

SÉCURITÉ PÉRIMÉTRIQUE INTELLIGENTE

1- Introduction générale

La sécurité périmétrique a pour objectif de détecter, localiser, qualifier et suivre une tentative d'intrusion avant ou au moment du franchissement de la limite physique d'un site. Contrairement à une simple vidéosurveillance, une architecture périmétrique ne repose pas sur une seule technologie. Elle associe généralement plusieurs familles de capteurs ayant des principes physiques différents afin de couvrir les différentes phases d'une intrusion.

Selon la configuration du site, la détection peut être réalisée par barrière infrarouge, radar, détection radiofréquence, PIR extérieur, capteur de vibration mécanique, câble électrique sensible, fibre optique distribuée, capteur sismique/enterré ou LiDAR. Une fois l'événement détecté, des équipements de vérification tels que les caméras visibles, caméras thermiques, caméras PTZ et systèmes d'analyse vidéo par IA peuvent être automatiquement sollicités.

Une technologie peut être particulièrement performante pour détecter une présence, tandis qu'une autre sera mieux adaptée à sa localisation ou à son identification. Par exemple, un capteur de vibration installé sur une clôture peut détecter une tentative d'escalade ou de découpe, tandis qu'une caméra PTZ est utilisée pour visualiser et suivre l'intrus. De même, un radar peut détecter une personne qui approche du périmètre avant même qu'elle ne touche la clôture, puis transmettre ses coordonnées à une caméra thermique ou PTZ.

Le choix d'une technologie doit donc être effectué en fonction de plusieurs paramètres : longueur du périmètre, type de clôture, topographie, environnement, végétation, présence de routes, trafic, animaux, conditions météorologiques, niveau de menace, besoin de localisation, disponibilité de l'alimentation électrique, infrastructure réseau et niveau de criticité du site.

Il est également important de distinguer les technologies qui surveillent directement la clôture, celles qui surveillent une zone située devant la clôture, et celles qui permettent une surveillance invisible ou enterrée.

2- Technologie de détection par infrarouge

a- Principe technique

La détection infrarouge périmétrique utilise généralement une barrière infrarouge active, composée d'un émetteur et d'un récepteur installés face à face. L'émetteur produit un ou plusieurs faisceaux infrarouges invisibles qui sont reçus en permanence par le récepteur.

Lorsqu'une personne ou un objet traverse la zone protégée et interrompt un ou plusieurs faisceaux, le récepteur détecte la perte ou la modification du signal. L'électronique de traitement analyse alors cette interruption selon sa durée et sa séquence afin de déterminer si elle correspond à un événement d'intrusion.

Les modèles multifaisceaux créent plusieurs niveaux de détection verticaux, ce qui permet de mieux contrôler la zone protégée et de limiter certaines détections provoquées par de petits animaux ou des perturbations ponctuelles.

La technologie fonctionne donc selon une chaîne simple :

Émission infrarouge → propagation du faisceau → interruption par la cible → détection → génération d'alarme.



Schéma 1 : Barrière infrarouge – détection des intrusions par interruption de faisceaux infrarouges actifs



Schéma 3 : Chaîne de détection – de l'émission infrarouge à l'alarme et la supervision

La barrière peut être installée le long d'une clôture, devant un portail, autour d'une zone sensible ou dans un passage obligé.

b- Fiabilité et conditions de performance

Bonne fiabilité lorsque les émetteurs et récepteurs sont correctement alignés et installés. Les performances peuvent être influencées par le brouillard dense, la poussière, les fortes pluies, la végétation ou les mouvements mécaniques des supports.

c- Cas d'installation le plus adapté

Cette technologie est particulièrement adaptée aux passages obligés, portails, accès, corridors, clôtures courtes et zones où une ligne de détection clairement définie est recherchée.

Elle est moins adaptée lorsqu'il existe une clôture très irrégulière, une forte végétation ou un très long périmètre nécessitant une localisation précise sur plusieurs kilomètres.



Schéma 4 : Installation type – barrière infrarouge active (vue de dessus du site)

d- Avantages

- Détection rapide et précise du franchissement.
- Zone de détection clairement définie.
- Fonctionnement indépendant de l'éclairage visible.
- Installation relativement simple.
- Solution adaptée aux accès et passages obligés.

e- Inconvénients

- Nécessité d'un alignement précis entre émetteur et récepteur.
- Portée limitée par la configuration du système.
- Sensibilité possible aux conditions météorologiques défavorables.
- Moins adaptée aux très grands périmètres irréguliers.

f- Budget indicatif

Pour une protection linéaire, le budget peut être exprimé en TND/mètre de clôture protégée.

50 – 70 TND / m

Ordre de grandeur indicatif : 50 à 70 TND/m de clôture, hors infrastructure importante et génie civil.

3- Détection périmétrique par PIR extérieur

a- Principe technique

Le détecteur PIR (Passive Infrared) utilise un capteur pyroélectrique pour détecter les variations de rayonnement infrarouge produites par un objet chaud en mouvement, notamment une personne ou un véhicule.

Le détecteur ne génère pas lui-même de rayonnement infrarouge. Il reçoit passivement le rayonnement thermique provenant de son environnement.

Lorsqu'une personne se déplace dans son champ de détection, son rayonnement thermique traverse successivement différentes zones optiques du détecteur. Cette variation produit un signal électrique dans le capteur pyroélectrique.

L'électronique analyse alors :

Variation thermique → mouvement apparent → traitement du signal → validation → alarme.

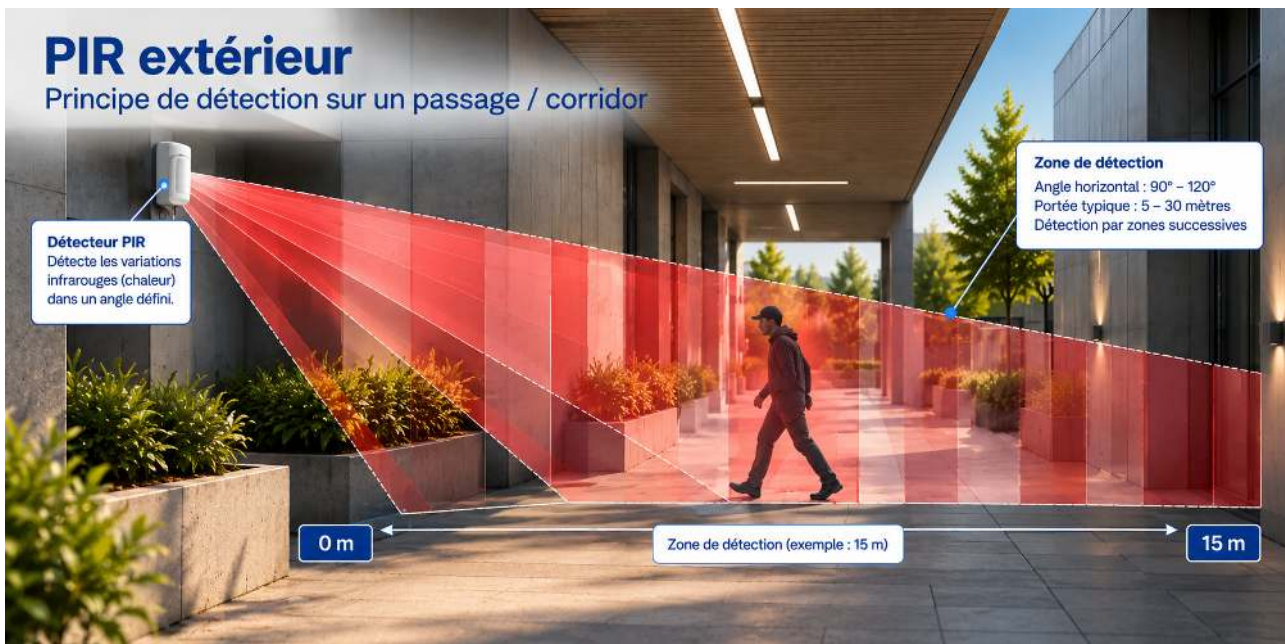


Schéma 1 : PIR extérieur – principe de détection sur un passage / corridor

Principe technique

De la variation thermique à l'alarme

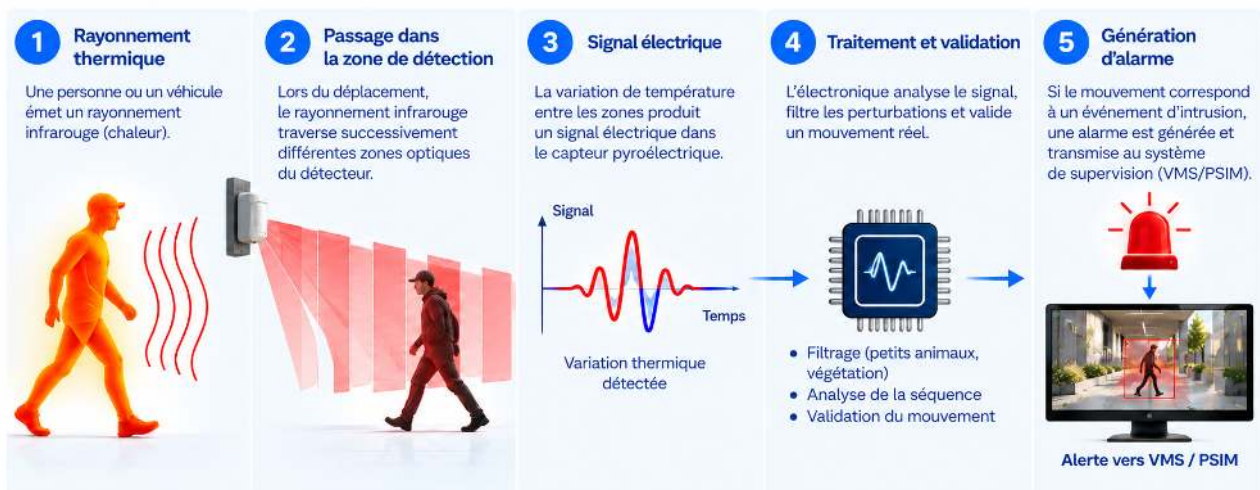


Schéma 2 : Principe technique – de la variation thermique à l'alarme

Les modèles extérieurs modernes utilisent plusieurs zones de détection et des algorithmes de traitement permettant de réduire les déclenchements liés aux petits animaux ou aux perturbations environnementales.

b- Fiabilité et performances

Les performances sont influencées par la température ambiante, le rayonnement solaire, la végétation en mouvement, les animaux et les conditions météorologiques.

Un réglage et un positionnement corrects sont essentiels.

c- Cas d'installation le plus adapté

Le PIR extérieur est particulièrement adapté aux petits et moyens périmètres, accès secondaires, zones techniques, entrepôts, parkings et zones où une détection locale est recherchée.

Il est particulièrement intéressant comme couche complémentaire autour des bâtiments ou entre deux lignes de sécurité.



Schéma 3 : Installation type – détection PIR extérieur (vue de dessus du site)

d- Avantages

- Technologie simple et éprouvée.
- Coût relativement faible.
- Installation rapide.
- Faible consommation.
- Détection locale efficace.
- Peut intégrer une fonction anti-masque selon le modèle.

e- Inconvénients

- Portée limitée.
- Sensibilité possible aux mouvements de végétation.
- Influence de certaines conditions thermiques.
- Moins adapté aux très longues clôtures.

f- Budget indicatif

Pour une installation linéaire :

60 – 90 TND / m

Ordre de grandeur : 60 à 90 TND/m de clôture équivalente, selon l'espacement des détecteurs et l'infrastructure.

4- Technologie de détection périmétrique par fibre optique

a- Principe technique

La détection par fibre optique utilise la fibre comme capteur distribué sur toute la longueur du périmètre. Une unité d'interrogation optique injecte des impulsions lumineuses dans la fibre et analyse la lumière rétrodiffusée. Lorsqu'une vibration, une contrainte ou une perturbation mécanique agit sur une portion de la fibre, le signal optique rétrodiffusé est modifié.

Le système analyse cette variation afin de déterminer la présence d'une perturbation et sa position le long de la fibre.

Les solutions modernes de type DAS (Distributed Acoustic Sensing) permettent ainsi de surveiller de très longues distances avec une localisation de l'événement. Les architectures professionnelles peuvent être utilisées sur des périmètres de plusieurs kilomètres et également dans des environnements où l'alimentation électrique ou les communications locales sont difficiles.

Deux modes d'installation sont particulièrement importants en sécurité périmétrique :

Fibre optique installée sur clôture ou grillage

Dans cette configuration, la fibre sensible est fixée mécaniquement à la clôture, généralement suivant son parcours. Lorsqu'une personne tente d'escalader, de secouer, de franchir ou de couper le grillage, les mouvements mécaniques de la structure sont transmis à la fibre.

L'interrogateur optique détecte alors la modification du signal correspondant à cette vibration et calcule la position de l'événement. Le système peut ainsi déterminer sur quelle portion de la clôture la perturbation s'est produite, permettant de définir une zone d'alarme précise.

La technologie est particulièrement adaptée lorsqu'il est nécessaire de protéger directement la barrière physique et de détecter une tentative d'intrusion au moment où l'attaquant agit sur la clôture.

Les solutions DAS modernes sont notamment destinées aux périmètres longs et peuvent atteindre une localisation de l'ordre de quelques mètres selon l'architecture et les conditions d'installation.

Détection périmétrique par fibre optique

Principe et fonctionnement



Schéma 1 : Fibre optique sur clôture – principe et fonctionnement

Principe de détection

De l'émission lumineuse à l'alarme avec localisation



Schéma 2 : Principe de détection – de l'émission lumineuse à l'alarme avec localisation

Fibre optique installée sous terre

Dans la configuration souterraine, la fibre est enterrée à une profondeur et selon une implantation définie par l'étude du site. Elle surveille alors les perturbations acoustiques et vibratoires transmises par le sol.

Le déplacement d'une personne, le passage d'un véhicule, une tentative d'excavation ou des travaux à proximité peuvent produire des vibrations qui se propagent dans le terrain jusqu'à la fibre. Le système analyse la modification du signal optique et détermine la position de la perturbation.

Cette configuration permet de créer une zone de détection invisible, particulièrement intéressante lorsque l'installation d'un capteur sur une clôture n'est pas possible ou lorsque l'on souhaite protéger une zone située en amont du périmètre physique. Les systèmes DAS sont notamment présentés pour des applications souterraines, des zones sans alimentation électrique locale et des infrastructures linéaires.



Schéma 3 : Fibre optique enterrée – principe de détection sur un périmètre

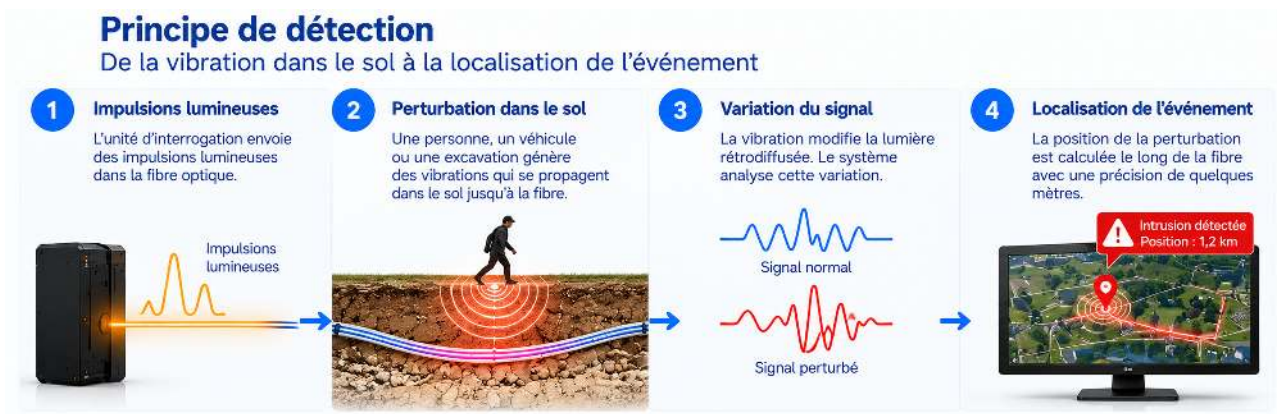


Schéma 4 : Principe de détection – de la vibration dans le sol à la localisation de l'événement

Dans les deux cas, le principe reste identique :

Perturbation mécanique → modification du signal optique → analyse DAS → localisation de l'événement → alarme.

b- Fiabilité et conditions de performance

Bonne fiabilité pour les longues distances lorsque la fibre et son environnement sont correctement installés et calibrés. La performance dépend notamment de la structure de la clôture, du type de sol, des vibrations parasites, du vent, des animaux et des activités environnantes.

c- Cas d'installation le plus adapté

La fibre est particulièrement adaptée aux très longs périmètres, frontières, infrastructures critiques, pipelines, voies ferrées et sites où une localisation précise de l'événement est importante.



d- Avantages

- Surveillance de grandes longueurs avec peu d'électronique sur le terrain.
- Localisation de l'événement le long de la fibre.
- Fonctionnement indépendant des conditions d'éclairage.
- Bonne immunité aux perturbations électromagnétiques.
- Adaptable aux clôtures et aux zones souterraines.

e- Inconvénients

- Sensibilité possible aux vibrations environnementales.
- Performance dépendante du support de la fibre et du type de sol pour les applications souterraines.
- Coût supérieur à une détection infrarouge simple.

f- Budget indicatif

180 – 250 TND / m

Ordre de grandeur : 180 à 250 TND/m de clôture protégée, selon architecture, longueur, précision de localisation et infrastructure.

5- Technologie de détection par câble électrique sensible

a- Principe technique

Le câble électrique sensible est une technologie de détection périmétrique utilisant un câble spécialement conçu pour détecter les contraintes, vibrations, déplacements ou déformations mécaniques appliqués à la clôture.

Contrairement à la fibre optique, le signal de détection est traité sous forme électrique.

Le câble est installé sur la clôture. Lorsqu'une personne tente de grimper, couper ou déformer celle-ci, la contrainte mécanique appliquée au câble produit une modification du signal électrique. L'unité de contrôle analyse cette variation afin de déterminer si elle correspond à une tentative d'intrusion.

Le principe peut être représenté ainsi :

Déformation de clôture → sollicitation du câble sensible → variation électrique → analyse électronique → localisation → alarme.



Schéma 1 : Câble électrique sensible – détection des intrusions par variation de tension mécanique



Schéma 2 : De la déformation des fils de tension à l'alarme et la supervision

b- Fiabilité et conditions de performance

La fiabilité dépend du type de câble, de sa fixation, de la structure de la clôture et du paramétrage de l'unité de traitement. Le vent, les vibrations parasites, les animaux et les activités environnantes peuvent provoquer des alarmes indésirables.

c- Cas d'installation le plus adapté

Cette technologie est adaptée aux longues clôtures métalliques, sites industriels, infrastructures critiques et installations où une détection continue de l'attaque physique est recherchée sans utiliser de fibre optique.



d- Avantages

- Détection continue.
- Technologie directement associée à la clôture.
- Bonne sensibilité aux tentatives d'escalade et de déformation.
- Possibilité de zonage.
- Technologie généralement plus simple qu'une architecture DAS.

e- Inconvénients

- Nécessite une alimentation électrique.
- Sensibilité possible aux vibrations environnementales.
- Nécessite un câblage.
- Performance dépendante du type de clôture.

f- Budget indicatif

85 – 120 TND / m

Ordre de grandeur : 85 à 120 TND/m de clôture protégée.

6- Technologie de détection périmétrique par câble enterré TX/RX

a- Principe technique

Le système utilise deux câbles enterrés, généralement constitués d'un câble TX (transmission) et d'un câble RX (réception), disposés parallèlement dans le sol et formant une zone de détection invisible.

Le câble TX génère un champ électromagnétique contrôlé autour de la zone protégée. Le câble RX mesure les variations de ce champ.

Lorsqu'une personne ou un objet pénètre dans la zone de détection, il provoque une perturbation du champ électromagnétique entre les deux câbles. L'unité de traitement analyse cette variation et détermine si elle correspond à une intrusion.

Le principe peut être présenté simplement comme suit :

Câble TX → génération du champ → zone de détection → perturbation par une cible → câble RX → analyse → alarme



Schéma 1 : Câble enterré TX/RX – détection des intrusions par perturbation du champ électromagnétique



Schéma 2 : De l'émission du champ à l'alarme et la supervision

b- Fiabilité et conditions de performance

La fiabilité dépend principalement :

- De la profondeur d'installation ;
- De la distance entre TX et RX ;
- Du type de sol ;
- De l'humidité du terrain ;
- De la présence de masses métalliques ;
- Des câbles et canalisations enterrés à proximité ;
- Des vibrations et activités environnantes ;
- Du réglage et de la calibration du système.

c- Cas d'installation le plus adapté

Cette technologie est particulièrement intéressante lorsqu'on souhaite créer une zone de détection invisible sans installer de capteurs directement sur la clôture.

Applications possibles :

- Périmètres industriels ;
- Centrales électriques ;
- Sites militaires ;
- Sites sensibles ;
- Zones logistiques ;
- Infrastructures critiques ;
- Protection en amont d'une clôture ;
- Zones où une détection discrète est recherchée.



Schéma sur l'installation type

Image ou vidéo · glisser-déposer ou [parcourir](#) · [lien vidéo](#)

d- Avantages

- Détection invisible et difficile à contourner.
- Aucun équipement électronique actif directement exposé sur la clôture.
- Protection d'une zone située en amont du périmètre physique.
- Fonctionnement indépendant des conditions d'éclairage.
- Possibilité de définir une zone de détection continue.
- Adapté aux longues clôtures selon l'architecture retenue.
- Possibilité d'intégration avec une plateforme VMS/PSIM.

e- Inconvénients

- Installation enterrée nécessitant des travaux de génie civil.
- Performance dépendante des caractéristiques du sol et de l'environnement.
- Sensibilité potentielle aux infrastructures métalliques ou installations enterrées proches.
- Nécessite une étude et une calibration du site.
- Maintenance plus complexe qu'un équipement facilement accessible en surface.

- Coût dépendant fortement de la longueur et du nombre de zones.

f- Budget indicatif

350 – 550 TND / m

Ordre de grandeur : 350 à 550 TND/m de clôture.

7- Technologie de détection par vibration mécanique de clôture

a- Principe technique

Contrairement à la fibre optique, cette technologie utilise un capteur électronique ou électromécanique de vibration directement installé sur la clôture.

Lorsqu'un intrus tente :

- D'escalader ;
- De secouer ;
- De couper ;
- De forcer ;
- De déformer le grillage ;

La structure de la clôture produit des vibrations mécaniques.

Le capteur transforme ces vibrations en signal électrique. L'unité de traitement analyse alors les caractéristiques du signal afin de différencier une tentative d'intrusion d'une perturbation normale.

Le traitement peut notamment prendre en compte :

Amplitude + fréquence + durée + répétition + localisation de la zone.

Le principe est :

Action mécanique sur la clôture → vibration → capteur → signal électrique → analyse → alarme.



Schéma 1 : Détection par vibration mécanique de clôture – principe et fonctionnement



Schéma 2 : De l'action mécanique sur la clôture à la génération d'alarme

b- Fiabilité et performances

La performance dépend fortement de la structure de la clôture. Une clôture mal fixée ou très mobile peut transmettre des vibrations parasites.

Le paramétrage doit tenir compte du vent, de la pluie, des animaux et des vibrations provenant des équipements voisins.

c- Cas d'installation le plus adapté

Cette technologie est particulièrement adaptée aux clôtures rigides ou semi-rigides, notamment pour les sites industriels, centrales, prisons, dépôts, installations militaires et infrastructures critiques.

Elle est intéressante lorsque l'objectif principal est de détecter une attaque physique directe contre la clôture.



d- Avantages

- Détection directe d'une attaque contre la clôture.
- Localisation par zones.
- Fonctionnement jour/nuit.
- Coût inférieur à certaines solutions distribuées avancées.
- Bonne intégration sur clôtures physiques.

e- Inconvénients

- Sensibilité à la structure de la clôture.
- Sensibilité possible au vent et aux vibrations parasites.
- Nécessité de définir correctement les zones.
- Besoin d'une alimentation et/ou d'un câblage local selon l'architecture.

f- Budget indicatif

95 – 135 TND / m

Ordre de grandeur : 95 à 135 TND/m de clôture, selon le type de capteur, l'espacement, le câblage et l'électronique de traitement.

8- Technologie de détection sismique / vibration du sol

a- Principe technique

La détection sismique repose sur la mesure des vibrations mécaniques transmises par le sol lorsqu'une personne ou un véhicule se déplace à proximité du capteur.

Des capteurs enterrés détectent les variations mécaniques générées par les pas, la course, les déplacements de véhicules ou certaines activités mécaniques. Le signal analogique produit par le capteur est ensuite filtré et analysé afin d'extraire les caractéristiques permettant de distinguer une perturbation pertinente d'une vibration environnementale.

Le système peut notamment analyser l'amplitude, la fréquence, la durée et la répétition du signal. Plusieurs capteurs répartis le long d'un périmètre permettent de déterminer la zone dans laquelle l'événement s'est produit.

Contrairement à un détecteur installé directement sur une clôture, le capteur sismique peut être installé sous le sol et en retrait de la barrière physique, créant ainsi une zone de détection discrète. Les capteurs enterrés font partie des familles actuellement utilisées pour les périmètres nécessitant une détection invisible ou difficilement identifiable par un intrus.



Schéma 1 : Détection sismique / vibration du sol – détection des intrusions par analyse des vibrations mécaniques



Schéma 2 : De la détection des vibrations à l'alerte et la vérification

b- Fiabilité et conditions de performance

La performance dépend fortement de la nature du sol, de la profondeur d'installation, de la circulation environnante et des vibrations parasites.

c- Cas d'installation le plus adapté

Cette technologie est adaptée aux sites militaires, infrastructures critiques, frontières, aéroports, sites industriels et zones nécessitant une détection discrète. Elle convient particulièrement aux périmètres où l'installation de capteurs visibles sur la clôture est difficile ou indésirable.



Schéma 3 : Installation type – détection sismique (vue de dessus du site)

d- Avantages

Détection discrète, difficile à localiser visuellement, possibilité de détecter une approche avant le franchissement de la clôture.

e- Inconvénients

Installation nécessitant des travaux au sol et sensibilité potentielle aux vibrations provoquées par les véhicules, travaux ou activités industrielles.

f- Budget indicatif

170 – 240 TND / m

Ordre de grandeur : 170 à 240 TND/m de zone protégée, selon l'espacement des capteurs, la profondeur, le type de sol et le système de traitement.

9- Technologie de détection périmétrique par radar

a- Principe technique

Le radar de sécurité périmétrique utilise des ondes électromagnétiques, généralement dans le domaine des micro-ondes millimétriques, pour détecter les objets présents dans une zone extérieure sans dépendre de la lumière visible. Le radar émet des ondes vers la zone à surveiller, puis reçoit les signaux réfléchis par les personnes, véhicules ou autres objets. Le traitement numérique de ces échos permet de déterminer la

distance, la direction, la vitesse et la position des cibles. Les radars modernes peuvent utiliser un réseau d'antennes à commande électronique pour orienter rapidement le faisceau et effectuer une surveillance large sans mouvement mécanique de l'antenne.

Le traitement radar exploite notamment les informations de temps de propagation, de phase, d'angle et d'effet Doppler.

La distance est déterminée à partir des caractéristiques temporelles ou fréquentielles du signal réfléchi, tandis que le déplacement de la cible est obtenu à partir de la variation Doppler. L'analyse de l'angle permet ensuite de déterminer la direction de la cible par rapport au radar. Ces données sont traitées pour générer une piste de cible, comprenant sa position et son évolution dans le temps.

Le radar peut ainsi surveiller une zone extérieure relativement importante et détecter une personne ou un véhicule avant son arrivée au périmètre physique. Contrairement à une caméra visible, sa fonction de détection n'est pas directement dépendante de l'éclairage et reste exploitable dans des conditions telles que la faible luminosité, le brouillard, la poussière ou la pluie, sous réserve des caractéristiques et limites propres au radar et à son environnement d'installation.

Dans les applications de protection périmétrique, le radar constitue donc principalement un capteur de détection et de localisation : il indique qu'une cible est présente, où elle se trouve, dans quelle direction elle se déplace et à quelle vitesse.



Schéma 1 : Radar périmétrique – détection volumétrique des approches et suivi des cibles



Schéma 2 : De l'émission radar à l'alerte et la vérification

b- Fiabilité et conditions de performance

Le radar offre une bonne capacité de détection jour/nuit et une forte résistance aux limitations liées à la visibilité optique. Sa performance dépend toutefois de la configuration du terrain, de la hauteur d'installation, des obstacles, des surfaces réfléchissantes et du paramétrage des zones de détection.

c- Cas d'installation le plus adapté

Le radar est particulièrement adapté aux sites industriels, aéroports, infrastructures critiques, installations militaires, frontières et grands périmètres extérieurs. Il convient aux zones nécessitant une détection anticipée à distance, notamment lorsque la surveillance par caméra seule ne permet pas de détecter efficacement une cible dans l'obscurité ou dans des conditions météorologiques difficiles.



d- Avantages

- Détection indépendante de l'éclairage visible.
- Fonctionnement jour/nuit et bonne adaptation aux conditions météorologiques difficiles.
- Mesure de la position, distance, direction et vitesse des cibles.
- Surveillance de zones étendues avec un nombre limité de capteurs.
- Détection anticipée avant l'arrivée au périmètre.
- Possibilité de suivre plusieurs cibles simultanément selon les capacités du modèle.

e- Inconvénients

- Coût supérieur aux technologies infrarouges simples ou par Fibre optique.
- Les bâtiments, reliefs, végétation et objets fixes peuvent créer des phénomènes de masquage ou des échos parasites.
- Le radar fournit principalement des informations de détection et de localisation ; il ne remplace pas, à lui seul, une image détaillée permettant l'identification visuelle d'une cible.

f- Budget indicatif

280 – 400 TND / m

Ordre de grandeur : $\approx$ 280-400 TND/m de clôture protégée.

10- Technologie de détection par radiofréquence — RF

a- Principe technique

La détection radiofréquence utilise des ondes électromagnétiques pour créer une zone de surveillance autour ou devant le périmètre. Elle peut être utilisée pour détecter une présence ou un mouvement sans contact physique avec la clôture.

Le principe est différent du radar classique selon l'architecture utilisée : certaines solutions RF périmétriques utilisent des champs électromagnétiques ou des zones radio sensibles à la perturbation provoquée par le déplacement d'un intrus.

Le système comporte généralement une unité émettrice et une ou plusieurs unités réceptrices ou zones sensibles. L'équipement génère un champ électromagnétique contrôlé.

Lorsqu'un objet ou une personne pénètre dans la zone protégée, son interaction avec le champ électromagnétique produit une variation du signal. L'électronique mesure cette variation et applique des algorithmes permettant de déterminer si elle correspond à une intrusion.

Selon la technologie employée, le système peut analyser :

- L'amplitude du signal ;
- La variation de phase ;
- Les caractéristiques du champ ;
- La durée de la perturbation ;
- La position relative de l'événement.

Le principe général est :

Génération RF → création d'une zone électromagnétique → perturbation par la cible → analyse du signal → décision d'alarme.



Schéma 1 : Détection par radiofréquence (micro-ondes) – perturbation du champ électromagnétique entre antenne émettrice et antenne réceptrice

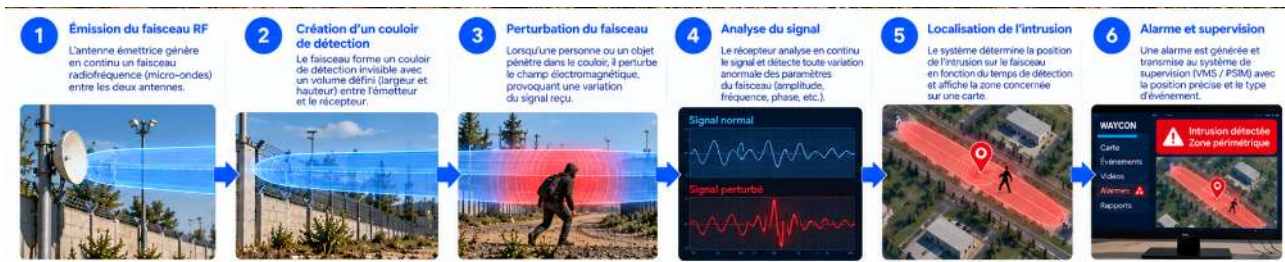


Schéma 2 : De l'émission du faisceau RF à l'alarme et la supervision

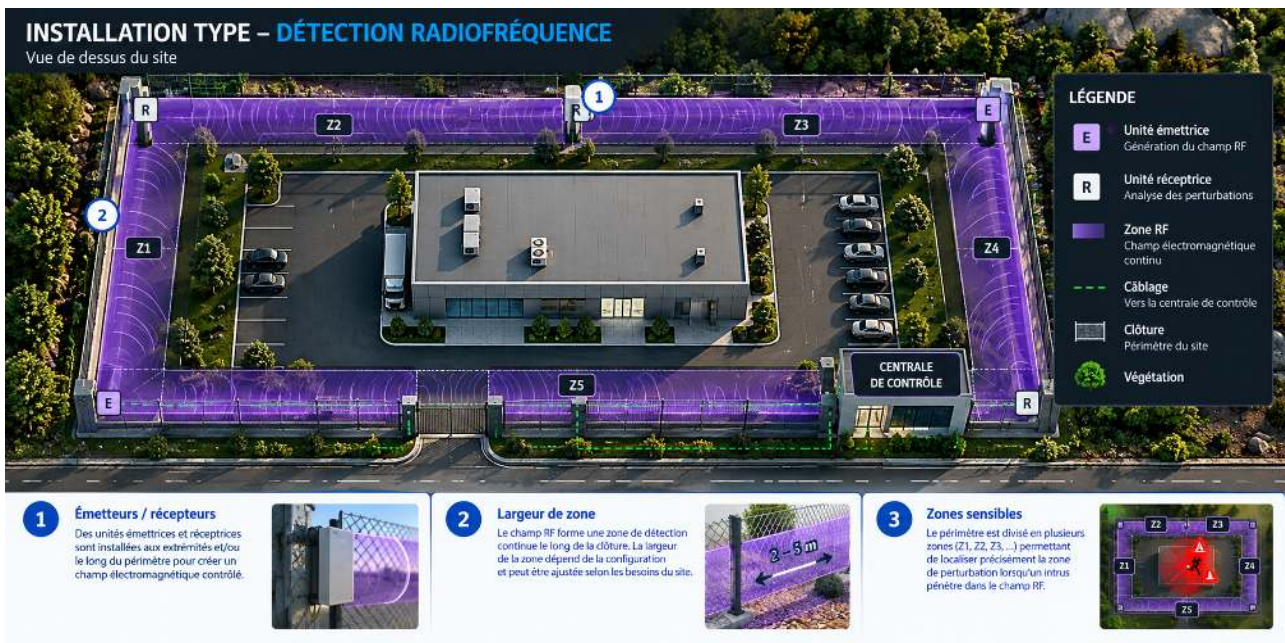
b- Fiabilité et performances

La performance dépend fortement de l'environnement électromagnétique, de la géométrie du site, des structures métalliques, des équipements radio environnants et de la configuration de la zone de détection.

Une étude préalable du site est donc importante.

c- Cas d'installation le plus adapté

La technologie RF peut être intéressante pour des clôtures industrielles, sites sensibles, zones techniques et périmètres nécessitant une détection continue sans installation mécanique directe de chaque capteur sur le grillage.



d- Avantages

- Détection sans contact direct avec la clôture.
- Possibilité de créer une zone de détection continue.
- Fonctionnement jour/nuit.
- Peu dépendante de l'éclairage.
- Peut être utilisée comme couche complémentaire.

e- Inconvénients

- Sensibilité possible aux perturbations électromagnétiques.
- Nécessité d'une étude d'environnement.
- Performances dépendantes de la géométrie du site.
- Technologie moins universelle qu'une détection mécanique simple.

f- Budget indicatif

110 – 170 TND / m

Ordre de grandeur : 110 à 170 TND/m de clôture protégée, selon la technologie RF, la largeur de zone et l'infrastructure associée.

11- Technologies de surveillance optique, thermique, PTZ et analyse par IA

Dans une architecture moderne de surveillance périmétrique, les systèmes de surveillance vidéo ne se limitent plus à l'enregistrement d'images. Les technologies actuelles associent imagerie visible, imagerie thermique (IR), motorisation PTZ, suivi automatique et analyse vidéo par intelligence artificielle, avec des fonctions de détection et de classification directement embarquées dans les équipements. Les solutions professionnelles actuelles proposées par différents fabricants suivent notamment cette évolution vers des équipements capables de détecter, classer et suivre les personnes et les véhicules, y compris dans des conditions nocturnes ou météorologiques difficiles.

a- Technologie de vidéosurveillance thermique**A. Principe technique**

La caméra thermique détecte le rayonnement infrarouge thermique naturellement émis par les objets. Contrairement à une caméra visible, elle ne dépend donc pas de la lumière réfléchi par la scène. Le rayonnement infrarouge est capté par un détecteur thermique puis converti en valeurs électriques et en image thermique. Les équipements professionnels utilisent notamment la bande infrarouge longue pour la surveillance extérieure.

Le traitement d'image thermique améliore ensuite le contraste entre les différentes signatures thermiques présentes dans la scène. Une personne, un véhicule ou un équipement chaud peut ainsi être distingué du sol, de la végétation ou de l'arrière-plan lorsque leur température apparente présente un contraste suffisant.

Pour la sécurité périmétrique, la caméra définit une ou plusieurs zones virtuelles de surveillance. Le système analyse les variations thermiques et les mouvements à l'intérieur de ces zones. Lorsqu'une cible correspondant aux critères configurés est détectée, un événement de sécurité est généré. Les fonctions modernes peuvent notamment traiter le franchissement de ligne, l'intrusion dans une zone et l'entrée ou la sortie d'une région définie.

La thermique est particulièrement intéressante pour la surveillance 24 h/24, car elle conserve une capacité de détection dans l'obscurité et dans certaines situations où une caméra visible perd une partie de son efficacité. Elle ne constitue toutefois pas une reproduction exacte de l'apparence visuelle de la cible : son information principale est la signature thermique.



Schéma 1 : Caméra thermique – détection d'intrusion par signature thermique

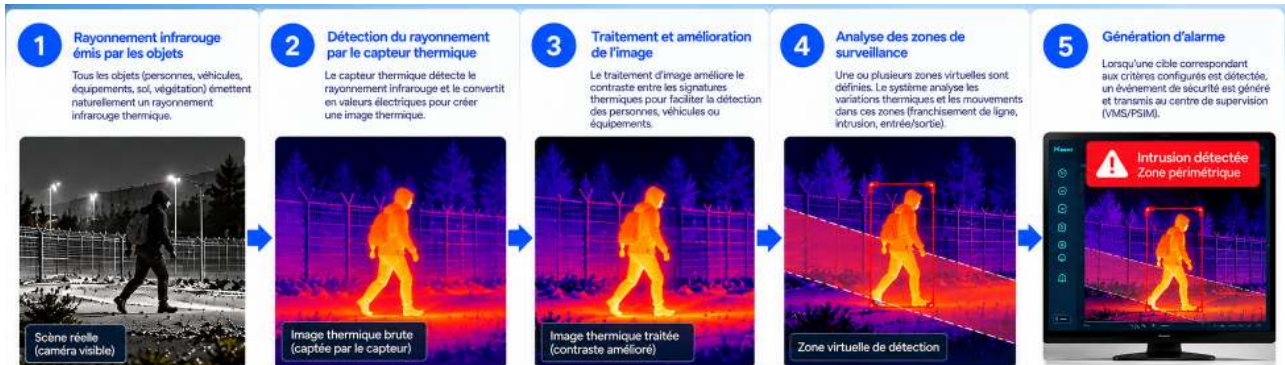


Schéma 2 : Du rayonnement infrarouge émis à la génération d'alarme

B. Fiabilité et conditions de performance

Très bonne capacité de détection nocturne et bonne résistance aux limitations liées à l'éclairage. La performance dépend néanmoins du contraste thermique, de la résolution, de l'optique, de la distance et des conditions atmosphériques.

C. Cas d'installation le plus adapté

Adaptée aux frontières, sites industriels, centrales électriques, infrastructures critiques et grands périmètres nécessitant une surveillance continue de jour comme de nuit, notamment dans les zones faiblement éclairées.

D. Avantages

- Fonctionnement de nuit
- Absence de besoin d'éclairage visible
- Longue portée possible
- Bonne capacité de détection des personnes et véhicules
- Possibilité d'analyse intelligente embarquée

E. Inconvénients

- Coût supérieur à une caméra visible classique
- Image moins adaptée à l'identification visuelle fine
- Performances dépendantes du contraste thermique et de l'atmosphère

F. Budget indicatif

55 – 90 TND / m

Ordre de grandeur : $\approx$ 55-90 TND/m de clôture protégée.

b- Technologie de vidéosurveillance optique

A. Principe technique

La caméra optique utilise un capteur d'image visible, généralement CMOS, qui transforme la lumière reçue par l'objectif en signal numérique. La lumière provenant de la scène traverse l'objectif, est focalisée sur le capteur puis convertie en informations numériques correspondant aux niveaux de luminosité et, pour une caméra couleur, aux composantes chromatiques.

L'objectif constitue un élément essentiel du système. Sa distance focale détermine le champ de vision et le niveau de détail disponible sur une cible située à une distance donnée. Pour un périmètre, le choix de l'optique doit donc être réalisé en fonction de la distance à couvrir et du niveau de détail recherché.

Les caméras modernes peuvent intégrer des fonctions de traitement telles que la réduction du bruit, le WDR pour les scènes à fort contraste, l'amélioration de la sensibilité en basse lumière, la stabilisation et différents modes de compression. Elles peuvent également intégrer directement des fonctions d'analyse vidéo.

La caméra fournit principalement l'information nécessaire à la vérification visuelle et à l'identification : silhouette, vêtements, couleurs, forme du véhicule, détails de la scène ou éléments permettant à l'opérateur de comprendre visuellement l'événement.



Schéma 1 : Caméra optique – détection, zoom et identification visuelle



Schéma 2 : De la capture de la lumière à la vérification et l'identification

B. Fiabilité et conditions de performance

Excellente lorsque les conditions de luminosité et de visibilité sont favorables. La performance diminue avec l'obscurité, le brouillard, la pluie, la poussière ou un fort contre-jour selon les capacités du modèle.

C. Cas d'installation le plus adapté

Adaptée aux entrées de sites, parkings, bâtiments, zones de contrôle, clôtures et secteurs nécessitant une identification visuelle détaillée des personnes, véhicules et événements.

D. Avantages

- Excellente information visuelle
- Identification détaillée
- Large choix d'objectifs
- Intégration aisée aux systèmes IP et VMS

E. Inconvénients

Dépendance à la lumière et aux conditions de visibilité ; une caméra visible seule peut être moins performante pour une détection périmétrique nocturne à longue distance.

F. Budget indicatif

40 – 70 TND / m

Ordre de grandeur : $\approx$ 40-70 TND/m de clôture protégée.

c- Technologie PTZ optique / thermique**A. Principe technique**

Une caméra PTZ — Pan, Tilt, Zoom est une caméra motorisée capable de réaliser une rotation horizontale (Pan), une inclinaison verticale (Tilt) et une variation de focale (Zoom). Elle permet ainsi de modifier dynamiquement sa direction d'observation et son niveau de grossissement.

Dans les équipements PTZ modernes, plusieurs configurations existent : PTZ visible, PTZ thermique, ou PTZ bispectrale combinant un canal thermique et un canal optique. Cette dernière architecture regroupe deux systèmes d'imagerie dans un même équipement afin de disposer simultanément de l'information thermique et de l'information visible. Des équipements professionnels actuels associent par exemple une caméra thermique à une caméra visible haute résolution, avec motorisation 360° et zoom optique important.

Dans une caméra bispectrale, le canal thermique fournit principalement la capacité de détection et d'observation dans les conditions difficiles, tandis que le canal visible fournit davantage de détails pour l'interprétation et l'identification. Certains systèmes permettent également de présenter ou de fusionner les informations provenant des deux canaux.

La motorisation permet ensuite à la caméra de déplacer son champ de vision vers une position déterminée, d'effectuer un zoom sur une cible et de maintenir son observation pendant le déplacement.

La fonction de suivi automatique repose sur une boucle de commande : le système détermine la position de la cible dans l'image, calcule son déplacement relatif par rapport au centre du champ de vision, puis commande les moteurs Pan/Tilt et le zoom afin de maintenir la cible dans la zone d'observation. Les

solutions professionnelles de suivi PTZ peuvent recevoir les informations de localisation d'une caméra fixe et commander automatiquement l'orientation et le zoom de la PTZ.



Schéma 1 : Technologie PTZ optique / thermique – détection, orientation, zoom et suivi automatique

B. Fiabilité et conditions de performance

Dépend de la précision de la motorisation, de la qualité de l'optique, de la vitesse de déplacement et, pour l'autotracking, de la qualité de la localisation de la cible et de la calibration.

C. Cas d'installation le plus adapté

Adaptée aux grands périmètres, frontières, ports, aéroports, centrales électriques et sites industriels nécessitant une surveillance dynamique, un zoom à longue distance et le suivi des cibles.

D. Avantages

Couverture dynamique, zoom à longue distance, suivi automatique, réduction du nombre de caméras nécessaires pour certaines zones et possibilité de combiner thermique et visible.

E. Inconvénients

Une PTZ ne peut pas observer simultanément toutes les directions ; lorsqu'elle se concentre sur une cible, d'autres secteurs peuvent temporairement sortir de son champ de vision.

F. Budget indicatif

30 – 65 TND / m

Ordre de grandeur : $\approx$ 30-65 TND/m de clôture protégée.

d- Technologie d'analyse vidéo et d'intelligence artificielle — IA

A. Principe technique

L'intelligence artificielle appliquée à la vidéosurveillance ajoute une couche d'analyse automatique au flux vidéo. Le système reçoit les images provenant de la caméra et utilise des modèles de vision artificielle pour détecter des objets, déterminer leur catégorie, analyser leur mouvement et produire des

événements structurés.

Les algorithmes modernes peuvent notamment distinguer des catégories telles que personne et véhicule, puis appliquer des règles spatiales définies dans la scène : franchissement d'une ligne virtuelle, intrusion dans une zone, entrée, sortie, présence prolongée ou déplacement dans une direction interdite. Les solutions professionnelles actuelles utilisent également des algorithmes de deep learning pour améliorer la classification et réduire les alarmes provoquées par des objets non pertinents.

Dans les systèmes thermiques intelligents, l'IA peut également être appliquée directement au flux thermique. Cela permet d'utiliser la signature thermique pour la détection tout en appliquant une classification automatique afin de mieux distinguer une personne ou un véhicule d'autres sources de mouvement.

L'évolution actuelle va également vers des équipements bi-spectraux basés sur l'IA, capables d'exploiter simultanément les informations thermiques et visibles. Des solutions récentes combinent ainsi détection thermique, vérification visuelle haute résolution et analyse IA dans un même équipement.



Schéma 1 : Analyse vidéo et IA – du flux vidéo aux événements et alertes



Schéma 2 : IA sur flux thermique, solutions bi-spectrales et bénéfices clés

B. Fiabilité et conditions de performance

Les performances dépendent fortement de la qualité de l'image, du positionnement de la caméra, de la scène, de la distance, de la luminosité et du paramétrage des règles. L'IA améliore la qualification des événements mais ne supprime pas totalement les fausses alarmes.

C. Cas d'installation le plus adapté

Adaptée aux sites nécessitant une surveillance automatisée, la classification des personnes et des véhicules, ainsi que la détection d'intrusion, de franchissement de ligne et de mouvements dans des zones interdites.

D. Avantages

Automatisation de la surveillance, classification des personnes et véhicules, réduction de la charge opérateur, analyse en temps réel et génération d'événements directement exploitables.

E. Inconvénients

Coût et complexité supérieurs à une vidéosurveillance classique, nécessité d'un réglage précis et dépendance à la qualité des données et des conditions de prise de vue.

F. Budget indicatif

150 – 250 TND / m

Ordre de grandeur : $\approx$ 150-250 TND/m de clôture protégée.

e- Technologie de détection vidéo intelligente Edge

A. Principe technique

La détection vidéo Edge consiste à réaliser directement au niveau de la caméra ou d'un équipement informatique situé à proximité de celle-ci l'analyse du flux vidéo. La caméra acquiert continuellement les images de la scène et son processeur analyse localement les variations entre les images afin de déterminer la présence et le déplacement d'objets.

Les algorithmes modernes permettent d'aller au-delà de la simple détection de mouvement en distinguant notamment les personnes et les véhicules et en appliquant des règles spatiales telles que le franchissement d'une ligne virtuelle ou l'entrée dans une zone interdite. Le traitement local permet de générer directement un événement sans nécessiter l'envoi permanent de toutes les images vers un serveur central. Cette approche réduit également la charge sur le réseau et peut diminuer les besoins de traitement centralisé.



Schéma 1 : Détection vidéo Edge – de la capture du flux à l'événement et l'action



Schéma 2 : Traitement Edge vs centralisé, réduction de la charge réseau et avantages

B. Fiabilité et conditions de performance

La fiabilité dépend principalement de la position de la caméra, de la qualité de l'image, de la distance de détection, de l'éclairage et de la scène observée. Une bonne implantation est indispensable pour éviter les zones masquées et les mouvements parasites.

C. Cas d'installation le plus adapté

Adaptée aux installations décentralisées, aux sites disposant de plusieurs caméras IP et aux zones où l'on souhaite effectuer l'analyse directement sur les caméras afin de réduire le trafic réseau et la charge du serveur central.

D. Avantages

- Traitement directement sur le terrain.
- Réduction du trafic réseau.
- Génération rapide des événements.
- Classification des objets.
- Réduction possible des fausses alarmes par rapport à une simple détection de mouvement.

E. Inconvénients

- Dépendance à la qualité de l'image.
- Performances réduites en cas de mauvaise implantation.
- Difficultés possibles avec les scènes très encombrées.
- Capacité de détection limitée lorsque la visibilité est fortement dégradée.

F. Budget indicatif

55 – 85 TND / m

Ordre de grandeur : $\approx$ 55-85 TND/m de clôture protégée.

12- Technologie LiDAR pour la détection périmétrique

a- Principe technique

Le LiDAR (Light Detection and Ranging) utilise des impulsions laser pour mesurer la distance entre le capteur et les objets présents dans son environnement.

Le système émet rapidement des impulsions lumineuses et mesure le temps nécessaire au retour de chaque impulsion après réflexion sur une surface. À partir de ce temps de propagation, il calcule la distance. La répétition de ces mesures permet de construire une représentation spatiale de l'environnement, sous forme

de points ou de profils tridimensionnels.

Lorsqu'une personne ou un véhicule pénètre dans une zone définie, sa présence modifie la structure spatiale mesurée par le LiDAR. Le système peut alors déterminer la position de la cible, son déplacement et éventuellement sa trajectoire.

Contrairement à une caméra, le LiDAR ne cherche donc pas principalement à produire une image photographique : il mesure directement la géométrie et la distance des objets. Cette technologie constitue une couche de détection particulièrement intéressante lorsque la connaissance précise de la position d'une cible est recherchée. Les développements récents du marché de la sécurité périmétrique considèrent notamment le LiDAR comme une technologie de détection complémentaire aux solutions sur clôture, enterrées et radar.

Par rapport au radar, Le LiDAR offre une précision de détection supérieure au radar grâce à ses impulsions laser à faible divergence, permettant une mesure très précise des distances et une localisation fine des cibles. Fonctionnant par analyse de la lumière laser réfléchie, il n'est pas soumis aux mêmes phénomènes de réflexion électromagnétique, d'interférences ou d'échos parasites que le radar en présence d'équipements métalliques ou de surfaces fortement réfléchissantes, ce qui améliore la fiabilité, la discrimination et la précision de la détection dans les environnements complexes.



Schéma 1 : LiDAR – détection et cartographie 3D des intrusions dans des environnements complexes

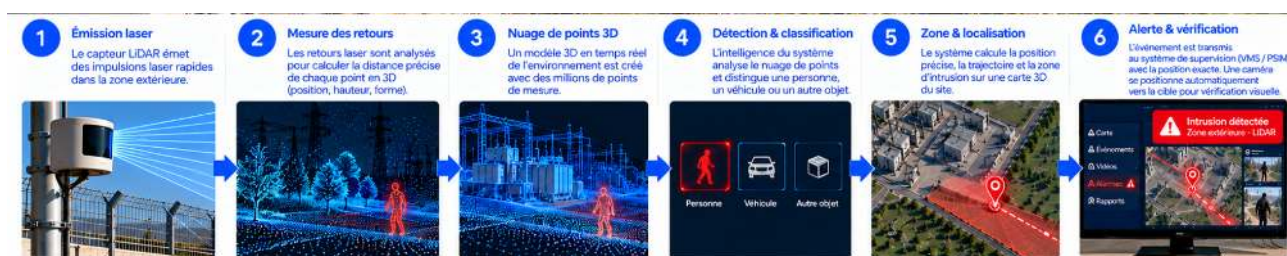


Schéma 2 : De l'émission laser à l'alerte et la vérification

b- Fiabilité et conditions de performance

La précision de mesure est élevée dans les conditions adaptées, mais les performances peuvent être influencées par la pluie, le brouillard dense, la poussière, les surfaces très réfléchissantes ou absorbantes et l'environnement physique.

c- Cas d'installation le plus adapté

Le LiDAR est particulièrement adapté aux sites nécessitant une localisation précise des intrusions, notamment les sites industriels, infrastructures critiques, dépôts, zones logistiques, installations militaires ou administratives sensibles.

Il est intéressant pour la surveillance de zones ouvertes ou de périmètres où il est nécessaire de créer des zones de détection virtuelles.



d- Avantages

- Mesure directe des distances.
- Bonne précision spatiale.
- Possibilité de créer des zones virtuelles tridimensionnelles.
- Détection indépendante de la lumière visible.
- Capacité à fournir des informations géométriques sur les cibles.

e- Inconvénients

- Coût relativement élevé.
- Sensibilité à certaines conditions atmosphériques.
- Portée généralement inférieure à celle des radars spécialisés pour certaines applications.
- Technologie nécessitant une implantation et une configuration précises.

f- Budget indicatif

≈ 310 TND / m

Ordre de grandeur : ≈ 310 TND/m de clôture protégée.

13- Couplage et intégration des technologies de sécurité périmétrique

a- Principe technique

Le couplage des technologies consiste à faire communiquer plusieurs systèmes de détection et de surveillance afin que chaque technologie conserve sa fonction propre tout en transmettant automatiquement ses événements à une plateforme commune. Le principe n'est donc pas de remplacer une technologie par une autre, mais de créer une chaîne de sécurité dans laquelle la détection, la localisation, la vérification et le suivi sont réalisés par les équipements les mieux adaptés.

Dans une architecture simple, une détection périmétrique, par exemple une fibre optique sur clôture, une barrière infrarouge ou un radar, génère un événement avec sa localisation. Cet événement est transmis au système de supervision, qui identifie la zone concernée et peut commander automatiquement une caméra thermique, optique ou PTZ afin de vérifier l'événement. La caméra fournit alors l'information visuelle nécessaire à l'opérateur.

Le couplage fibre optique avec caméra PTZ est particulièrement adapté aux longues clôtures. La fibre détecte et localise la perturbation sur la clôture ; le système transforme cette position en secteur géographique et commande la PTZ correspondante pour orienter automatiquement son objectif vers la zone concernée.

Le couplage radar avec PTZ fonctionne selon une logique différente. Le radar détecte une cible dans une zone extérieure et fournit sa position, sa distance et son déplacement. Le système de commande convertit ces coordonnées en angles de positionnement pour la PTZ. Celle-ci s'oriente automatiquement vers la cible, effectue le zoom nécessaire et peut maintenir son suivi pendant le déplacement.

Pour une surveillance 24 h/24, le couplage radar + thermique + PTZ apporte une couche supplémentaire. Le radar assure la détection et la localisation, la caméra thermique permet de vérifier la présence d'une cible indépendamment de l'éclairage visible, tandis que la PTZ assure l'observation dynamique et le suivi. Cette architecture est particulièrement adaptée aux grands espaces extérieurs, aux frontières, aux ports, aux aéroports et aux infrastructures critiques.

Le couplage caméra thermique avec caméra optique permet quant à lui d'utiliser les caractéristiques complémentaires des deux spectres. La thermique est particulièrement utile pour détecter une présence dans l'obscurité ou lorsque le contraste visible est insuffisant, tandis que la caméra optique fournit davantage de détails permettant l'interprétation et l'identification de la scène lorsque les conditions de visibilité sont favorables. Les équipements multispectraux peuvent intégrer ces deux fonctions dans une même unité.

À un niveau supérieur, le radar + fibre optique + thermique + optique + PTZ + analyse IA constitue une architecture multisensorielle. La fibre surveille la ligne physique du périmètre, le radar surveille la zone extérieure, les caméras thermique et optique assurent la vérification, la PTZ permet le suivi dynamique et l'analyse IA contribue à la classification et à la qualification des événements. Une plateforme VMS ou PSIM peut alors regrouper les informations provenant de ces différents équipements et présenter à l'opérateur un événement unique avec sa position, son type, les capteurs concernés et les images correspondantes.

Le couplage doit être réalisé à partir d'une référence géographique commune, d'une synchronisation temporelle cohérente et d'interfaces de communication compatibles. La précision du positionnement est particulièrement importante lorsqu'une alarme radar ou fibre doit commander automatiquement une

caméra PTZ. Une cartographie correcte du site, la calibration des équipements et la définition des zones de détection sont donc essentielles au bon fonctionnement de l'ensemble.



Schéma 1 : Couplage des technologies – vue d'ensemble du site et remontée vers le VMS / PSIM



Schéma 2 : Chaîne de fonctionnement mixte – de la détection à la gestion dans le VMS / PSIM

b- Budget indicatif

≈ 310 TND / m

Pour une architecture de couplage simple, par exemple fibre optique + quelques caméras PTZ ou radar + PTZ, le budget peut être de l'ordre de ≈ 310 TND/m, selon la longueur du périmètre, le nombre de secteurs et les infrastructures nécessaires.

≈ 360 TND / m

Une architecture radar + thermique + PTZ destinée à un site industriel ou une zone sensible peut se situer autour de ≈ 360 TND/m, pour un secteur ou une installation de taille moyenne.

≈ 780 TND / m

Une architecture multisensorielle fibre + radar + thermique + optique + PTZ + IA + supervision peut atteindre ≈ 780 TND/m, notamment pour les frontières, grands ports, aéroports, centrales énergétiques et infrastructures critiques. Le montant réel doit être établi à partir de la longueur du périmètre, du nombre de secteurs, des distances de détection, des mâts, du réseau, de l'alimentation, du stockage, des licences et du niveau de redondance demandé.

La logique générale du couplage est donc :

Détection → Localisation → Vérification → Identification → Suivi → Qualification → Supervision

Chaque technologie reste indépendante dans son principe physique de fonctionnement, mais ses informations peuvent être exploitées par les autres équipements lorsque cela apporte une amélioration opérationnelle.