

Détecteur de proximité : faites le bon choix

VALÉRIE PÉREZ^[1]

Dans les applications d'automatismes, les détecteurs « tout ou rien » sont devenus monnaie courante : détection d'obstacles, de fin de course, robots suiveurs de ligne... Bien qu'ils passent souvent inaperçus, ces composants assurent des fonctions essentielles. Ils sont maintenant de plus en plus souvent sans contact. Mais quelles en sont les différentes technologies, et laquelle choisir ?

Les détecteurs sans contact sont des dispositifs électroniques à circuits intégrés qui créent un champ énergétique ou un faisceau et qui réagissent à la perturbation de celui-ci. Détection de présence, de niveau, de repères colorés, de contrastes, tri et comptage de pièces, etc., ces capteurs sont utilisés pour surveiller, réguler et contrôler les processus automatisés. Ils permettent de vérifier certains états significatifs du système qui conditionnent son fonctionnement. Leur marché représente en France environ 200 millions d'euros, d'après le Gimelec.

Même si l'absence de contact minimise le risque d'usure, si l'absence de pièces mobiles susceptibles de se coincer, de s'user ou de se casser réduit le besoin de maintenance, ils constituent fonctionnellement la partie sensible d'un système et sont donc par nature fragiles. De plus, ils sont très souvent exposés à de nombreuses perturbations, puisqu'ils sont implantés dans les parties opératives des systèmes. Ils peuvent être, par exemple, sensibles à l'énergie rayonnée par d'autres dispositifs ou procédés. Leur choix et leur implantation conditionnent fortement la fiabilité de système final. Il est donc important de maîtriser la procédure de choix. En cas de doute, un essai avec plusieurs technologies de capteurs dans les conditions réelles s'impose.

Les technologies

Cinq grandes technologies occupent les premières places du classement du marché actuel de la détection de présence sans contact : l'optique, l'inductif, le capacitif, le magnétique et l'ultrasonique.

Pour spécifier correctement des détecteurs, il est important de comprendre les termes courants, les mots

mots-clés

automatismes, capteur, mécatronique

clés relatifs à cette technologie. Les termes exacts peuvent différer selon les fabricants, mais les concepts sont globalement les mêmes.

Les détecteurs photoélectriques

Ils occupent l'essentiel du marché. Basés sur un principe optique, ils détectent l'atténuation ou l'interruption du faisceau lumineux issu de l'émetteur lorsqu'il est traversé par un objet.

Suivant le type de pièces et la distance de détection, on utilise différentes configurations : l'émetteur et le récepteur peuvent être séparés – c'est le cas des « barrières simples » – ou dans un même boîtier – on parle alors de « barrière *reflex* » lorsque la lumière émise est renvoyée par un réflecteur, et de « détecteur direct » lorsqu'elle est simplement renvoyée par l'objet **1**. Bien qu'ils soient sensibles aux salissures de l'environnement dans lequel ils sont installés, les détecteurs photoélectriques présentent de nombreux avantages. Ils permettent de détecter tous types de pièces (y compris les matériaux transparents), et ils sont parmi les plus performants en termes de distance de détection – certaines barrières offrent des portées allant jusqu'à 200 mètres **2**.

Les détecteurs inductifs

Ils sont, eux aussi, largement répandus. Ils intègrent un circuit oscillant qui génère un champ électromagnétique alternatif. Lorsqu'on approche une pièce métallique, celle-ci devient le siège de courants induits. Ce phénomène d'induction dissipe alors l'énergie du circuit oscillant. Conséquence, les oscillations s'amortissent et déclenchent la commutation du détecteur.

Compte tenu de ce principe, les détecteurs inductifs offrent une portée relativement faible (inférieure à 80 mm) et leur champ d'application est limité aux seules pièces métalliques. Leur faible coût (moins de la moitié de celui d'un détecteur photoélectrique) et leur tenue aux environnements sévères en font souvent une solution avantageuse. Ils offrent aussi une fréquence de commutation relativement élevée (plusieurs kHz), ce qui leur permet de contrôler le passage de pièces défilant à grande vitesse, ou la rotation d'éléments métalliques **2**.

Toujours d'après le Gimelec, les détecteurs optiques et inductifs se partagent à eux seuls près de 70 % du marché. Mais, si l'optique en représente la plus grosse part en termes de chiffre d'affaires, c'est

^[1] Professeur agrégé de génie mécanique au lycée Voillaume d'Aulnay-sous-Bois (93).

l'inductif qui remporte la palme du plus grand nombre d'unités vendues : chaque année, il se vend en moyenne deux fois plus de détecteurs inductifs que de cellules optiques...

Les détecteurs capacitifs

Ils ressemblent, dans leur principe, aux détecteurs inductifs, et leur portée est d'ailleurs du même ordre. Un condensateur situé sur la face active du détecteur génère un champ électromagnétique alternatif. La présence d'une pièce à proximité modifie la valeur de la capacité, et entraîne une variation de la fréquence des oscillations du circuit. Les détecteurs capacitifs peuvent détecter la présence de tous types de pièces et de matériaux (solides, liquides, fluides visqueux ou pulvérulents). Ils sont légèrement plus chers, et leur marché reste relativement faible. On les trouve par exemple dans les applications de détection de niveau (notamment dans la détection de fluides liquides ou visqueux à travers des flacons en plastique), et dans la détection de matériaux transparents à faible portée [2].

Les détecteurs magnétiques

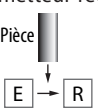
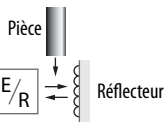
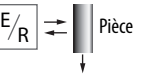
Ils fonctionnent également suivant le principe des détecteurs inductifs, si ce n'est qu'ils intègrent une lame (constituée d'un mélange de métal et de verre) qui présente la caractéristique d'être magnétisée très rapidement en présence d'un aimant, et démagnétisée très rapidement en son absence. Grâce à ce principe, les détecteurs magnétiques offrent des portées relativement importantes (au regard de leurs faibles dimensions). Ils sont aussi très robustes, ce qui permet de les utiliser dans des milieux difficiles ou à haute tem-

pérature. Seule limitation, la pièce à détecter doit être magnétisée ou comporter un aimant. Ces détecteurs sont par exemple employés sur les vérins pneumatiques pour localiser de l'extérieur la position du piston, ou encore pour détecter le niveau de remplissage de réservoirs en utilisant un aimant monté sur un flotteur [2].

Les détecteurs à ultrasons

Leur principe est basé sur l'émission et la réception d'ondes ultrasonores à hautes fréquences (de l'ordre de 200 kHz). Le retour de l'onde permet de détecter la présence d'une pièce, et même de savoir à quelle distance elle se trouve (en mesurant le temps mis par l'onde pour effectuer un aller-retour). Comme pour l'optique, les détecteurs à ultrasons peuvent être employés en détection directe ou en barrière. Si leur temps de réponse est forcément limité par la vitesse de propagation du son dans l'air, les détecteurs à ultrasons présentent de nombreux avantages. Ils permettent notamment de détecter tous types de pièces (solide, liquide, poudre, métal, plastique, carton, bois, verre translucide...), sauf les absorbants phoniques, et ce, à plusieurs mètres de distance. Ils sont aussi très peu sensibles à l'environnement. Seule contrepartie, le coût, relativement élevé, qui destine plutôt ces détecteurs à des applications spécifiques : détection à longue distance en environnement difficile, détection d'objets transparents ou très réfléchissants, etc. [2].

Le tableau [2], qui illustre les principes de fonctionnement et les applications possibles, offre une synthèse de ces cinq technologies en ne considérant qu'un type pour les cellules optiques et ultrasoniques : le mode de réflexion direct.

Configuration	Principe	Principaux avantages	Limitations et contraintes
<p>Barrière simple (émetteur-récepteur)</p> 	<p>L'émetteur et le récepteur sont dans deux boîtiers différents montés en vis-à-vis. L'objet passe entre les deux. Il est détecté dès qu'il vient couper le faisceau optique</p>	<p>Portée élevée (plusieurs dizaines de mètres) Détection de pièces très réfléchissantes Bonne répétabilité Utilisation dans des conditions difficiles (pluie, brouillard, fumée, poussières...)</p>	<p>Nécessite de monter deux boîtiers et de les aligner Risque de réflexions parasites Détection délicate dans le cas des objets à faible atténuation (le faisceau ne traverse qu'une seule fois la pièce)</p>
<p>Barrière reflex</p> 	<p>L'émetteur et le récepteur sont dans le même boîtier. La lumière émise est renvoyée par un réflecteur. L'objet est détecté lorsqu'il coupe le faisceau optique</p>	<p>Facilité de montage (émetteur et récepteur dans le même boîtier) Atténuation plus facile à mesurer que dans le cas de la barrière simple (le faisceau traverse deux fois l'objet)</p>	<p>Nécessite d'utiliser un réflecteur Ne convient pas pour la détection d'objets réfléchissants (sauf si on utilise un filtre de polarisation) Utilisation de cellules « spécial verre » préférable dans le cas de produits transparents Portée moins importante qu'en émetteur-récepteur</p>
<p>Détecteur direct (énergétique ou à triangulation)</p> 	<p>L'émetteur et le récepteur sont dans le même boîtier. La lumière émise est réfléchiée par l'objet, qui est ainsi détecté</p>	<p>Montage simple et économique (un seul boîtier) Ne nécessite pas de réflecteur Pour les détecteurs à triangulation : possibilité de s'affranchir de l'arrière et de l'avant-plan, même si ce dernier est plus réfléchissant que l'objet à détecter</p>	<p>La distance de détection dépend de la couleur et du pouvoir réfléchissant de l'objet (sauf pour les détecteurs à triangulation) Portées plus faibles que celles des détecteurs à barrière Détection difficile lorsque l'objet a un état de surface lisse et brillant</p>

[2] Différentes configurations de détecteurs photoélectriques

Type	Inductif	Optique (direct)	Magnétique	Capacitif	Ultrasons (direct)
Principe	<p>Objet métallique Portée Champ magnétique Détecteur inductif</p>	<p>Objet réfléchissant Portée Faisceau lumineux Émetteur Récepteur Détecteur optique</p>	<p>N aimant S Portée Champ magnétique Détecteur magnétique Paroi non ferreuse</p>	<p>Objet, liquide... Portée Champ électrostatique Détecteur capacitif Paroi non métallique Sensibilité ajustable</p>	<p>Objet, liquide... Portée Onde sonore Détecteur ultrasons Sensibilité ajustable</p>
Avantage	<ul style="list-style-type: none"> Faible coût (30-200 €) Robustesse (détecteur insensible aux vibrations, aux chocs, à la poussière, aux huiles de coupe, etc.) Cadences élevées (plusieurs kHz) Pas d'usure Très répandu dans l'industrie 	<ul style="list-style-type: none"> Coût moyen (60-300 €) Grande portée (1 m) Cadences élevées Insensible aux vibrations et pas d'usure Détecte tout type de pièce ayant un pouvoir réfléchissant (mode réflexion directe) 	<ul style="list-style-type: none"> Faible coût (20-120 €) Portées plus grandes par rapport aux capteurs inductifs de même taille Détection à travers des parois en métal non ferreux Réagit au pôle nord et au pôle sud Insensible aux vibrations et salissures, pas d'usure 	<ul style="list-style-type: none"> Coût moyen (100-200 €) « Voit » à travers des parois en matériaux non métalliques Détecte tout matériau (métal, plastique, bois, liquide...) Cadences élevées Sensibilité réglable Insensible aux vibrations, pas d'usure 	<ul style="list-style-type: none"> Grande portée (15 m) Détecte sans contact tout objet quel que soit le matériau (métal, plastique, bois...), la nature (solide, liquide...), la couleur et le degré de transparence Sensibilité ajustable
Limitation	<ul style="list-style-type: none"> Portée faible (< 80 mm) Ne détecte que les pièces métalliques Portée variable en fonction de la nature de l'alliage 	<ul style="list-style-type: none"> Supporte mal les environnements difficiles (sensible aux salissures et aux projections d'huile) Sensible à l'aspect des pièces (matériau, état de surface, couleur, brillance, incidence...) 	<ul style="list-style-type: none"> Portée faible (< 100 mm) Nécessite l'utilisation d'un aimant Sensible aux perturbations électromagnétiques 	<ul style="list-style-type: none"> Portée faible (< 60 mm) Sensible à l'humidité et aux vapeurs denses 	<ul style="list-style-type: none"> Coût élevé (200-1000 €) Sensible aux courants d'air Sensible à la température des pièces (de -10 à 50 °C) Ne détecte pas les absorbants phoniques (ouate, mousse...)
Application	<ul style="list-style-type: none"> Les machines-outils, les machines de plasturgie, du textile, du bois, les lignes d'assemblage, l'industrie automobile... Détection de pièces métalliques dans des environnements difficiles Contrôle le passage de pièces défilant à grande vitesse 	<ul style="list-style-type: none"> Détection d'objet sur convoyeur Comptage de cartons Tri de produits en fonction de leur aspect Détection de contraste 	<ul style="list-style-type: none"> Détection d'objets dans des récipients non magnétiques Lecture de codes aimantés Les aimants permanents du segment de piston du vérin pneumatique sont reconnus par le détecteur à travers le cylindre du vérin 	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle final sur lignes d'emballage : emballages et contenu Installations de conditionnement : produits au complet ? Mesure du niveau de remplissage de liquides ou granulés à travers les parois de réservoirs en plastique ou en verre 	<ul style="list-style-type: none"> Présence de pare-brise sur ligne d'assemblage Le passage d'objets sur des convoyeurs : bouteilles en verre, emballages cartonnés, gâteaux... Niveau de remplissage d'un liquide dans un flacon ou de granulés dans les trémies d'une machine d'injection plastique... Profondeur d'une cavité
Illustration					

2 Comparatif des cinq technologies de détecteur de proximité TOR

Le choix et le dimensionnement

Les critères de choix

Le choix d'un détecteur « tout ou rien » (TOR) repose sur les contraintes de l'application.

Les principaux critères à prendre en compte sont le type de pièces (matériaux, dimensions, couleur, brillance, transparence, absorption...), la distance de

Les items de choix	Les critères de choix	Le besoin de l'application
Le type de détection	Détection de passage ou de présence de pièces, détection de niveau de solides ou de liquides, détection de repères ou de couleurs, détection de produits fluorescents, de doubles feuilles...	À compléter
	Distance objet-détecteur, vitesse de défilement, précision et reproductibilité attendues...	À compléter
La nature de l'objet à détecter	Matériau : solide, liquide, pulvérulent, métallique ou non, transparent, réfléchissant, absorbant phonique...	À compléter
	Dimensions : valeurs nominales, variations	À compléter
	Aspect : état de surface, couleur, inclinaison...	À compléter
L'environnement de détection	Humidité, température, présence de salissures, milieu corrosif, vapeurs, projections diverses, perturbations électromagnétiques...	À compléter
	Présence ou non d'un arrière-plan (tapis, boîte...) ou d'un premier plan (container, flacon...) ainsi que leur nature (matériau, aspect...)	À compléter
Contraintes d'automatismes	Contraintes mécaniques pour l'implantation du détecteur : espace disponible, possibilité de n'accéder qu'à un seul côté de la pièce...	À compléter
	Type de câblage : filaire, réseau...	À compléter
Contraintes d'automatismes	Compatibilité des signaux de détecteur avec les entrées automate (U, I, NPN ou PNP, Tr...)	À compléter

3 Les critères de choix d'un détecteur pour une application donnée

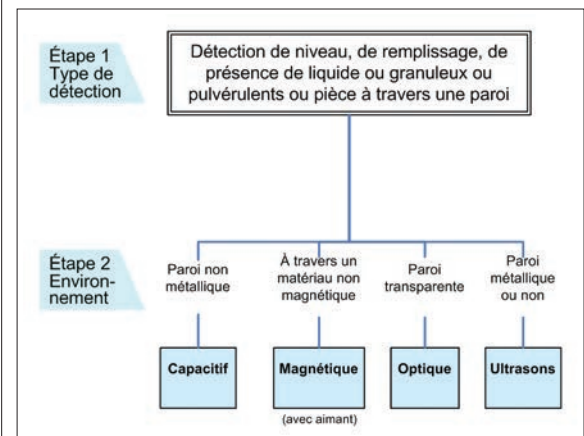
détection, l'environnement et le coût. De façon plus hiérarchisée, les critères sont donnés dans le tableau 3, qui peut être utilisé par le technicien ou l'élève en projet pour définir son besoin.

Les principales caractéristiques techniques des détecteurs sont explicitées en encadré pour faciliter la lecture des données fournies par les constructeurs. Les performances annoncées sur les fiches techniques des produits permettent en effet d'évaluer la compatibilité d'un détecteur par rapport à un besoin exprimé.

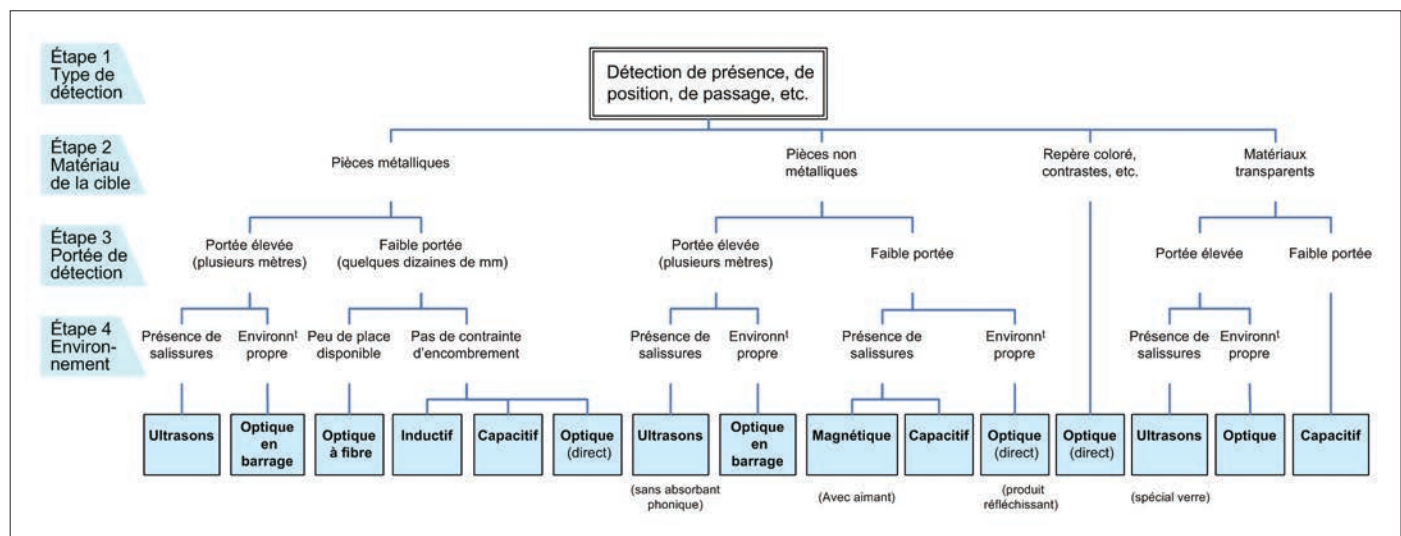
La méthodologie de choix et de dimensionnement

Le choix peut se faire avec les deux arbres de décision 4 et 5, qui restent perfectibles. Les critères à prendre en compte sont successivement :

- le type de détection (présence, position, passage, niveau) ;
- la nature de la pièce (métallique, non métallique...)
- la portée de détection ;
- l'environnement (présence ou non de pollution).



5 L'arbre de décision pour les détections de niveau de produits non solides



4 L'arbre de décision pour les détections de passage, position et présence

Une fois le type de capteur choisi, il ne reste plus qu'à dimensionner le produit dans une gamme, en fonction d'un certain nombre de caractéristiques techniques : portée, fréquence de commutation...

Dans le cas de la détection de passage, il sera nécessaire, après le choix de la technologie (optique, inductive, ultrasonique...), de calculer la fréquence de commutation de la cible pour dimensionner le détecteur capable. À l'aide de la dimension de la cible et de sa vitesse de passage devant le détecteur, on calcule le temps d'exposition devant le capteur, qui devra être supérieur au temps de réponse T_r .

En cas de choix d'un détecteur inductif, il faudra calculer la portée réelle de détection en fonction du facteur de correction lié à la nature de l'alliage de la cible métallique :

$$S_r = K \cdot S_n$$

S_r : portée de détection réelle

K : facteur de correction

S_n : portée de détection nominale

Pour les détecteurs capacitifs, il existe également un facteur de correction qui dépend de la constante diélectrique du matériau (non présenté dans l'encadré car les valeurs sont très différentes d'un constructeur à l'autre).

L'implantation des détecteurs dans les systèmes

L'implantation des détecteurs doit être soignée pour optimiser la fiabilité des systèmes automatiques ou des produits mécatroniques. Quand on sait que près

de 80 % des pannes d'un automatisme proviennent des détecteurs, on mesure mieux l'importance que l'on doit accorder à cette partie de l'étude !

Les principales règles à respecter sont :

- **un montage mécanique fiable**, durable et insensible aux perturbations (vibrations, chocs, interférences mécaniques, projections...);
- **un réglage de position sûr** pour détecter dans une zone très inférieure si possible à la portée réelle S_r et ainsi garantir une fiabilité de l'information;
- **une possibilité de réglage de la position** afin d'ajuster la portée de détection si cela est nécessaire pour assurer une variation de position très inférieure à l'hystérésis (fiche de réglage, mode de détection, verrouillage du réglage, repérage des positions de réglage...);
- **une maintenabilité aisée** (leds de contrôle pour la visualisation de l'état, alimenté ou commuté, connecteur rapide, boucle de réserve de câble, fixation mécanique repositionnable, repérage des détecteurs et câble associé en concordance avec les repères des schémas de câblage électrique...);
- **des passages de câble bien étudiés** pour tenir compte de toutes les situations : protection contre les agressions mécaniques ou les projections, flexibilité des câbles pour accompagner les mouvements du système, guidage des grands mouvements de câble pour suivre des parties mobiles...;
- **un câblage aisé** pour limiter les risques d'erreur et réduire les coûts de machines (bloc d'entrées déportées, réseau ASI...). ■

Les principales caractéristiques d'un détecteur

Portée nominale S_n : distance en dessous de laquelle une cible approchante provoque le changement d'état de la sortie du détecteur. Cette grandeur conventionnelle ne tient compte ni des dispersions de fabrication ni des différences dues aux conditions externes telles que la température ou la tension.

Portée réelle S_r : c'est la portée d'un détecteur de proximité, mesurée dans des conditions définies de tension $U = 24 \text{ Vcc}$ et de température $T = + 23 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$.

Facteur de correction K pour les détecteurs inductifs : facteur de multiplication permettant de tenir compte du matériau constituant la cible. On obtient la distance de détection réelle en multipliant ce facteur par la distance nominale :

$$S_r = K \cdot S_n$$

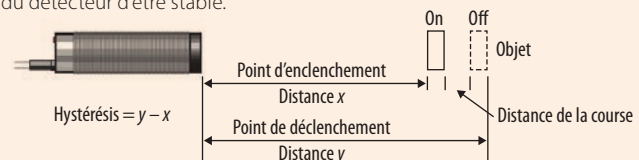
Matériau détecté	Facteur de correction (K)
Acier doux	1,0
Acier inoxydable	0,85
Laiton	0,50
Aluminium	0,45
Cuivre	0,30

Temps de réponse (T_r) : durée maximale entre le point d'enclenchement et le point de déclenchement.

Fréquence de commutation (F) : nombre maximal de changements d'état par seconde (nombre de fois où la cellule commute et revient à son état initial). Exprimée en Hertz (Hz), elle correspond aussi à l'inverse du temps de réponse (T_r) multiplié par 2 :

$$F = 1 / (2 T_r)$$

Hystérésis : distance entre le point d'enclenchement et le point de déclenchement, exprimée en pourcentage de la portée. L'hystérésis sert à éviter les variations parasites de signal (commutations rapides entre 0 et 1) lorsque le détecteur ou la cible sont soumis à des chocs ou des vibrations. L'amplitude de vibration doit être strictement inférieure à l'hystérésis pour permettre au signal de sortie du détecteur d'être stable.



Répétabilité : c'est la capacité du capteur à détecter le même objet à la même distance à tout moment. Elle est exprimée en pourcentage de la portée nominale S_n .

Résolution pour les détecteurs optiques : dimension du plus petit objet détectable.

Spot pour les détecteurs optiques : zone éclairée par l'émetteur sur une surface plane perpendiculaire à l'axe optique.