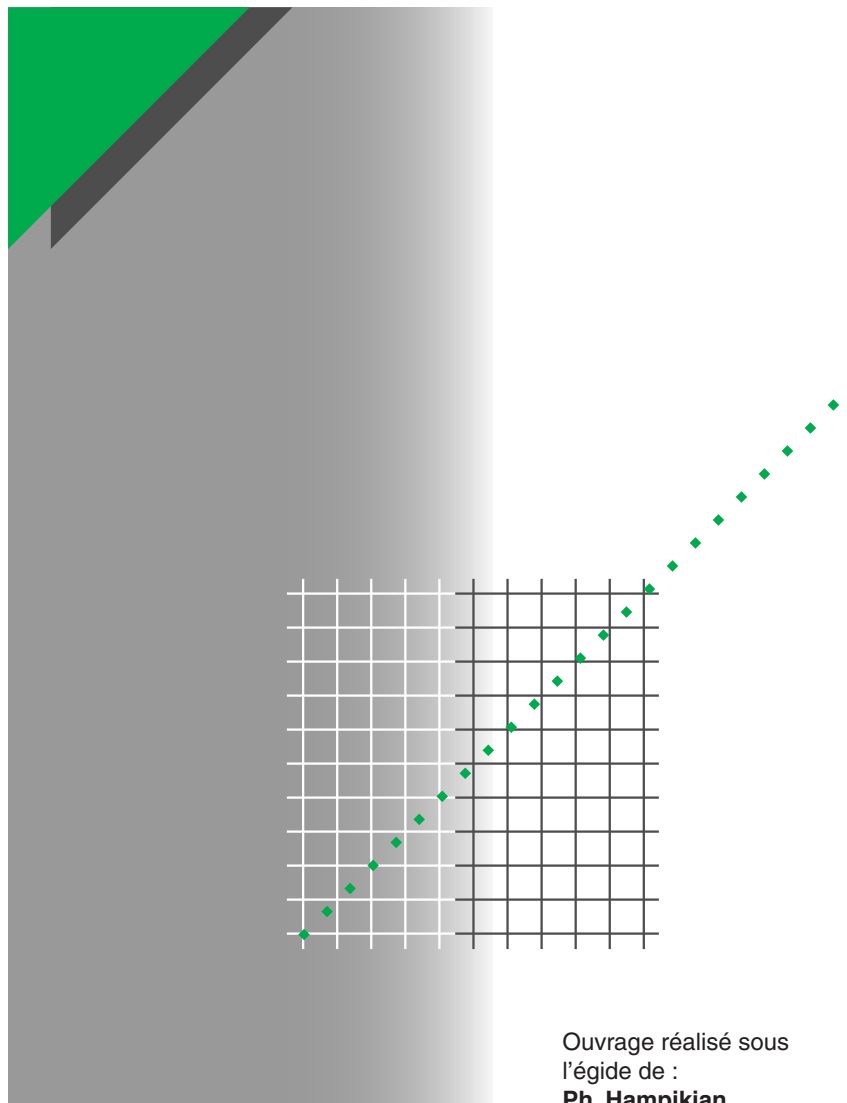


# Cahier technique n° 209

## Acquisition de données : la détection



Les Cahiers Techniques constituent une collection d'une centaine de titres édités à l'intention des ingénieurs et techniciens qui recherchent une information plus approfondie, complémentaire à celle des guides, catalogues et notices techniques.

Les Cahiers Techniques apportent des connaissances sur les nouvelles techniques et technologies électrotechniques et électroniques. Ils permettent également de mieux comprendre les phénomènes rencontrés dans les installations, les systèmes et les équipements.

Chaque Cahier Technique traite en profondeur un thème précis dans les domaines des réseaux électriques, protections, contrôle-commande et des automatismes industriels.

Les derniers ouvrages parus peuvent être téléchargés sur Internet à partir du site Schneider Electric.

Code : <http://www.schneider-electric.com>

Rubrique : **Presse**

Pour obtenir un Cahier Technique ou la liste des titres disponibles contactez votre agent Schneider Electric.

La collection des Cahiers Techniques s'insère dans la « Collection Technique » de Schneider Electric.

### **Avertissement**

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent ouvrage, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans cet ouvrage.

La reproduction de tout ou partie d'un Cahier Technique est autorisée avec la mention obligatoire :

« Extrait du Cahier Technique Schneider Electric n° (à préciser) ».

# n° 209

## Acquisition de données : la détection

---

Ce Cahier Techniques est l'œuvre d'une équipe réunissant plusieurs spécialistes des différentes technologies présentées :

**Jean-Marie Cannoni**

La détection électromécanique

**Vincent Daniau**

La vision - La RFID (Radio Frequency Identification)

**Patrice Delage**

La détection ultrasonique, les codeurs

**Christophe Delaitre**

Le contrôle de pression

**Pascal Launay**

Les détections inductive, capacitive, photoélectrique

Ainsi que :

**Alain Guillot**

Pour une vision d'avenir sur les détecteurs de présence

Cette équipe était animée par :

**Philippe Hampikian**

Responsable de l'Activité Détection de Présence

Dans un ensemble automatisé toutes les informations nécessaires à sa conduite doivent être détectées, pour être gérées par les systèmes de commande.

La fonction « détection » est donc essentielle dans tous les processus industriels et la connaissance des différentes techniques indispensable pour faire le bon choix des détecteurs : ils doivent pouvoir fonctionner dans des environnements parfois difficiles en délivrant une information compatible avec les dispositifs d'acquisition et de traitement.

Ce document est destiné à ceux qui veulent faire un point dans ce domaine de la Détection dans les Automatismes Industriels.

Après une présentation des grandes lignes techniques de ce domaine, chaque technologie est analysée en détail, ce qui permet de dresser un premier guide de choix. Ce panorama est complété par une approche des technologies connexes : la Vision, la RFID -Radio Frequency Identification-,...

La Détection, peut vous paraître compliquée : vous allez découvrir qu'elle est simplement « diverse » !

Bonne lecture !



# Acquisition de données : la détection

## Sommaire

<b>1 Introduction</b>	1.1 La détection : une fonction essentielle	<b>p. 4</b>
	1.2 Les diverses fonctionnalités de la détection	p. 4
	1.3 Les différentes technologies de détecteurs	p. 5
	1.4 Des fonctions annexes aux détecteurs	p. 5
<b>2 Les interrupteurs de position électromécaniques</b>	2.1 Mouvements de détection	<b>p. 6</b>
	2.2 Mode de fonctionnement des contacts	p. 6
<b>3 Les détecteurs de proximité inductifs</b>	3.1 Principe	<b>p. 8</b>
	3.2 Description d'un détecteur inductif	p. 8
	3.3 Grandeurs d'influence de la détection inductive	p. 9
	3.4 Fonctions particulières	p. 9
<b>4 Les détecteurs de proximité capacitifs</b>	4.1 Principe	<b>p. 10</b>
	4.2 Les différents types de détecteurs capacitifs	p. 11
	4.3 Grandeurs d'influence d'un détecteur capacitif	p. 11
<b>5 Les détecteurs photoélectriques</b>	5.1 Principe	<b>p. 13</b>
	5.2 Différents systèmes de détection	p. 13
	5.3 Grandeurs d'influence de la détection par systèmes photoélectriques	p. 16
<b>6 Les détecteurs à ultrasons</b>	6.1 Principe	<b>p. 17</b>
	6.2 Application	p. 17
	6.3 Particularités des détecteurs à ultrasons	p. 18
	6.4 Les avantages de la détection à ultrasons	p. 19
<b>7 La détection RFID -Radio Frequency IDentification-</b>	7.1 Généralités	<b>p. 20</b>
	7.2 Principes de fonctionnement	p. 20
	7.3 Description des éléments	p. 21
	7.4 Avantages de l'identification RFID	p. 23
<b>8 La vision</b>	8.1 Principe	<b>p. 24</b>
	8.2 Les points clés de la vision	p. 24
<b>9 Les codeurs optiques</b>	9.1 Présentation d'un codeur optique	<b>p. 28</b>
	9.2 Familles de codeurs optiques	p. 29
	9.3 Association codeur - unité de traitement	p. 32
<b>10 Les pressostats et vacuostats</b>	10.1 Qu'est ce que la pression ?	<b>p. 33</b>
	10.2 Les détecteurs pour le contrôle de pression	p. 33
<b>11 Autres caractéristiques des détecteurs de présence</b>		<b>p. 36</b>
<b>12 Conclusion</b>		<b>p. 37</b>

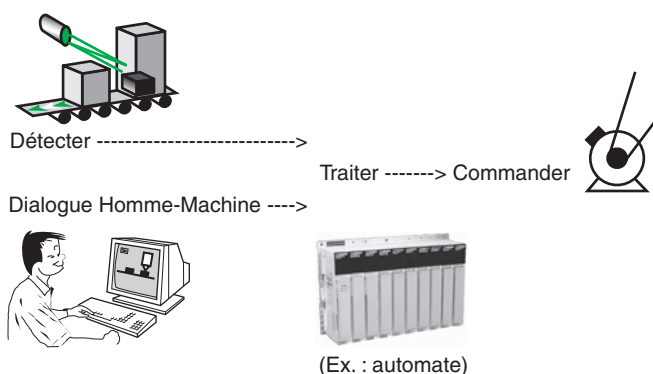
# 1 Introduction

## 1.1 La détection : une fonction essentielle

La fonction « détection » est essentielle car elle est le premier maillon dans la chaîne d'information (cf. **fig. 1**) d'un processus industriel.

En effet, dans un système automatique, des détecteurs assurent la collecte des informations :

- de tous les événements nécessaires à la conduite, pour être pris en compte par les systèmes de commande, selon un programme établi ;
- du déroulement des différentes phases du processus lors de l'exécution de ce programme.



**Fig. 1** : la chaîne d'information d'un processus industriel.

## 1.2 Les diverses fonctionnalités de la détection

Les besoins de détections sont très variés. Les besoins les plus élémentaires sont :

- le contrôle de la présence, de l'absence ou du positionnement d'un objet,
- la vérification du passage, d'un défilement ou d'un bourrage d'objets,
- du comptage.

Ils sont généralement satisfaits par des dispositifs « tout ou rien », c'est le cas dans des applications typiques de détection de pièces dans des chaînes de fabrication ou des activités de manutention, ainsi que dans la détection de personnes et de véhicules.

Il y a d'autres besoins plus spécifiques, tels que la détection :

- de présence (ou de niveau) de gaz ou de liquide,
- de forme,
- de position (angulaire, linéaire),

- d'étiquette, avec lecture et écriture d'informations codées.

A ces besoins s'ajoutent de nombreuses exigences, particulièrement en ce qui concerne l'environnement, des détecteurs doivent selon leur situation pouvoir résister à :

- l'humidité, voire l'immersion (ex. : étanchéité renforcée),
- la corrosion (industries chimiques ou même installations agricoles,...),
- des variations fortes de température (ex. régions tropicales),
- des salissures de tous ordres (en extérieur ou dans des machines),
- et même au vandalisme...

Pour répondre à tous ces besoins les constructeurs ont créé toutes sortes de détecteurs avec des technologies différentes.

### 1.3 Les différentes technologies de détecteurs

Les constructeurs de détecteurs font appel à des principes de mesure physique variés, pour citer les principaux :

- mécanique (pression, force) pour les interrupteurs électromécaniques de position,
- électromagnétisme (champ, force) pour les capteurs magnétiques, détecteurs de proximité inductifs,
- lumière (puissance ou déviation lumineuse) pour les cellules photoélectriques,
- capacité pour les détecteurs de proximité capacitifs,
- acoustique (temps de parcours d'une onde) pour les détecteurs ultrasons,

- fluide (pression) pour les pressostats,
- optique (analyse d'image) pour la vision.

Ces principes induisent des avantages et des limites pour chaque type de capteurs, ainsi certains sont robustes mais nécessitent un contact avec la pièce à détecter, d'autres peuvent être placés dans des ambiances agressives mais ne sont exploitables qu'avec des pièces métalliques.

La présentation, dans les chapitres suivants, de différentes technologies mises en œuvre a pour objectif de faciliter la compréhension des impératifs d'installation et d'exploitation des capteurs disponibles sur le marché des automatismes et équipements industriels.

### 1.4 Des fonctions annexes aux détecteurs

Différentes fonctions sont développées pour faciliter l'emploi des détecteurs, l'auto-apprentissage en est une.

Cette fonction d'apprentissage permet par un simple appui sur un bouton de définir le domaine de détection effectif du dispositif, par exemple

l'apprentissage des portées, minimale et maximale (effacement d'avant plan et d'arrière plan) très précises ( $\pm 6$  mm pour les détecteurs à ultrasons) et la prise en compte de l'environnement pour les détecteurs photoélectriques.

## 2 Les interrupteurs de position électromécaniques

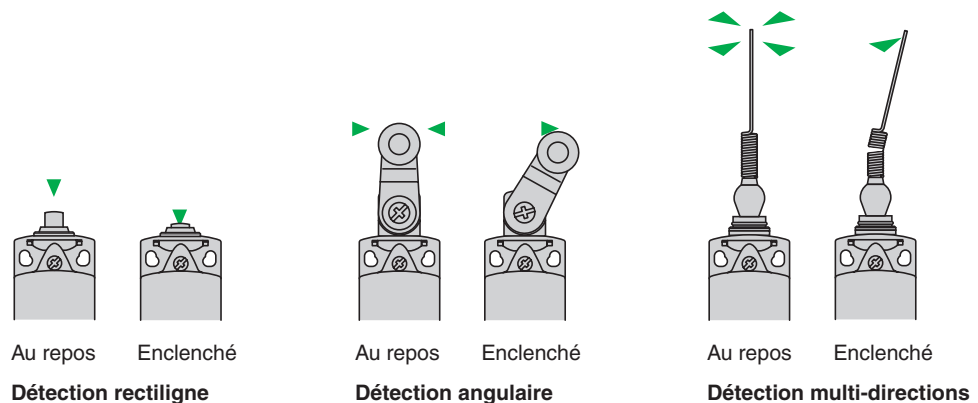
La détection se réalise par un contact physique (palpeur ou organe de commande) avec un objet ou un mobile.  
L'information est transmise au système de traitement par le biais d'un contact électrique (tout ou rien).

Ces dispositifs (organe de commande et contact électrique) sont appelés interrupteurs de position. Ils sont présents dans toutes les installations automatisées ainsi que dans des applications variées en raison de nombreux avantages inhérents à leur technologie.

### 2.1 Mouvements de détection

Un palpeur, ou organe de commande, peut avoir différents mouvements (cf. **fig. 2**) afin de permettre la détection dans de multiples positions et s'adapter ainsi aisément aux objets à détecter :

- rectiligne,
- angulaire,
- multi-directions.



**Fig. 2 :** illustration des différents mouvements de capteurs couramment utilisés.

### 2.2 Mode de fonctionnement des contacts

L'offre des fabricants est caractérisée par la technologie utilisée pour la manœuvre des contacts.

#### **Contact à action brusque, dit aussi à rupture brusque.**

La manœuvre des contacts est caractérisée par un phénomène d'hystérésis c'est-à-dire par des points d'action et de relâchement distincts (cf. **fig. 3** ci-contre).

La vitesse de déplacement des contacts mobiles est indépendante de la vitesse de l'organe de commande. Cette particularité permet d'obtenir des performances électriques satisfaisantes même en cas de faibles vitesses de déplacement de l'organe de commande.

De plus en plus, les interrupteurs de position avec contacts à action brusque possèdent des contacts avec manœuvre positive d'ouverture : ceci concerne le contact à ouverture, et se définit de la manière suivante :

« Un appareil satisfait à cette prescription quand tous ses éléments des contacts d'ouverture peuvent être amenés avec certitude à leur position d'ouverture, donc sans aucune liaison élastique entre les contacts mobiles et l'organe de commande auquel l'effort d'actionnement est appliqué. »

Ceci concerne le contact électrique de l'interrupteur de position (cf. **fig. 3**), mais aussi l'organe de commande qui doit transmettre le mouvement sans déformation.

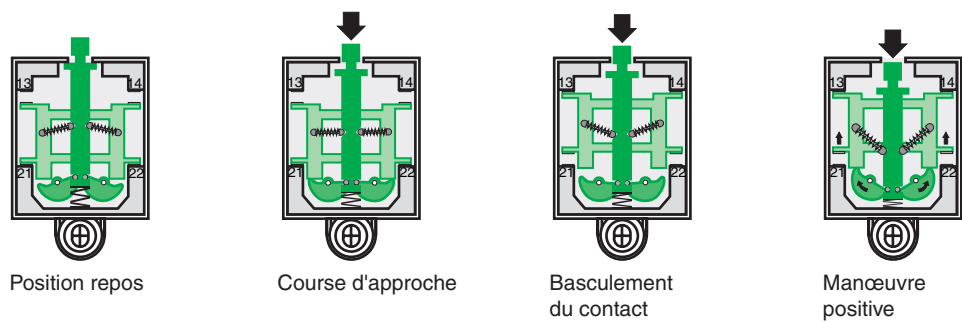


Fig. 3 : les différentes positions d'un contact à action brusque.

L'utilisation dans le cadre d'applications de sécurité impose d'utiliser des appareils à manœuvre positive d'ouverture.

**Contact à action dépendante aussi dit à rupture lente (cf. fig. 4 )**

Ce mode de fonctionnement est caractérisé par :

- des points d'action et de relâchement confondus ;
- une vitesse de déplacement des contacts mobiles égale ou proportionnelle à la vitesse de l'organe de commande (qui ne doit pas être inférieure à 0,1 m/s = 6 m/min). En dessous de ces valeurs, l'ouverture des contacts se fait trop lentement, ce qui est défavorable au bon fonctionnement électrique du contact (risque d'un arc maintenu trop longtemps).
- la distance d'ouverture est également dépendante de la course de l'organe de commande.

Ces contacts sont naturellement à manœuvre positive d'ouverture de par leur construction : le poussoir agit directement sur les contacts mobiles.

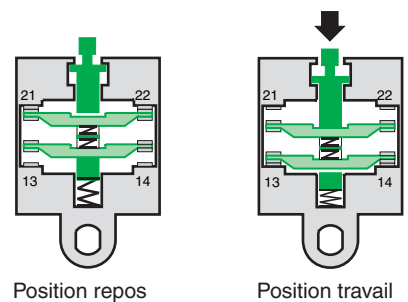


Fig. 4 : exemple d'un contact à action dépendante.

### 3 Les détecteurs de proximité inductifs

De par leur principe physique, ces détecteurs ne fonctionnent que sur des matériaux métalliques.

#### 3.1 Principe

Un circuit inductif (bobine d'inductance L) constitue l'élément sensible. Ce circuit est associé à un condensateur de capacité C pour former un circuit résonnant à une fréquence  $F_0$  généralement comprise entre 100 KHz et 1 MHz.

Un circuit électronique permet d'entretenir les oscillations du système en accord avec la formule :

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Ces oscillations créent un champ magnétique alternatif devant la bobine.

Un écran métallique placé dans le champ est le siège de courants de Foucault qui induisent une charge additionnelle modifiant ainsi les conditions d'oscillation (cf. **fig. 5**).

La présence d'un objet métallique devant le détecteur diminue le coefficient de qualité du circuit résonnant.

**1<sup>er</sup> cas**, absence d'écran métallique :

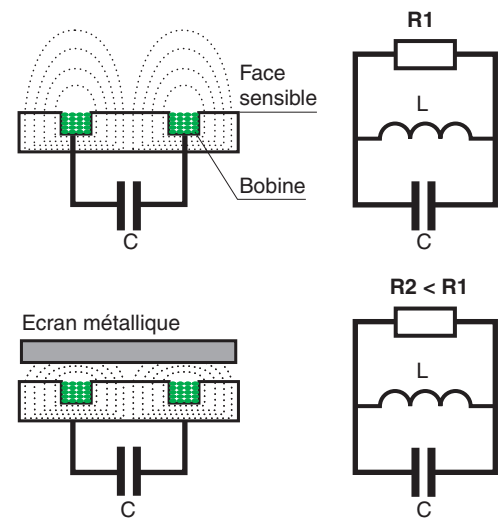
$$Q1 = \frac{R1}{L\omega}$$

$$\text{Rappel : } Q = \frac{R}{L\omega} = \frac{L\omega}{r} \Rightarrow R = Q^2 r$$

**2<sup>e</sup> cas**, présence d'un écran métallique :

$$Q2 = \frac{R2}{L\omega} \quad R2 < R1 \Rightarrow Q2 < Q1$$

La détection se fait par la mesure de la variation du coefficient de qualité (de 3 % à 20 % environ au seuil de détection).



**Fig. 5** : principe de fonctionnement d'un détecteur inductif.

L'approche de l'écran métallique se traduit par une diminution du coefficient de qualité et donc d'une diminution de l'amplitude des oscillations. La distance de détection dépend de la nature du métal à détecter (de sa résistivité  $\rho$  et de sa perméabilité relative  $\mu_r$ ).

#### 3.2 Description d'un détecteur inductif (cf. **fig. 6a** ci-contre)

**Transducteur** : il est constitué d'une bobine en fil de cuivre multibrins (fil de Litz) placée à l'intérieur d'un demi-pot en ferrite qui dirige les lignes de champ vers l'avant du détecteur.

**Oscillateur** : de nombreux types d'oscillateurs existent, par exemple oscillateur à résistance négative fixe -R est égale en valeur absolue à la résistance parallèle  $R_p$  du circuit oscillant à la portée nominale (voir le § précédent).

=> Si l'objet à détecter est au-delà de la portée nominale,  $|R_p| > |-R|$ , alors les oscillations sont entretenues.

=> Inversement, si l'objet à détecter est en-deçà de la portée nominale,  $|R_p| < |-R|$ , alors les

oscillations ne sont plus entretenues, l'oscillateur est bloqué.

**Etage de mise en forme** : constitué d'un détecteur de crête suivi d'un comparateur à deux seuils (Trigger) pour éviter les commutations intempestives lorsque l'objet à détecter est proche de la portée nominale. Il crée ce que l'on appelle l'hystérésis du détecteur (cf. **fig. 6b** ci-contre).

**Etages d'alimentation et de sortie** : l'un permet d'alimenter le détecteur sur des grandes plages de tension d'alimentation (de 10 V CC jusqu'à 264 V AC). L'autre, l'étage de sortie, commande des charges de 0,2 A en CC à 0,5 A en AC, avec ou sans protection aux courts-circuits.

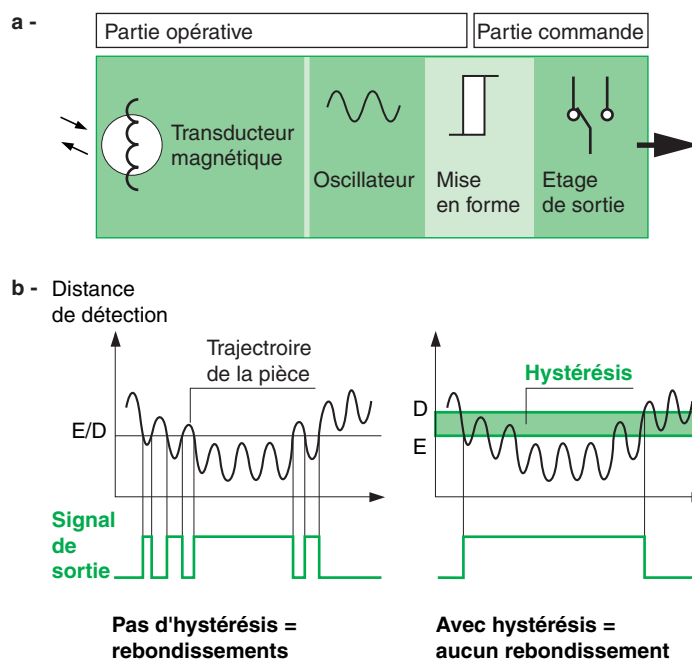


Fig. 6 : le détecteur inductif, schéma de principe [a] ; hystérésis du détecteur [b].

### 3.3 Grandeurs d'influence de la détection inductive

Certaines caractéristiques affectent particulièrement les dispositifs de détection inductive, notamment :

■ Distance de détection

Elle est fonction de l'importance de la surface de détection.

Sn : portée nominale (sur acier doux) varie de 0,8 mm (détecteur Ø 4) à 60 mm (détecteur 80 x 80).

■ Hystérésis : course différentielle (de 2 à 10 % de Sn) qui évite les rebonds à la commutation.

■ Fréquence de passage des objets devant le détecteur, dite de commutation (maximum courant 5 kHz).

### 3.4 Fonctions particulières

- Détecteurs protégés contre les champs magnétiques des soudeuses.
- Détecteurs à sortie analogique.
- Détecteurs à facteur de correction de 1 avec lesquels la distance de détection est indépendante du métal détecté ferreux ou non ferreux (cf. fig. 7).
- Détecteurs sélectifs de matériaux ferreux et non ferreux.
- Détecteurs pour contrôle de rotation : ces détecteurs de sous-vitesse sont sensibles à la fréquence de passage d'objets métalliques.
- Détecteurs pour atmosphères explosibles (normes NAMUR).

■ Application : lorsque l'objet à détecter n'est pas de l'acier, la distance de détection du détecteur envisagé est proportionnelle au facteur de correction du matériau constituant cet objet.

$$D_{\text{Mat X}} = D_{\text{Acier}} \cdot K_{\text{Mat X}}$$

■ Les valeurs typiques du facteur de correction -  $K_{\text{Mat X}}$  - sont :

- Acier = 1
- Inox = 0,7
- Laiton = 0,4
- Aluminium = 0,3
- Cuivre = 0,2

Exemple :  $D_{\text{Inox}} = D_{\text{Acier}} \times 0,7$

NB : Cette correction n'est plus nécessaire avec les « détecteurs facteur 1 ».

Fig. 7 : facteur de correction, application et valeurs typiques.

## 4 Les détecteurs de proximité capacitifs

Cette technologie permet la détection de tous les types de matériaux conducteurs et isolants tels que verre, huile, bois, plastique, etc.

### 4.1 Principe

La face sensible du détecteur constitue l'armature d'un condensateur.

Une tension sinusoïdale est appliquée sur cette face, créant ainsi un champ électrique alternatif devant le détecteur.

En considérant que cette tension sinusoïdale est référencée par rapport à un potentiel de référence (terre ou masse par exemple), la deuxième armature est constituée par une électrode reliée à ce potentiel de référence (bâti de machine par exemple).

Ces deux électrodes face à face constituent un condensateur dont la capacité est :

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

avec  $\epsilon_0 = 8,854\ 187\ \text{pF/m}$  permittivité du vide et  $\epsilon_r$  permittivité relative du matériau présent entre les 2 électrodes.

**1<sup>er</sup> cas :** absence d'objet entre les 2 électrodes (cf. **fig. 8**)

$$\epsilon_r \approx 1 \text{ (air)} \Rightarrow C \approx \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

**2<sup>e</sup> cas :** présence d'un objet isolant entre les 2 électrodes (cf. **fig. 9**)

$$\Rightarrow (\epsilon_r \approx 4)$$

L'électrode de masse peut être dans ce cas le tapis métallique d'un convoyeur par exemple.

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d}$$

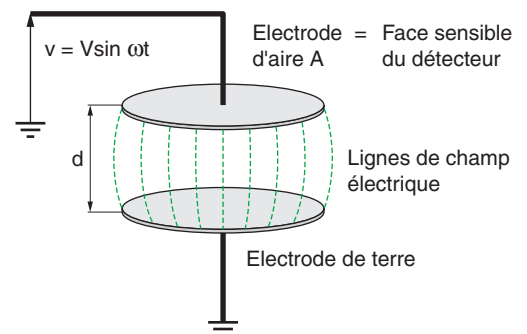
Lorsque  $\epsilon_r$ , moyen devient supérieur à 1 en présence d'un objet, C augmente. La mesure de l'augmentation de la valeur de C permet de détecter la présence de l'objet isolant.

**3<sup>e</sup> cas :** présence d'un objet conducteur entre les 2 électrodes (cf. **fig. 10**)

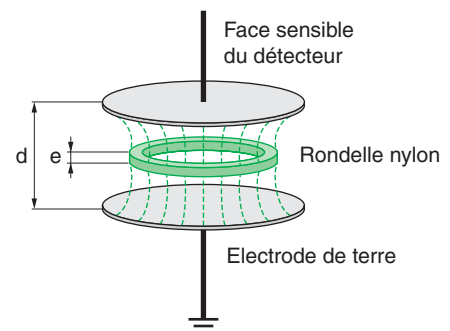
$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d-e}$$

$$\text{avec } \epsilon_r \approx 1 \text{ (air)} \Rightarrow C \approx \epsilon_0 \frac{A}{d-e}$$

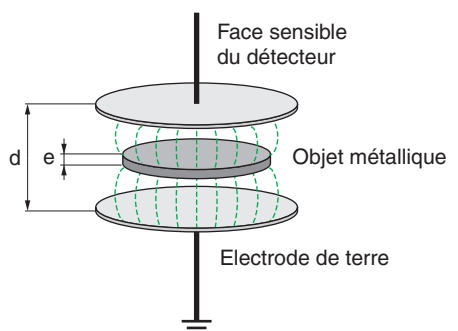
La présence d'un objet métallique se traduit donc également par une augmentation de la valeur de C.



**Fig. 8 :** description d'un détecteur capacitif en l'absence d'objet à détecter.



**Fig. 9 :** présentation d'un objet isolant sur un détecteur capacitif.



**Fig. 10 :** présentation d'un objet conducteur sur un détecteur capacitif.

## 4.2 Les différents types de détecteurs capacitifs

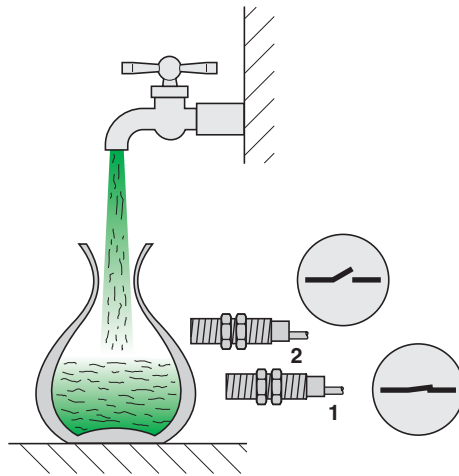
### Détecteurs capacitifs sans électrode de masse

Ils utilisent directement le principe décrit précédemment.

Un chemin vers la masse (potentiel de référence) est nécessaire pour détecter.

Ils sont utilisés pour détecter des matériaux conducteurs (métal, eau) à des distances importantes.

Application type : détection de matériaux conducteurs au travers d'un matériau isolant (cf. **fig. 11**).



**Fig. 11** : détection de la présence d'eau dans un récipient en verre ou plastique.

### Détecteurs capacitifs avec électrode de masse

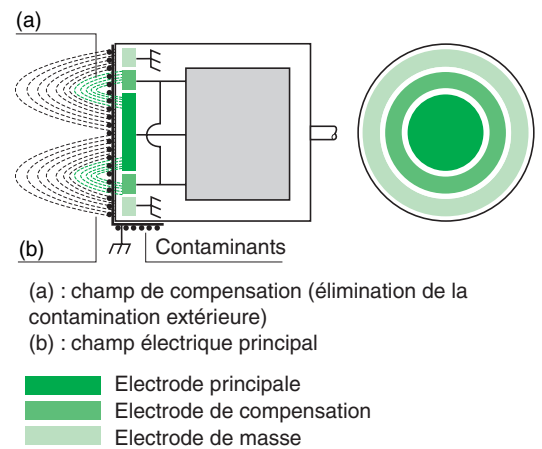
Il n'est pas toujours possible de trouver un chemin à la masse. C'est le cas si l'on veut détecter le contenant isolant vide de l'exemple précédent.

La solution est l'incorporation de l'électrode de masse sur la face de détection.

Il y a création d'un champ électrique indépendant d'un chemin à la masse (cf. **fig. 12**).

Application : détection de tous matériaux.

Possibilité de détecter des matériaux isolants ou conducteurs derrière une paroi isolante, ex : céréales dans une boîte en carton.



(a) : champ de compensation (élimination de la contamination extérieure)

(b) : champ électrique principal

■ Electrode principale  
■ Electrode de compensation  
■ Electrode de masse

**Fig. 12** : principe d'un détecteur capacitif avec électrode de masse.

## 4.3 Grandeurs d'influence d'un détecteur capacitif

La sensibilité des détecteurs capacitifs, selon l'équation de base citée précédemment (§ 4.1), dépend tout à la fois de la distance objet-capteur et de la matière de l'objet.

### ■ Distance de détection

Elle est liée à la constante diélectrique ou permittivité relative  $\epsilon_r$  propre au matériau de l'objet visé.

Pour pouvoir détecter une grande variété de matériaux, les capteurs capacitifs sont généralement munis d'un potentiomètre permettant de régler leur sensibilité.

### ■ Matière

Le tableau de la **figure 13** donne des constantes diélectriques de quelques matériaux.

Matériau	$\epsilon_r$	Matériau	$\epsilon_r$
Acétone	19,5	Pétrole	2,0-2,2
Air	1,000264	Vernis silicone	2,8-3,3
Ammoniac	15-25	Polypropylène	2,0-2,2
Ethanol	24	Porcelaine	5-7
Farine	2,5-3	Lait en poudre	3,5-4
Verre	3,7-10	Sel	6
Glycérine	47	Sucre	3,0
Mica	5,7-6,7	Eau	80
Papier	1,6-2,6	Bois sec	2-6
Nylon	4-5	Bois vert	10-30

**Fig. 13** : constantes diélectriques de quelques matériaux.

# 5 Les détecteurs photoélectriques

Leur principe les rend aptes à détecter tous types d'objets, qu'ils soient opaques, réfléchissants ou même quasi-transparents.

Ils sont aussi exploités pour la détection de personnes (ouvertures de portes, barrières de sécurité).

## 5.1 Principe (cf. fig. 14)

Une diode électroluminescente (LED) émet des impulsions lumineuses, généralement dans l'infrarouge proche (850 à 950 nm).

Cette lumière est reçue ou non par une photodiode ou un phototransistor en fonction de la présence ou de l'absence d'un objet à détecter.

Le courant photoélectrique créé est amplifié et comparé à un seuil de référence pour donner une information tout ou rien.

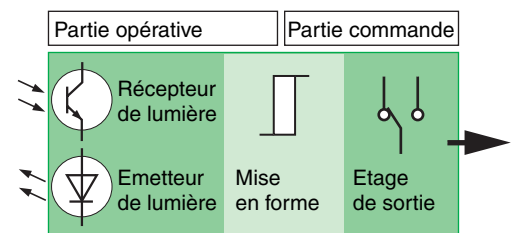


Fig. 14 : principe d'un détecteur photoélectrique.

## 5.2 Différents systèmes de détection

Les schémas des systèmes de détection photoélectriques réflex présentés dans ce chapitre sont destinés à la compréhension des dispositifs employés. Ils ne sont pas une représentation optique exacte du fait que la distance objet-détecteur est nettement supérieure à l'écart émetteur-récepteur, les rayons émis et reçus pouvant donc être considérés comme parallèles.

### Barrage (cf. fig. 15)

Émetteur et récepteur sont placés dans deux boîtiers séparés.

L'émetteur : une LED placée au foyer d'une lentille convergente, crée un faisceau lumineux parallèle.

Le récepteur : une photodiode (ou phototransistor) placée au foyer d'une lentille convergente, fournit un courant proportionnel à l'énergie reçue. Le système délivre une information tout ou rien en fonction de la présence ou de l'absence de l'objet dans le faisceau.

□ Point fort : la distance de détection (portée) peut être longue (jusqu'à 50 m et plus) ; elle dépend de la dimension des lentilles et donc du détecteur.

□ Points faibles : la nécessité de 2 boîtiers donc de 2 alimentations séparées et l'alignement pour

des distances de détection supérieures à 10 m peuvent présenter une certaine difficulté.

### Systèmes réflex

Il y a deux systèmes dits « Réflex » : simple et à lumière polarisée.

#### ■ Réflex simple (cf. fig. 16 ci-contre)

Le faisceau lumineux est généralement dans la gamme de l'Infra Rouge proche (850 à 950 nm).

□ Points forts : l'émetteur et le récepteur sont dans un même boîtier (un seul câble d'alimentation).

La distance de détection (portée) est aussi longue, bien qu'inférieure au barrage (jusqu'à 20 m).

□ Point faible : un objet réfléchissant (vitre, carrosserie de voiture...) peut être vu comme un réflecteur et ne pas être détecté.

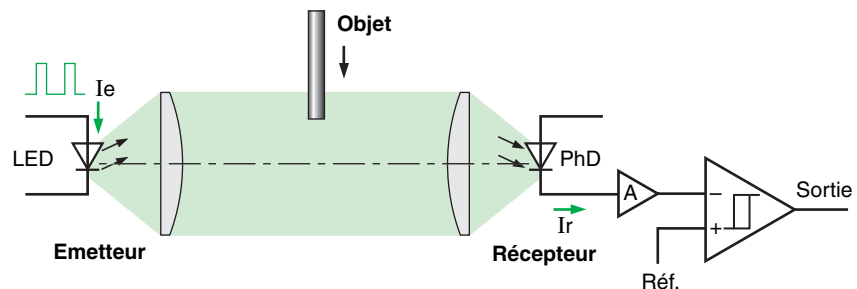


Fig. 15 : la détection de barrage.

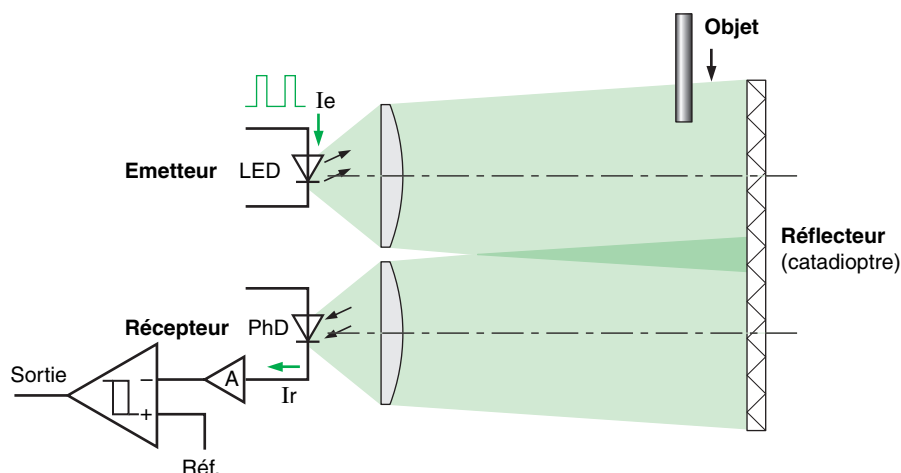


Fig. 16 : principe de la détection photoélectrique réflex.

■ Réflex à lumière polarisée (cf. fig. 17)

Le faisceau lumineux utilisé est généralement dans la gamme du rouge (660 nm). Le rayonnement émis est polarisé verticalement par un filtre polarisant linéaire.

Le réflecteur a la propriété de changer l'état de polarisation de la lumière. Une partie du rayonnement renvoyé a donc une composante horizontale.

Le filtre polarisant linéaire en réception laisse passer cette composante et la lumière atteint le composant de réception.

■ Un objet réfléchissant (miroir, tôle, vitre) contrairement au réflecteur ne change pas l'état de polarisation. La lumière renvoyée par l'objet ne pourra donc franchir le polariseur en réception (cf. fig. 18 page suivante).

□ Point fort : ce type de détecteur résout le point faible du Réflex simple.

□ Points faibles : en contrepartie ce détecteur est d'un coût supérieur et ses distances de détection sont plus faibles :

Réflex IR → 15 m

Réflex polarisé → 8 m

**Système à réflexion directe (sur l'objet)**

■ Réflexion directe simple (cf. fig. 19 page suivante). On utilise la réflexion directe (diffuse) de l'objet à détecter.

□ Point fort : le réflecteur n'est plus nécessaire.

□ Points faibles : la distance de détection de ce système est faible (jusqu'à 2 m). De plus elle varie avec la couleur de l'objet à « voir » et du fond devant lequel il se trouve (pour un réglage donné, la distance de détection est plus grande pour un objet blanc que pour un objet gris ou noir) et un arrière plan plus clair que l'objet à détecter peut rendre le système inopérant.

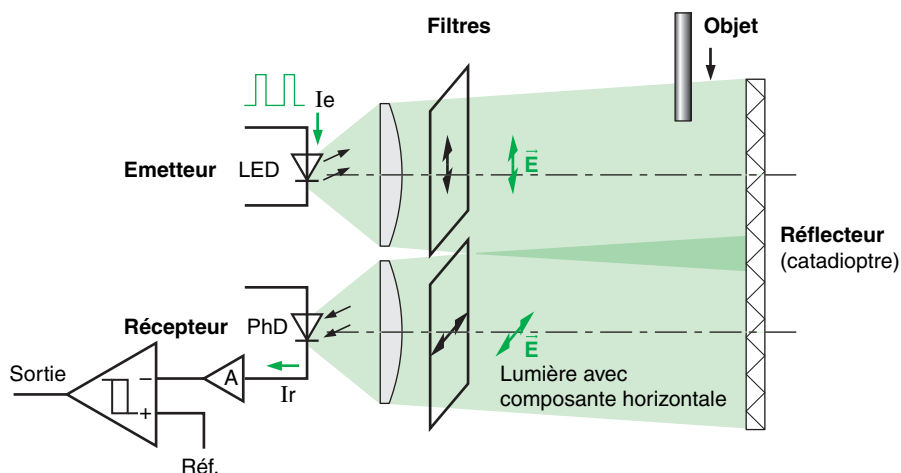


Fig. 17 : principe de la détection photoélectrique reflex à lumière polarisée.

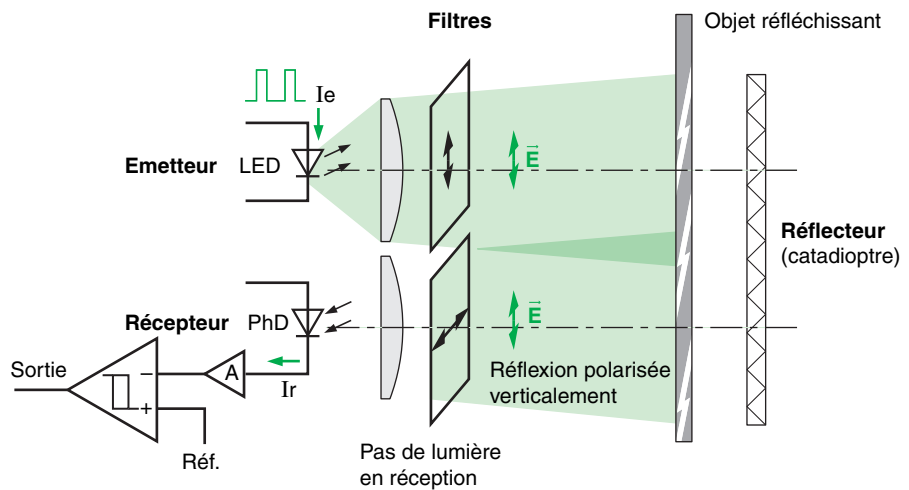


Fig. 18 : système Réflex à lumière polarisée : principe de la non détection de matériaux réfléchissants.

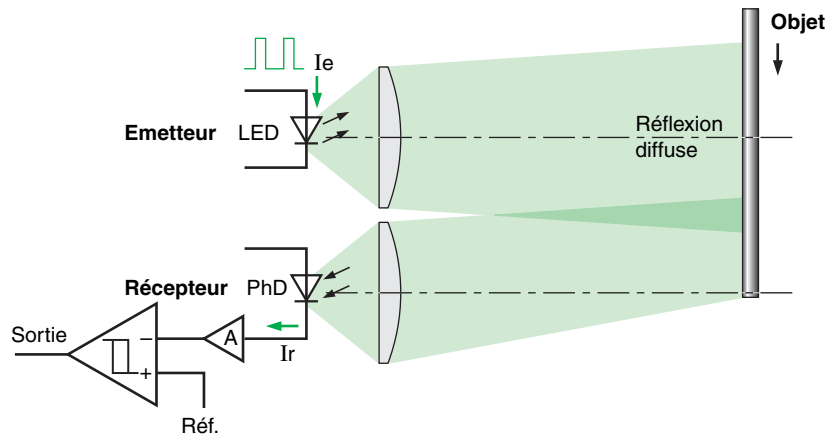


Fig. 19 : principe de la détection photoélectrique à réflexion directe simple.

■ Réflexion directe avec suppression de l'arrière plan (cf. fig. 20)

Avec ce système la détection se fait par triangulation. La distance de détection (jusqu'à 2 m) ne

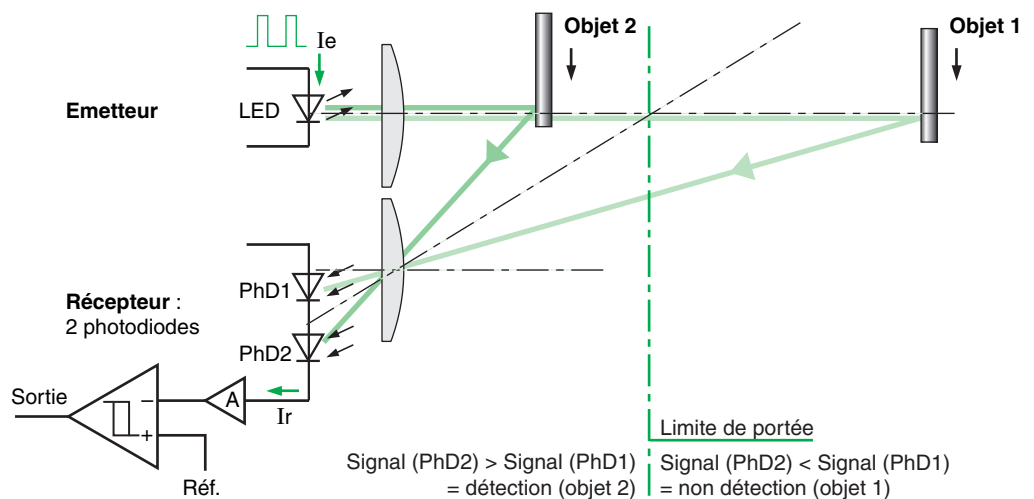


Fig. 20 : principe de la détection photoélectrique à réflexion directe avec suppression de l'arrière plan.

dépend pas du pouvoir de réflexion de l'objet mais uniquement de sa position : un objet clair est détecté à la même distance qu'un objet foncé. Enfin, un arrière plan situé au delà de la zone de détection sera ignoré.

## Fibres optiques

### ■ Principe

Un rappel est présenté dans la **figure 21** . Il y a plusieurs types de fibres optiques : les multimodes et les monomodes (cf. **fig. 22** ).

Le principe de la propagation des ondes lumineuses dans la fibre optique est la réflexion totale interne. Il y a réflexion totale interne lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu à un autre, ce dernier ayant un indice de réfraction plus faible. De plus, la lumière est réfléchie en totalité et il n'y a aucune perte de lumière lorsque l'angle d'incidence du rayon lumineux est plus grand que l'angle critique  $\theta_c$ . La réflexion totale interne est régie par deux facteurs : les indices de réfraction des deux milieux et l'angle critique.

Ces facteurs sont reliés par l'équation suivante :

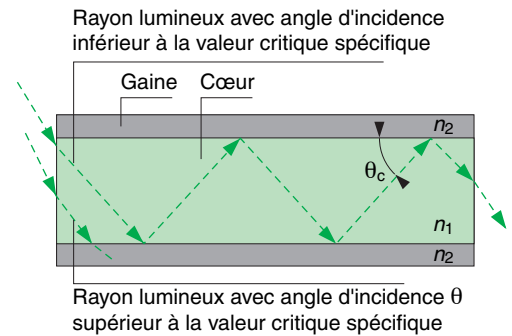
$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

En connaissant les indices de réfraction des deux matériaux de l'interface, l'angle critique peut facilement être calculé.

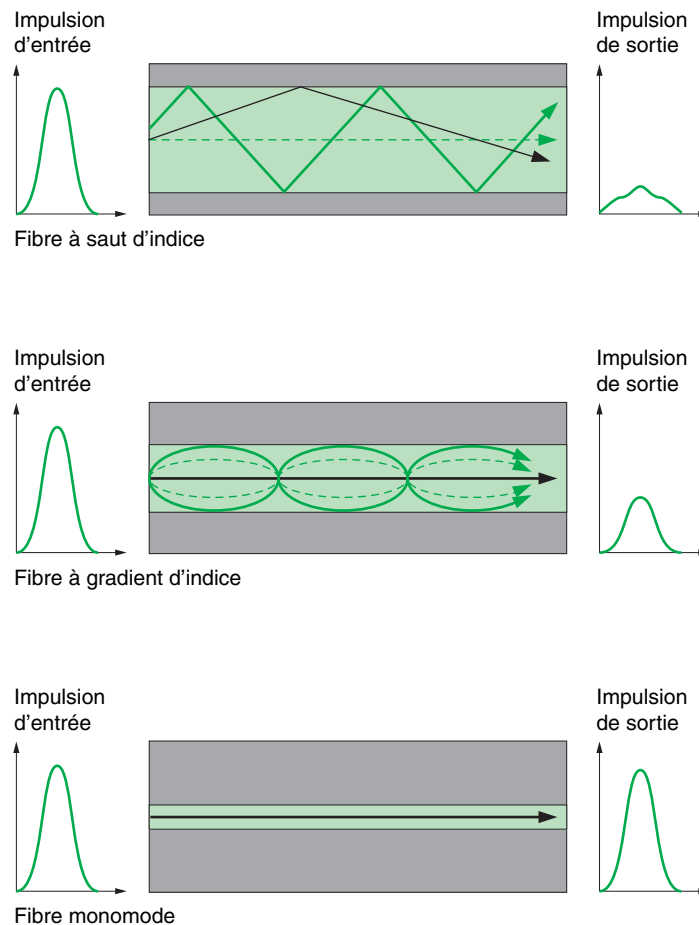
Physiquement, l'indice de réfraction d'une substance est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et sa vitesse dans le matériau (v).

$$n = \frac{c}{v}$$

L'indice de l'air est considéré égal à celui du vide 1, puisque la vitesse de la lumière dans l'air est à peu près égale à celle dans le vide.



**Fig. 21** : principe de la propagation des ondes lumineuses dans la fibre optique.



**Fig. 22** : les différents types de fibres optiques.

#### ■ Multimodes

Ce sont des fibres dont la partie centrale, qui conduit la lumière, a un diamètre grand devant la longueur d'onde utilisée ( $\Phi \approx 9$  à  $125 \mu\text{m}$ ,  $L_o = 0,5$  à  $1 \text{ mm}$ ). Dans ces fibres deux types de propagation sont utilisés : à saut d'indice ou à gradient d'indice.

#### ■ Monomode

Celles-ci ont par contre le diamètre du conduit de lumière très petit devant la longueur d'onde utilisée ( $\Phi \leq 10 \mu\text{m}$ ,  $L_o =$  généralement  $1,5 \text{ mm}$ ). Leur propagation est à saut d'indice. Ces dernières sont surtout exploitées pour les télécommunications.

Ce cours rappel permet de comprendre le soin qui doit être apporté à la mise en œuvre, par exemple en ce qui concerne le tirage des fibres (efforts de traction réduits et rayons de courbure modérés selon prescription des fabricants). Les fibres optiques les plus employées dans l'industrie sont les multimodes qui présentent

comme avantage leur robustesse électromagnétique (CEM -Compatibilité ElectroMagnétique-), et leur simplicité de mise en œuvre.

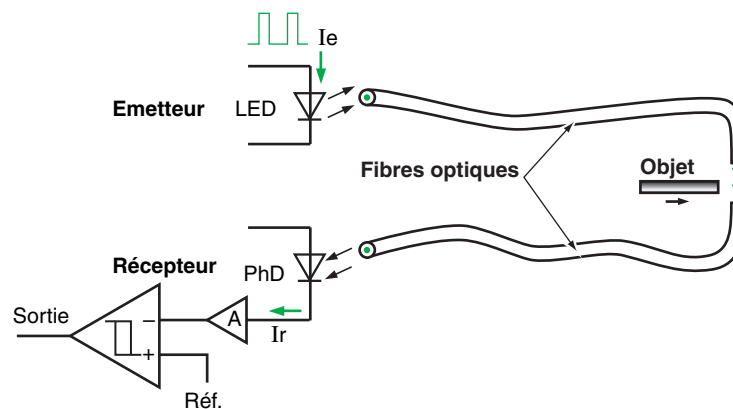
#### ■ Technologie des détecteurs

Les fibres optiques sont placées devant la DEL d'émission et devant la photodiode ou le phototransistor de réception (cf. **fig. 23**).

Ce principe permet :

- d'éloigner l'électronique du point de contrôle,
- d'atteindre des endroits exigus ou de température élevée,
- de détecter de très petits objets (ordre du mm),
- et, suivant la disposition de l'extrémité des fibres, de fonctionner en mode barrage ou proximité.

A noter que les jonctions entre la DEL d'émission ou le phototransistor de réception et la fibre optique doivent être réalisées avec beaucoup de soin afin de minimiser les pertes de signal lumineux.



**Fig. 23** : principe d'un détecteur à fibres optiques.

### 5.3 Grandeurs d'influence de la détection par systèmes photoélectriques

Plusieurs facteurs sont à même d'influencer les performances de ces systèmes de détection.

Ont déjà été cités précédemment :

- la distance (détecteur-objet),
- le type d'objet à détecter (sa matière diffusante, réfléchissante ou transparente, sa couleur et ses dimensions),
- l'environnement (lumière ambiante, présence d'arrière plan,...).

## 6 Les détecteurs à ultrasons

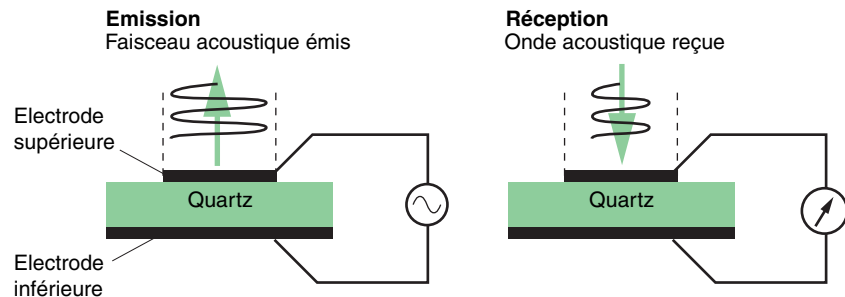
### 6.1 Principe

Les ultrasons sont produits électriquement à l'aide d'un transducteur électroacoustique (effet piézoélectrique) qui convertit l'énergie électrique qui lui est fournie en vibrations mécaniques grâce aux phénomènes de piézoélectricité ou de magnétostriction (cf. **fig. 24**).

Le principe est de mesurer le temps de propagation de l'onde acoustique entre le capteur et la cible.

La vitesse de propagation est de 340 m/s dans l'air à 20 °C, par ex. pour 1 m le temps à mesurer est de l'ordre de 3 ms. Ce temps est mesuré par le compteur d'un microcontrôleur.

L'avantage des capteurs ultrasons est de pouvoir fonctionner à grande distance (jusqu'à 10 m), mais surtout d'être capable de détecter tout objet réfléchissant le son indépendamment de la forme et de la couleur.



**Fig. 24** : principe d'un transducteur électroacoustique.

### 6.2 Application (cf. **fig. 25**)

Excité par le générateur haute tension, le transducteur (émetteur-récepteur) génère une onde ultrasonique pulsée (de 100 à 500 kHz suivant le produit) qui se déplace dans l'air ambiant à la vitesse du son.

Dès que l'onde rencontre un objet, une onde réfléchi (écho) revient vers le transducteur. Un microprocesseur analyse le signal reçu et mesure l'intervalle de temps entre le signal émis et l'écho.

Par comparaison avec les temps prédéfinis ou appris, il détermine et contrôle l'état des sorties. En connaissant la vitesse de propagation du son, une distance peut être déduite selon la formule :

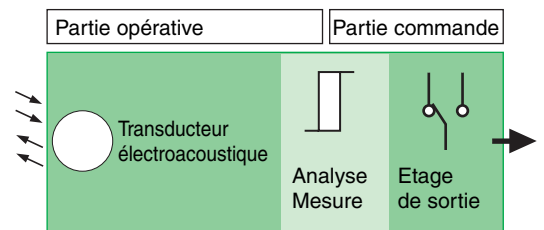
$$D = \frac{T \cdot V_s}{2} \text{ avec}$$

D : distance du détecteur à l'objet,

T : temps écoulé entre l'émission de l'onde et sa réception,

$V_s$  : vitesse du son (300 m/s).

L'étage de sortie contrôle un commutateur statique (transistor PNP ou NPN) correspondant à un contact à fermeture ou à ouverture, ou met à disposition un signal analogique (courant ou tension) directement ou inversement proportionnel à la distance de l'objet mesurée.



**Fig. 25** : principe d'un détecteur à ultrasons.

## 6.3 Particularités des détecteurs à ultrasons

### Définitions (cf. fig. 26)

**Zone aveugle** : zone comprise entre la face sensible du détecteur et la portée minimale dans laquelle aucun objet ne peut être détecté de façon fiable. Il est impossible de détecter correctement les objets dans cette zone, aussi faut-il éviter tout passage d'objet dans cette zone aveugle pendant le fonctionnement du détecteur : cela pourrait provoquer un état instable des sorties.

**Zone de détection** : domaine dans lequel le détecteur est sensible. Selon les modèles de détecteurs cette zone peut-être ajustable ou fixe au moyen d'un simple bouton poussoir.

**Facteurs d'influence** : les détecteurs à ultrasons sont particulièrement adaptés à la détection d'objet dur et présentant une surface plane perpendiculaire à l'axe de détection. Cependant le fonctionnement du détecteur à ultrasons peut être perturbé par différents facteurs :

- Les courants d'air brusques et de forte intensité peuvent accélérer ou dévier l'onde acoustique émise par le produit (éjection de pièce par jet d'air).

- Les gradients de température importants dans le domaine de détection

Une forte chaleur dégagée par un objet crée des zones de températures différentes qui modifient le temps de propagation de l'onde et empêchent une détection fiable.

- Les isolants phoniques

Les matériaux tels le coton, les tissus, le caoutchouc, absorbent le son ; pour ces produits le mode de détection "reflex" est conseillé.

- L'angle entre la face de l'objet à détecter et l'axe de référence du détecteur

Lorsque cet angle diffère de  $90^\circ$ , l'onde n'est plus réfléchié dans l'axe du détecteur et la portée de travail diminue. Cet effet est d'autant

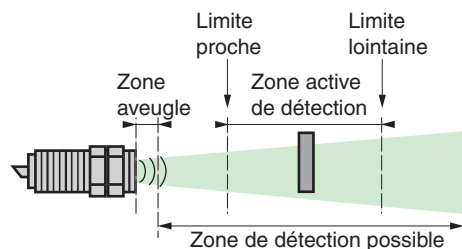


Fig. 26 : limites d'emploi d'un détecteur à ultrasons.

plus accentué que la distance entre l'objet et le détecteur est plus grande. Au-delà de  $\pm 10^\circ$ , la détection est rendue impossible.

- La forme de l'objet à détecter

En conséquence du cas précité, un objet très anguleux est plus difficile à détecter.

### Mode de fonctionnement (cf. fig. 27)

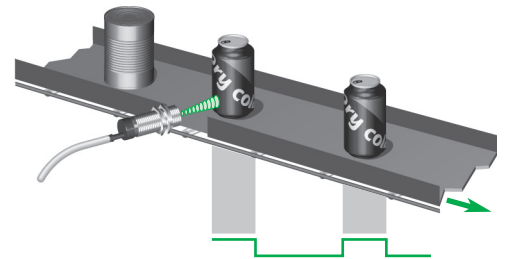
**Mode réflexion directe** : un seul et même détecteur émet l'onde sonore puis la capte après réflexion sur un objet.

Dans ce cas c'est l'objet qui assure la réflexion.

**Mode Réflex** : un seul et même détecteur émet l'onde sonore puis la réceptionne après réflexion sur un réflecteur, de fait le détecteur est en permanence activé. Le réflecteur dans ce cas est une partie plane et rigide. Ce peut être une partie de la machine. La détection de l'objet se fait alors par coupure de l'onde. Ce mode est particulièrement adapté pour la détection de matériaux amortissant ou d'objets anguleux.

**Mode barrage** : le système barrage est composé de deux produits indépendants qu'il faut placer en vis-à-vis : un émetteur d'ultrasons et un récepteur.

a -



b -

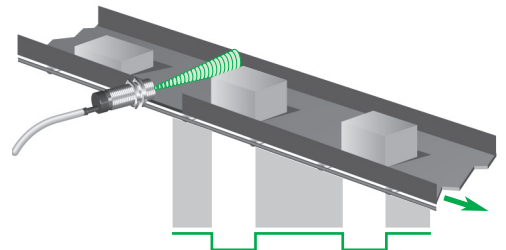


Fig. 27 : utilisations des détecteurs à ultrasons, [a] en mode proximité ou réflexion directe ; [b] en mode reflex.

## 6.4 Les avantages de la détection à ultrasons

- Pas de contact physique avec l'objet, donc pas d'usure et possibilité de détecter des objets fragiles ou fraîchement peints.
- Détection possible de tout matériau, quelle que soit sa couleur, à la même portée, sans réglage ou facteur de correction.
- Appareils statiques : pas de pièces en mouvement au sein du détecteur, donc durée de vie indépendante du nombre de cycles de manœuvres.
- Bonne tenue aux environnements industriels : dispositifs résistant aux vibrations et aux chocs, résistant aux ambiances humides ou poussiéreuses.

# 7 La détection RFID -Radio Frequency Identification-

Dans ce chapitre sont abordés les dispositifs destinés au stockage et à l'exploitation de

données mémorisées dans des étiquettes électroniques, à partir d'un signal radiofréquence.

## 7.1 Généralités

■ L'identification radiofréquence (RFID) est une technologie d'identification automatique relativement récente, adaptée aux applications nécessitant le suivi d'objets ou de personnes (traçabilité, contrôle d'accès, tri, stockage).

■ Le principe est d'associer à chaque objet une capacité de mémorisation accessible sans contact, en lecture et en écriture.

■ Les données sont stockées dans une mémoire accessible par simple liaison radiofréquence, sans contact ni champ de vision, à une distance allant de quelques cm à plusieurs mètres. Cette mémoire prend la forme d'une étiquette électronique, appelée également **transpondeur (transmetteur + répondeur)**, à l'intérieur de laquelle se trouve un circuit électronique et une antenne.

## 7.2 Principes de fonctionnement

Un système RFID est composé des deux éléments suivants (cf. **fig. 28** et **29**) :

■ une étiquette électronique,  
■ une station de lecture/écriture (ou lecteur RFID).

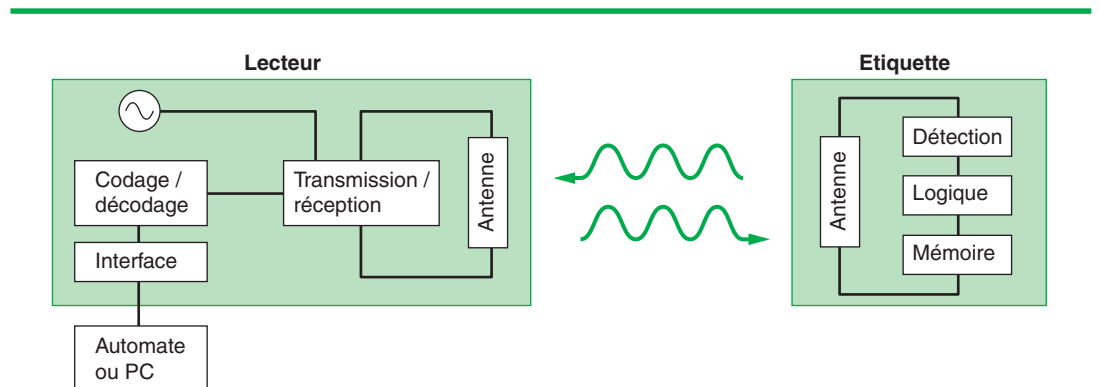


Fig. 28 : organisation d'un système RFID.

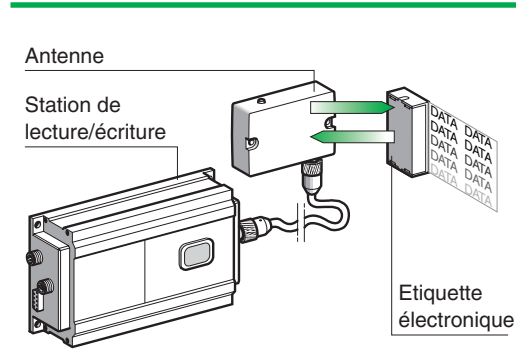


Fig. 29 : présentation des éléments d'un système RFID (Système Inductel de Telemecanique).

### Le lecteur

Il module l'amplitude du champ rayonné par son antenne pour transmettre des ordres de lecture ou d'écriture à la logique de traitement de l'étiquette. Simultanément le champ électromagnétique généré par son antenne alimente le circuit électronique de l'étiquette.

### L'étiquette

Elle transmet ses informations en retour vers l'antenne du lecteur en modulant sa consommation propre. Cette modulation est détectée par le circuit de réception du lecteur qui la convertit en signaux numériques (cf. **fig. 30**).

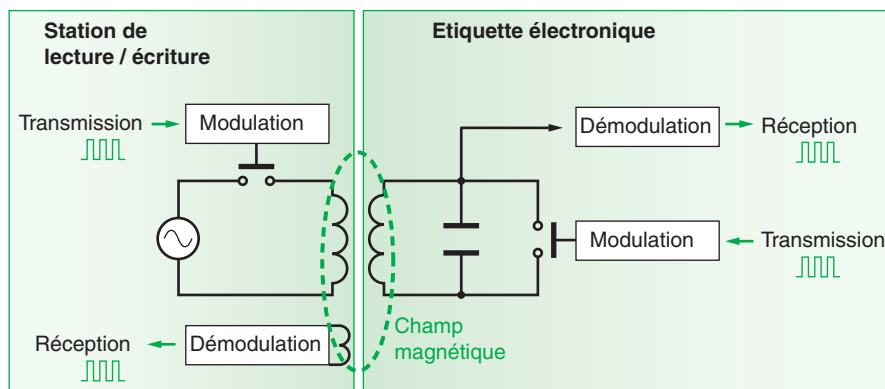


Fig. 30 : fonctionnement d'un système RFID.

### 7.3 Description des éléments

#### Les étiquettes électroniques

Les étiquettes électroniques sont composées de trois éléments principaux réunis dans un boîtier.

■ Une antenne (cf. fig.31 )

Elle doit être adaptée à la fréquence de la porteuse aussi peut-elle se présenter sous différentes formes :

- Bobine en fil de cuivre, avec ou sans noyau ferrite (canalisation des lignes de champ), ou encore gravée sur circuit imprimé souple ou rigide, ou imprimée (encre conductrice) pour les fréquences inférieures à 20 MHz.
- Dipôle gravé sur circuit imprimé, ou imprimé (encre conductrice) pour les très hautes fréquences (> 800 MHz).

■ Un circuit logique de traitement (cf. fig. 31)

Son rôle est d'assurer l'interface entre les ordres captés par l'antenne et la mémoire.

Sa complexité est fonction des applications, de la simple mise en forme jusqu'à l'utilisation d'un microcontrôleur (exemple : cartes de paiement sécurisées avec algorithmes de cryptage).

■ Une mémoire

Plusieurs types de mémoires sont utilisés pour stocker les informations dans les étiquettes électroniques (cf. fig. 32 ).

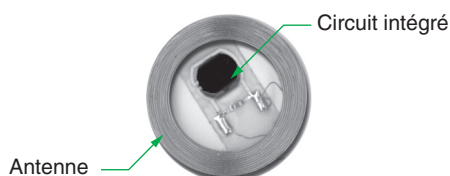


Fig. 31 : photographie d'une étiquette RFID.

- Les capacités de ces mémoires vont de quelques octets jusqu'à plusieurs dizaines de ko.

Nota : certaines étiquettes dites « actives » embarquent une pile destinée à alimenter leur électronique. Cette configuration permet d'augmenter la distance de dialogue entre l'étiquette et l'antenne, mais exige de remplacer régulièrement la pile.

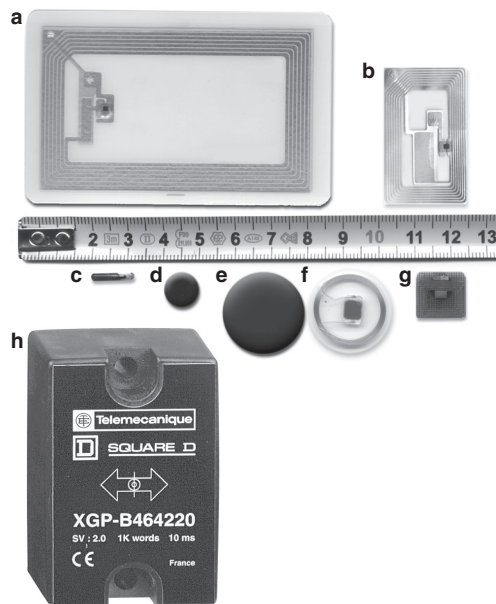
Type	Avantages	Inconvénients
ROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bonne résistance aux températures élevées</li> <li>■ Prix faible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lecture seule</li> </ul>
EEPROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pas de pile ou batterie de sauvegarde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Temps d'accès relativement long en lecture ou écriture</li> <li>■ Nombre d'écritures limité à <math>10^5</math> cycles par octet</li> </ul>
RAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rapidité d'accès aux données</li> <li>■ Capacité élevée</li> <li>■ Nombre illimité de lectures ou écritures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nécessite d'embarquer une pile de sauvegarde dans l'étiquette</li> </ul>
FeRAM (ferro-électrique)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rapidité d'accès aux données</li> <li>■ Pas de pile ou batterie de sauvegarde</li> <li>■ Capacité élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nombre de lectures et d'écritures limité à <math>10^{12}</math></li> </ul>

Fig. 32 : différents types de mémoires utilisées pour stocker les informations dans les étiquettes électroniques.

### ■ Un boîtier

Des boîtiers adaptés à chaque type d'application ont été créés pour réunir et protéger les trois éléments actifs d'une étiquette, par exemple :

- Badge format carte de crédit, pour contrôle d'accès des personnes (cf. **fig. 33a**),
  - Support adhésif, pour identification des livres dans les bibliothèques (cf. **fig. 33b**),
  - Tube verre, pour identification des animaux domestiques (injection sous la peau à l'aide d'une seringue) (cf. **fig. 33c**),
  - « Boutons » en plastique, pour identification des vêtements et linges (cf. **fig. 33d et 33e**),
  - Plaquette pour le suivi des courriers (cf. **fig. 33g**).
- Il existe beaucoup d'autres présentations : porteclé, « clou » en plastique pour identification de palettes en bois, ou encore des boîtiers résistants aux chocs et aux produits chimiques (cf. **fig. 33h**), pour des applications industrielles (traitement de surface, fours,...).



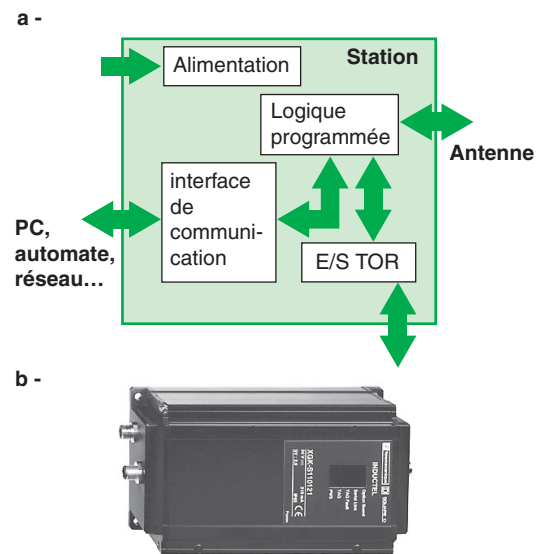
**Fig. 33** : différentes formes d'étiquettes et boîtiers RFID adaptés à leur usage.

### Les stations

Une station (cf. **fig. 34a**) joue le rôle d'interface entre le système de gestion (automate programmable, ordinateur...) et l'étiquette électronique, via un port de communication adapté (RS232, RS485, Ethernet...).

Elle peut également intégrer un certain nombre de fonctions complémentaires, adaptées en fonction des applications :

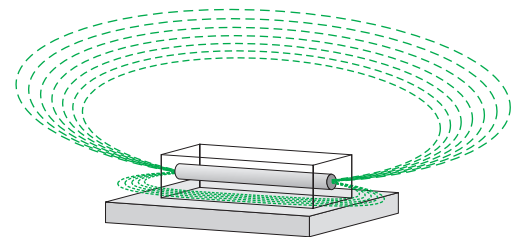
- entrées / sorties tout ou rien,
- traitement local pour fonctionnement en autonome,
- pilotage de plusieurs antennes,
- détection avec une antenne intégrée pour obtenir un système compact (cf. **fig. 34b**).



**Fig. 34** : synoptique et photographie d'un lecteur RFID (Station Telemecanique Inductel).

### Antennes

Les antennes sont caractérisées par leurs dimensions (qui déterminent la forme de la zone dans laquelle elles vont pouvoir échanger les informations avec les étiquettes) et la fréquence du champ rayonné. L'utilisation de ferrites permet de concentrer les lignes de champ électromagnétique de façon à augmenter la distance de lecture (cf. **fig. 35**) et à diminuer l'influence de masses métalliques qui pourraient être à proximité de l'antenne.



**Fig. 35** : influence d'une antenne en ferrite sur les lignes de champ électromagnétique.

Les fréquences utilisées par les antennes sont réparties sur plusieurs bandes distinctes, chaque bande présentant des avantages et des inconvénients (cf. **fig. 36** ci-contre).

Les puissances et les fréquences utilisées sont variables en fonction des applications des pays. Trois grandes zones ont été définies : Amérique du Nord, Europe, et reste du monde. A chaque zone et à chaque fréquence correspond un gabarit autorisé de spectre d'émission (norme CISPR 300330) dans lequel chaque station/antenne RFID doit s'inscrire.

Fréquence	Avantages	Inconvénients	Application typique
125-134 khz (BF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Immunité à l'environnement (métal, eau...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Faible capacité mémoire</li> <li>■ Temps d'accès long</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Identification des animaux domestiques</li> </ul>
13.56 Mhz (HF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Protocoles de dialogue antenne/étiquette normalisés (ISO 15693 – ISO 14443 A/B)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sensibilité aux environnements métalliques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Suivi des livres dans les bibliothèques</li> <li>■ Contrôle d'accès</li> <li>■ Paiements</li> </ul>
850 - 950 Mhz (UHF)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Coût très faible des étiquettes</li> <li>■ Distance de dialogue importante (plusieurs mètres)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Plages de fréquences non homogènes d'un pays à l'autre</li> <li>■ Perturbation des zones de dialogue par les obstacles (métal, eau,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gestion des produits dans la Distribution</li> </ul>
2.45 Ghz (micro-ondes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Très grande vitesse de transfert entre antenne et étiquette</li> <li>■ Distance de dialogue importante (plusieurs mètres)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ « Trous » dans la zone de dialogue difficiles à maîtriser</li> <li>■ Coût des systèmes de lecture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Suivi des véhicules (péages d'autoroutes)</li> </ul>

**Fig. 36** : description des bandes de fréquences utilisées en RFID.

#### Codage et protocole

Des normes internationales définissent les protocoles d'échange entre les stations et les étiquettes (ISO 15693 – ISO 14443 A/B). Il y a aussi des standards en cours de définition qui

sont plus spécialisés tels ceux destinés au domaine de la grande distribution (EPC -Electronic Product Code-) ou pour l'identification des animaux (ISO 11784).

## 7.4 Avantages de l'identification RFID

Comparée aux dispositifs à code à barres (étiquettes ou marquages et lecteurs), l'identification RFID présente les avantages suivants :

- modification possible des informations contenues dans l'étiquette,
- lecture/écriture à travers la plupart des matériaux non métalliques,
- insensibilité aux poussières, salissures, etc.
- enregistrement possible de plusieurs milliers de caractères dans une étiquette,
- confidentialité des informations (verrouillage de l'accès aux données contenues dans l'étiquette).

Tous ces avantages concourent à son développement dans le domaine d'activités des

services (ex. : contrôle d'accès sur les pistes de ski) et dans la distribution.

De plus, la baisse constante des prix des étiquettes RFID devrait conduire les étiquettes RFID à remplacer les traditionnels codes à barres sur les contenants (cartons, containers, bagages) dans différents domaines tels la logistique et les transports, mais aussi sur les produits en cours de fabrication dans l'industrie.

A noter cependant que l'idée attrayante de l'identification automatique du contenu des chariots devant les caisses des hypermarchés, sans aucune manipulation des marchandises, n'est pas encore envisageable avec ces systèmes pour des raisons physiques et techniques.

## 8 La vision

### 8.1 Principe

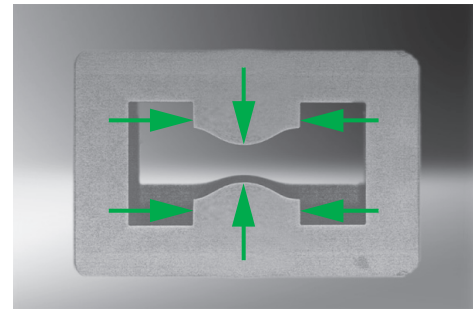
C'est l'œil de la machine qui donne la vue à un automatisme.

Sur une photographie prise par une caméra, les caractéristiques physiques de l'objet sont numérisées. Il est ainsi possible de connaître (cf. **fig. 37**) :

- ses dimensions,
- sa position,
- son aspect (état de surface, couleur, brillance, présence défaut),
- son marquage (logos, caractères...).

L'utilisateur peut aussi automatiser des fonctions complexes :

- de mesure,
- de guidage,
- et d'identification.



**Fig. 37** : contrôle d'une pièce mécanique. Les repères indiquent les zones vérifiées par le système.

### 8.2 Les points clés de la vision

La vision industrielle se compose d'un système optique (éclairage, caméra et optique), associé à une unité de traitement et une commande d'actionneurs.

#### ■ Eclairage

Il est essentiel d'avoir un éclairage spécifique et bien adapté de façon à créer un contraste suffisant et stable, pour mettre en valeur les éléments à contrôler.

#### ■ Caméra et optique

Du choix de l'optique et de la caméra dépend la qualité de l'image capturée (contraste, netteté) et cela avec une distance définie caméra/objet et un objet à examiner bien déterminé (dimension, état de surface et détail à saisir).

#### ■ Unité de traitement

L'image provenant de la caméra est transmise à l'unité de traitement qui contient les algorithmes de mise en forme et d'analyse d'image nécessaires à la réalisation des contrôles.

Ses résultats sont ensuite transmis à l'automatisme ou commandent directement un actionneur.

#### Les éclairages

- Les technologies d'éclairage
    - Eclairage à tube fluorescent haute fréquence
- D'une lumière blanche il a une durée de vie longue (5 000 heures), et le volume éclairé ou « champ » est important. Il dépend évidemment de la puissance lumineuse mise en œuvre.

#### □ Eclairage halogène

De lumière également blanche, sa durée de vie est faible (500 heures) et d'une puissance très importante il peut couvrir un champ important.

#### □ Eclairage à DEL (Diode Electro Luminescente)

C'est l'éclairage privilégié aujourd'hui : c'est un éclairage homogène d'une durée de vie très longue (30 000 heures). Il existe en couleurs, mais le champ couvert est limité à 50 cm environ.

■ Ces éclairages peuvent être appliqués de différentes manières. Cinq systèmes sont principalement utilisés (cf. **fig. 38** ci-contre) pour faire ressortir la caractéristique à contrôler :

- Annulaire,
- Rétro éclairage,
- Linéaire direct,
- Rasant,
- Coaxial.

#### Les caméras et optiques

##### ■ Les technologies de caméras

#### □ Caméra CCD (Charged Coupled Device)

Aujourd'hui, ces caméras sont privilégiées pour leur bonne définition.

Pour les process continus, on utilise des caméras linéaires (CCD à arrangement linéaire) Dans tous les autres cas, on utilise des caméras à arrangement matriciel (CCD matriciel).

Les caméras industrielles utilisent plusieurs formats de capteur (cf. **fig. 39** ci-contre) définis en pouces : 1/3, 1/2 et 2/3 (1/3 et 1/2 : caméscope, 2/3 et plus : haute résolution industrielle, télévision...).

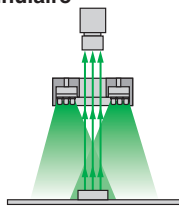
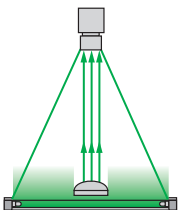
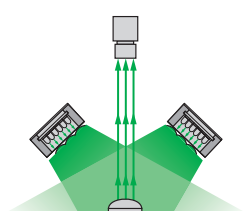
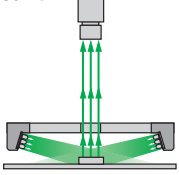
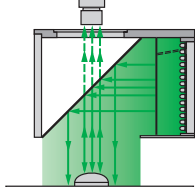
Systemes	Caractéristiques	Applications type
<b>Annulaire</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ensemble de DEL disposées en anneau</li> <li>■ Système d'éclairage très puissant : permet d'éclairer l'objet dans son axe, par-dessus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contrôle de précision, de type marquage</li> </ul>
<b>Rétro éclairage</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Éclairage placé derrière l'objet et face à la caméra</li> <li>■ Permet de mettre en évidence la silhouette de l'objet (ombre chinoise)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mesure des cotes d'un objet ou analyse d'éléments opaques</li> </ul>
<b>Linéaire direct</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Utilisé pour mettre en évidence une petite surface de l'objet à contrôler et créer une ombre portée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Recherche de défauts précis, contrôle de taraudage...</li> </ul>
<b>Rasant</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Permet de : <ul style="list-style-type: none"> <li>□ faire la détection de bord</li> <li>□ contrôler un marquage</li> <li>□ détecter les défauts sur des surfaces vitrées ou métalliques</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contrôle de caractères imprimés, de l'état d'une surface, détection de rayures...</li> </ul>
<b>Coaxial</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Permet de mettre en évidence des surfaces lisses perpendiculaires à l'axe optique en orientant la lumière vers un miroir semi-réfléchissant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contrôle, analyse et mesure de surfaces métalliques planes ou autres surfaces réfléchissantes</li> </ul>

Fig. 38 : tableaux des différents éclairages pour la vision industrielle.

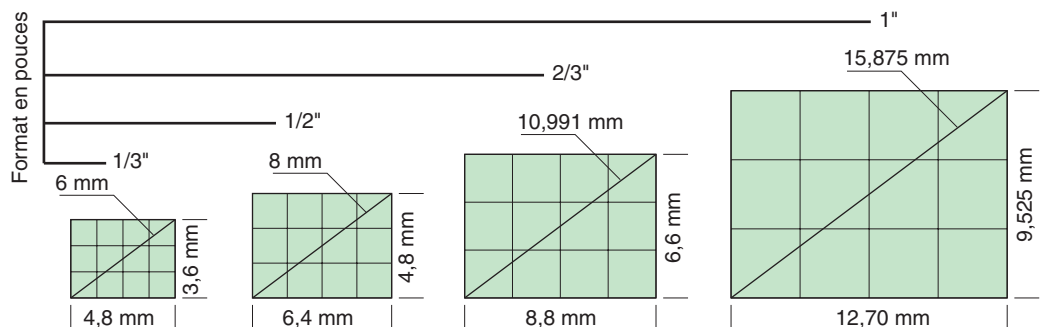


Fig. 39 : les formats de capteurs utilisés dans l'industrie.

Les optiques sont dédiées à chaque format de capteur afin d'utiliser la totalité des pixels.

□ **Caméra CMOS**

Progressivement supplantée par CCD

Coût attractif ⇒ utilisation applications basiques

□ **Caméra Vidicon (tube)**

Maintenant obsolète.

■ **Le balayage**

Les caméras sont soit à image entrelacée soit « Progressive scan = full frame ».

Dans le cas où les vibrations et la prise d'image au vol sont fréquentes, il est conseillé d'utiliser un capteur « Balayage progressif (dit Progressive Scan) » (lecture à la volée) ou « Full Frame ». Les capteurs CCD permettent l'exposition de tous les pixels au même instant.

□ **Balayage entrelacé**

Le système entrelacé est issu de la vidéo. Son principe consiste à analyser l'image par balayage successif d'une ligne sur deux (cf. fig. 40).

Son objectif est d'économiser la moitié de la bande passante au prix de quelques défauts peu visibles sur un petit écran, notamment du scintillement.

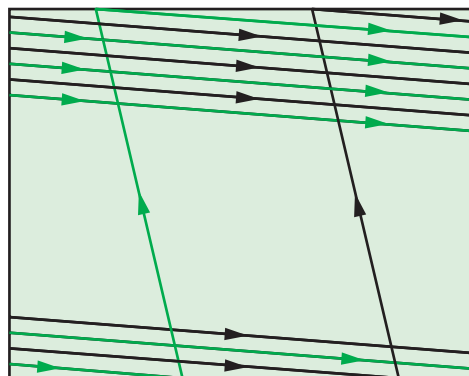


Fig. 40 : une première trame, représentée avec des traits noirs, analyse les lignes impaires, la seconde en vert, analyse les lignes paires, c'est un balayage entrelacé.

□ **Balayage progressif**

C'est le type d'analyse d'image exploité en informatique. Son principe est de décrire au même instant toutes les lignes de l'image (cf. fig. 41). Son intérêt est dans la suppression du scintillement et l'obtention d'une image stable (cf. fig. 42).

■ **L'optique**

□ Les montures à visser « C » et « CS » qui ont un Ø 25,4 mm sont les plus utilisées dans le milieu industriel.

La distance focale (f en mm) s'exprime directement à partir de la taille de l'objet à cadrer

(H en mm), de la distance objet ⇒ objectif (D en mm), et de la taille de l'image (h en mm) :

$$f = D \cdot \frac{h}{H} \text{ (cf. fig. 43)}$$

Avec un angle de champ =  $2 \cdot \arctg\left(\frac{h}{2f}\right)$

Ainsi, plus la distance focale est faible, plus le champ couvert est grand.

□ Le choix du type d'objectif s'effectue donc en fonction de la distance D et de la taille du champ visualisé H.

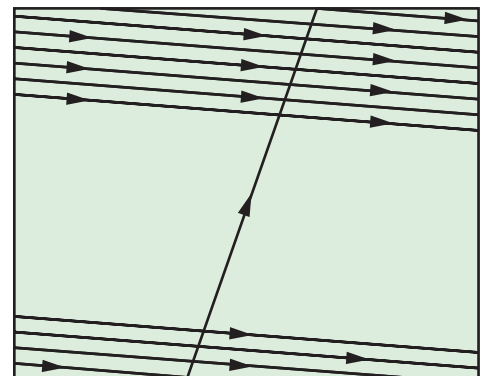
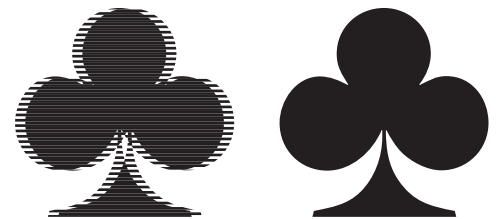


Fig. 41 : toutes les lignes de l'image sont décrites à chaque instant, c'est un balayage progressif.



Balayage entrelacé

Balayage progressif

Fig. 42 : différence de netteté entre les deux types de balayage.

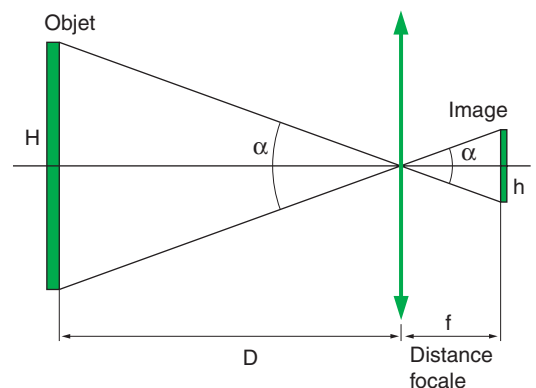


Fig. 43 : la distance focale.

### Unité de traitement

Son électronique a deux missions : mettre en forme l'image puis analyser cette image améliorée.

#### ■ Algorithmes de mise en forme d'image

Les pré-traitements changent la valeur de niveau de gris des pixels. Le but de ces pré-traitements est d'améliorer l'image afin de pouvoir l'analyser avec plus d'efficacité et de robustesse. Parmi ces pré-traitements possibles, les plus employés sont :

- la binarisation,

- la projection,
- l'érosion / dilatation,
- l'ouverture / fermeture.

#### ■ Algorithmes d'analyse d'image

Dans le tableau de la **figure 44** sont présentés différents algorithmes d'analyse d'image.

A noter que dans la colonne « Pré-requis » sont indiqués les traitements d'images qui précèdent cette analyse.

Algorithme d'analyse d'image	Principe de fonctionnement et utilisation privilégiée (en gras)	Pré-requis	Avantage(s)	Limites
Ligne	Comptage de pixels, d'objets <b>Présence/Absence</b> , comptage	Binarisation et éventuellement ajustement d'exposition	Très rapide (< ms)	Stabilité de l'image par rapport à la binarisation
Analyse de zone en niveaux binaires (noir ou blanc)	Comptage de pixels. <b>Présence/Absence</b> , analyse de surface, contrôle d'intensité	Binarisation et éventuellement ajustement d'exposition	Rapide (ms)	Stabilité de l'image par rapport à la binarisation
Analyse de zone en niveaux de gris	Calcul du niveau de gris moyen. Présence/Absence, analyse de surface, <b>contrôle d'intensité</b>	Aucun		
Recherche de bord par analyse binaire	Relevé de bord sur image binaire. Mesure, présence/absence, positionnement	Binarisation et éventuellement ajustement d'exposition		Précision au pixel au mieux. Stabilité de l'image par rapport à la binarisation
Recherche de bord par analyse des niveaux de gris	Relevé de bord sur image en niveau de gris. <b>Mesure</b> , présence/absence, <b>positionnement</b>	Aucun et éventuellement ajustement de position	Permet de détecter les bords d'un objet détérioré ou à surface inégale. "Lissage" possible d'objets à surface irrégulière avec un pré-traitement par calcul du niveau de gris moyen de pixels	Nécessite un repositionnement précis
Extraction de forme	<b>Comptage</b> , détection d'objet, relevé de mesures et paramètres géométriques. Positionnement, re-positionnement, mesure, <b>tri</b> , identification	Binarisation et éventuellement ajustement d'exposition	Nombreux résultats extraits, polyvalent. Permet un repositionnement à 360°	Précision au pixel au mieux. Stabilité de l'image par rapport à la binarisation. Lent (> 10...100 ms)
Comparaison de formes	Recherche de formes similaires à des modèles préenregistrés. Positionnement, <b>re-positionnement</b> , mesure, tri, comptage, <b>identification</b>	Aucun	Facile à mettre en œuvre	Reconnaissance limitée à 30°. Lent (> 10...100 ms) si modèle et/ou zone de recherche importante
OCR / OCV	Reconnaissance de caractères (OCR) ou vérification de caractères ou logos (OCV)	Avoir un bon niveau de contraste de l'image. Maximiser la taille de l'image. Utiliser un repositionnement	Lecture de tout type de caractère ou logo par apprentissage d'une bibliothèque (alphabet)	Stabilité du marquage à contrôler dans le temps. (ex pièces embouties)

**Fig. 44** : les différents algorithmes d'analyse d'image utilisés dans la vision industrielle.

## 9 Les codeurs optiques

### 9.1 Présentation d'un codeur optique

#### ■ Constitution

Un codeur optique rotatif est un capteur angulaire de position qui comporte un émetteur de lumière (LED), un récepteur photosensible, et un disque lié mécaniquement par son axe à l'organe à contrôler de la machine, disque qui comporte une succession de zones opaques et transparentes.

La lumière émise par des LED arrive sur des photodiodes chaque fois qu'elle traverse les zones transparentes du disque. Les photodiodes génèrent alors un signal électrique qui est amplifié puis converti en signal carré, avant d'être transmis vers un système de traitement. Lorsque le disque tourne, le signal de sortie du codeur est alors constitué d'une suite de signaux carrés. La **figure 45** montre un tel dispositif.

#### ■ Principes

□ La rotation d'un disque gradué, fonction du déplacement de l'objet à contrôler, génère des impulsions toutes semblables en sortie d'un capteur optique.

La résolution c'est-à-dire le nombre d'impulsions par tour, correspond au nombre de graduations sur le disque ou à un multiple de celui-ci. Plus le nombre de points est important plus le nombre de mesures par tour permettra une division plus fine du déplacement ou de la vitesse du mobile relié au codeur.

Exemple d'application : la coupe à longueur  
La résolution s'exprime par la fraction

$$\frac{\text{distance parcourue pour 1 tour}}{\text{nombre de points}}$$

Ainsi, lorsque le produit à couper entraîne une roue de mesure dont le périmètre est de 200 mm, pour une précision de 1 mm le codeur



**Fig. 45** : exemple d'un capteur optique (marque Telemecanique).

devra avoir une résolution de 200 points. Pour une précision de 0,5 mm la résolution du codeur devra être égale à 400 points.

#### ■ Réalisation pratique (cf. **fig. 46**)

La partie émission est réalisée par une source lumineuse triple à trois photodiodes ou DEL (pour la redondance), d'une durée de vie de 10 à 12 ans.

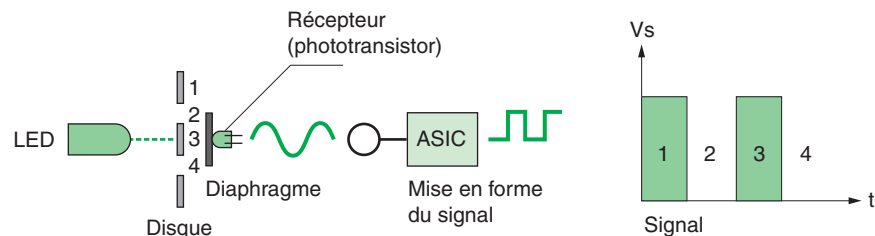
Un ASIC<sup>(1)</sup> associé à l'ensemble capteur optique du signal sinusoïdal permet d'obtenir des signaux carrés après amplification.

Le disque est en :

□ POLYFASS (Mylarmica) incassable pour des résolutions atteignant :

- 2 048 points pour un diamètre 40 mm,
- 5 000 points pour un diamètre 58 mm,
- 10 000 points pour un diamètre 90 mm,

□ VERRE pour des résolutions supérieures et des fréquences élevées de lecture jusqu'à 300 KHz.



**Fig. 46** : principe d'un codeur incrémental.

(1) Application Specific Integrated Circuit - circuit intégré spécialisé.

## 9.2 Familles de codeurs optiques

L'offre des constructeurs permet de couvrir l'ensemble des applications industrielles. Cette offre comporte plusieurs familles principales :

- les codeurs incrémentaux qui permettent de connaître la position d'un mobile et de contrôler son déplacement par comptage/décomptage des impulsions qu'ils délivrent ;
- les codeurs absolus de position qui donnent la position exacte sur un tour ou sur plusieurs tours.

Ces deux familles peuvent avoir des variantes comme :

- les codeurs absolus multi-tours,
- les tachycodeurs qui fournissent en complément une information de vitesse,
- les tachymètres dans lesquels l'information est traitée pour donner une information de vitesse.

Tous ces dispositifs utilisent des techniques similaires. Ils se distinguent par le fenêtrage des disques et la manière dont le signal optique est codé ou traité.

### Codeurs incrémentaux (cf. fig. 47)

Les codeurs incrémentaux sont destinés à des applications de positionnement et de contrôle de déplacement d'un mobile par comptage/décomptage des impulsions qu'ils délivrent.

- Le disque d'un codeur incrémental comporte deux types de pistes :

- une piste extérieure (voies A et B) divisée en « n » intervalles d'angles égaux et alternativement opaques et transparents, « n » étant la résolution ou nombre de périodes. Deux photodiodes décalées installées derrière cette piste délivrent des signaux carrés A et B chaque fois que le faisceau lumineux traverse une zone transparente. Le déphasage de 90° électriques (1/4 de période) des signaux A et B définit le sens de rotation (cf. fig. 48) : dans un sens, le signal B est à 1 pendant le front montant de A, alors que dans l'autre sens, il est à 0 ;

- une piste intérieure (piste Z) qui comporte une seule fenêtre transparente. Le signal Z, appelé « top zéro », de durée 90° électriques, est synchrone avec les signaux A et B. Il définit une position de référence et permet la réinitialisation à chaque tour.

- Exploitation des voies A et B

Les codeurs incrémentaux autorisent trois niveaux de précision d'exploitation :

- utilisation des fronts montants de la voie A seule : exploitation simple, correspondant à la résolution du codeur,
- utilisation des fronts montants et descendants de la voie A seule : la précision d'exploitation est doublée,

- utilisation des fronts montants et descendants des voies A et B : la précision d'exploitation est quadruplée (cf. fig. 49 page suivante).

- Elimination des parasites

Tout système de comptage peut être perturbé par l'apparition de parasites en ligne qui sont comptabilisés au même titre que les impulsions délivrées par le codeur.

Pour éliminer ce risque, la plupart des codeurs incrémentaux délivrent en plus des signaux A, B et Z, les signaux complémentés  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  et  $\bar{Z}$ . Si le système de traitement est conçu pour pouvoir les exploiter (commandes numériques NUM par exemple), ces signaux complémentés permettent de différencier les impulsions codeur des impulsions parasites (cf. fig. 50 page suivante), évitant ainsi la prise en compte de ces dernières voire de reconstruire le signal émis (cf. fig. 51 page suivante).

### Codeurs absolus

- Principe de réalisation

Les codeurs absolus sont destinés à des applications de contrôle de déplacement et de positionnement d'un mobile. Rotatifs, ils

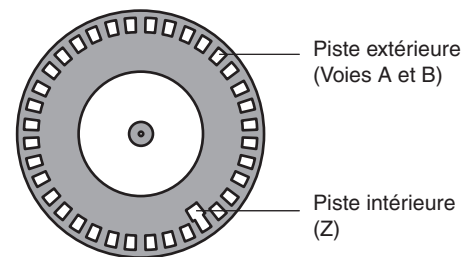


Fig. 47 : vue d'un disque gradué de codeur incrémental.

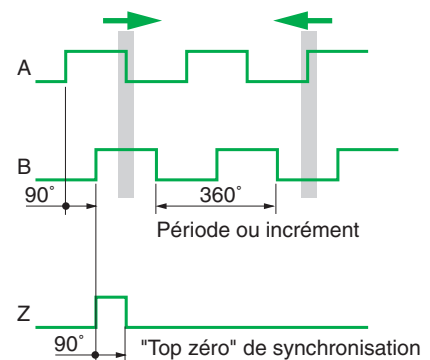


Fig. 48 : principe de détection du sens de rotation et du « top zéro ».

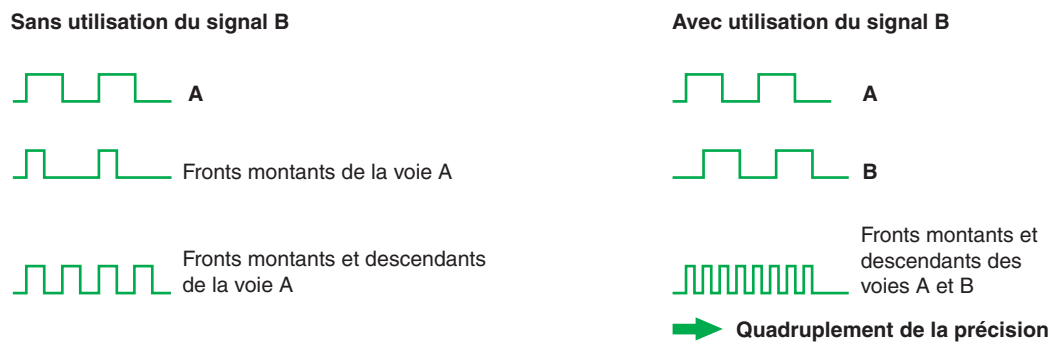


Fig. 49 : principe pour quadrupler la précision d'exploitation.

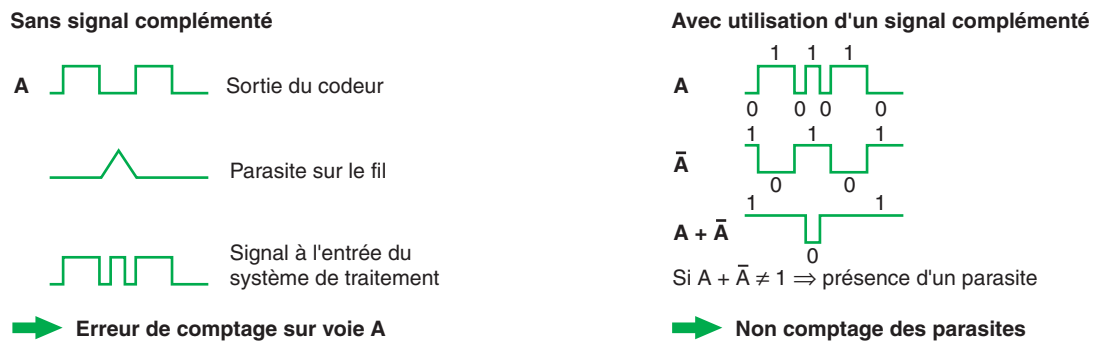


Fig. 50 : signaux complémentés permettant de différencier les impulsions et d'éviter ainsi la prise en compte des impulsions parasites.

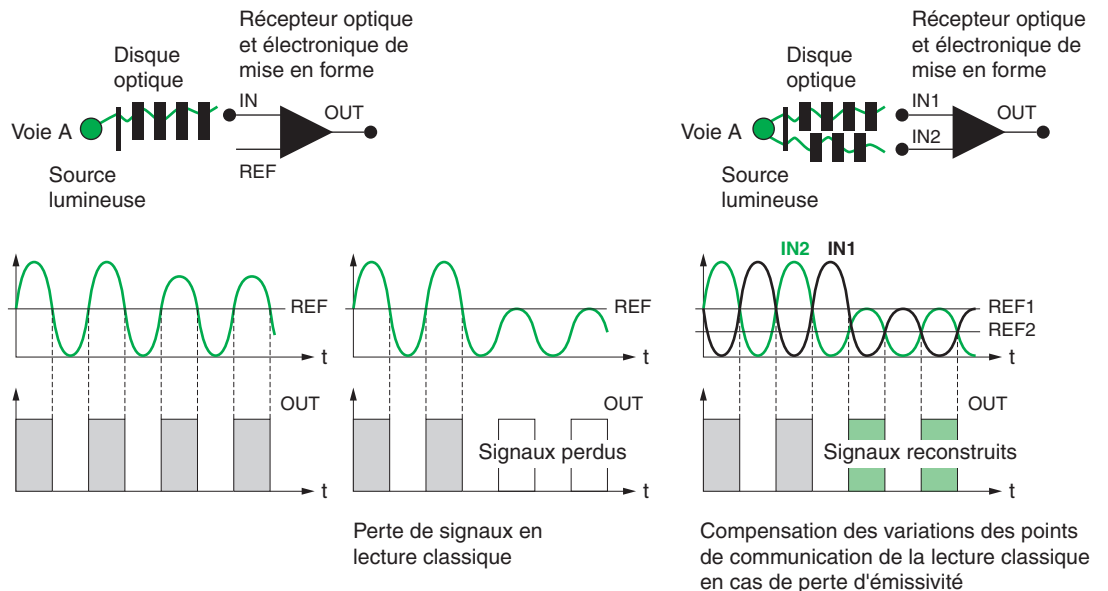


Fig. 51 : principe pour reconstruire un signal émis.

fonctionnent de manière similaire aux capteurs incrémentaux mais s'en distinguent par la nature du disque.

En effet, celui-ci comporte plusieurs pistes concentriques divisées en segments égaux alternativement opaques et transparents (cf. fig. 52 ci-contre). Un codeur absolu délivre en

permanence un code qui est l'image de la position réelle du mobile à contrôler.

La première piste intérieure est composée d'une moitié opaque et d'une moitié transparente. La lecture de cette piste permet de déterminer à un demi-tour près où se situe l'objet (MSB : Most Significant Bit).

Les pistes suivantes, du centre vers l'extérieur du disque, sont divisées en 4 quarts alternativement opaques et transparents. Ainsi, la lecture de la seconde piste combinée avec la lecture de celle qui la précède (la première) permet de déterminer dans quel quart (1/4 ou 1/2) de tour se situe l'objet. Les pistes suivantes permettent successivement de déterminer dans quel huitième (1/8 ou 1/2) de tour, seizième (1/16) de tour, etc. on se situe.

La piste extérieure correspond au bit de poids le plus faible (LSB : Least Significant Bit).

Le nombre de sorties parallèles est le même que le nombre de bits ou de pistes sur le disque. L'image du déplacement nécessite autant de couple diode / phototransistor que de bits émis ou de piste sur le disque. La combinaison de tous les signaux à un instant donné, donne la position du mobile.

Les codeurs absolus se caractérisent par l'émission d'un code numérique, image du positionnement physique du disque. Un seul code correspond à une seule position, ce code délivré par un codeur rotatif absolu peut être soit du binaire naturel (binaire pur), soit du binaire réfléchi aussi dénommé code Gray (cf. **fig. 53**).

#### ■ Avantages des codeurs absolus

Le codeur absolu présente deux avantages importants par rapport au codeur incrémental :

- insensibilité aux coupures du réseau car à la mise sous tension ou après coupure, le codeur délivre une information immédiatement exploitable par le système de traitement, correspondant à la position angulaire réelle du mobile. Le codeur incrémental, lui, nécessite une réinitialisation avant de pouvoir exploiter utilement les signaux.

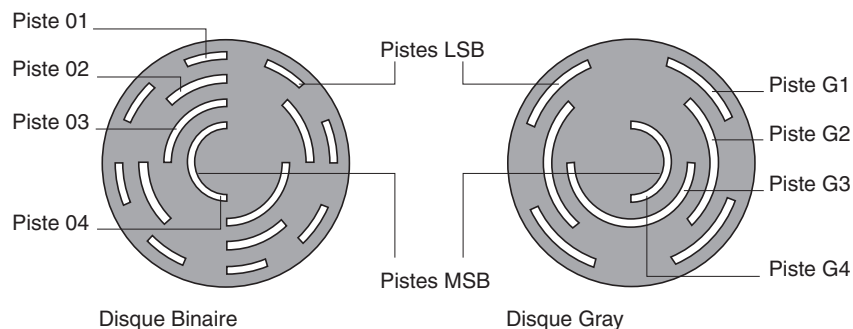
- insensibilité avec les parasites en ligne. Un parasite peut modifier le code délivré par un codeur absolu, mais ce code redevient automatiquement correct dès la disparition du parasite. Avec un codeur incrémental, l'information parasite est prise en compte, sauf dans le cas où les signaux complémentés sont exploités.

#### ■ Exploitation des signaux

Pour chaque position angulaire de l'axe, le disque fournit un code, qui peut-être soit un code binaire soit un code Gray :

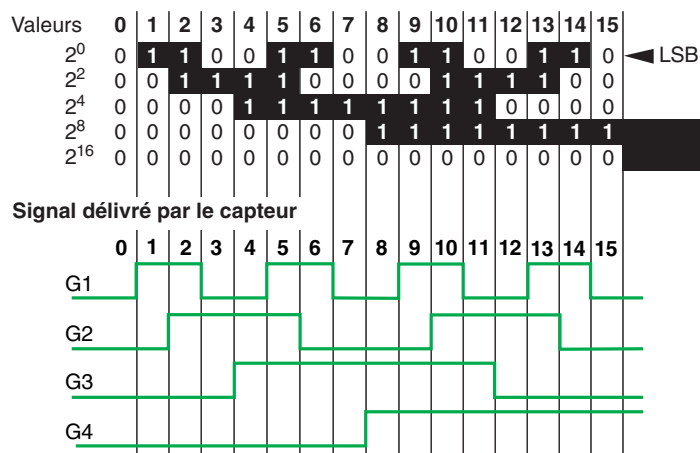
- Le code binaire pur

Permet d'effectuer les 4 opérations arithmétiques sur des nombres exprimés dans ce code. Il est donc directement exploitable par les systèmes de traitement (API) pour effectuer des calculs.



**Fig. 52** : disques gravés d'un codeur absolu.

#### Lecture optique du disque



**Fig. 53** : signal délivré en code Gray par un codeur rotatif absolu.

Mais il présente l'inconvénient d'avoir plusieurs bits qui changent d'état entre deux positions d'où une possible ambiguïté de lecture.

Pour lever cette ambiguïté les codeurs absolus génèrent un signal d'inhibition qui bloque les sorties à chaque changement d'état.

□ Le code Gray dans lequel un seul bit à la fois change d'état évite aussi cette ambiguïté.

Mais pour son exploitation par un automatisme, ce code doit être préalablement transcodé en binaire (cf. fig. 54).

■ Utilisation d'un codeur absolu

Dans la plupart des applications la recherche d'une meilleure productivité impose des déplacements rapides, à grande vitesse, puis des ralentissements pour avoir des positionnements précis.

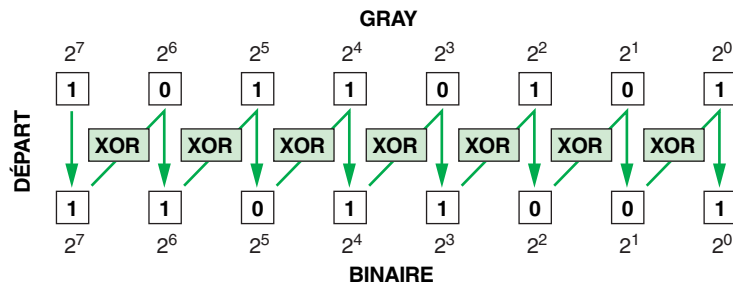


Fig. 54 : principe de transcodage de Gray en binaire.

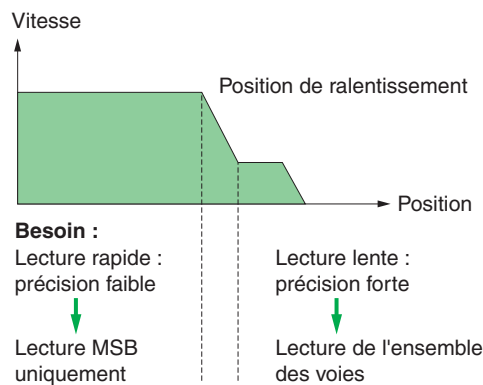


Fig. 55 : positionnement d'un mobile sur un axe.

Pour atteindre cet objectif avec des cartes E/S standard il faut surveiller les MSB lorsque la vitesse est élevée, de façon à déclencher le ralentissement à un demi-tour près (cf. fig. 55).

#### Variantes des codeurs

De nombreuses variantes ont été imaginées et plusieurs présentations sont disponibles pour satisfaire aux différentes exigences d'emploi, par exemple :

- Codeurs absolus multi-tours,
- Tachycodeurs et tachymètres,
- Codeurs à axe plein,
- Codeurs à axe creux,
- Codeurs à axe traversant.

### 9.3 Association codeur - unité de traitement

Les circuits d'entrée des unités de traitement doivent être compatibles aux flux d'informations délivrés par les codeurs (cf. fig. 56).

Unités de traitement		Codeurs			
		Incrémental			Absolu
		Fréquence du signal (kHz)			Liaison parallèle
		≤ 0,2	≤ 40	> 40	
Automates programmables	Entrées TOR	■			■
	Comptage rapide Cartes d'axes	■	■		
Commandes numériques		■	■	■	
Micro-ordinateurs	Entrées parallèles				■
Cartes spécifiques		■	■	■	■

Fig. 56 : principaux types d'unités de traitement utilisées dans l'industrie et les codeurs qui leur sont généralement associés.

## 10 Les pressostats et vacuostats

### 10.1 Qu'est ce que la pression ?

La pression est le résultat d'une force appliquée sur une surface. Si P est la pression, F la force

et S la surface, on a la relation  $P = \frac{F}{S}$ .

La terre est entourée d'une couche d'air qui a une certaine masse et donc exerce une certaine pression appelée « Pression atmosphérique » et qui est égale à 1 bar au niveau de la mer.

La pression atmosphérique est donnée en hPa (hectopascal) ou mbar. 1 hPa = 1 mbar.

L'unité internationale de pression est le pascal (Pa) : 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>

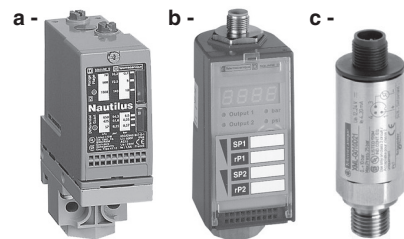
Une unité plus pratiquée est le bar :  
1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> = 10 N/cm<sup>2</sup>

Pressostats, vacuostats et transmetteurs de pression ont pour fonction de contrôler ou réguler ou mesurer une pression ou une dépression dans un circuit hydraulique ou pneumatique.

Les pressostats ou vacuostats transforment un changement de pression en signal électrique

« Tout ou Rien » lorsque les points de consigne affichés sont atteints. Ils peuvent être de technologie électromécanique ou électronique (cf. **fig. 57**).

Les transmetteurs de pression (également appelés capteurs analogiques) transforment la pression en un signal électrique proportionnel et sont de technologie électronique.



**Fig. 57** : exemple de détecteurs de pression (marque Telemecanique), [a] pressostat électromécanique, [b] pressostat électronique, [c] transmetteur de pression.

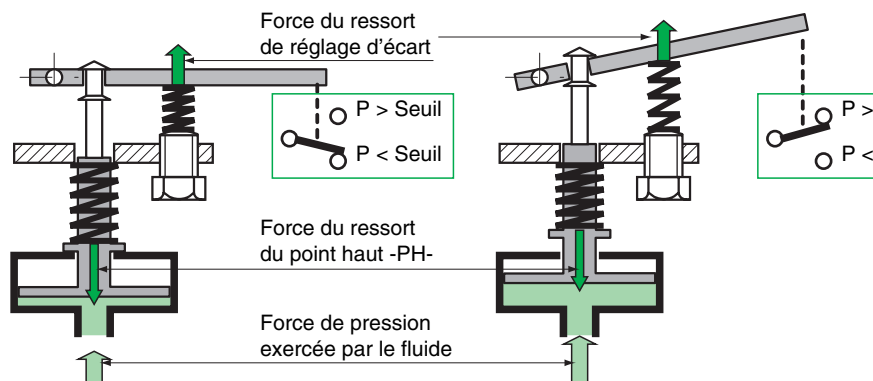
### 10.2 Les détecteurs pour le contrôle de pression

#### Principe

Les appareils électromécaniques utilisent le déplacement d'une membrane, d'un piston ou d'un soufflet pour actionner mécaniquement des contacts électriques (cf. **fig. 58**).

Les détecteurs de pression électroniques Telemecanique sont équipés d'une cellule

céramique piezo-résistive (cf. **fig. 59** page suivante). La déformation due à la pression est transmise aux résistances « couche épaisse » du pont de Wheatstone sérigraphié sur la membrane céramique. La variation de résistance est ensuite traitée par l'électronique intégrée pour donner un signal tout ou rien ou proportionnel à la pression (ex : 4-20 mA , 0-10 V...).



**Fig. 58** : principe d'un détecteur de pression électromécanique (marque Telemecanique).

Le contrôle ou la mesure de pression résultent de la différence entre les pressions régnant des deux côtés de l'élément soumis à la pression. Selon la pression de référence, on utilise la terminologie suivante :

**Pression absolue** : mesure par rapport à un volume scellé, généralement sous vide.

**Pression relative** : mesure par rapport à la pression atmosphérique.

**Pression différentielle** : mesure la différence entre deux pressions.

A noter que les contacts électriques de sortie peuvent être :

- de puissance, bipolaires ou tripolaires, pour commander directement des moteurs monophasés ou triphasés (pompes, compresseurs,...),
- ou standard, pour commander des bobines de contacteurs, relais, électrovannes, entrée d'automates, etc.

#### Terminologie (cf. fig. 60 )

■ Terminologie générale

##### □ Plage de fonctionnement

C'est l'intervalle défini par la valeur minimale de réglage du point bas (PB) et la valeur maximale de réglage du point haut (PH) pour les pressostats et vacuostats. Elle correspond à l'étendue de mesure pour les transmetteurs de pression (appelés aussi capteurs analogiques). A noter que les pressions affichées sur les appareils ont pour base la pression atmosphérique.

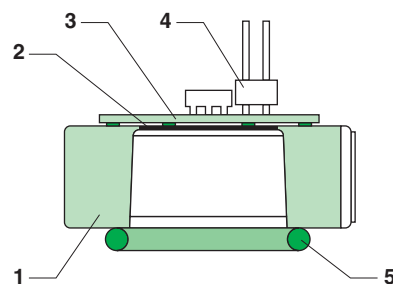
##### □ Plage de réglage

C'est l'intervalle défini par la valeur minimale et la valeur maximale du réglage du point haut.

##### □ Calibre

Valeur maximale de la plage de fonctionnement pour les pressostats.

Valeur minimale de la plage de fonctionnement pour les vacuostats.



- (1) Cellule céramique avec
- (2) Membrane de mesure
- (3) Electronique d'amplification
- (4) Connexion électrique
- (5) Joint

Fig. 59 : coupe d'un détecteur de pression (marque Telemecanique).

##### □ Point de consigne haut (PH)

C'est la valeur de la pression maximale choisie et réglée sur le pressostat ou vacuostat à laquelle la sortie changera d'état lorsque la pression sera ascendante.

##### □ Point de consigne bas (PB)

C'est la valeur de la pression minimale choisie ou réglée sur le pressostat ou vacuostat à laquelle la sortie du produit changera d'état lorsque la pression sera descendante.

##### □ Ecart

C'est la différence entre le point de consigne haut (PH) et le point de consigne bas (PB).

##### □ Appareils à écart fixe

Le point bas (PB) est directement lié au point haut (PH) à travers l'écart.

##### □ Appareils à écart réglable

Le réglage de l'écart permet de fixer le point bas (PB).

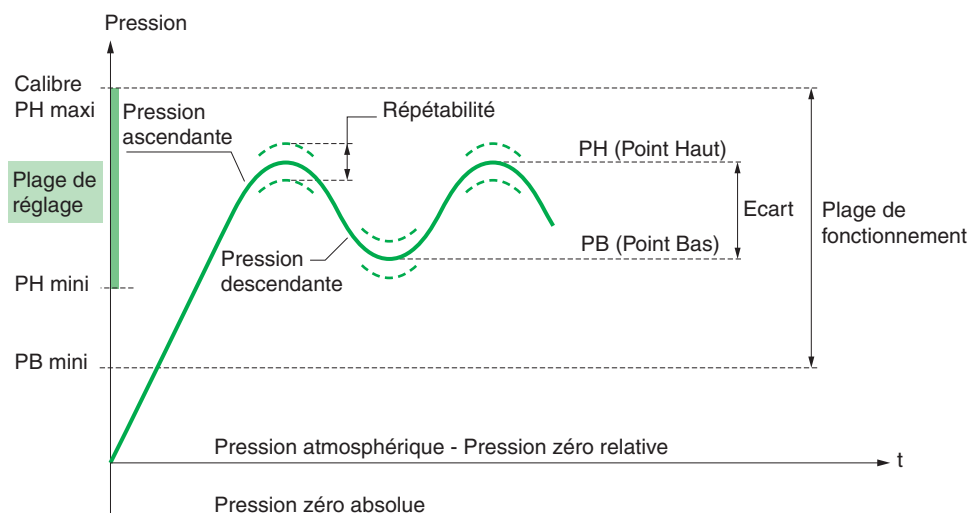


Fig. 60 : représentation graphique des termes couramment employés.

■ Terminologie spécifique à l'électromécanique (cf. **fig. 61**)

□ **Précision de l'affichage du point de consigne**

C'est la tolérance entre la valeur de consigne affichée et la valeur réelle d'activation du contact. Pour un point de consigne précis (1<sup>ère</sup> installation du produit), utiliser la référence d'un dispositif d'étalonnage (ex. : manomètre).

□ **Répétabilité (R)**

C'est la variation du point de fonctionnement entre deux manœuvres successives.

□ **Dérive (F)**

C'est la variation du point de fonctionnement sur toute la durée de vie de l'appareil.

■ Terminologie spécifique à l'électronique

□ **L'étendue de mesure (EM)** ou plage de mesure d'un transmetteur de pression, elle correspond à l'intervalle des pressions mesurées par le transmetteur. Elle est comprise entre 0 bar et la pression correspondant au calibre du transmetteur.

□ **La Précision** est composée de la linéarité, de l'hystérésis, de la répétabilité et des tolérances de réglage. Elle s'exprime en % de la plage de mesure du transmetteur de pression (% EM).

□ **La linéarité** est la différence la plus importante entre la courbe réelle du transmetteur et la courbe nominale (cf. **fig. 62**).

□ **L'hystérésis** est la différence la plus importante entre la courbe à pression montante et la courbe à pression descendante (cf. **fig. 62**).

□ **La répétabilité** est la bande de dispersion maximale obtenue en faisant varier la pression dans des conditions données (cf. **fig. 62**).

□ **Les tolérances de réglage** sont les tolérances de réglage du point zéro et de la sensibilité données par le constructeur (pente de la courbe du signal de sortie du transmetteur).

□ **Dérives en température** (cf. **fig. 63**)

La précision d'un détecteur de pression est toujours sensible à la température de fonctionnement. Ces dérives proportionnelles à la température s'expriment en % EM/K et concernent particulièrement le point zéro et la sensibilité.

□ **Pression maximale admissible à chaque cycle (Ps)**

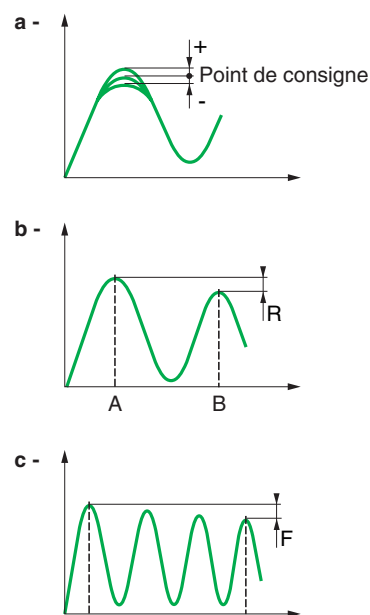
Il s'agit de la pression que peut supporter le détecteur de pression à chaque cycle sans incidence sur sa durée de vie. Elle est égale au minimum à 1,25 fois le calibre de l'appareil.

□ **Pression maximale admissible accidentellement**

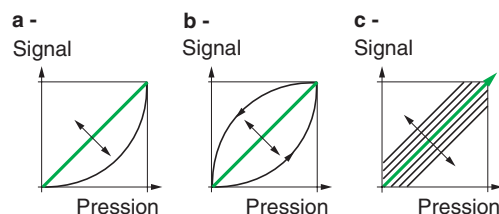
Il s'agit de la pression maximale, hors chocs de pression, à laquelle le détecteur de pression peut être soumis occasionnellement sans que cela cause des dommages à l'appareil.

□ **Pression de rupture**

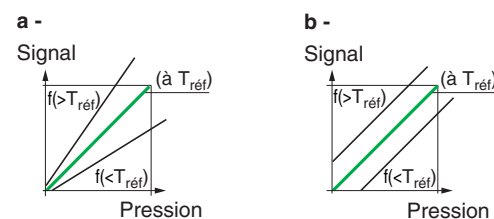
Il s'agit de la pression au-delà de laquelle le détecteur de pression risque de présenter une



**Fig. 61** : représentation graphique des termes spécifiques à l'électromécanique, **[a]** précision du point de consigne, **[b]** répétabilité entre les deux manœuvres A et B, **[c]** dérive, ou variation du point de fonctionnement sur toute la durée de vie de l'appareil.



**Fig 62** : représentation graphique **[a]** la linéarité, **[b]** l'hystérésis, **[c]** la répétabilité.



**Fig 63** : représentation graphique des dérives en température, **[a]** de la sensibilité, **[b]** du point zéro.

fuite, voire un éclatement de sa mécanique. Toutes ces définitions relatives aux pressions sont essentielles en terme de choix pour une parfaite adéquation des capteurs aux besoins et notamment pour s'assurer de leur capacité à être utilisés dans des circuits hydrauliques où des phénomènes transitoires sévères peuvent apparaître tels que des « coups de bélier ».

# 11 Autres caractéristiques des détecteurs de présence

Les différentes technologies de détection ont été présentées dans ce document.

Chacune présente des avantages particuliers et des limites d'emploi.

Pour leur choix d'autres critères sont aussi à prendre en compte et font l'objet de tableaux de choix inclus dans les catalogues des constructeurs. Parmi ceux-là, et selon les détecteurs, il faut notamment prendre en compte :

- Les caractéristiques électriques,
- Les contraintes d'environnement,
- Les possibilités/facilités de mise en œuvre.

Les paragraphes suivants donnent quelques exemples de critères qui, sans être centrés sur la fonction de base, apportent des avantages dans la mise en œuvre et l'exploitation.

## Les caractéristiques électriques

- La tension d'alimentation, AC ou DC, dont la plage est plus ou moins large
- Les techniques de commutation de la charge, « 2 fils » ou « 3 fils » (cf **fig. 64**)

Ces deux techniques, sont communes à de nombreux constructeurs, mais il est important de porter une attention particulière aux courants résiduels et aux chutes de tension aux bornes des détecteurs : leurs faibles valeurs garantissent une meilleure compatibilité avec tous les types de charge.

## Contraintes d'environnement

- Électriques
  - Immunité aux parasites de lignes
  - Immunité aux radios fréquences
  - Immunité aux chocs électriques
  - Immunité aux décharges électrostatiques

- Thermiques

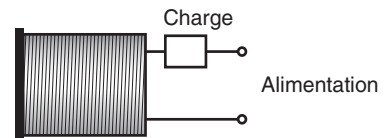
Généralement de -25 à +70 °C mais, selon les détecteurs et leurs constructeurs jusqu'à -40 à +120 °C

- Humidité/poussières

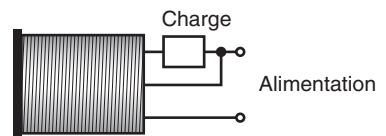
Degré de protection de l'enveloppe (étanchéité) : IP 68 par exemple pour un détecteur exposé à l'huile de coupe dans une machine outil.

## Les possibilités/facilités de mise en œuvre

- forme géométrique (cylindrique ou parallélépipédique),
- boîtier métal/plastique,
- noyable / non noyable dans un bâti métallique,
- dispositifs de fixation,
- le raccordement, par câble ou connecteur,
- les fonctions d'auto apprentissage.



**Technique « 2 fils »** : le détecteur est alimenté en série avec la charge, donc sujet à un courant résiduel à l'état ouvert et à une tension de déchet à l'état fermé. La sortie peut être normalement ouverte ou normalement fermée (NO/NC). Et l'intensité maximale du courant commuté en sortie AC ou DC, plus ou moins importante, avec ou sans protection aux courts-circuits.



**Technique « 3 fils »** : le détecteur possède deux fils d'alimentation et un fil pour la transmission du signal de sortie (ou plus dans le cas des produits à plusieurs sorties). La sortie peut être de type transistorisé PNP ou NPN.

**Fig. 64** : les techniques de commutation de charge.

## 12 Conclusion

### Et l'avenir ?

Les performances des capteurs électroniques vont encore augmenter grâce à l'évolution de l'électronique, tant en ce qui concerne les caractéristiques électriques des composants que leurs dimensions.

Ainsi avec le boom des télécommunications (Internet, téléphones portables), les fréquences de travail de l'électronique ont augmenté, de quelques centaines de MHz aux Ghz. De ce fait, il est par exemple possible de mesurer plus facilement les vitesses de propagation des ondes et ainsi de s'affranchir de phénomènes physiques locaux. De plus les technologies de type Bluetooth ou Wi Fi donnent la possibilité de réaliser des capteurs sans fils, avec des liaisons radio à des fréquences de l'ordre de 2,4 Ghz.

Un autre intérêt de l'électronique moderne est dans le traitement numérique du signal : la baisse du coût des micro-contrôleurs permet d'ajouter des fonctions évoluées (auto-réglage à l'environnement avec la prise en compte de la présence d'humidité, de fumée ou d'éléments métalliques proches, capteur « intelligent » à même de s'auto-contrôler) à des capteurs simples.

En fait les capteurs électroniques, grâce à cette évolution technique, seront mieux adaptés aux

besoins initiaux et plus facilement adaptables lors des changements de process... et tout cela pour un coût quasiment stable. Mais cette démarche d'innovation nécessite des investissements importants que seuls, maintenant, les grands fabricants de capteurs sont à même d'engager.

### De l'importance des capteurs

Tous les concepteurs et exploitants de systèmes automatiques, de la simple porte de garage à la chaîne de production, savent bien que la bonne marche d'un automatisme dépend du choix des détecteurs qui concourent à :

- sécuriser les personnes et les biens,
- fiabiliser l'automatisme d'un processus industriel,
- optimiser la conduite des équipements industriels,
- contrôler les coûts d'exploitation.

Mais ces détecteurs ont des exigences quant à leur mise en œuvre et leur exploitation, exigences inhérentes à leurs technologies présentées dans ce Cahier Technique.

Cette présentation doit vous permettre de mieux appréhender les limites d'emploi et les réglages nécessaires de tous ces capteurs.

**Schneider Electric**

Direction Scientifique et Technique,  
Service Communication Technique  
F-38050 Grenoble cedex 9  
E-mail : fr-tech-com@schneider-electric.com

Réalisation : Axxess  
Edition : Schneider Electric

\* *Construire le nouveau monde de l'électricité*