A La méthode de Denavit-Hartenberg

B Ce qui donne la matrice du bras en fonction des coordonnées moteurs

C Ce qui donne les coordonnées spatiales en fonction des coordonnées articulaires

D Ce qui donne les coordonnées articulaires en fonction des coordonnées spatiales

E Réponses B ou C (ou A, s'il s'agit d'une chaîne cinématique, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'axes parallèles)



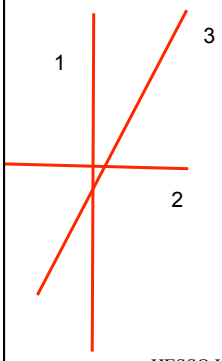
2.5.3.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

N17.2

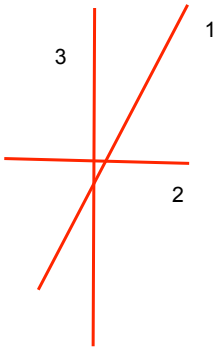
007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03

Quels sont les axes i, à définir selon la méthode D-H?

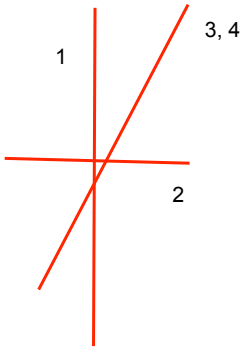
A

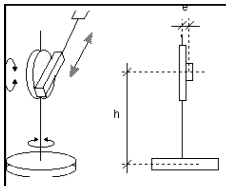


B



C





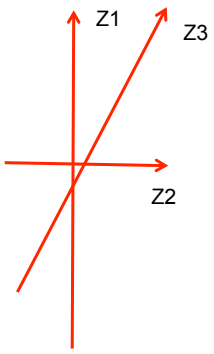
2.5.3.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

N17.3

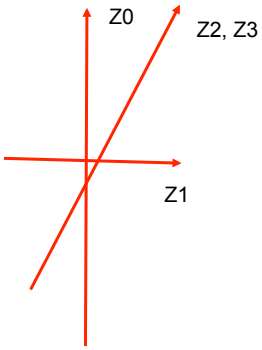
007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03

Quels sont les axes z_i, selon la méthode D-H?

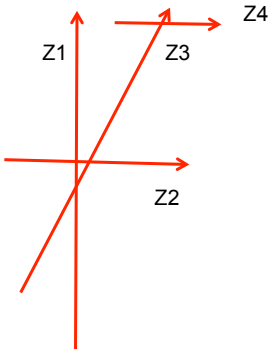
A

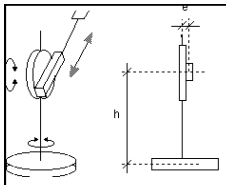


B



C



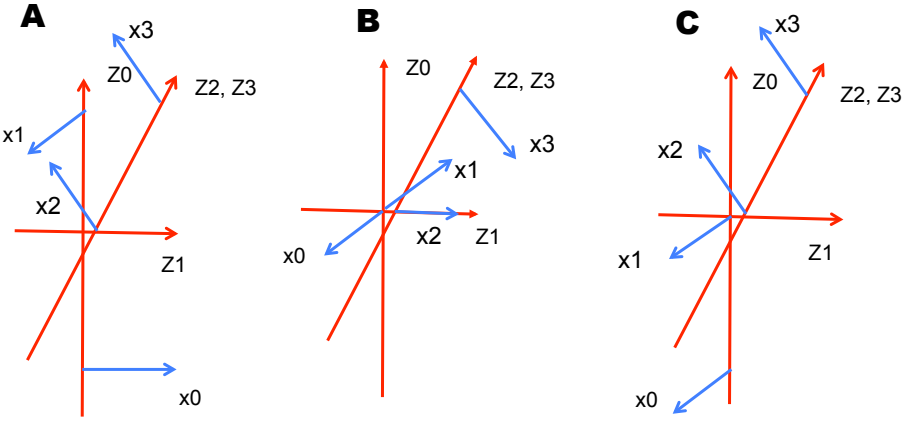


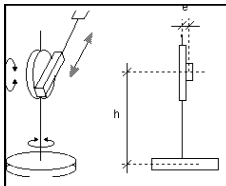
2.5.3.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

N17.4

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03

Quels sont les axes x_i, selon la méthode D-H?



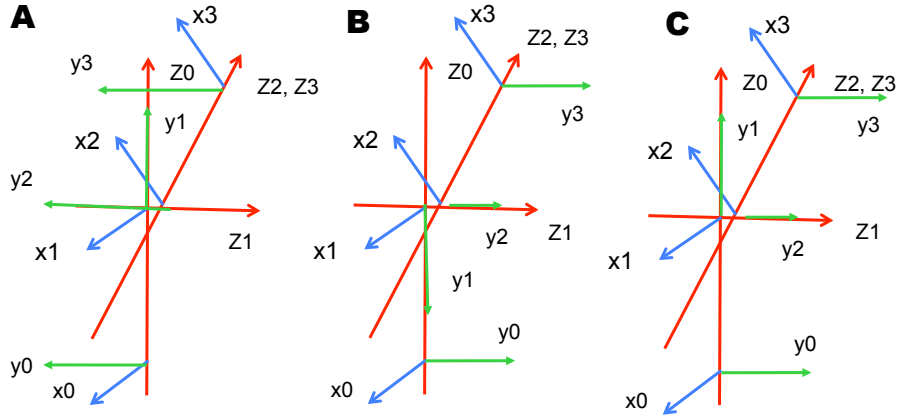


2.5.3.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

N17.5

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03

Quels sont les axes y_i, selon la méthode D-H?

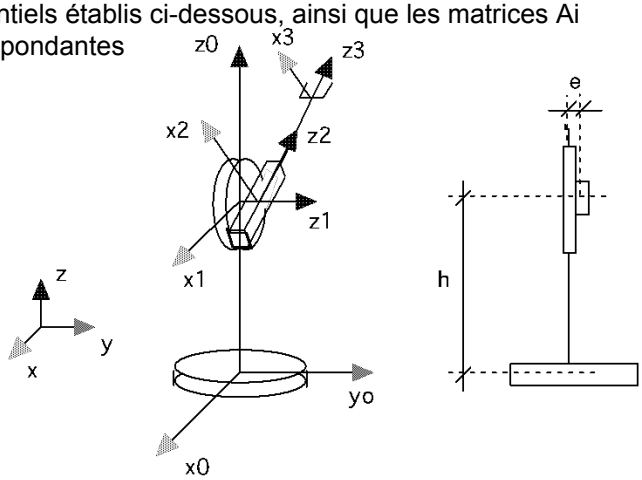


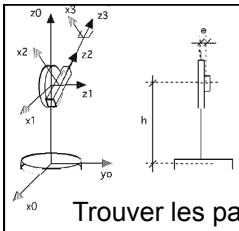
N18

2.5.4.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

007.01.11, 007.05.01, 007.11.13 , 008.03.18, 008.10.31, 009.03.26, 009.10.27, 010.11.08 , 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.11.04

- Trouver les paramètres θi, di, ai, et αi de D-H correspondant aux référentiels établis ci-dessous, ainsi que les matrices Ai correspondantes



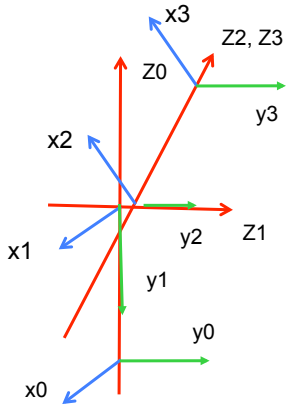


N18.1

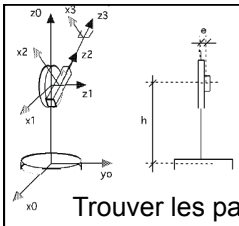
2.5.4.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

007.01.11, 007.05.01, 007.11.13 , 008.03.18, 008.10.31, 009.03.26, 009.10.27, 010.11.08 , 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.11.04, 014.11.03

Trouver les paramètres θi, de D-H correspondant aux référentiels établis ci-dessous, ainsi que les matrices Ai correspondantes



	articulation 1	2	3
A thetai	0°	0°	300°
B thetai	var:θ1 (0°)	var:θ2 (60°)	0°
C thetai	var:θ1 (0°)	var:θ2 (300°)	0°

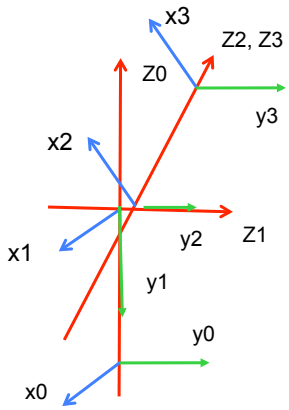


2.5.4.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H 007.01.11,

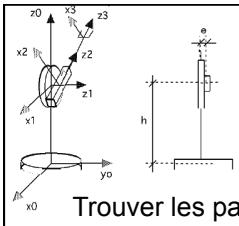
N18.2

007.05.01, 007.11.13 , 008.03.18, 008.10.31, 009.03.26, 009.10.27, 010.11.08 , 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.11.04, 014.11.03

Trouver les paramètre di, de D-H correspondant aux référentiels établis ci-dessous, ainsi que les matrices Ai correspondantes



	articulation	1	2	3
A	di	e	h	300
B	di	h	e	var:d3
C	di	300	e	h

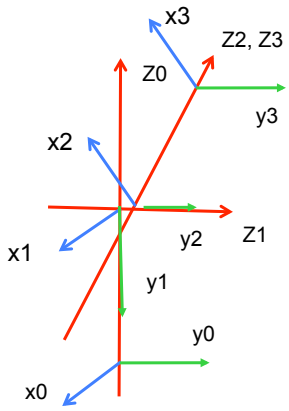


2.5.4.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H 007.01.11,

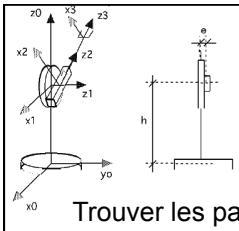
N18.3

007.05.01, 007.11.13 , 008.03.18, 008.10.31, 009.03.26, 009.10.27, 010.11.08 , 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.11.04, 014.11.03

Trouver les paramètre ai, de D-H correspondant aux référentiels établis ci-dessous, ainsi que les matrices Ai correspondantes



	articulation	1	2	3
A	ai	e	h	300
B	ai	h	e	var:d3
C	ai	0	0	0

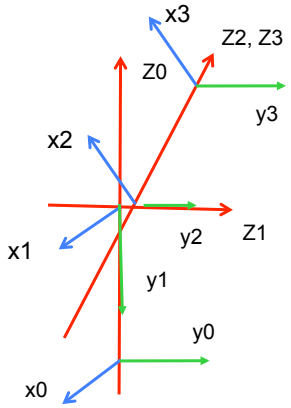


2.5.4.1 Solution cinématique directe / référentiels D-H

N18.4

007.01.11, 007.05.01, 007.11.13 , 008.03.18, 008.10.31, 009.03.26, 009.10.27, 010.11.08 , 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.11.04, 014.11.03

Trouver les paramètres αi, de D-H correspondant aux référentiels établis ci-dessous, ainsi que les matrices Ai correspondantes



	articulation 1	2	3
A	alphai 270°	90°	0°
B	alphai var:α1 (0°)	var:α3 (60°)	0°
C	alphai 0°	0°	300°

	articulation 1	2	3
thetai	var:θ1 (0°)	var:θ2 (300°)	0°
di	h	e	var:d3
ai	0	0	0
alphai	270°	90°	0°

2.5.4.1 Solution cinématique directe / matrices D-H

N18.5

007.01.11, 007.05.01, 007.11.13 , 008.03.18, 008.10.31, 009.03.26, 009.10.27, 010.11.08 , 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.11.04, 014.11.03

Report des paramètres dans les matrices des éléments, cas de la première articulation?

A

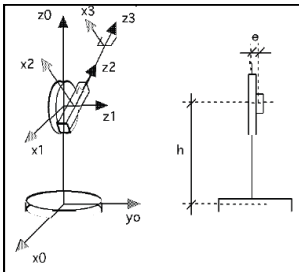
$$A_0^{\,1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

B

$$A_0^{\,1} = \begin{pmatrix} C\theta_1 & 0 & S\theta_1 & 0 \\ S\theta_1 & 0 & -C\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & e \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

C

$$A_0^{\,1} = \begin{pmatrix} C\theta_1 & 0 & -S\theta_1 & 0 \\ S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



2.5.4.1 Solution cinématique directe / matrices D-H

N18.6

007.01.11, 007.05.01, 007.11.13 , 008.03.18, 008.10.31, 009.03.26, 009.10.27, 010.11.08 , 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.11.04, 014.11.03

Et comment calculer la matrice du bras?

A $T_0^{\,3} = A_0^{\,1} \cdot A_1^{\,2} \cdot A_2^{\,3}$

B $T_0^{\,3} = A_2^{\,3} \cdot A_1^{\,2} \cdot A_0^{\,1}$

C $T_0^{\,3} = A_3^{\,2} \cdot A_2^{\,1} \cdot A_1^{\,0}$

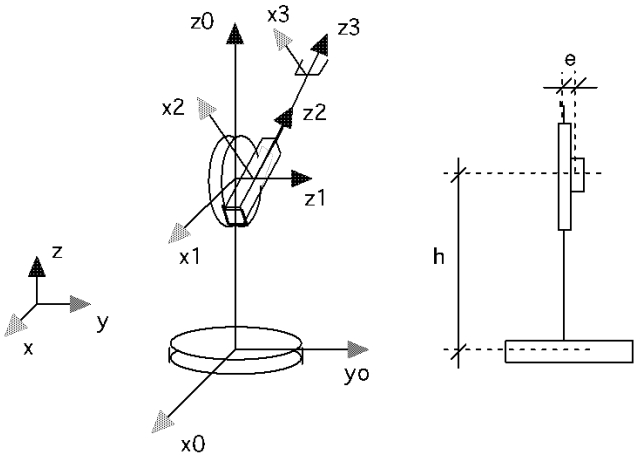
D $T_0^{\,3} = A_0^{\,1} \cdot A_0^{\,2} \cdot A_0^{\,3}$

2.6.2.1Solution cinématique inverse

N19

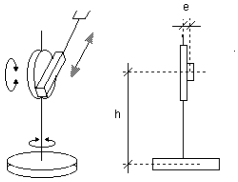
007.01.25, 007.11.13, 008.11.07, 009.11.02 , 010.11.08, 011.11.03, 012.11.09, , 013.11.04

1. Donner la solution cinématique inverse pour ce mécanisme (dans un premier temps, prendre e=0).



- 2.5.3.1 Solution cinématique inverse **N19.1**

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03



Qu'est-ce que la solution cinématique inverse?

A La méthode de Denavit-Hartenberg

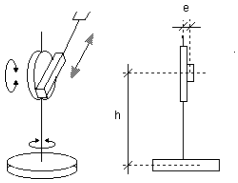
B Ce qui donne la matrice du bras en fonction des coordonnées moteurs

C Ce qui donne les coordonnées spatiales en fonction des coordonnées articulaires

D Ce qui donne les coordonnées articulaires en fonction des coordonnées spatiales

- 2.5.3.1 Solution cinématique inverse **N19.2**

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03



Quelles coordonnées cherche-t-on?

A $\theta 1, \theta 2, \theta 3$

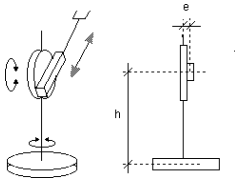
B X, Y, Z

C $d1, \theta 2, \theta 3$

D $\theta 1, \theta 2, d3$

- 2.5.3.1 Solution cinématique inverse **N19.3**

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03



Que faire pour le cas où l'on aurait plus que 3 ddl?

A Résoudre le cas du premier ddl

B Calculer la position du poignet :

$$\vec{p}' = \vec{p} - d \cdot \vec{a}$$

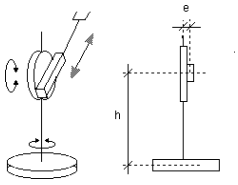
C Résoudre le cas du dernier ddl

D Calculer la position du poignet :

$$\vec{p}' = \vec{p} + d \cdot \vec{a}$$

- 2.5.3.1 Solution cinématique inverse **N19.4**

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03



Cas 1: e=0

Que vaut θ1 ?

A 0 degrés

B θ1 = Arc tg4 (py/px)

C Valeur non définie

D θ1 = Arctg4 ((pz-h)/rh)

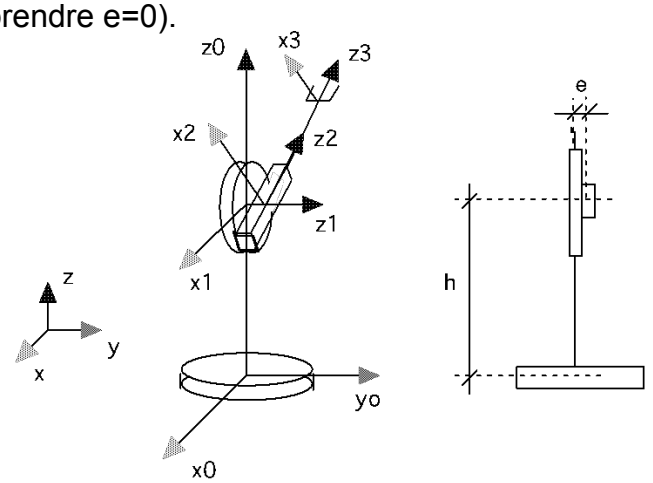
avec $rh = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$

2.6.2.1Solution cinématique inverse

N19.5

007.01.25, 007.11.13, 008.11.07, 009.11.02 , 010.11.08, 011.11.03, 012.11.09, , 013.11.04

1. Donner la solution cinématique inverse pour ce mécanisme, pour les 2 coordonnées restantes, θ2 et d3 (dans un premier temps, prendre e=0).



2…Solution cinématique directe pour robot mobile (RM)

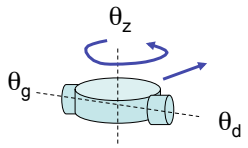
Donner le principe de la solution cinématique directe pour un robot mobile à deux roues actives, tel que Dark18 par exemple.

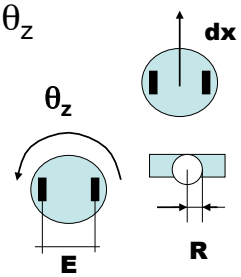
2…Solution cinématique directe (RM)

005.12.16,, 011.11.08

Donner la solution cinématique directe pour les «micro»-problèmes dans le cas d'un robot mobile (cf. méthode Amiguet 98):

1. mouvement linéaire: θ_g, θ_d=> d_x
2. mouvement rotatif: θ_g, θ_d=> θ_z





2…Solution cinématique directe (RM)

005.12.16,, 011.11.08

Donner la solution cinématique directe pour le «macro»-problème dans le cas d'un robot mobile (cf. méthode Amiguet 98):

θ_1,d_2 et θ_3 => T_0^3

2…Solution cinématique inverse pour robot mobile (RM)

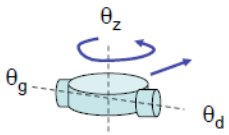
N20

Donner le principe de la solution cinématique inverse pour un robot mobile à deux roues actives, tel que Dark18 par exemple.

- ## 2.5.3.1 Solution cinématique inverse

N20.1

007.01.11, 007.04.24, 007.11.12, 008.03.18, 008.10.31, RVO009.03.26, 009.10.27, 010.11.02, 011.03.31, 011.11.01, 012.11.09, 013.10.29, 014.04.07 , 014.11.03



Donner le principe de la solution cinématique inverse pour un robot mobile à deux roues actives, tel que Dark18 par exemple

A passer par des coordonnées intermédiaires : θ_1,d_2 et θ_3 pour assurer ainsi un déplacement en ligne droite

B mouvement linéaire: θ_g, θ_d=> d_x

C pour les mouvements rotatifs: θ_g, θ_d=> θ_z

D θ_1,d_2 et θ_3 => T_0^3 ; utiliser la méthode D-H

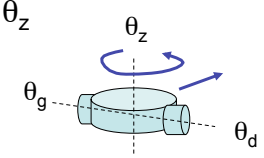
E Utiliser la méthode Amiguet (iAi-LaRA 1998)

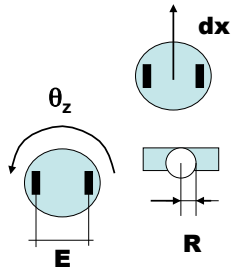
2…Solution cinématique inverse(RM)

011.11.08

Donner la solution cinématique inverse pour Dark18
selon les deux cas de base («micro»-problèmes):
1. dans un déplacement linéaire
2. dans un déplacement angulaire

Coordonnées articulaires :θ_g, θ_d
Coordonnées spatiales :
cas 1: dx
cas 2: θ_z

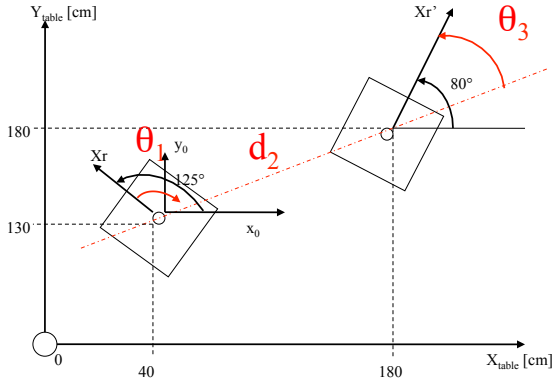




2…Solution cinématique inverse 005.12.20

Trouver les coordonnées intermédiaires θ_1, d_2, θ_3 pour Dark18, connaissant sa position (transformation) courante et sa position future visée

$$\vec{P}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix}$$



$$\vec{P}_2 = \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}$$