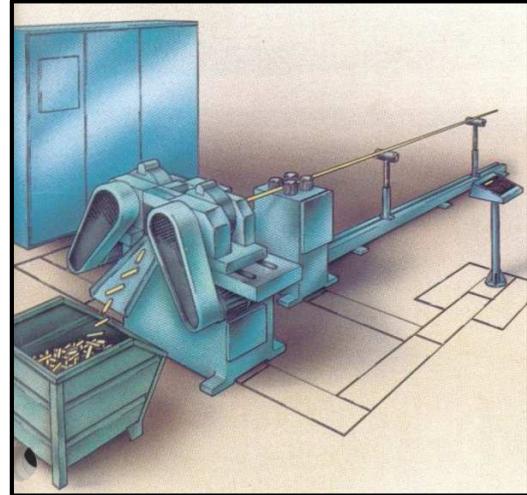


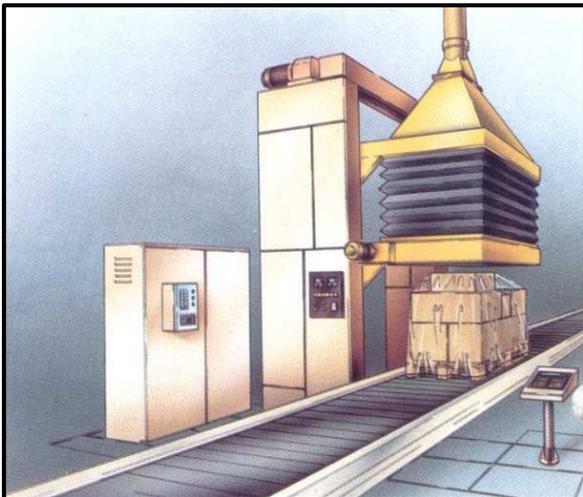
# Acquisition d'une grandeur physique : les capteurs rotatifs de position

## 1. Présentation

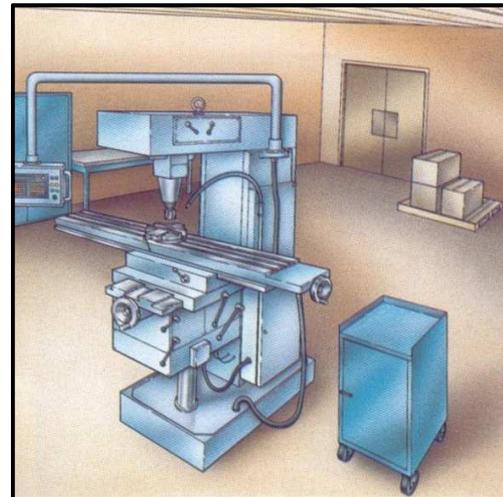
Le contrôle du déplacement, de la position ou de la vitesse d'un mobile est un problème rencontré sur un grand nombre de systèmes automatisés ou grand public (mouvements d'un robot, d'un chariot, vitesse d'une voiture, ...).



*Tronçonnage à longueur d'un profilé*



*Positionnement de l'emballage sur une machine automatique*



*Positionnement rectiligne et angulaire d'un plateau d'une machine-outil*

Les systèmes de détection conventionnels (détecteurs de position par contact ou de proximité) ne fournissent que des informations TOR (tout ou rien), ils ne répondent donc que partiellement au problème posé. Une des solutions consiste à utiliser un capteur rotatif de position appelé **codeur optique de position** (figure 1).



*Figure 1 : Codeur optique de position*

Dans le cas d'un codeur optique de position, le positionnement du mobile est entièrement maîtrisé par les systèmes de traitement de données et non plus réalisé physiquement par le positionnement d'un interrupteur de position sur la machine (figure 2).

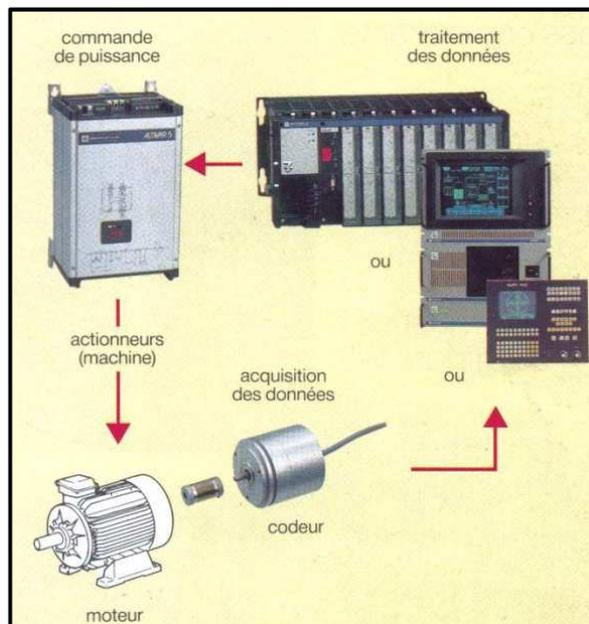


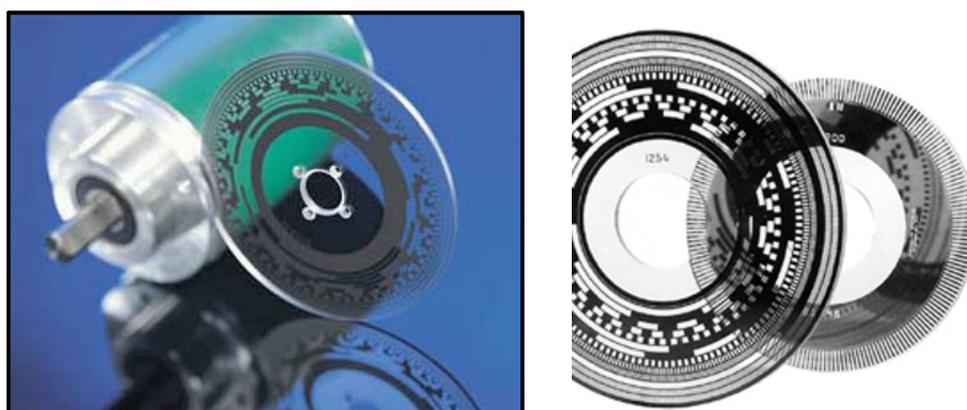
Figure 2

## 2. Description et principe général de fonctionnement

Le codeur optique de position est un **dispositif électromécanique** dont la sortie électrique représente sous **forme numérique** la **position angulaire** de l'axe d'entrée. Il est donc un **capteur de position angulaire** qui délivre des **informations numériques**.

Le codeur optique est lié mécaniquement à un arbre qui l'entraîne, son axe fait tourner un **disque** qui lui est solidaire et qui comporte une succession de **parties opaques** et **transparentes** (figure 3).

Figure 3 : Disque comportant des parties opaques et transparentes



Une **lumière** émise par des DELs (Diodes Electro-Luminescentes) ou LEDs (Light-Emitting Diode) (**émetteur**) traverse ou est arrêtée par le disque, créant un **signal logique** sur des photorécepteurs (photo-transistors ou photo-diodes) (**récepteur**) (figure 4). Ce signal peut alors être exploité électroniquement par une unité de traitement numérique.

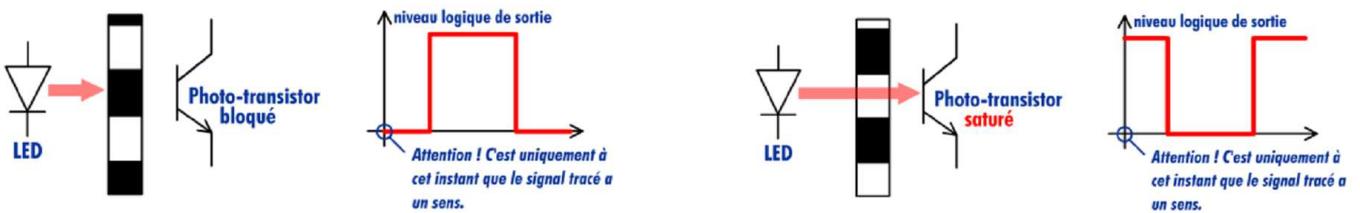
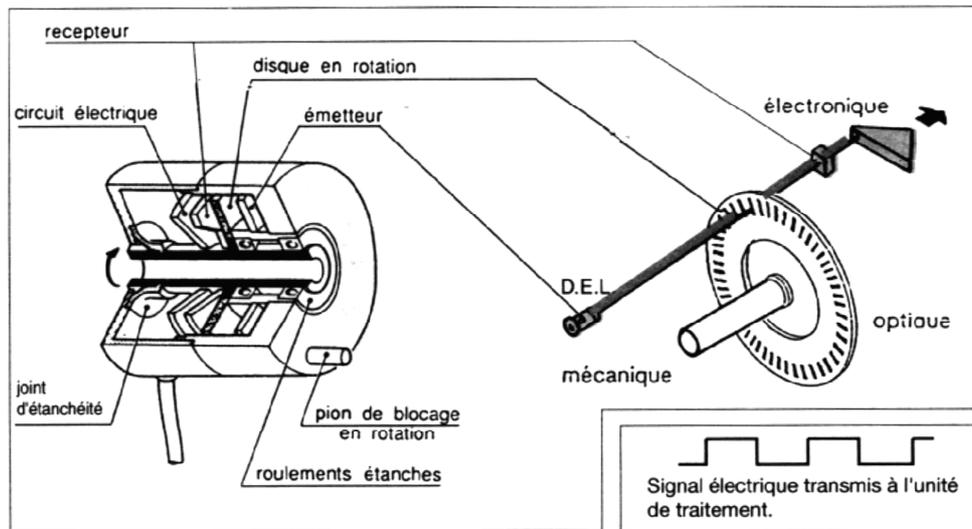
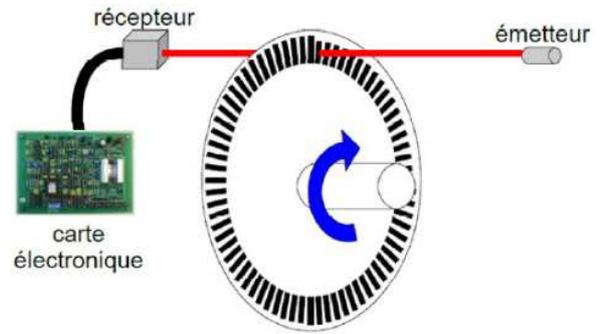


Figure 4 : Principe du codeur optique de position

Il existe deux types de codeurs : le **codeur incrémental** et le **codeur absolu**.

### 3. Le codeur incrémental

Le **codeur incrémental** ou **relatif** délivre une information de déplacement angulaire du disque sous la forme d'un **nombre d'impulsions** proportionnel à l'angle de rotation effectué. Le **comptage-décomptage des impulsions** par l'unité de traitement permet de définir la **position** du mobile. La **fréquence** des signaux délivrés donne en plus la **vitesse** de rotation.

Le disque comporte au maximum **3 pistes** (figure 5) :

- **1** ou **2 pistes extérieures** (A et B) divisées en **2n intervalles** d'angles égaux,

alternativement opaques et transparents. Pour un tour complet du codeur, le faisceau lumineux est interrompu  $n$  fois et délivre des signaux carrés (A et B).

$n$  est la "**résolution**" ou le "**nombre de points / tr**" du codeur. La résolution est aussi le **nombre de périodes / tr** ou le **nombre d'impulsions / tr**.

Remarque : On choisit un codeur incrémental d'un nombre de points d'autant plus élevé que l'on veut une grande précision de mesure angulaire.

Exemples : Choix du codeur incrémental

- Précision angulaire de  $0,1^\circ$  :

$$\text{Résolution} \Rightarrow n = \frac{360}{0,1} = 3600 \text{ points / tour}$$

- Précision angulaire d'au moins  $0,38^\circ$  :

$$\text{Résolution} \Rightarrow n \geq \frac{360}{0,38} \geq 950 \text{ points / tour}$$

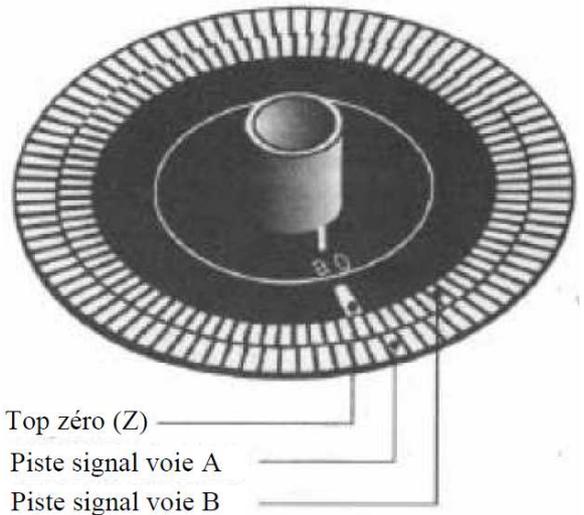


Figure 5 : Disque d'un codeur incrémental

Deux **photorécepteurs** décalés sont installés derrière les pistes extérieures. Ils fournissent des signaux carrés A et B **décalés d'un quart de période** (figure 6). Ce déphasage électrique de  $90^\circ$  ( $1/4 \times 360^\circ$ ) permet de déterminer le **sens de rotation**. Selon le sens de rotation, le signal B est à "1" ou à "0" lors du front montant du signal A (figure 7).

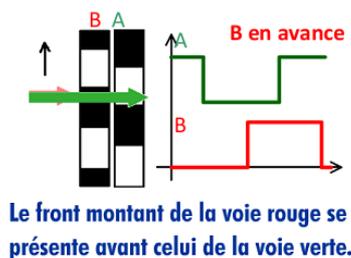
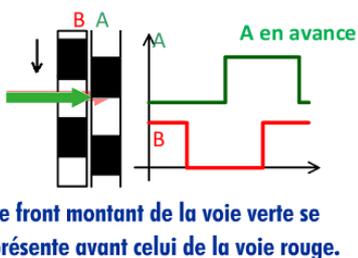
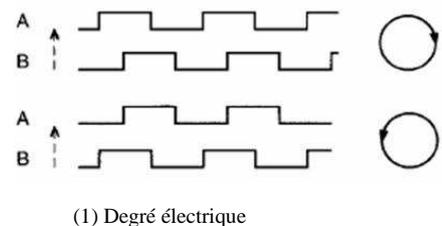
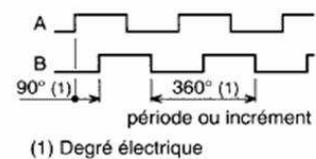
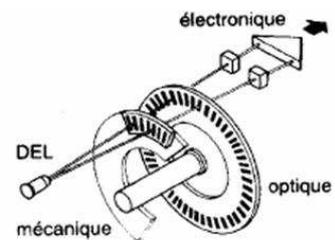
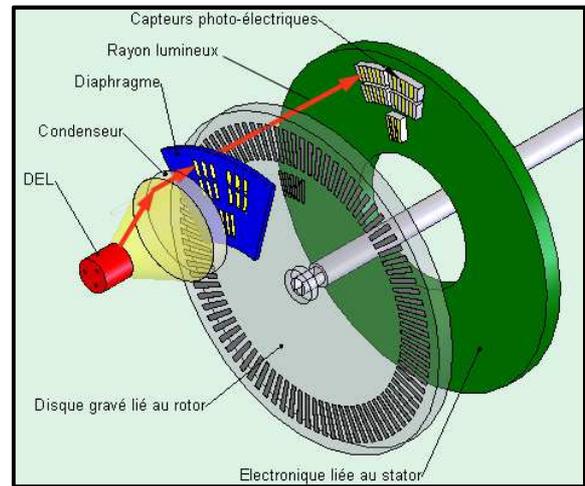


Figure 6 : Signaux carrés A et B décalés d'un quart de période - Déphasage électrique de  $90^\circ$

Figure 7 : Le déphasage électrique de  $90^\circ$  permet de déterminer le sens de rotation du disque

- **une piste intérieure (Z)** comporte **une seule fenêtre transparente**. Il n'existe donc qu'une impulsion/tr pour le signal Z : c'est le "**top zéro**". Ce "top zéro" détermine une **position de référence**, permet la **réinitialisation** à chaque tour et le comptage des tours.



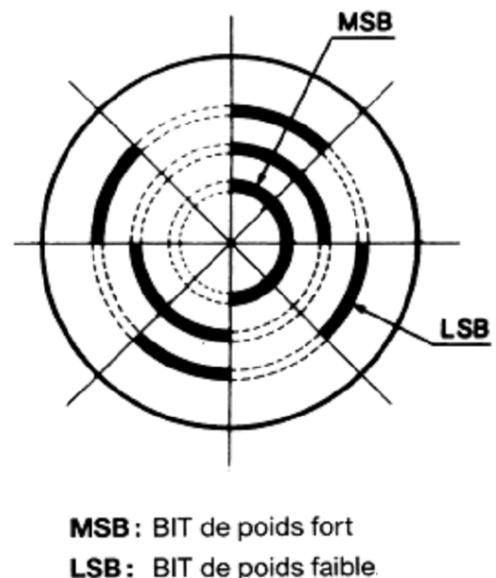
*Le codeur incrémental*

#### 4. Le codeur absolu

Le **codeur absolu** délivre un **code** ou **mot numérique**, c'est-à-dire une valeur numérique codée en binaire sur  **$n$  bits**.

Le disque du codeur absolu comporte  **$n$  pistes** (figure 8). Chaque piste a son propre système de lecture. Le système de lecture comporte donc  **$n$  LEDs** (émetteur) et  **$n$  photo-récepteurs**.

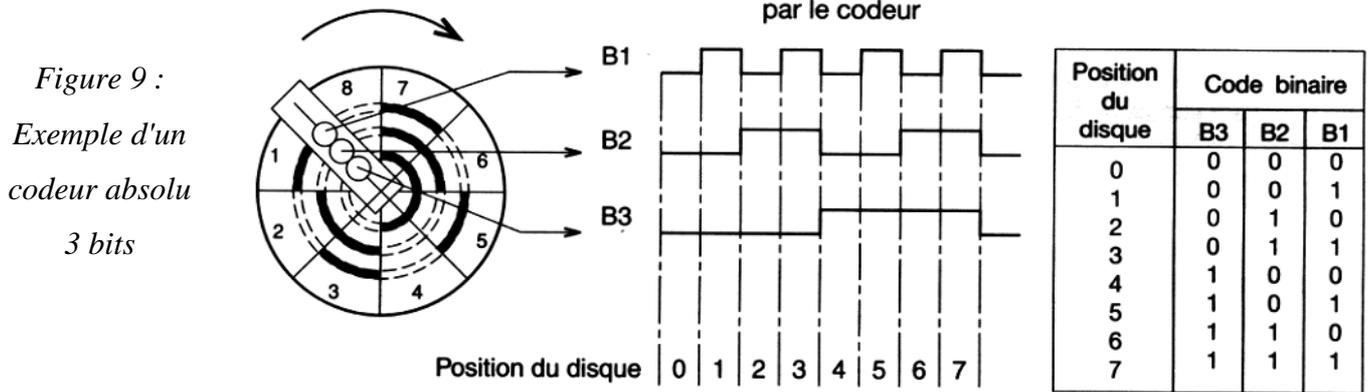
- La 1<sup>ère</sup> piste (la piste au centre du disque) est composée d'une moitié opaque et d'une moitié transparente. Elle permet donc de déterminer dans quel 1/2 tour on se trouve. C'est la **piste MSB** (Most significant bit) ou "**bit de poids fort**".
- La piste suivante, en allant vers l'extérieur, est divisée en 4 quarts alternativement opaques et transparents. La lecture de cette piste combinée avec la lecture de la piste précédente permet alors de déterminer dans quel quart (1/4) de tour on se situe.
- Les pistes suivantes permettent successivement de savoir dans quel huitième (1/8) de tour, seizième (1/16) de tour, ... on se situe.



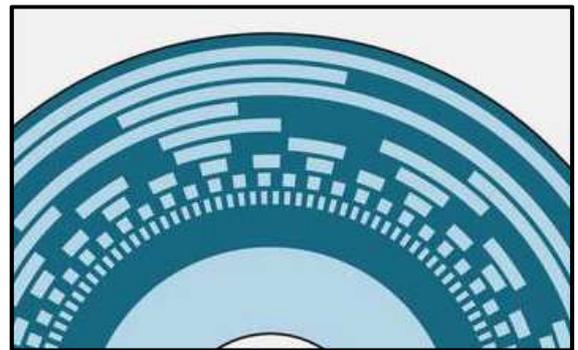
*Figure 8 : Disque d'un codeur absolu  
Exemple d'un codeur à 3 pistes ( $n = 3$ )*

La dernière piste ou la piste extérieure est la **piste LSB** (least significant bit) ou "**bit de poids faible**". Elle comporte **2<sup>n</sup> zones** alternativement opaques et transparents. Un tour de disque permet donc de **coder 2<sup>n</sup> positions** (figure 9). Cette dernière piste donne la précision finale de la mesure, ou **résolution** du codeur.

**Exemple: codeur 3 bits  $\Rightarrow 2^3 = 8$  solutions codables**



La lecture simultanée de toutes les pistes donne un code ou mot binaire représentatif de la position angulaire du codeur dans le tour. Ce code comporte autant de bits que le codeur a de pistes :  $n$  bits. Il correspond à  $\frac{1}{2^n}$  ème de tour.



La **résolution** du codeur est donc de **2<sup>n</sup> points par tour** (précision angulaire =  $360^\circ / 2^n$ ).

Remarque : On choisit donc un codeur absolu d'un nombre de pistes (bits) d'autant plus élevé que l'on veut une grande précision de mesure angulaire (les codeurs industriels comportent jusqu'à 24 pistes).

Exemples : Choix du codeur absolu

- Précision angulaire d'au moins  $0,1^\circ$  :

$$\text{Résolution} \Rightarrow 2^n \geq \frac{360}{0,1} \geq 3600 \text{ points / tour} \Rightarrow \text{codeur 12 bits} \quad (2^{12} = 4096)$$

- Précision angulaire d'au moins  $0,38^\circ$  :

$$\text{Résolution} \Rightarrow 2^n \geq \frac{360}{0,38} \geq 950 \text{ points / tour} \Rightarrow \text{codeur 10 bits} \quad (2^{10} = 1024)$$

▪ Codes délivrés par le codeur et intérêt du binaire réfléchi sur le binaire naturel

Le code binaire délivré par un codeur absolu peut être "*binaire naturel*" ou "*binaire réfléchi*" (code de Gray).

Le choix se portera soit sur un code binaire naturel, soit sur un code de Gray suivant le mode de traitement des données.

En "*binaire naturel*" ou "pur" (figure 10), il peut y avoir *changement simultané* de *plusieurs bits* d'une position à la suivante (exemple : passage du mot binaire 001 au mot 010 pour aller de la position 1 à la position 2).

Si l'alignement des têtes de lecture n'est pas parfait, il peut y avoir apparition brève d'un *code erroné* (exemple : 001, 011 puis 010 pour aller de la position 1 à la position 2).



Le "*binaire réfléchi*" ou le code de Gray (figure 11) ne fait intervenir qu'*un changement de bit à la fois* dans sa progression (exemple : codes sur 3 bits : 000, 001, 011, 010, 110, 111, 101, 100). Les codes erronés sont donc impossibles.

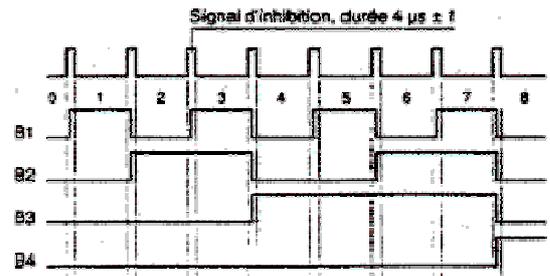
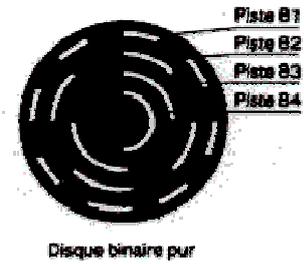


Figure 10 : Codeur en "binaire naturel" ou "pur"

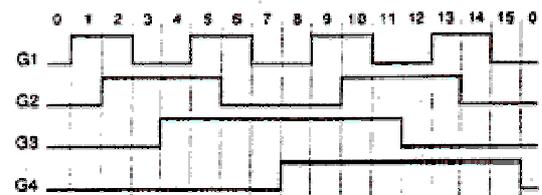
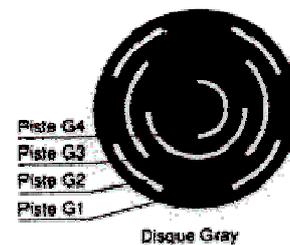


Figure 11 : Codeur en "binaire réfléchi" ou code de Gray

	Avantages	Inconvénients
<b>Code binaire naturel</b>	Directement utilisable par l'unité de traitement.	Plusieurs bits peuvent changés d'un code au suivant. Si ces changements ne sont pas simultanés, il y a apparition de codes erronés (exemple : 000, 001, 011, 010, 011).

<b>Code binaire réfléchi (code Gray)</b>	Un seul bit change d'un code à l'autre $\Rightarrow$ pas de code erroné possible.	Il faut effectuer un transcodage Gray $\Rightarrow$ binaire naturel pour exploiter le code.
--	---	---

▪ Codeur absolu multi-tours, codage du nombre de tours

Deux gammes différentes de codeurs absolus existent :

- le codeur absolu **simple tour**
- le codeur absolu **multi-tours**

Le codeur absolu simple tour, décrit précédemment, donne uniquement une position absolue dans chaque tour.

Le codeur absolu multi-tours est basé sur le même principe que le codeur absolu simple tour. Il permet, grâce à l'ajout d'un système d'axes secondaires et d'un second disque, d'indiquer le **nombre de tours** (figure 12).

Le nombre de bits en sortie est donc égal à la somme du nombre de bits pour coder la position dans le tour et du nombre de bits pour coder les tours.

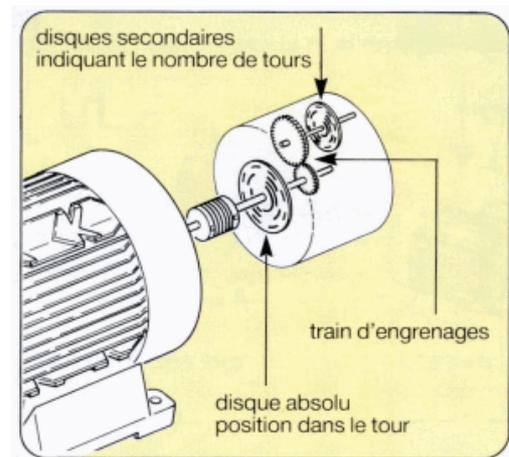


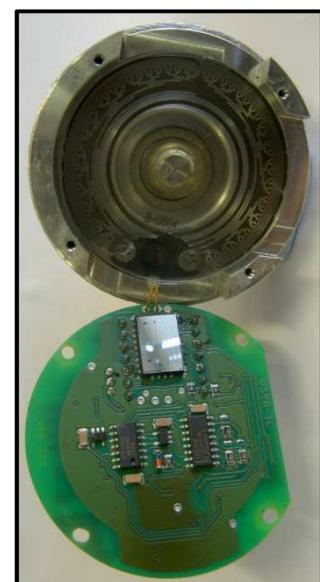
Figure 12 : Principe du codeur absolu multi-tours

## 5. Comparaison des deux codeurs : incrémental et absolu



Le codeur incrémental et son système de traitement de données

Le codeur absolu et son système de traitement de données



	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<p><b>Codeur incrémental</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conception simple, donc plus fiable et moins onéreux qu'un codeur absolu.</li> <li>- Au maximum 5 fils pour un codeur "de base" (alimentation + / -, A, B, Z).</li> <li>- Encombrement réduit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensible aux coupures d'alimentation : chaque coupure peut faire perdre la position réelle à l'unité de traitement. Il faut alors réinitialiser le système (avec la piste Z).</li> <li>- Sensible aux parasites : un parasite peut être comptabilisé comme une impulsion par le système de traitement.</li> <li>- les signaux A et B peuvent avoir des fréquences élevées <math>\Rightarrow</math> Le système de traitement doit être assez rapide pour prendre en compte toutes les impulsions délivrées par le codeur. Le non comptage d'une impulsion induit une erreur qui ne peut être corrigée que par la lecture du "top zéro".</li> </ul> <p>la fréquence <math>f</math> en Hertz [Hz] est obtenue par la relation : <math>f = \frac{1}{60} \cdot N \cdot R</math></p> <p><math>N</math> = vitesse de rotation de l'axe entraînant [tr/mn]  <math>R</math> = résolution souhaitée en période par tour [période/tr] ou points par tour</p> <p><u>Exemple</u> : Si <math>N = 3000</math> tr/mn et <math>R = 5000</math> périodes/tr, le calcul de la fréquence donne :</p> <p style="text-align: center;"><math>f = 250</math> kHz</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impossibilité de recalage par le "top zéro" dans le cas de mouvement de type oscillant, ne décrivant jamais un tour complet.</li> </ul>

<b>Codeur absolu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insensible aux coupures de l'alimentation : l'information de position étant détenue dans un code, celle-ci est disponible dès la (re)mise sous tension, d'où le nom d'"absolu".</li> <li>- Le système de traitement de données n'a pas besoin d'être aussi rapide que pour le codeur incrémental : si une information est "sautée" par le système de traitement, la position réelle n'est pas perdue car elle sera valide à la lecture suivante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conception électrique et mécanique plus complexe que le codeur incrémental ⇒ plus onéreux.</li> <li>- Nombre important de connexion avec le système de traitement ⇒ peut monopoliser un nombre important d'entrées du système de traitement.</li> </ul>
----------------------	--	--

## 6. Exemples industriels

### 6.1. Codeur incrémental



- Résolutions standards en 1 voie de 5 à 125 impulsions
- Résolutions standards en 2 voies de 5 à 60 impulsions
- Principe opto-électronique
- Sorties compatibles NPN et PNP
- Alimentation 10-30 VDC
- 1 ou 2 sorties d'axes Ø 7 mm

#### Description

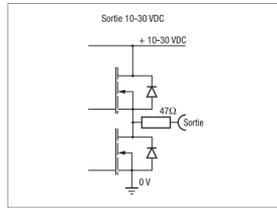
Le G 305 est un codeur économique de faible encombrement. Il fournit 1 voie ou 2 voies déphasées de 90°. Son axe d'entraînement de Ø 7 mm est monté sur 2 roulement de précision. Ses sorties peuvent attaquer indifféremment des appareils à entrées NPN ou PNP.

#### Utilisation

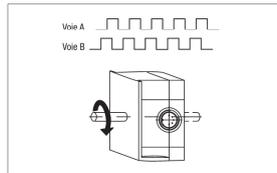
Grâce à la transformation d'un mouvement mécanique en impulsions électriques, les codeurs nous permettent d'enregistrer et de mesurer des déplacements, des longueurs, des angles, des vitesses de rotation, etc... Le G 305 peut être utilisé dans tous les domaines de l'industrie.

**Caractéristiques électriques**

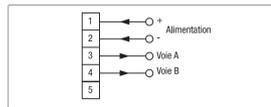
- **Tension d'alimentation  $U_b$**   
10-30 VDC, 5% ondulation résiduelle  
Consommation: 30 mA
- **Signaux de sortie**  
Sur transistor Darlington F.E.T.  
Compatibles NPN et PNP  
Tension de sortie = tension d'alimentation  
Rapport cyclique:  $1 \pm 30\%$   
Fréquence: 10 kHz max.  
Temps de montée: 1  $\mu$ s  
Temps de descente: 1  $\mu$ s  
Charge: 40 mA max.
- **Schéma de principe**



- **Diagramme des impulsions**  
Rotation suivant la flèche



**Schéma de branchement**



- **Branchement**  
Connecteur circulaire à 5 contacts  
Vue sur picots à souder



Le codeur peut être fourni avec câble blindé raccordé sur connecteur.  
(longueurs standards voir tableau des références)

- **Repérage des fils du câble**  
1 = brun, 2 = bleu, 3 = noir, 4 = beige  
Le fil vert/jaune correspond au blindage, il est à relier à la terre.  
**Remarque:**  
Pour inverser le sens de comptage pour un même sens de rotation du codeur, il suffit de permuter les voies A et B.

**Caractéristiques mécaniques**

- **Température de fonctionnement**  
- 20°C ... + 60°C
- **Température de stockage**  
- 30°C ... + 80°C
- **Axe de commande**  
1 côté ou traversant  
 $\varnothing$  7 x 20 mm  
Couple 0,2 Ncm
- **Vitesse de rotation**  
6000 T/mn
- **Fixation**  
Par vis
- **Poids**  
130 g
- **Boîtier**  
Robuste en matière synthétique, couleur grise

6.2. Codeur absolu



Codeur absolu multitours 24 Bits  
Programmable  
 $\varnothing$  58 mm

Ancienne référence GP 400-401



GXP1W à bride standard



GXP1W à bride synchro



- Programmation de tous les paramètres: code, résolution, nombre de tours, sens, offset, défaut, etc.
- Sorties parallèles NPN ou PNP protégées contre les courts-circuits
- Résolution de 4096 pas par tour sur 4096 tours
- Code Gray, Binaire, BCD
- Fonction ENABLE pour les sorties
- Positionnement électrique du zéro
- Entrée sens V/R pour le choix du code croissant en sens horaire ou anti-horaire
- Fréquence de commutation élevée
- Faible consommation
- Alimentation 10-30 VDC
- Faible encombrement  $\varnothing$  58 mm
- Axe  $\varnothing$  6 mm ou 10 mm

**Caractéristiques électriques**

- **Tension d'alimentation  $U_b$**   
10-30 VDC
- **Consommation**  
60 mA à 24 V, sorties non chargées
- **Fréquence de commutation**  
800 kHz max.
- **Précision**  
 $\pm 1/2$  LSB
- **Caractéristiques des entrées: ZERO, ENABLE, STORE, V/R en 10-30 VDC**  
Niveau haut  $\geq 0,7 U_b$   
Niveau bas  $\leq 0,3 U_b$   
Impédance d'entrée de 10 K $\Omega$  reliée à +  $U_b$  sauf pour l'entrée ZERO où elle est reliée au 0V.

## Fonctions des entrées

### Entrée ZERO

Cette entrée permet le calage à zéro du codeur. Il suffit d'accoupler mécaniquement le codeur, d'envoyer une impulsion électrique sur l'entrée ZERO et le codeur considère la position actuelle comme position zéro.

Entrée Zéro = L = fonctionnement normal  
Entrée Zéro = H = calage à zéro  
En fonctionnement normal, cette entrée doit impérativement être reliée au 0V.  
Le temps de réponse de cette entrée est de 50 ms à l'activation et au relâchement.

L = niveau bas (0V)  
H = niveau haut

### Entrée ENABLE

Permet de mettre les sorties en haute impédance.  
Entrée Enable = L = sorties actives  
Entrée Enable = H = sorties en haute impédance  
Le temps de réponse de cette entrée est de 60 µs à l'activation et au relâchement.

### Entrée STORE

Permet de figer l'information en sortie, le temps d'une lecture.  
Entrée Store = H = les sorties évoluent normalement  
Entrée Store = L = les sorties sont figées  
Le temps de réponse de cette entrée est de 200 µs à l'activation et au relâchement.

### Entrée V/R

Permet de choisir le sens.  
Entrée V/R = H = code croissant pour la rotation de l'axe en sens horaire  
Entrée V/R = L = code croissant pour la rotation de l'axe en sens anti-horaire  
Le temps de réponse de cette entrée est de 50 ms à l'activation et au relâchement.

## Branchement

Presse étoupe radial ou axial avec 1 m de câble blindé à 32 conducteurs raccordé sur un connecteur SUB-D 37 pôles mâles.

Le branchement doit être réalisé en câble blindé, et le blindage doit être relié au boîtier du connecteur SUB-D coté codeur et à la terre de l'autre coté.

### Repérage du connecteur

Bornes	Câble	Bornes	Câble
1 D0 (LSB)	blanc	20 D19	brun/noir
2 D1	brun	21 D20	vert/gris
3 D2	vert	22 D21	jaune/gris
4 D3	jaune	23 D22	rose/vert
5 D4	gris	24 D23 (MSB)	jaune/rose
6 D5	rose	25 NC	
7 D6	noir	26 NC	
8 D7	violet	27 ZERO	jaune/bleu
9 D8	gris/rose	28 ENABLE	brun/bleu
10 D9	rouge/bleu	29 STORE	brun/rouge
11 D10	blanc/vert	30 V/R	vert/bleu
12 D11	brun/vert	31 NC	
13 D12	blanc/jaune	32 NC	
14 D13	jaune/brun	33 NC	
15 D14	blanc/gris	34 Réserve	blanc/bleu
16 D15	gris/brun	35 Réserve	blanc/rouge
17 D16	blanc/rose	36 + U <sub>a</sub> alim.	rouge
18 D17	rose/brun	37 GND (0V)	bleu
19 D18	blanc/noir		

**Remarques :** Les sorties butées, seuil de vitesse et défaut peuvent être affectées librement par programmation aux sorties D19 à D23.

## Caractéristiques mécaniques

### Vitesse de rotation

Mécanique 10000 t/mn  
Électrique 6000 t/mn

### Moment d'inertie

$2 \times 10^{-4}$  Nm

### Accélération angulaire

$\leq 10^4$  rad/s<sup>2</sup>

### Couple

Sans joint  $\leq 0,5$  Ncm  
Avec joint  $\leq 1,5$  Ncm

### Charge

Axiale 50 N  
Radiale 60 N

### Vibration

IEC68  $\leq 100$  m/s<sup>2</sup> 16 ... 2000 Hz

### Choc

IEC68  $\leq 1000$  m/s<sup>2</sup> 4 ms

### Poids

600 g

### Température de fonctionnement

- 20°C ... + 70°C

### Température de stockage

- 30°C ... + 80°C

### Humidité relative

95%

### Protection

Sans joint IP 64  
Avec joint IP 65

