

MA-004-234-2

République Algérienne Démocratique et Populaire

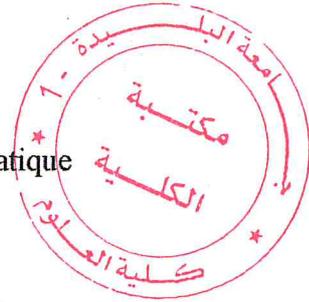
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Université SAAD-DAHLEB - Blida



Faculté des Sciences - Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études en vue
de l'obtention du diplôme de
MASTER
en Informatique



Option : Ingénierie des Logiciels

Thème:

Réalisation d'un système de détection visuelle
pour la gestion automatique du trafic routier en utilisant le
réseau de capteurs visuels sans fil :
Application pour les parkings et les autoroutes

CERIST: Ben Aknoun - Alger.



Réalisé par : M. Zeroual Mohamed

Promoteur :

Dr. Djamel Djenouri

Encadreur :

M. El Mouatez Billah Karbab

Jury:

Cherif Zahar A.

Amour Khadidja

cherfa

Promotion : 2013-2014

MA-004-234-1

Dédicaces

À mes parents

*Qui m'aident tous les jours à donner un sens à ma vie ...
En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les
sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour moi.*

Remerciements

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au CERIST (Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique).

Je remercie avant tout ALLAH de m'avoir donné la volonté et la patience d'achever mes études et de mener à terme ce modeste travail.

*Je profite de cette occasion pour remercier mon directeur de recherche, **M. EL_Mouatez Billah Karbab**, qui m'a orienté et fourni des conseils tout au long de cette maîtrise. Il est toujours prêt à m'écouter et m'aider à surmonter des problèmes non seulement à caractère académiques, mais aussi personnels. C'est un personnage extraordinaire, à qui je dis chapeau bas. Et, je remercie également toute l'équipe du CERIST, pour leur support.*

*Je tiens également à remercier **Dr. Djamel Djenouri** qui me fait l'honneur d'être mon promoteur ainsi que pour m'avoir aidé et supporté de plusieurs façons dans le cadre de ces études, ses conseils et son soutien durant ce projet. Il a toujours répondu à mon appel à chaque fois que je frappe à sa porte. C'est un personnage très positif, envers qui je suis extrêmement reconnaissant.*

Je remercie aussi mes proches amis, spécialement Mokdad Mohamed, Chouaib Seghier, Billel Hachemi, Anes Aliliche qui m'ont permis de concilier études et loisirs.

Nous remercions les membres de jury pour nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.

Enfin, un grand merci à ma famille qui m'ont encouragé tout le temps dans ma vie.

Résumé

Le nombre de véhicules en Algérie ne cesse d'augmenter ces dernières années, conduisant ainsi à la saturation des réseaux routiers. Cette saturation représente la cause principale d'encombrement, d'accident et de pollution. Ces problèmes ont des conséquences majeures sur l'économie du pays et la vie quotidienne des citoyens. Une solution possible consiste à gérer d'une manière efficace les flux des véhicules, en se basant sur la surveillance en temps réel du trafic routier. Un réseau de capteurs peut être un outil pour assurer la gestion dynamique de ce trafic.

Ce mémoire décrit le développement d'un système de détection de véhicule en utilisant le traitement d'image et l'applique sur les capteurs visuels.

Mots Clés : réseaux de capteurs sans fil, capteur visuels, Crossbow, processing, système de transports intelligent

Abstract

The number of vehicles in Algeria is increasing in recent years, loading to road network saturation, this saturation is the main cause of congestion, accident and pollution, and these problems have major impact on the economy and daily life of citizens. One possible solution is to manage efficiently the flow of vehicles, based on real time monitoring of road traffic. A sensor network can be a tool permitting the management of the traffic dynamically.

This specification describes the development of a vehicle detecting system using image processing algorithm and applied to the visual sensor.

Keywords: wireless sensor network, visual sensor, Crossbow, processing, intelligent transportation system(ITS).

Sommaire

Introduction générale 2

Chapitre -I- : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1. Introduction..... 5

2. Les réseaux sans fil..... 5

 2.1. Définition..... 5

 2.2. Classification des réseaux sans fil..... 5

 2.2.1. Réseaux personnels sans fil (WPAN)..... 6

 2.2.2. Réseaux locaux sans fil (WLAN)..... 6

 2.2.3. Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)..... 6

 2.2.4. Réseaux étendus sans fil (WWAN)..... 6

3. Réseaux en mode ad hoc et cellulaire..... 7

 3.1.1. Le réseau en mode ad hoc..... 7

 3.1.2. Le réseau en mode cellulaire..... 8

 3.1.3. Conclusion..... 9

4. Le réseau de capteurs sans fil (RCSF)..... 9

 4.1. Définition..... 9

 4.2. Architecture de communication d'un RCSF..... 9

 4.3. Les caractéristiques d'un réseau de capteurs..... 10

 4.4. Le capteur sans fil..... 11

 4.4.1. Définition..... 11

 4.4.2. Architecture d'un capteur sans fil..... 11

 4.5. Les réseaux de capteurs visuels sans fil 12

 4.5.1. Introduction 12

 4.5.2. Applications 13

 4.5.3. Capteur d'image..... 13

 4.6. Comparaison entre les RCSF et les réseaux Ad hoc..... 14

 4.7. Applications des réseaux de capteurs sans fil..... 14

 4.7.1. Application militaire..... 14

 4.7.2. Application médicale..... 15

 4.7.3. Application dans les maisons..... 15

 4.7.4. Applications environnementales..... 15

 4.7.5. Applications à la sécurité 16

 4.7.6. Applications à la gestion du trafic routier et du stationnement..... 16

5. Conclusion..... 17

Chapitre -II- : Solutions de détection et de surveillance du trafic

A.	<u>Trafic routier</u>	
1.	Introduction.....	19
2.	Les technologies de surveillance de trafic routier.....	19
2.1.	Les technologies embarquées.....	19
2.1.1.	Système Global de Navigation par Satellite (GNS).....	19
2.1.2.	Système de téléphone cellulaire.....	20
2.2.	Les technologies intrusives.....	21
2.2.1.	Les capteurs à boucles inductives.....	21
2.2.2.	Les capteurs « magnétomètres » en chaussée.....	23
2.2.3.	Les capteurs à effet « Piézo-électrique ».....	24
2.2.4.	Les capteurs à Tubes pneumatiques.....	25
2.3.	Les technologies non-intrusives.....	25
2.3.1.	Les capteurs à Infra-Rouge actifs et passifs.....	25
2.3.2.	Les capteurs acoustiques actifs (à Ultrasons).....	26
2.3.3.	Les capteurs Vidéo visibles.....	27
B.	<u>Parking</u>	
1.	Introduction.....	30
2.	Définition.....	30
3.	Stationnement sur chaussée.....	30
3.1.	Marques utilisées.....	30
3.2.	Stationnement en épi ou en bataille.....	31
3.3.	Stationnement longitudinal.....	31
4.	Dimensions.....	31
5.	Les différents types de Parking.....	33
6.	Résolution possibles.....	34
6.1.	Les capteurs ultrasoniques et magnétiques.....	34
6.1.1.	Fiable et efficace.....	34
6.1.2.	Cas très particuliers.....	34
6.2.	Caméra fixe.....	35
C.	<u>Motivation d'utilisation des réseaux de capteurs de vision :</u>	
1.	Introduction.....	36
2.	Détection vidéo et de surveillance du trafic.....	36
2.1.	Analyse en temps réel.....	36
2.2.	Détection vidéo.....	36
2.3.	Rentabilité.....	36
2.4.	Efficacité et fiabilité.....	36
2.5.	Une technologie éprouvée.....	37

3. Avantages essentiels de la détection vidéo.....	37
4. Inconvénient de la détection vidéo.....	37
5. Conclusion.....	37

Chapitre -III- : Système de détection visuel des véhicules

1. Introduction et problématique.....	39
2. Environnement du travail.....	39
2.1. Matériels utilisées.....	39
2.2. Logiciels utilisés.....	42
3. Fonctionnement de notre système de détection.....	43
3.1. Processus de détection des véhicules.....	43
3.2. Système qui calcul le nombre des véhicules (in/out) sur la route.....	46
3.2.1. Problématique	46
3.2.2. Solution	46
3.2.3. Principe de fonctionnement de l’algorithme COUNTING	47
3.2.4. Etapes de traitement	48
3.3. Système qui détermine l’état des places (ID, vide/occupée) dans la zone de stationnement.....	49
3.3.1. Problématique.....	49
3.3.2. Solution	49
3.3.3. Principe de fonctionnement de l’algorithme PARKING.....	50
3.3.4. Etapes de traitement	51

Chapitre -IV- : Expérimentation et conclusion

1. Test de l’algorithme de détection COUNTING.....	53
1.1. Paramètres de l’application	53
1.2. Implémentation de l’algorithme de détection.....	54
1.3. Expériences.....	54
1.4. Conclusion	60
2. Test de l’algorithme de stationnement PARKING.....	61
2.1. Paramètre de l’application	61
2.2. Implémentation de l’algorithme de stationnement PARKING.....	61
2.3. Expérience	62
2.4. Conclusion.....	62
3. Comparaison de notre solution de détection et classification avec celle basée sur les capteurs lumineux et magnétiques.....	62
4. Conclusion générale et perspectives.....	64
4.1. Améliorations futures possibles.....	64

Table des figures

Chapitre 1 :

- Figure 1: Classification des réseaux sans fil. >Page 6
 Figure 2: réseau ad-hoc. >Page 7
 Figure 3: mode ad-hoc. >Page 7
 Figure 4: point d'accès. >Page 8
 Figure 5: réseau cellulaire. >Page 8
 Figure 6: Un exemple de réseau Ad hoc. >Page 9
 Figure 7: Architecture de communication d'un RCSF. >Page 10
 Figure 8 : Architecture générale d'un nœud capteur. >Page 12
 Figure 9: Nœud capteur visuel. >Page 13
 Figure 10 : unité de captage visuel. >Page 14
 Figure 11: Un service militaire utilisant les RCSF. >Page 15
 Figure 12: Application des RCSF dans le domaine de la médecine. >Page 15
 Figure 13: la détection des incendies dans les forêts. >Page 16
 Figure 14 : Le calcul de nombre de passage de véhicules avec une caméra. >Page 17

Chapitre 2 :

- Figure 15: Schéma d'un réseau GNS. >Page 20
 Figure 16 : Schéma d'un réseau cellulaire. >Page 20
 Figure 17: Structure du système avec une boucle inductive et multi-boucles inductives. >Page 21
 Figure 18: Changement de fréquence de la boucle pendant le passage d'un véhicule sur la Boucle inductive. >Page 22
 Figure 19: Structure du système avec des capteurs magnétiques. >Page 23
 Figure 20 : Le principe des ultrasons. >Page 27
 Figure 21: Exemple de Fonctionnement de la détection vidéo. >Page 29
 Figure 22: Marques utilisées. >Page 30
 Figure 23: Stationnement en épi ou en bataille. >Page. 31
 Figure 24: Stationnement longitudinal. >Page 31
 Figure 25: Parking de surface. >Page 33
 Figure 26: Parking fermé ou souterrain. >Page 33
 Figure 27: Parking à étages. >Page 33
 Figure 28: Parking-relais. >Page 34
 Figure 29: Capture magnétique dans un parking. >Page 35

Chapitre 3 :

- Figure 30 : Schéma d'architecture d'un capteur. >Page 39
 Figure 31 : La carte mère (Pandaboard). >Page 40
 Figure 32 : Image réel des éléments de station de communication. >Page 41
 Figure 33 : Capteur visuel. >Page 41
 Figure 34 : Image réel du serveur. >Page 42
 Figure 35 : Processus de détection. >Page 45
 Figure 36: Diagramme d'activité de l'algorithme de détection et de classification COUNTING. >Page 47
 Figure 37 : Etapes du traitement de l'algorithme de détection et de classification COUNTING. >Page 49
 Figure 38 : Diagramme d'activité de l'algorithme de stationnement PARKING. >Page 50
 Figure 39 : image réel de l'interface de l'application PARKING. >Page 51

Chapitre 4 :

Figure 40: interface des paramètres. >Page 53

Figure 41: Image réelle de l'implémentation de l'algorithme COUNTING. >Page 54

Figure 42: Résultat de précision et temps d'exécution par rapport à la variation de la résolution. >Page 55

Figure 43 : Résultat de précision par rapport à la variation de la position des lignes sur l'axe Y de l'image. >Page 56

Figure 44 : Résultat de précision par rapport à la variation de l'épaisseur. >Page 57

Figure 45 : Résultat de performance dans différentes expérimentations par rapport à l'ignorance des problèmes constatés. >Page 58

Figure 46 : Exemples réels d'une occultation. >Page 59

Figure 47 : Présentation d'une Occultation des véhicules. >Page 59

Figure 48 : Surélévation de la camera résoudra le problème d'occultation. >Page 60

Figure 49 : Présentation de la nécessité de réglage de l'épaisseur. >Page 60

Figure 50: Image réelle de notre expérience (PARKING). >Page 61

Figure 51 : Résultat de précision et temps d'exécution par rapport à la variation de la résolution. >Page 62

Figure 52 : Utilisation d'une clé Ooredoo pour le transfert des données en temps réel dans le réseau GSM. >Page 65

Liste des Tableaux

Tableau 1 : comparaison entre ad hoc et RDSF. >Page 13

Tableau 2 : Bilan N°1 d'Algorithme de détection. >Page 63

Tableau 3 : Bilan N°2 d'Algorithme de détection. >Page 63

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

Actuellement, nous remarquons plusieurs embouteillages au niveau des agglomérations dus au nombre croissant des véhicules durant ces dernières années et le non-respect du code de la route, et notamment la mauvaise gestion des parkings ainsi que le manque d'information sur le trafic routier en temps réel au profit des usagers de la route.

Les embouteillages engendrent de nombreuses conséquences économiques, sociales et écologiques :

- Le temps passé dans les embouteillages est majoritairement considéré comme perdu, n'étant utilisé ni pour le travail ni pour les loisirs, ce qui provoque le stress aux conducteurs.
- Les retards de livraison peuvent être dramatiques pour les entreprises.
- En plus de réduire la vitesse de circulation, un embouteillage est une source importante de pollution atmosphérique due à une consommation excessive de carburant.

Parmi les nouvelles technologies, le réseau de capteurs visuels sans fil a le potentiel de résoudre de nombreux problèmes, y compris la gestion automatique des parkings et du trafic routier, mais des nombreuses recherches doivent être effectuées avant le déploiement à grande échelle.

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour achever notre projet. Par exemple pour déterminer la disponibilité des places de stationnement dans un parking, on peut utiliser des capteurs ultrasoniques, magnétiques ou l'utilisation d'une caméra.

Mais il s'avère que la deuxième technique des capteurs est très coûteuse : il faut un capteur pour chaque cellule du parking ; mais la troisième solution ne nécessite qu'une caméra pour couvrir tout l'espace du parking.

Et dans ce but, en tant qu'informaticien, j'ai consacré mon travail à la réalisation d'un système de contrôle et de détection visuelle à l'aide d'un réseau de capteurs visuels qui utilise des caméras comme capteurs, appliquée sur :

La gestion automatique des parkings, pour:

- Réduire la congestion dans la ville et les parkings.
- Optimiser l'occupation des places de stationnement.

Et notamment sur la gestion automatique des trafics routiers, pour:

- Améliorer la fluidité du trafic.
- Réduire le nombre d'accidents.
- Atténuer la frustration et le stress des conducteurs.
- Avertir les conducteurs des obstacles bien à l'avance, avec notamment une meilleure signalisation.

Introduction Générale

L'objet de notre travail est la proposition d'une solution basée sur le traitement d'images, qui nécessite une caméra fixe, afin de :

- Connaître le nombre des places libres ou occupées dans la zone de stationnement, avec l'ID de chaque place.
- Calculer le nombre des véhicules entrants et sortants dans une route.
- L'information sera transmise vers la station de base en temps réel où il y a une interface graphique de gestion, en utilisant la communication paradigme multi-hop.

CHAPITRE –I–

Généralités sur les réseaux
de capteurs sans fil

1 Introduction

Depuis leur création, les réseaux de communication sans fil ont connu un succès sans cesse croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Grâce à ses diverses avantages, cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseaux actuelles.

Les réseaux sans fil nous envahissent sans que nous ayons la moindre sensation de leurs présences. Ces ondes radioélectriques parcourent les airs jusqu'à la limite de leur puissance. Grâce à cette évolution, à la miniaturisation des circuits électroniques ainsi qu'à la réduction de leurs coûts, un nouveau type de réseaux est apparu : les réseaux de capteurs.

Mis en place pour régler les problèmes de câblage et offrent des nouveaux avantages parmi lesquels la mobilité des équipements et la facilité de déploiement.

Ce chapitre donne un aperçu sur les différents réseaux sans fil. Nous y définirons les réseaux ad hoc qui sont des réseaux mobiles sans infrastructure, puis nous nous intéresserons à un type particulier des réseaux ad hoc : les réseaux de capteurs sans fil, qui seront étudiés en détail dans le reste du chapitre.

2 Les réseaux sans fil

2.1 Définition

Un réseau sans fil (en anglais Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux (ordinateur portable, PDA, etc.) peuvent communiquer sans liaison filaire [9].

Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité".

Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels (coaxial, paire-torsadée ou fibre optique). Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

2.2 Classification des réseaux sans fil

Nous trouvons généralement quatre catégories de réseaux sans fil [9] suivant la zone de couverture et la distance entre les nœuds.

2.2.1 Réseaux personnels sans fil (WPAN)

Le réseau personnel sans fil (appelé également réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil et noté WPAN pour Wireless Personal Area Network) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée : de l'ordre de quelques dizaines mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, ...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes. Les technologies utilisées sont: Bluetooth, ZigBee, HomeRF et IrDA.

2.2.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Le réseau local sans fil (noté WLAN pour Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre-eux les terminaux présents dans la zone de couverture. Les technologies utilisées sont : Wi-Fi, HiperLan1 et HiperLan2.

2.2.3 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN pour Wireless Metropolitan Area Network) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication.

La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le Wi MAX, permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres.

2.2.4 Réseaux étendus sans fil (WWAN)

Le réseau étendu sans fil (WWAN pour Wireless Wide Area Network) est également connu sous le nom de réseau cellulaire mobile. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont les suivantes :

- GSM (Global System for Mobile Communication ou en français Groupe Spécial Mobile)
- GPRS (General Packet Radio Service)
- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

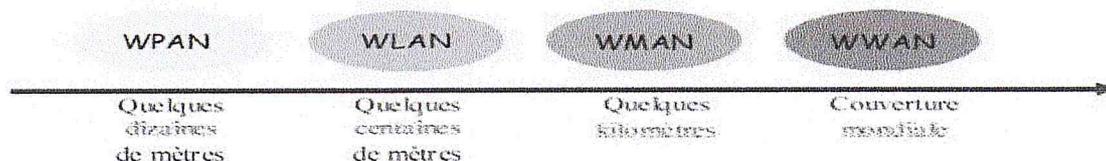


Figure 1: Classification des réseaux sans fil

Dans le prochain titre, nous allons aborder les principaux modes de fonctionnement des réseaux sans fil à fréquence radio avec leurs avantages et inconvénients.

3 Réseaux en mode ad hoc et cellulaire

3.1 Le réseau en mode ad hoc

Le réseau ad hoc est la méthode la plus simple à mettre en œuvre pour un réseau sans fil. Il est créé par une réunion de stations mobiles ou statiques ne possédant pas d'architecture préexistante [1]. Le routage entre les différents points du réseau est donc dynamique.

Si cette utilisation a le mérite d'être facile et de gagner en mobilité, chaque point du réseau (appelé aussi nœuds) ne peut échanger de données avec un autre que si ils sont à portée de réception l'un de l'autre. On peut prendre comme exemple de réseau ad hoc, deux utilisateurs de PDA s'échangeant des données par infrarouge.

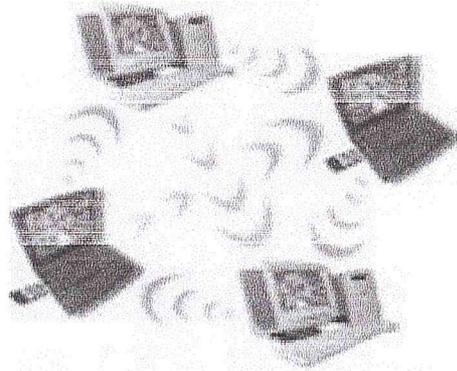


Figure 2: réseau ad-hoc

Dans le cas, plus compliqué, où une machine voudrait communiquer avec une autre se trouvant hors de portée, chaque nœud du réseau peut alors servir de routeur. Dans l'exemple ci-dessous, la machine A dont la portée est schématisée par le cercle bleu, veut communiquer avec la machine C se trouvant hors de son champ de réception. Pour aboutir, la connexion réseau va donc utiliser la machine B se trouvant à la fois à portée de réception des machines A et C.

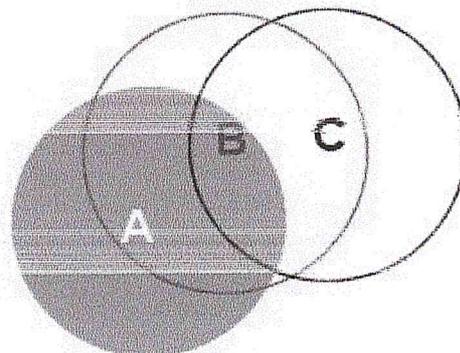


Figure 3:-mode ad-hoc

Ce principe de fonctionnement pose toutefois des problèmes de routage qu'un groupe de l'IETF (IP MANET Mobile Ad hoc NETWORK) essaie de résoudre en évaluant plusieurs protocoles afin de parvenir à une standardisation. Ces protocoles agissent de deux manières différentes, il y a les protocoles proactifs, et les protocoles réactifs.

Les protocoles proactifs permettent de stocker toutes les routes identifiées dans une table de routage transmise à tous les systèmes du réseau. Le principal avantage est que les routes sont immédiatement disponibles mais le trafic généré pour le contrôle et la mise à jour de la table de routage peut être important et partiellement inutile.

Les protocoles réactifs ne créent pas de table de routage et réagissent à la demande en diffusion de requêtes, le trafic de contrôle est donc supprimé mais le coût en bande passante est important et la mise en place des routes nécessitent un délai avant chaque ouverture.

Aussi séduisants soient-ils, les réseaux ad hoc présentent comme inconvénients majeurs : l'absence d'isolation des liens, des propagations versatiles et des zones d'interférences étendues.

3.2 Le réseau en mode cellulaire

Les réseaux locaux utilisant une architecture cellulaire sont contrôlés par des stations de base appelées point d'accès, gérant l'ensemble des communications au sein d'une même zone géographique. C'est le même principe de fonctionnement que les téléphones GSM [1].



Figure 4: point d'accès

Les réseaux de petite dimension pourront se contenter d'une seule cellule tandis que les grandes installations en comprendront plusieurs. Les points d'accès de chaque cellule étant interconnectés par un système de distribution (backbone) en Ethernet ou même sans fil. La circulation d'un système (par exemple ordinateur portable) d'une cellule à une autre est rendue possible grâce au roaming qui permet de ne pas fermer la connexion, la transition sera dans ce cas opérée entre la transmission de deux paquets.

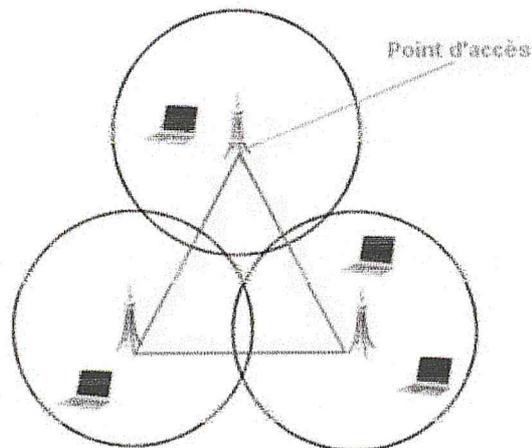


Figure 5: réseau cellulaire

Le principal avantage de l'utilisation du réseau cellulaire est d'utiliser un minimum de fréquences, la même fréquence pouvant être utilisée par plusieurs systèmes à condition qu'ils soient chacun dans une cellule différente.

3.3 Conclusion

Un réseau ad hoc doit être facilement déployé, les nœuds peuvent joindre ou quitter le réseau de manière totalement dynamique sans informer le réseau, et si possible sans effet de bord sur les communications des autres membres.

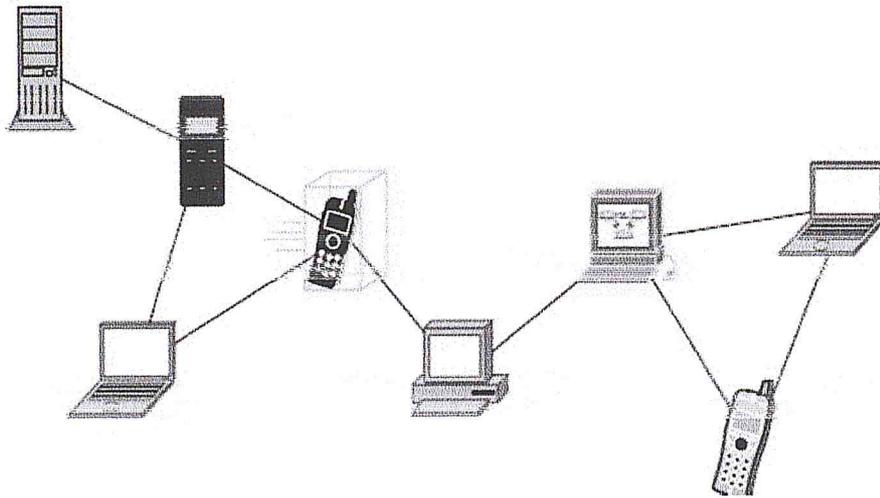


Figure 6: Un exemple de réseau Ad hoc.

Dans ce qui suit nous allons vous présenter un cas particulier de réseaux ad-hoc qui sont : les réseaux de capteur sans fils.

4 Le réseau de capteurs sans fil (RCSF)

4.1 Définition

Un réseau de capteur sans fil est un réseau ad-hoc avec un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds capteurs, variantes de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers. Dans ces réseaux, chaque nœud est capable de surveiller son environnement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil [6].

4.2 Architecture de communication d'un RCSF

Les nœuds capteurs sont habituellement dispersés dans une zone de capture. Chacun de ces nœuds a la possibilité de collecter les données et de les router vers une ou plusieurs stations de base (sink nodes). Ce dernier est un point de collecte de données capturées. Il peut communiquer les données collectées à l'utilisateur final à travers un réseau de communication, éventuellement l'Internet. L'utilisateur peut à son tour utiliser la station de base comme passerelle, afin de transmettre ses requêtes au réseau. Cette architecture [7] est illustrée dans la Figure 7.

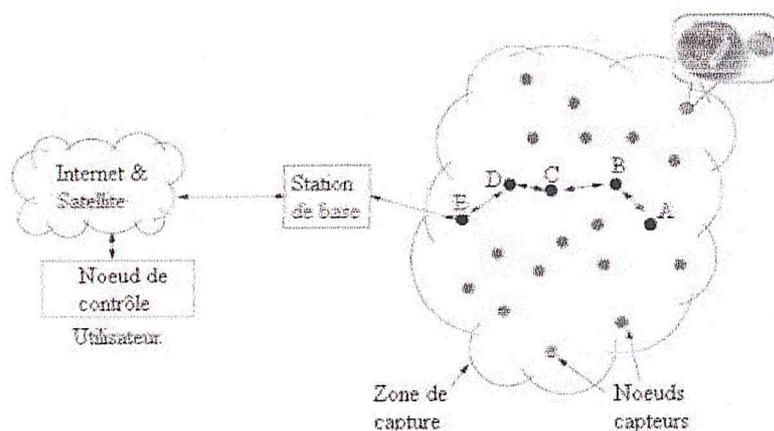


Figure 7: Architecture de communication d'un RCSF

4.3 Les caractéristiques d'un réseau de capteurs

Les réseaux de capteurs sans fil ont plusieurs caractéristiques communes avec les réseaux ad-hoc comme la nature du réseau. Cependant, plusieurs différences existent entre les deux types de réseaux comme le déploiement, les contraintes matérielles....etc. Parmi les caractéristiques [10] des réseaux de capteurs on trouve:

❖ **Densité de déploiement**

La nature de l'application joue un rôle important dans le déploiement des réseaux de capteurs. Une des motivations de cette caractéristique est le faible coût des capteurs (relativement aux autres unités).

❖ **Energie limitée**

Dans un RCSF l'alimentation de chaque nœud est assurée par une source d'énergie limitée et généralement irremplaçable à cause de l'environnement hostile où il est déployé. De ce fait, la durée de vie d'un RCSF dépend fortement de la conservation d'énergie au niveau de chaque nœud.

❖ **Communication**

Les nœuds communiquent entre eux via des liaisons radiofréquences au sein du réseau, et fonctionnent avec le mode de communication par diffusion.

❖ **Absence d'adresse**

Les nœuds dans les réseaux sans fil classiques sont identifiés par des adresses IP. Cependant, cette notion n'existe pas dans les RCSFs car les nœuds n'ont pas d'identifiants ou d'adresse IP.

❖ **Topologie**

La topologie des réseaux de capteurs change d'une manière dynamique. Le nombre de nœuds capteurs déployés est très considérable (des centaines ou des milliers) selon le type d'application. Ces nœuds collaborent ensemble afin d'atteindre un objectif commun.

❖ **Interférences**

Les liens radio ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence, ou utilisant des fréquences proches, peuvent interférer et causer aussi la perte des messages.

4.4 Le capteur sans fil

4.4.1 Définition

Les capteurs sont des dispositifs autonomes de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées. Ils sont capables de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteur, unité de traitement) sur une distance limitée à quelques mètres.

Un nœud de capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie comme illustre dans la figure.9, Il peut contenir également, selon son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation global (Global Position System GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). On peut même trouver des micro-capteurs, un peu plus volumineux, dotés d'un système mobilisateur chargé de déplacer le micro-capteur en cas de nécessité.

4.4.2 Architecture d'un capteur sans fil

Les capteurs sans fil considérés ici sont conçus comme de véritables systèmes embarqués, dotés de moyens de traitement et de communication de l'information, en plus de leur fonction initiale de relever des mesures. Ils représentent une révolution technologique des instruments de mesure, issue de la convergence des systèmes électroniques miniaturisés et des systèmes de communication sans fil. Comme cela est illustré figure.8. Un capteur sans fil est composé [3], fondamentalement, de quatre unités élémentaires :

- **Unité de Captage :**

Ce composant est l'unité qui contient le ou les capteurs embarqués sur le nœud. Habituellement, un convertisseur analogique-numérique (CAN) convertit les signaux provenant des capteurs (signaux analogiques) en signaux interprétables par l'Unité de Traitement (signaux numériques).

- **Unité de Traitement :**

Elle est généralement constituée d'un microcontrôleur dédié et de la mémoire. Cette unité fournit aux capteurs la capacité d'exécuter des calculs sur les données et les conserver selon un scénario programmé. Bien que ce ne soit pas obligatoire, il est souhaitable qu'il existe des moyens de reprogrammer facilement les capteurs dans le cas d'un changement dans les exigences de l'application.

- **Unité de Communication :**

Elle est le plus souvent constituée d'un transcepteur radio qui fournit au Capteur la capacité de communiquer avec les autres au sein d'un réseau. Elle met en œuvre des protocoles de communication dépendant de la technologie utilisée (par exemple 802.11, 802.15.1, 802.15.4, etc. pour les technologies sans fil), tandis que les protocoles de plus haut niveau (routage, localisation, etc.) sont mis en œuvre dans l'Unité de Traitement. Certaines technologies radio permettent de changer la fréquence et la puissance de transmission.

- **Unité de Puissance :**

Comme il est souhaitable de s'affranchir de toute connexion par câble, le capteur doit disposer de sa propre source d'énergie qui alimente le reste des unités. Cette unité se trouve généralement sous la forme de batterie standard de basse tension.

En fonction des applications pour lesquelles ils sont conçus, les capteurs sans fil pourraient également avoir d'autres modules, comme une Unité de Localisation, afin d'identifier leur position géographique, par exemple en utilisant un récepteur GPS ou une technique de triangulation. Certaines applications pourraient aussi avoir besoin de capteurs équipés d'un Mobilisateur pour qu'ils puissent se déplacer. Enfin, s'il est nécessaire qu'un nœud soit maintenu en activité pendant une très longue période de temps, un Générateur de Puissance, tel que des cellules solaires, serait utile afin de tenir le nœud alimenté électriquement sans avoir à changer ses batteries.

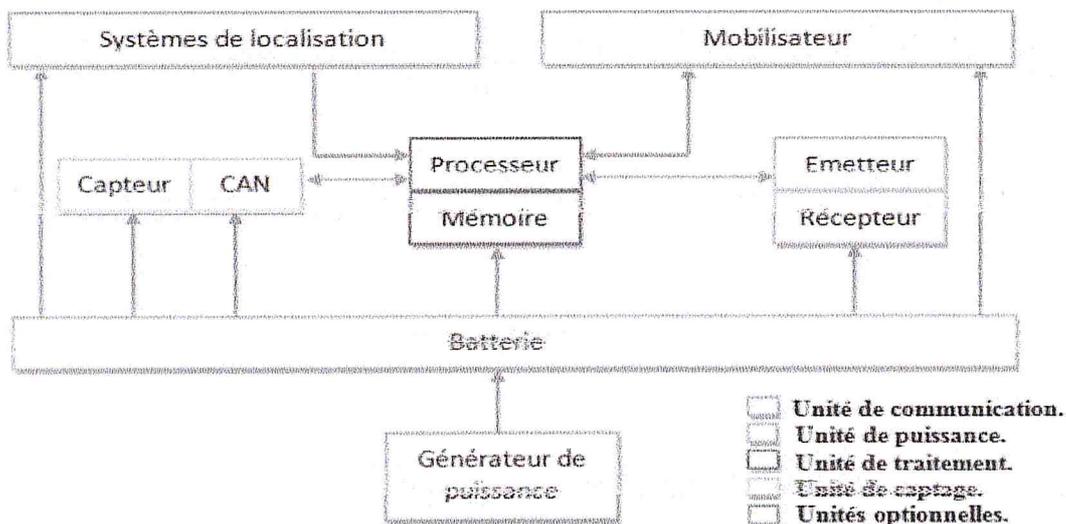


Figure 8 : Architecture générale d'un nœud capteur

4.5 Les réseaux de capteurs visuels sans fil

4.5.1 Introduction

Le développement des micros caméras et microphones a observé une forte évolution au cours de la dernière décennie, avec les évolutions des téléphones mobiles. Ces dispositifs deviennent de plus en plus petits et fournissent de plus en plus de performances en termes de rapidité et de qualité du signal. Jusqu'à il y a quelques années, l'usage d'un appareil photo impliquait la connexion d'un périphérique attaché au téléphone mobile. Aujourd'hui, nous trouvons ces micros caméras embarquées dans pratiquement tous les téléphones cellulaires et les assistants numériques personnels, sans augmentation significative du coût de l'équipement, de son poids et de sa forme.

Les réseaux sans fil n'ont pas été en dehors de ce progrès et aujourd'hui, nous pouvons voir des micro-caméras CMOS, sous la forme de cartes de capteurs compatibles avec des nœuds sans fil. Cela a permis la naissance d'un nouveau type d'applications utilisant des réseaux de capteurs sans fil multimédia.

La conservation de l'énergie est un problème fondamental dans les réseaux de capteurs sans fils, en effet les nœuds du réseau ont une durée de fonctionnement limitée à la capacité de leur batterie. Pour les applications engageant des capteurs d'image, ce problème de l'énergie est très largement accentué par la dimension de l'information transportée, la taille des images en comparaison des

valeurs scalaires classiques (une mesure de température, par exemple) étant supérieur de plusieurs ordres de grandeur.

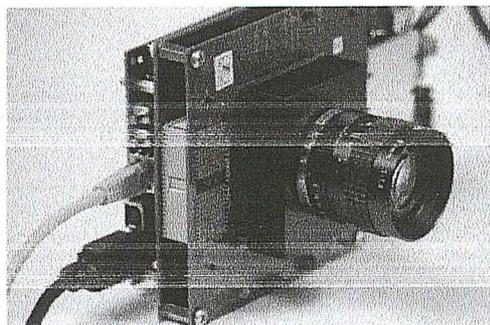


Figure 9: Nœud capteur visuel

4.5.2 Applications

Parmi les nombreuses applications potentielles des réseaux de capteurs multimédia, celles utilisant des capteurs d'image sont appréciables pour tout ce qui concerne la reconnaissance, la localisation et le dénombrement d'objets par la vision.

D'autres applications n'ont pas besoin directement d'images, mais la prise d'image peut servir à compléter et enrichir les mesures initiales. La surveillance des feux de forêt en constitue un exemple. Ce type d'application collecte des mesures de température pour détecter les départs de feux, mais la prise d'image va aider à avoir une idée plus précise de la situation.

Dans les cas mentionnés, les mesures de données scalaires vont nous aider à obtenir une certaine idée de ce qu'il se passe sur le terrain, mais la visualisation directe d'images permettra une classification plus efficace du phénomène étudié. Il existe de nombreuses possibilités d'application des réseaux de capteurs d'image dans des scénarios réels. Voici des exemples

4.5.3 Capteur d'image

Les capteurs d'image de faible consommation d'énergie ont fait l'objet de grands progrès au cours des dernières années. En réponse à la forte demande du marché, nous pouvons trouver des capteurs d'image de plus en plus petits et de résolutions de plus en plus grandes, destinés principalement à être intégrés dans les téléphones portables, les ordinateurs portables, et les PDAs. Cependant, ces dispositifs sont dotés de ressources importantes en termes de mémoire et vitesse de calcul. Les développements ont été centrés sur l'offre de meilleures qualités d'image et de taux de compression plus élevés puisque la demande des utilisateurs porte surtout sur ces aspects. L'autonomie en énergie est aussi importante, mais c'est de l'ordre de la journée.

Dans les réseaux de capteurs sans fil de vision, comme dans les réseaux de capteurs en général, le problème de la consommation d'énergie est d'un autre ordre de grandeur, les nœuds devant avoir une autonomie de l'ordre du mois, voir de l'année. Dans beaucoup d'applications, la résolution des images n'a pas besoin d'être très élevée. Pour compter des œufs dans un nid par exemple, une image de 64x64 pixels sur 16 ou 32 niveaux de gris est suffisante. Selon le travail effectué, les nœuds de capteurs d'image doivent avoir une capacité de calcul et de mémoire très importante, répondre à des contraintes de temps réel, et avoir une unité de communication haut débit, tout en consommant peu d'énergie.

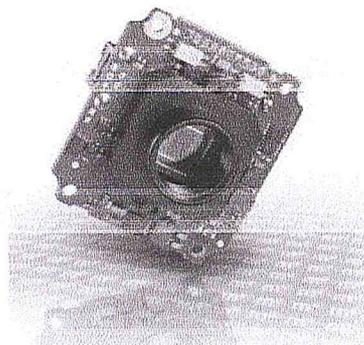


Figure 10 : unité de captage visuel

4.6 Comparaison entre les RCSF et les réseaux Ad hoc

Ce tableau présente une comparaison entre les réseaux de capteurs et les réseaux ad hoc:

Tableau 1 : comparaison entre *ad hoc* et *RDSF*

<i>Réseaux de nœuds capteurs (RCSF)</i>	<i>Réseaux Ad hoc</i>
1. Objectif ciblé	1. Générique / communication
2. Les nœuds collaborent pour remplir un objectif	2. Chaque nœud a son propre objectif
3. Flot de données « Many-to-one »	3. Flot « Any-to-any »
4. Energie est un facteur déterminant	4. Débit est majeur
5. Utilisation du broadcast	5. Communication point à point

4.7 Applications des réseaux de capteurs sans fil

Les applications des réseaux sont très nombreuses avec des impacts importants sur des domaines très variés comme l'industrie, la recherche, l'environnement ou la médecine. Parmi les domaines où ces réseaux peuvent offrir les meilleures contributions, nous citons les domaines suivants :

4.7.1 Application militaire

Comme dans le cas de plusieurs technologies, le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. Parmi les applications militaires auxquelles les réseaux de capteurs peuvent être appliqués :

Reconnaissance et surveillance du champ de bataille, ciblage, le contrôle des forces, équipement et munition, estimation des dégâts [11] ,(Juste après ou avant une opération militaire on collecte des informations liées au recensement et à l'estimation des dégâts), détection et reconnaissance des attaques nucléaires, biologiques et chimiques (la détection précise et instantanée des agents chimiques pouvant être utilisés par les forces opposées)...etc.



Figure 11: Un service militaire utilisant les RCSF

4.7.2 Application médicale

Les réseaux de capteurs peuvent être très utiles dans le domaine médical, ils peuvent par exemple: [12] fournir des interfaces d'aides aux handicapés, le contrôle des médecins et des patients dans l'hôpital. Certains envisagent d'implanter des senseurs dans le corps humain. Ce qui permettrait de contrôler l'état de santé de patients et ainsi d'adapter leur traitement, de prévenir de la dégradation de leur état de santé et par conséquent d'être capable d'anticiper une hospitalisation en urgence. Mais ceci n'est pour l'instant qu'une utilisation future qui dépend encore grandement des progrès à venir de cette technologie. On trouve parmi les applications possibles : la télésurveillance des informations physiologiques humaines, le Suivi et la surveillance des médecins et des patients au sein de l'hôpital, l'administration des médicaments.

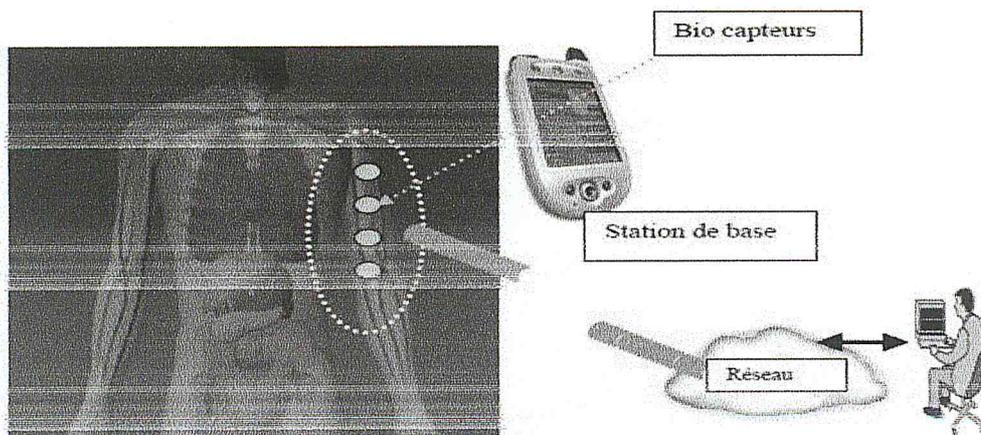


Figure 12: Application des RCSF dans le domaine de la médecine

4.7.3 Application dans les maisons

On peut citer, l'automatisation des maisons (des nœuds capteurs intelligents peuvent être intégrés dans les appareils électroménagers) ; les environnements intelligents : Plusieurs exemples de projets de conception des environnements intelligents ont été réalisés, nous pouvons citer, par exemple, le laboratoire Labscape de biologie cellulaire à l'université de Washington.

4.7.4 Applications environnementales

Les applications d'environnement sont diverses, nous pouvons citer par exemple [13] le contrôle des aspects environnementaux qui peuvent affecter les récoltes et le bétail (grâce à l'habilité des réseaux de capteurs à surveiller les taux de pesticides dans l'eau potable, le degré d'érosion du sol, et le niveau de pollution de l'air en temps réel) ; les macro instruments utilisés pour la surveillances des

terrains à grande échelle et les explorations planétaires ; la détection chimique et biologique ; la détection des incendies dans les forêts ; les travaux de recherche météorologiques et géophysiques ; la détection des inondations ; les études de pollution et la schématisation de la bio-complexité de l'environnement [14] (les capteurs ont la possibilité d'être connectés à Internet pour permettre aux utilisateurs distants d'observer et surveiller constamment la bio-complexité de l'environnement).

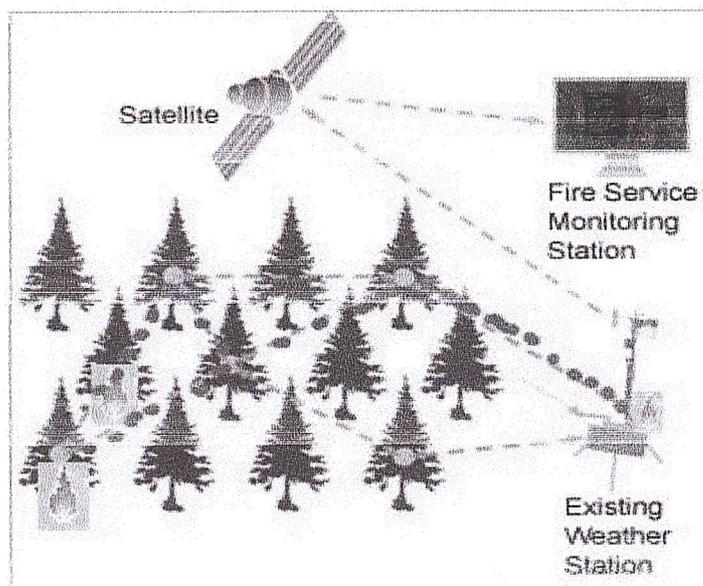


Figure 13: la détection des incendies dans les forêts

4.7.5 Applications à la sécurité

Un réseau de capteurs de mouvements peut constituer un système d'alarme distribué qui servira à détecter les intrusions sur un large secteur. Déconnecter le système ne serait plus aussi simple, puisqu'il n'existe pas de point critique. La surveillance de voies ferrées pour prévenir des accidents avec des animaux ou des êtres humains peut aussi être une application intéressante des réseaux de capteurs. [14] La protection des barrages pourrait être accomplie en y introduisant des capteurs. Aussi, la détection prompte de fuites d'eau permettrait d'éviter des dégâts. Les êtres humains sont conscients des risques et attaques qui les menacent. Du coup, ils mettent à disposition toutes les ressources humaines et financières nécessaires pour leur sécurité. L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité pourrait diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux, et à la protection des êtres humains, tout en garantissant de meilleurs résultats.

4.7.6 Applications à la gestion du trafic routier et du stationnement

Un réseau de capteurs de caméras pourrait être utilisé dans un parking pour gérer automatiquement le stationnement des voitures, [15] de même des capteurs pourraient être placés dans les entrées/sorties, des autoroutes et des grandes villes pour réaliser des statistiques sur les flux de véhicules et peuvent être déployés pour le suivi et le contrôle de la circulation routière. Une autre application est celle de la gestion des feux de signalisation dans les intersections de façon dynamique. Des algorithmes d'analyse d'images peuvent être utilisés pour faire le dénombrement des véhicules ou des personnes pour estimer le niveau de trafic en fonction des heures de la journée.

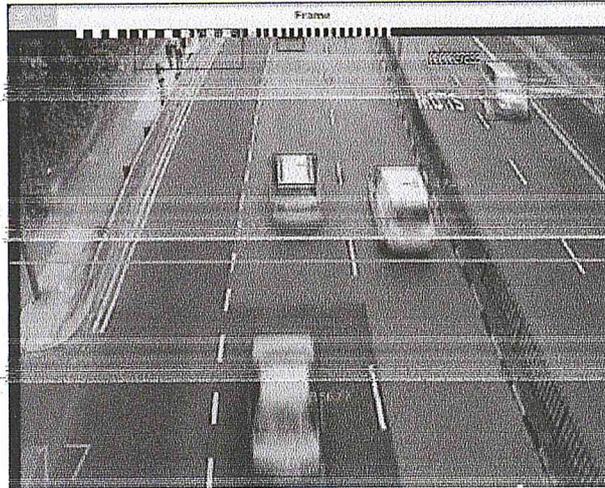


Figure 14 : Le calcul de nombre de passage de véhicules avec une caméra

5 Conclusion

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant vu la diversité de ces applications : sécurité environnementale, médicale et militaire et même dans le domaine du transport.

Dans ce contexte, nous avons donné dans le présent chapitre un aperçu sur les réseaux sans fils puis nous avons présenté plus en détails les réseaux de capteurs sans fils ainsi que leur architecture de manière générale et leurs domaines d'application.

Dans le chapitre qui suit, nous allons pénétrer dans le vif du sujet en passant en revue les différentes technologies utilisées dans la surveillance et la gestion du trafic routier.

CHAPITRE –II–

Solutions de détection et de surveillance du trafic

A. Trafic routier

1 Introduction

Dans le cadre de l'amélioration du réseau routier existant devenue une priorité, une gestion de trafic efficace est nécessaire. Cela passe entre autres par la mise en place de stratégie moderne de régulation dynamique de la circulation qui nécessite une acquisition de données en temps réel.

Dans ce chapitre nous allons commencer par étudier les technologies offertes par les Systèmes de transport Intelligent permettant la surveillance et la gestion du trafic routier. Par la suite nous allons expliquer les raisons et les motivations de notre choix d'utilisation des réseaux de capteur ultrason sans fil.

2 Les technologies de surveillance de trafic routier

Les technologies de surveillance de trafic routier peuvent être classées en trois catégories globales selon leur type d'installation, et leur mode de fonctionnement [16]. Nous retrouvons ainsi :

- Les technologies embarquées aux véhicules ;
- Les technologies intrusives qui nécessitent une installation et une intervention sur la route à surveiller.
- Les technologies dites non-intrusives qui regroupent plusieurs outils autonomes qui peuvent se mettre en bord ou au-dessus des routes sans nécessiter des travaux sur celles-ci et qui peuvent être soit mobiles ou fixes.

2.1 Les technologies embarquées

Ce sont un ensemble de systèmes informatiques embarqués sur les véhicules eux même et qui peuvent fonctionner en réseau sans nécessiter aucune intervention sur les routes à surveiller.

Parmi les technologies les plus connues de cette catégorie, nous pouvons trouver : le système global de navigation satellitaire (En anglais GPS pour : Global Positioning System), et les systèmes basés sur les réseaux de téléphone mobile

2.1.1 Système Global de Navigation par Satellite (GNS)

Dans ce système, chaque véhicule doit avoir un badge, ce badge comporte un module de GPS (Global Positioning System) et une donnée sur la classification du véhicule par exemple numéro des axes [2]. Le véhicule se localise grâce au module GPS du badge et il est enregistré sur le serveur. Quand le véhicule passe la station de péage, la donnée de classification du véhicule est déclarée

Une telle technologie nécessite au préalable l'existence d'un réseau satellitaire d'infrastructure sophistiqué et coûteux et nécessite également que les véhicules soient équipés de systèmes embarquer modernes ce qui rend cette solution très peu utilisée dans le monde.

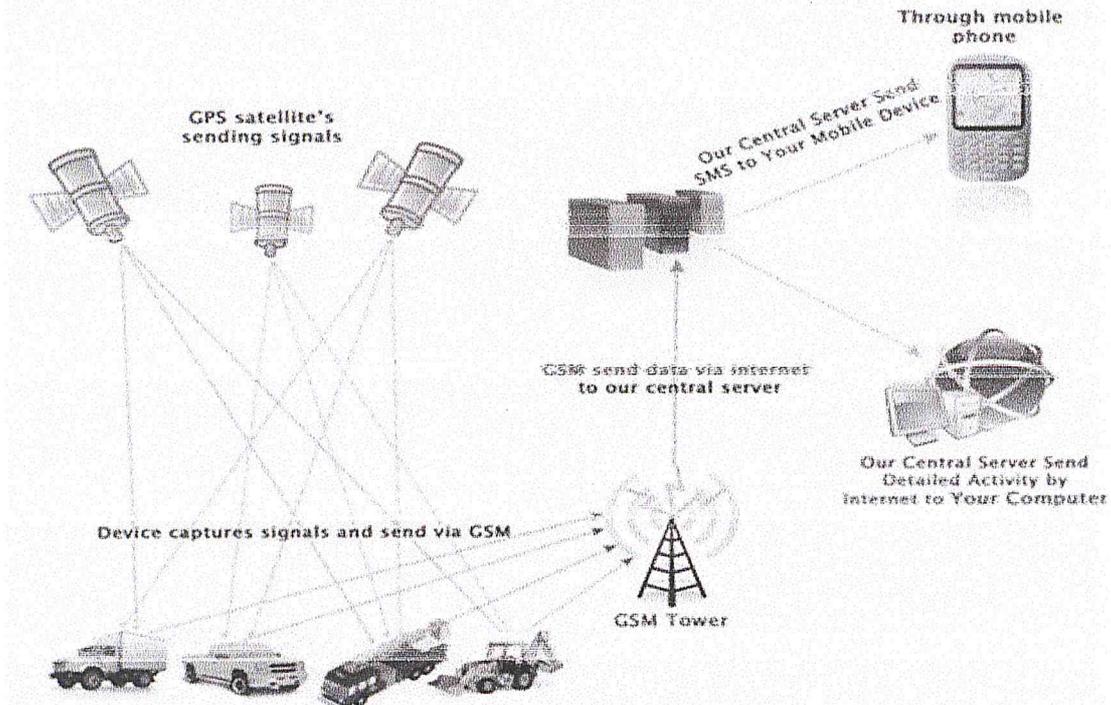


Figure 15: Schéma d'un réseau GNS

2.1.2 Système de téléphone cellulaire

Un téléphone cellulaire est installé dans chaque véhicule, le véhicule est localisé grâce à la communication fréquente entre le cellulaire du véhicule et la station de base (point d'accès) du réseau (voir Figure 16).

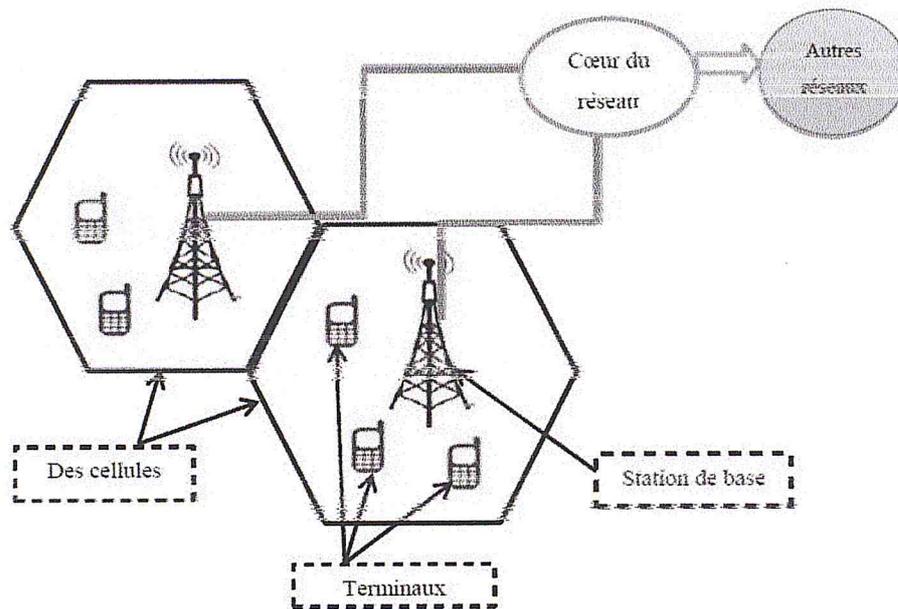


Figure 16 : Schéma d'un réseau cellulaire

Chaque station de base gère les transmissions à l'intérieur d'une cellule ou la propagation des ondes électromagnétiques est assurée. L'interface entre la station de base et les terminaux mobiles

situé à l'inférieur de sa cellule s'effectue par lien radio. A l'inverse, l'interface entre les stations de base s'appuie sur une connexion filaire généralement très fiable et à haut débit. Les stations de base sont reliées à une unité de commande couramment appelée « cœur du réseau » qui assure le transfert d'informations entre les différentes stations de base et éventuellement vers d'autres réseaux si nécessaire. Dans cette architecture, un terminal mobile ne peut être connecté qu'à une seule station de base à un moment donné et il communique alors exclusivement à travers la station de base à laquelle il est directement rattaché. Il peut également changer de cellule, la gestion du passage d'une cellule vers une autre étant assurée par le cœur de réseau comme indiqué sur la figure.16.

Le prix peu cher ainsi que l'installation facile du téléphone cellulaire sur le véhicule sont les avantages de ce système. De plus, l'infrastructure du système comme la station de base et le compte d'utilisateur du terminal mobile existent déjà. Mais chaque station de base gère les transmissions de nombreux terminaux cellulaires dans sa zone d'opération, donc le fonctionnement en zone mal desservie est discutable.

2.2 Les technologies intrusives

Les technologies intrusives sont les outils les plus utilisées dans le monde à nos jours pour la réalisation de système de surveillance et de gestion de trafic routier.

Elles sont dites intrusives car elles sont installées sous les chaussées des routes surveillées et nécessitent des interventions sur celle-ci ainsi que des maintenances régulières ce qui constitue d'ailleurs leur inconvénient majeur.

2.2.1 Les capteurs à boucles inductives

➤ *Principe de fonctionnement*

Ce capteur intrusif est composé d'une ou de plusieurs boucles inductives dont la forme la plus répandue en Europe est le rectangle ainsi que d'une queue de boucle. Chaque boucle est constituée de plusieurs spires (3 pour le standard SIREDO) de fil de cuivre multibrins étamé d'une section de l'ordre de 1 à 2 mm² (1,34mm² pour le standard SIREDO). Le fil utilisé présente un revêtement PVC hautement isolant. Suivant la forme de la boucle, ses dimensions, le nombre de spires, sa profondeur d'enfouissement et la section du fil utilisé, les résultats des détections seront différents. La queue de boucle est la portion de la paire de fils située entre l'extrémité de la boucle et l'unité de détection. Cette paire de fils est torsadée et blindée à raison de 10 spires aux mètres pour éviter les champs magnétiques perturbant. La boucle est placée en chaussée à 7cm (standard SIREDO) en dessous de l'enrobé ou du rez de la dalle béton. Un signal électrique sinusoïdal de quelques dizaines de mV est appliqué aux bornes de la boucle électromagnétique à une fréquence entre 50 et 150kHz. Cette tension induit un champ magnétique rayonnant autour la boucle et au-dessus de la chaussée (circuit résonnant).

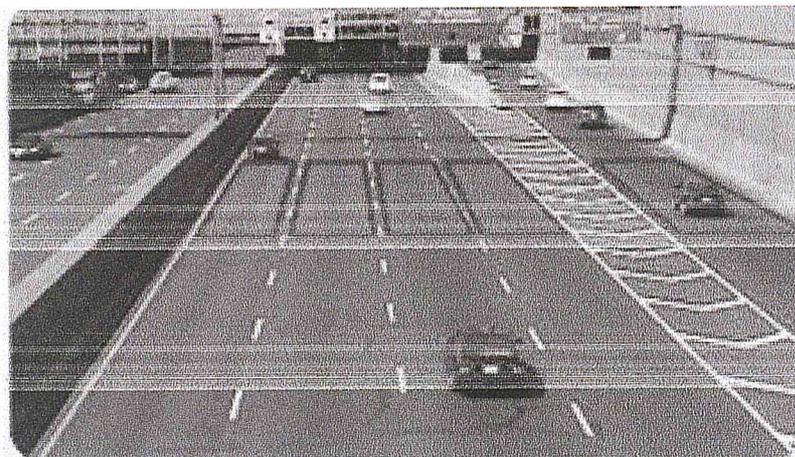


Figure 17: Structure du système avec une boucle inductive et multi-boucles inductives

A chaque passage d'un véhicule au-dessus de la boucle, la masse métallique en mouvement du véhicule perturbe le champ magnétique rayonnant, ce qui a pour effet de modifier le courant induit de la boucle et donc la fréquence du signal électrique émis. Ce décalage de fréquences est convertit en tension à l'aide d'une boucle à verrouillage de phase. Cette dernière est seuillée pour fournir un signal « tout ou rien » directement lié à la présence du véhicule. A l'aide de deux boucles inductives, il est possible de déduire la vitesse du véhicule ainsi que sa longueur. Des boucles plus étroites permettent de déduire la silhouette de chaque véhicule en détectant leurs essieux.

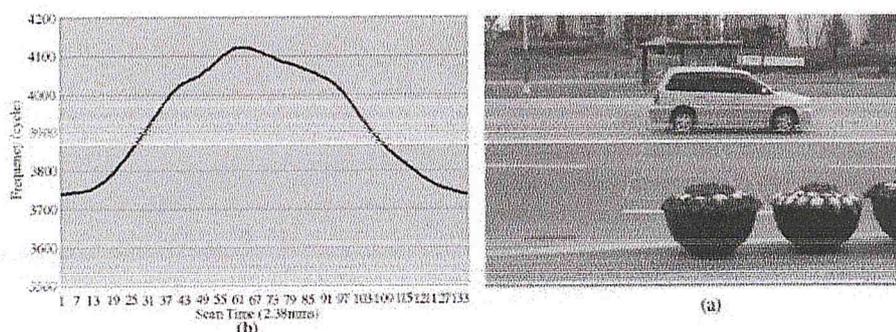


Figure 18: Changement de fréquence de la boucle pendant le passage d'un véhicule sur la Boucle inductive : a) Véhicule passant sur la boucle inductive ; b) Changement de fréquence Correspondante

➤ **Mesures disponibles**

Débits, vitesses, longueur, silhouettes, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire.

➤ **Limites de fonctionnement**

Facteurs perturbant les détections :

- Champs magnétiques.
- Véhicules circulant à basse vitesse (inférieure à 5km/h).
- Véhicules très proches les uns des autres et remorques.
- Véhicule présentant une garde au sol important.
- Très petit gabarit de véhicules.

➤ **Technologies connexes**

Magnétomètres.

2.2.2 Les capteurs « magnétomètres » en chaussée

➤ *Principe de fonctionnement*

Ce capteur intrusif intègre de très petites selfs pouvant être réalisées sur des circuits imprimés de très petite taille. Il fonctionne grâce à une analyse de la variation du champ magnétique terrestre causée par le passage des véhicules (comme une boussole). Le signal délivré par le capteur est un signal électrique proportionnel aux variations du champ magnétique terrestre sur les 3 axes x , y et z . Une de ses particularités réside donc dans sa petite taille (quelques centimètres).

De forme cylindrique en général, il est souvent posé en chaussée via un petit carottage à quelques centimètres en dessous de l'enrobé. Un seul capteur posé en milieu de voie permet de détecter la présence d'un véhicule. Tout comme pour les boucles inductives, plusieurs capteurs posés à plusieurs mètres d'intervalle sur le profil en long de la chaussée permettent de déduire d'autres natures de mesure (vitesses, etc.). Plusieurs capteurs posés suivant le profil en travers de la chaussée permettent de mesurer une « signature magnétique » de chaque véhicule. La liaison de ce type de capteur avec son point de collecte est réalisée en général en mode « sans fil » à l'aide d'une liaison radio très basse consommation. Par ailleurs, les mesures des magnétomètres sont également influencées par la température de chaussée. Cette influence est prise en compte dans le traitement des signaux électromagnétiques.

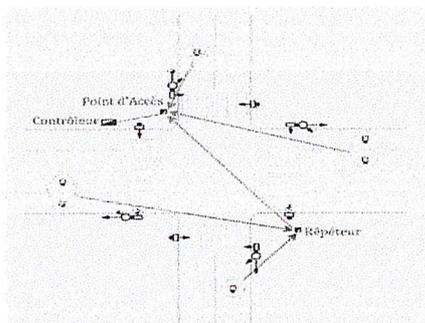


Figure 19: Structure du système avec des capteurs magnétiques.

➤ *Mesures disponibles*

Débits, vitesses, longueur, silhouettes, signatures magnétiques de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire.

➤ *Limites de fonctionnement*

Facteurs perturbant les détections :

- champs magnétiques.
- véhicules circulant à basse vitesse (inférieure à 10km/h).
- véhicules très proches les uns des autres et remorques.
- véhicule non centrés dans la voie.
- véhicule présentant une garde au sol important.
- très petit gabarit de véhicules.

➤ *Technologies connexes*

Boucles inductives.

2.2.3 Les capteurs à effet « Piézo-électrique »

➤ *Principe de fonctionnement*

Ces capteurs intrusifs présentent la propriété physique qu'ont certains matériaux diélectriques de générer une tension sous l'effet d'un déplacement de charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique. Cette tension électrique U est proportionnelle à la pression exercée sur le capteur (force que nous appellerons pression P par la suite). Trois types de capteurs sont utilisés aujourd'hui pour cette technologie : les capteurs céramiques, les capteurs quartz et les capteurs polymères. Le capteur piézo-électrique à base de céramique est très utilisé aujourd'hui dans le domaine du trafic routier. Ce capteur est conditionné sous la forme d'un câble coaxial comportant une gaine et une âme conductrice en cuivre. Ce câble est inséré de manière transverse dans la chaussée, il est enrobé dans un barreau de résine pour qu'il conserve sa rigidité, la tension électrique créée dans la céramique lorsque la force d'impact des pneus d'un véhicule lui est appliquée est mesurée entre l'âme et la gaine. L'effet piézo-électrique est observable également sur des matériaux autres que la céramique, et notamment sur les polymères à l'aide de films de matière plastique à haute résistivité et le quartz qui possède cette propriété naturelle.

➤ *Mesures disponibles*

Ce type de capteur permet de mesurer le poids à l'essieu, au groupe d'essieu, le poids total, la silhouette, le débit, la vitesse, la distance inter-essieux et la position du véhicule dans la voie.

➤ *Limites de fonctionnement :*

- Facteurs perturbant les mesures
- Véhicules très proches les uns des autres (et remorques).
- Véhicules mal positionnés dans la voie et très petit gabarit de véhicules présentant de faibles forces d'impact.

➤ *Technologies connexes*

Capteurs résistifs.

2.2.4 Les capteurs à Tubes pneumatiques

➤ *Principe de fonctionnement*

Il s'agit de capteurs faiblement intrusifs. Les capteurs à tubes pneumatiques sont utilisés exclusivement dans le cadre de recueils de données de trafic temporaires. Ces capteurs se présentent, pour les plus courants, sous la forme de tubes pneumatiques en caoutchouc noir d'un diamètre intérieur de 6mm pour un diamètre extérieur de 15mm. Plusieurs dimensions et types de tubes sont proposés par les fabricants : 6x12mm, 6x13mm, 6x15mm, 6x18mm, en format rond, demi-rond ou encore ronds avec une partie centrale neutralisée pour éviter les interventions de fixation de colliers entre deux chaussées. Les tuyaux sont attachés à l'aide de collier et de tire-fond sur la chaussée dans l'enrobé. Le principe de fonctionnement est simple, les tuyaux transmettent des variations de pression d'air, provoquées par le passage des essieux des véhicules, vers des vannes ou détecteurs pneumatiques qui transforment ces variations de pression en signaux électriques. Ceux-ci sont orientés vers le circuit d'entrée du compteur électro-pneumatique qui va les filtrer, les dater et les comptabiliser. Chaque compteur peut être relié à 1 ou 2 tubes qui vont permettre de recueillir : le nombre essieux avec 1 seul tube, le nombre de véhicules, les vitesses et la distinction VL/PL avec

deux tubes espacés de 1 mètre. Tout véhicule présentant une distance inter-essieux de plus de 3,45 m sera considéré en PL.

➤ **Mesures disponibles**

Débits, vitesses et distinction VL/PL (deux classes).

➤ **Limites de fonctionnement**

- Les tubes pneumatiques sont sensibles à l'arrachage si leur installation est d'une durée importante (plus de 2 mois).
- Ils ne sont pas recommandés pour les routes à chaussées séparées et pour les axes ~~présentant un trafic journalier tous véhicules supérieurs à 10 000 v/j.~~
- Un fort trafic lourd (> 30%) accélère également le vieillissement des tubes ou leur arrachage.

➤ **Technologies connexes**

Capteurs hydro-acoustiques.

2.3 Les technologies non-intrusives

Les technologies non-intrusives utilisent des capteurs pour la détection de véhicules sans nécessiter une intervention sur les chaussées des routes pour les installer. Elles peuvent être installées sur le bord ou au-dessus de la route sans perturber la circulation des véhicules, comme par exemple ~~les radars à micro-ondes, les capteurs à infra-rouge, les capteurs magnétiques et les capteurs ultra-sons, les systèmes de surveillance vidéo.~~

2.3.1 Les capteurs à Infra-Rouge actifs et passifs

➤ **Principe de fonctionnement**

L'infrarouge est un rayonnement électromagnétique situé dans une région spectrale invisible à l'œil humain. Dans son application liée au recueil de données de trafic routier, ces capteurs sont à distinguer en deux grandes familles : les capteurs IR passifs dont le principe de fonctionnement est la réception selon une longueur d'onde choisie comprise dans la bande de longueur d'onde IR thermique ($3\mu\text{m} < \lambda < 15\mu\text{m}$), et les capteurs de type IR actifs basés sur le principe de l'émission et de la réception d'un faisceau modulé et dont la longueur d'onde est comprise dans la bande dite IR proche ($0,8\mu\text{m} < \lambda < 3\mu\text{m}$).

• Les capteurs IR passifs.

Ces capteurs sont composés de trois parties : un capteur pyroélectrique sensible au rayonnement infrarouge, une lentille de Fresnel - parfois associée à un miroir - chargée de faire converger les rayons sur le capteur, et une partie électronique dont le rôle est de traiter le signal issu du capteur. Cette technologie repose sur le fait, que tout corps porté à une température au dessus du zéro degré Kelvin dégage une énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Ainsi, le véhicule est un objet détectable puisqu'il émet une source de chaleur importante et notamment au niveau de son moteur et de son pot d'échappement. La cible est détecté lorsqu'elle émet une longueur d'onde incluse dans la plage de sensibilité du capteur. Ainsi, ce type de capteur permet la détection de ~~présence de véhicules, et proposent des applications variés telles que le comptage et la régulation du trafic, et la commande de feux tricolores.~~ Ces capteurs sont de type non-intrusif et, en fonction du besoin, sont installés en accotement ou en surplomb des voies de circulation.

- Les capteurs IR actifs.

Ces capteurs sont constitués d'une partie émettrice et d'une partie réceptrice. L'émetteur est une diode électroluminescente (DEL) qui émet un faisceau lumineux plus ou moins fin selon son application. Cet émetteur peut être un laser dont l'avantage est de pouvoir travailler dans un domaine proche du visible. En effet, le faisceau n'est pas visible pour l'usager puisque sa longueur d'onde cible est dans l'IR, pourtant le phénomène de dispersion de cette longueur permet de distinguer, lors du réglage de l'alignement du capteur, une partie visible du faisceau de couleur rouge. De plus, la directivité du faisceau issu d'une DEL laser garantit une précision de mesure notamment pour la vitesse. Le capteur IR actif est utilisé selon trois modes de détection : le mode vis à vis, le mode réflex et le mode de proximité. L'ensemble émetteur/récepteur est dissocié en deux modules en mode vis à vis, ou combiné dans un même boîtier en mode réflex (utilisation d'une surface réfléchissante) et en mode de proximité (réflexion du faisceau sur le véhicule). Cette technologie a plusieurs applications dans le domaine routier telles que la réalisation de barrières optiques, de télémètres, et de cinémomètres laser de contrôle routier.

- **Mesures disponibles**

- Capteur IR passif : débits, vitesses.
- Capteur IR actif : débits, vitesses, longueurs, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule.

- **Limites de fonctionnement**

- Les capteurs de type IR passif offrent une faible précision des mesures de vitesse et de débit.
- Pour les capteurs de type IR actif, le faisceau étroit du rayon lumineux émis ne permet pas de détecter tous les véhicules notamment les deux roues motorisés.
- Lorsque le mode de détection utilisé est en mode de proximité certains véhicules très sombres ne sont pas détectés.
- Le faisceau est également sensible à la pluie et particulièrement aux projections d'eau s'il est placé en bord de voie.

- **Technologies connexes**

Capteurs Laser.

2.3.2 Les capteurs acoustiques actifs (à Ultrasons)

- **Principe de fonctionnement**

Ces capteurs sont constitués de couples émetteurs / récepteurs à ultrasons (US) fonctionnant aux environs de 60 kHz, et placés au-dessus de la chaussée. L'émetteur envoie périodiquement un signal impulsionnel en direction de la chaussée. Ce signal est renvoyé par sa réflexion sur les véhicules passant ou sa réflexion sur la chaussée vers le récepteur. Ainsi, l'analyse du temps de parcours entre l'émission et la réception permet de détecter la présence ou le passage d'un véhicule. Associé à un analyseur, il est alors possible de représenter la forme du véhicule ou plus exactement le profil en long de ce dernier (par échantillonnage de point) et par le même de déterminer sa longueur. L'avantage de ce capteur est d'être non intrusif et d'avoir de bonne performance, spécialement en congestion. Ils sont couramment utilisés au Japon.

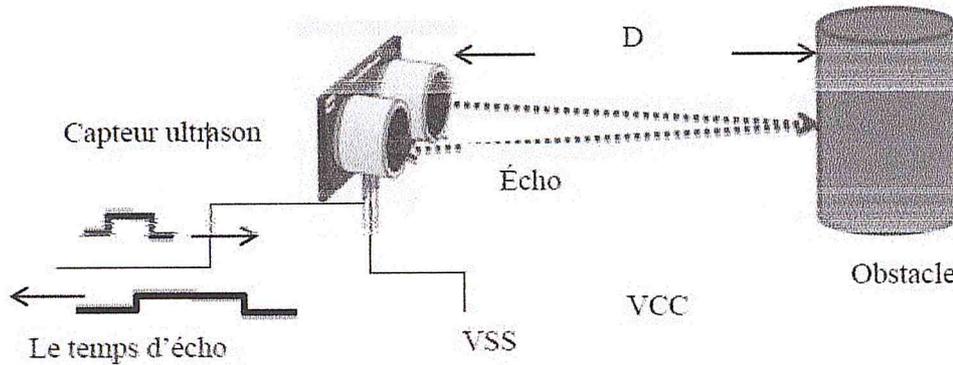


Figure 20 : Le principe des ultrasons

➤ **Mesures disponibles**

Débits, vitesses, longueurs et formes de véhicules, temps de présence, taux d'occupation, temps et distance inter-véhiculaire, distance capteur/véhicule.

➤ **Limites de fonctionnement**

- Faibles précision de la vitesse et du taux d'occupation.
- Non robuste aux conditions météo (brouillard et pluie) qui altère le fonctionnement et la précision.
- Ne fonctionne qu'en surplomb, nécessite un capteur par voie.

➤ **Technologies connexes**

Capteurs acoustique passifs.

2.3.3 Les capteurs vidéo

➤ **Principe de fonctionnement**

Le principe de base est de paramétrer sur l'image de la route des boucles virtuelles dont le comportement sera analogue aux boucles inductives (électromagnétiques) standards. A ceci près que ce n'est plus la masse métallique qui est détectée mais la présence de groupes de pixels. Afin d'améliorer les performances global du système, d'autres techniques de traitement d'image sont appliquées afin d'éliminer le bruit dans l'image, mais surtout de déterminer les mouvements des groupes de pixels, d'extraire les contours des objets, les reconnaître et les classifier via des processus de reconnaissance des formes. D'autres processus de traitement d'image comme l'extraction des ombres ou des halos et faisceau de phare viennent également renforcer la fiabilité de ses systèmes, spécialement pour le recueil de données précis par voie et le calcul de longueur de véhicule.

Les caméras utilisées pour l'acquisition des séquences d'images sont toutes matricielles. Dans le domaine visible, deux types de capteur sont utilisés, les CCD et les CMOS. De par leur nature, les capteurs CCD sont plus sensibles que les CMOS, mais ils sont aussi plus coûteux. Toutefois, le développement des applications vidéo et de la demande dans les capteurs rendent, de nos jours les capteurs CCD plus abordables tout en ayant bénéficié d'améliorations effaçant leurs défaut tels que la lecture séquentielle, ainsi, les fonctions de pilotage et de traitement sont plus facilement intégrable sur le support du capteur. De nos jours, les capteurs CCD permettent d'avoir de la caméra

HD en couleur. Toutefois, ces caméras sont réservées au cas où il y a un éclairage minimal de la scène.

Dans le cas où les caméras sont utilisées dans un environnement sombre, il est généralement choisi de travailler dans le domaine infrarouge non-visible. Les capteurs utilisés sont également de type CCD (mais sans filtre infra-rouge) et un illuminateur permet d'avoir une source de lumière infrarouge (non visible par l'œil humain) qui est diffusée sur la scène visée. C'est la réflexion des sources infrarouge qui permet de constituer une image en niveau de gris sur la caméra. Cette technique ne permet pas d'obtenir d'image couleur, mais permet de gagner de s'affranchir des conditions de luminosité en par des réglages auto-adaptatifs.

Une dernière technologie apparente sur le marché est la caméra dites jour/nuit (Day & night). Celles-ci ont des capteurs de type CCD, très sensibles, et on la particularité d'avoir un filtre infrarouge amovible. Ainsi la caméra peut faire une acquisition couleur lorsque les conditions lumineuses sont suffisantes et passer automatique (ou manuellement) en vision de nuit (niveau de gris) pour exploiter le domaine infrarouge pour garder une bonne sensibilité. Dans ce dernier cas, le fonctionnement peut être par les sources passives, par l'émission naturelle des objets et les faibles sources présentes, ou par une source active (illuminateur) qui leur est couplée. Toutefois, peu de (voir aucun) systèmes intègre des algorithmes de traitement d'image pouvant fonctionner à la fois dans les deux domaines dans le cadre du recueil de données de trafic.

➤ **Mesures disponibles**

Selon les matériels : débit tous véhicules, débits VL/PL, taux d'occupation, temps inter-véhiculaire, distance inter-véhiculaire et vitesse, par sens et par voie.

Le séquençement des mesures recueillies dépend du module de traitement électronique couplé au compteur.

Possibilité, selon les constructeurs, de distinguer les véhicules en quatre classes et de distinguer les 2RM et de donner des niveaux de qualification de trafic.

Possibilité également de mesurer les longueurs de queues, de repérer des trajectoires particulières (mouvements tournant) d'intégrer les fonctions de DAI (DAB, véhicule arrêté, contre-sens, ...) et de détecter les piétons.

➤ **Limites de fonctionnement**

Dans le cas des PL, il n'y a pas de distinction entre un camion et un autocar.

➤ **Technologies connexes**

Algorithmes de traitement d'image et vision par ordinateur.

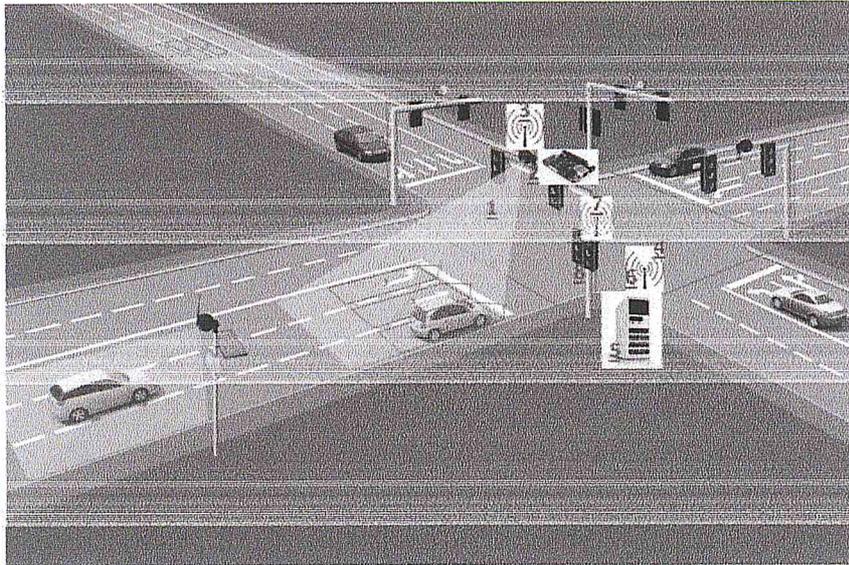


Figure 21: Exemple de Fonctionnement de la détection vidéo

1 : Détection des véhicules par la camera.

2 : Calcul nombre des véhicules à l'aide des Algorithmes de traitement d'image et vision par ordinateur utilisant une carte BeagleBoard.

3 : Émettre le nombre de véhicules en temps réel utilisant l'émetteur Arduino.

4 : reçoit le nombre de véhicules en temps réel utilisant récepteur Crossbow.

5 : gère les feux tricolores par le centre de control du trafic.

6 : Émettre l'état des feux tricolores.

7 : reçoit l'état des feux tricolores.

8 : transforment les feux tricolores à l'état courant.

B. PARKING

1 Introduction

Le contrôle automatique de la disponibilité des cellules dans un parking est une technique innovante qui joue un rôle très important dans la gestion du parking et le guidage automatique des véhicules aux places vides. L'utilité de cette technique est surtout remarquable quand il s'agit des parkings des grandes villes, des aéroports ou à côté des grandes surfaces commerciales.

La gestion automatique d'un parking peut être divisée en deux catégories : la première approche consiste à estimer la charge totale du parking en comptant le flux entrant et sortant des véhicules dans le parking. Alors que la deuxième approche que nous allons adopter est d'informer le conducteur de la disponibilité de chaque cellule dans le parking. Et donc, non pas seulement déterminer le nombre des places vides mais aussi de savoir quelles sont ces places vides.

2 Définition

Les marques utilisées pour matérialiser le stationnement au sol sont des lignes continues, des lignes discontinues de type T'2 et des marquages spéciaux pour les emplacements réservés ou présentant une spécificité [18].

3 Stationnement sur chaussée

Pour ce qui concerne le stationnement sur chaussée, les dimensions des places de stationnements ne sont pas précisées dans l'instruction interministérielle sur la signalisation routière, hormis en ce qui concerne les places réservées aux personnes handicapées. Les couleurs, la nature des lignes et des marques à apposer sont par contre précisées en fonction de la nature du stationnement : autorisé ou réglementé [18].

3.1 Marques utilisées

Les marques utilisées pour matérialiser le stationnement au sol sont des lignes continues, des lignes discontinues de type T'2 et des marquages spéciaux pour les emplacements réservés ou présentant une spécificité.

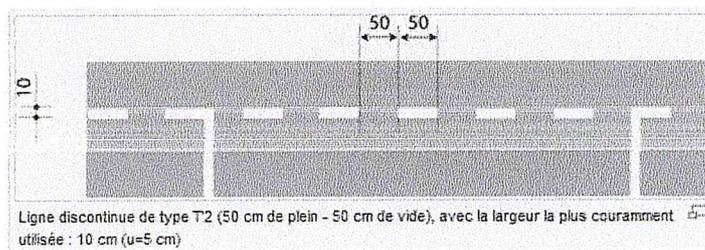


Figure 22: Marques utilisées.

3.2 Stationnement en épi ou en bataille

Dans le cas où le stationnement se fait en épi ou perpendiculaire, les limites sont matérialisées à l'aide des lignes de couleur blanches, continues de largeur 2u ou discontinues de type T2 de largeur 2u ou simplement amorcées.

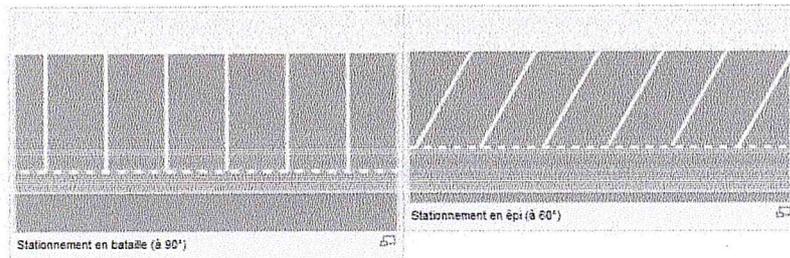


Figure 23: Stationnement en épi ou en bataille.

3.3 Stationnement longitudinal

Dans le cas où les limites de stationnement sont matérialisées, le schéma ci-après donne un exemple de marquage.

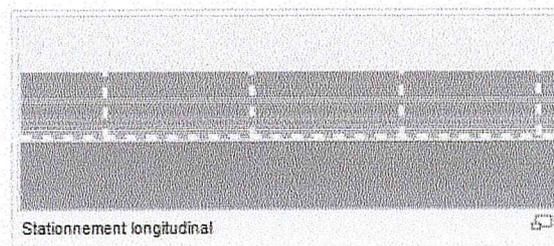


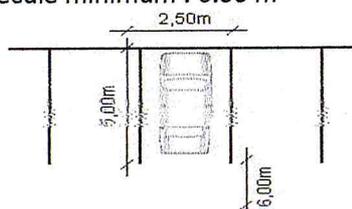
Figure 24: Stationnement longitudinal.

4 Dimensions

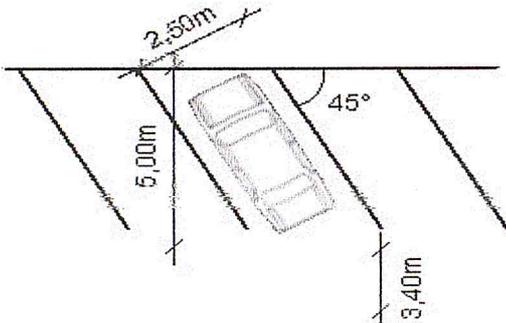
Le dimensionnement des places de stationnement constitue une question saillante lorsque l'espace disponible sur le sol est fini alors que la taille des voitures est élargie pour offrir un surplus de protection latérale.

Des associations d'automobiliste s'en airment. L'Association suisse des professionnels de la route et des transports, qui édicte les normes en matière de stationnement, entend se pencher sur la question lors de la prochaine révision des normes, dans quatre ans.

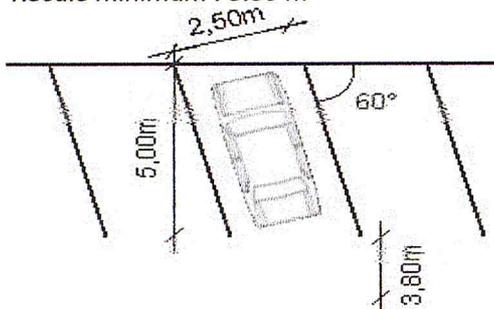
- Dimension d'un stationnement automobile en bataille.
 - Perpendiculaire à la voie.
 - Largeur : 2.50 m
 - Longueur : 5.00 m
 - Recule minimum : 6.00 m



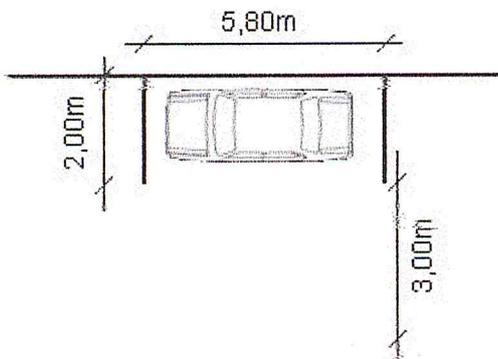
- Dimension d'un stationnement automobile en épis
 - Angle de 45° par rapport à la voie..
 - Largeur : 2.50 m
 - Longueur : 5.00 m à la perpendiculaire
 - Recule minimum : 3.40 m



- Dimension d'un stationnement automobile en épis
 - Angle de 60° par rapport à la voie.
 - Largeur : 2.50 m
 - Longueur : 5.00 m à la perpendiculaire
 - Recule minimum : 3.80 m



- Dimension d'un stationnement automobile en créneau
 - Parallèle à la voie.
 - Largeur : 2.00 m
 - Longueur : 5.80 m
 - Recule minimum : 3.00 m



5 Les différents types de Parking

5.1 Parking de surface

Se situe de plain-pied, à l'extérieur, sur l'espace public ou privé. Ce type de parking comprend le stationnement en voirie (places le long d'une rue, d'un quai, etc.) et les espaces dégagés à cette fin entre des bâtiments, ou établis sur des anciens champs, des anciens terrains vagues, etc.



Figure 25: Parking de surface.

5.2 Parking fermé ou souterrain

En ville ou sous les aéroports, sous les bâtiments de certaines zones d'activité, souvent sur plusieurs niveaux, ils permettent d'économiser le foncier.

Chaque niveau s'apparente à un parking classique, à la différence que l'air y est plus confiné et pollué, que le sol n'y est pas lessivé par les pluies, qu'il peut être recouvert d'un revêtement particulier et que l'on y retrouve des piliers à intervalles réguliers pour soutenir la structure. Des rampes permettent de passer d'un niveau à l'autre. Des ascenseurs ou des escaliers permettent aux occupants des véhicules, une fois ceux-ci garés, de remonter à la surface.



Figure 26: Parking fermé ou souterrain.

5.3 Parking à étages

Un parking à étages est un bâtiment construit en extérieur. Son mode de fonctionnement ressemble beaucoup à celui du parking souterrain à la différence qu'il ne demande pas de lourds travaux de creusement. Là aussi des rampes permettent de monter ou de descendre les étages en voiture, et il y a des ascenseurs et des escaliers pour les piétons.

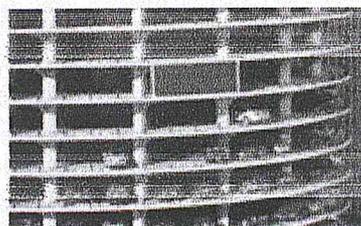


Figure 27: Parking à étages.

5.4 Parking-relais

Ce sont des parkings subventionnés par les collectivités et situé près des aéroports (Roissy Charles de Gaulle par exemple), port ou gare afin d'inciter l'utilisation de moyen de transport collectif.



Figure 28: Parking-relais.

6 Résolution possibles

Plusieurs systèmes ont été utilisés pour déterminer la disponibilité d'une cellule dans un parking, on peut citer par exemple, l'utilisation des capteurs ultrasoniques et magnétiques ou l'utilisation d'une caméra [17].

6.1 Les capteurs ultrasoniques et magnétiques

Chaque place de stationnement, est équipée d'un capteur qui détecte la présence des véhicules stationnés et la transmet en temps réel au système.

Deux systèmes existent actuellement :

6.1.1 Fiable et efficace

Des capteurs à ultrasons placés en hauteur au-dessus des places avec un voyant lumineux à diodes LED devant chaque place, qui indique aux usagers, en temps réel, les places disponibles (voyant vert) et occupées (voyant rouge). Cette technologie reste aujourd'hui de loin la plus fiable dans les parkings couverts. Pour que ce système soit efficace pour les usagers, les voyants à LED doivent être à haute luminosité et omnidirectionnels (visibles sur 360°) et pour être bien visibles dans tout le parking. Le montage en hauteur évite aussi tout risque de chocs ou de vandalisme sur les équipements.

6.1.2 Cas très particuliers

Des capteurs à induction magnétique placés au sol, qui transmettent l'information par radiofréquence formant un réseau de capteurs. La technologie RFID sur laquelle repose ce système sans-fil permet un comptage dans les Parkings à l'extérieur. Cette solution évite une partie des câblages, mais ne permet pas d'indiquer aux usagers les places libres dans les allées : sa fonction est donc d'indiquer le nombre total des places libres par zone et par allée sur des afficheurs. Mais l'installation de ces afficheurs de comptage en extérieur est complexe et nécessite des travaux de structure importants et onéreux.

Enfin le principe de détection de la variation de champ magnétique a une fiabilité limitée car il existe dans les parkings diverses sources de variations de champ magnétique qui créent des perturbations qui génèrent le plus souvent des erreurs de comptage.



Figure 29: Capture magnétique dans un parking.

La première technique des capteurs est très coûteuse : il faut un capteur pour chaque cellule du parking mais la deuxième solution ne nécessite qu'une caméra qui couvre tout l'espace du parking.

6.2 Caméra fixe

Parmi les résolutions possibles on trouve le système COINS (Car Park Occupancy Information System), Ce système particulier nécessite l'utilisation d'une procédure d'ensemencement manuel, c'est-à-dire en utilisant n'importe quel logiciel de retouche d'image comme MS Paint afin de planter des grains jaunes sur chaque lot de stationnement. Le but de cette procédure est de permettre à COINS algorithmme d'identifier automatiquement les locations de chaque espace de stationnement.

C. Motivation d'utilisation des réseaux de capteurs de vision :

1 Introduction

Après étude des différents systèmes de détection et classification des types de véhicules existants (Boucle inductive, Infrarouge, Camera, Magnétique, Ultrason), nous avons porté notre choix pour les capteurs de vision à cause de ses nombreux avantages et beaucoup moins d'inconvénient.

2 Détection vidéo et de surveillance du trafic

2.1 Analyse en temps réel

Les images vidéo, traditionnelles ou thermiques, sont analysées en temps réel pour une gestion plus efficace du trafic dans les tunnels, sur les autoroutes et dans les zones urbaines. Les feux tricolores peuvent être commandés en temps réel en fonction des flux de trafic observés. En cas d'incident, la détection rapide permet de faire intervenir rapidement les secours et d'avertir les autres usagers de la route de manière à éviter les sur accidents.

2.2 Détection vidéo

Voir et comprendre, du fait qu'elle combine les données numériques et une image visuelle, la détection vidéo se distingue de tous les autres systèmes de détection. Les informations visuelles affichées immédiatement à l'écran par un tel système sont très précieuses pour l'opérateur ou l'exploitant du trafic. Avec une image, ce dernier peut évaluer la situation et prendre les décisions appropriées.

2.3 Rentabilité

Les systèmes de détection vidéo sont des solutions très rentables pour la surveillance des flux de circulation. Les coûts d'installation sont faibles. Toutes les caméras peuvent être facilement installées sur des poteaux existants comme ceux des feux tricolores.

Comme toutes les installations se font hors-sol, aucun chantier n'est nécessaire. Aucun aménagement n'est nécessaire sur la route : inutile de la fermer au trafic ou de créer d'autres perturbations. Les zones de détection peuvent être facilement déplacées ou adaptées en cas de changement des conditions de circulation.

2.4 Efficacité et fiabilité

Les systèmes de détection et de surveillance vidéo sont utilisés partout dans le monde. Les exploitants de trafic apprécient leur haut niveau de détection des incidents. De plus, ces derniers sont détectés très rapidement. Cela se traduit par une faible DMD (durée moyenne de détection) et un bas taux de fausses alertes.

2.5 Une technologie éprouvée

Les exploitants de trafic du monde entier ont adopté la technologie de FLIR Intelligent Transportation Systems pour gérer les flux de trafic. Plus de 100.000 détecteurs vidéo sont opérationnels dans le monde, et répartis dans plus de 70 pays.

La DAI (détection automatique d'incident) de FLIR est installée dans plus de 800 tunnels. Plus de 750 km de tunnels sont surveillés en continu par nos systèmes.

Les solutions FLIR sont utilisées pour la gestion des feux tricolores de plus de 20.000 carrefours dans le monde.

3 Avantages essentiels de la détection vidéo

- Détection hors-sol
- Combinaison de données, d'alarmes et d'images vidéo
- Grande fiabilité
- Souplesse des configurations
- Détection sur une zone étendue
- Inutilité de fermer la voie pour l'installation et la configuration
- Faibles coûts d'installation et de maintenance
- Faible consommation d'énergie

4 Inconvénient de la détection vidéo :

- Le premier problème est que les ombres peuvent déformer beaucoup les objets.
- Dans le cas des PL, il n'y a pas de distinction entre un camion et un autocar.
- L'instabilité de la caméra due notamment aux vents, passage des PL ...

Cette technique n'a pas encore été utilisée dans la gestion du trafic routier, laquelle est très souvent utilisée dans le domaine Robotique.

Grâce à ce principe, facilité d'implémentation et d'utilisation et son prix bas, nous allons proposer un système de détection et classification du type de véhicules, notre système va être présenté par la suite.

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté Les différentes technologies de surveillance de trafic routier et la gestion du parking ainsi que les solutions déjà adoptées pour remédier leurs problèmes.

Nous avons fini par donner les raisons qui nous ont laissé choisir les réseaux de capteurs sans fils dotés de capteurs de Vision pour la réalisation de notre système de détection et classification de véhicules.

Nous allons expliquer dans le chapitre suivant la conception des algorithmes de notre système de détection et classification de véhicules ainsi que leur implémentation sur des capteurs réels.

CHAPITRE –III–

Systeme de detection visuel des vehicules

1 Introduction et problématique

Le développement d'une nouvelle route et l'expansion des réseaux d'autoroute nécessitent une gestion très développée et intelligente du trafic routier afin d'offrir la meilleure sécurité possible aux usagers, régler les problèmes de congestion et maintenir en bon état les routes en question. Cette tâche est extrêmement importante pour toute économie d'un pays. Seulement, elle s'annonce difficile et très coûteuse à réaliser avec les solutions classiques. C'est pour cela que de nouveaux outils à faible budget et à grande échelle de déploiement ont vu le jour, comme les réseaux de capteurs sans fil qui sont considérés par le monde scientifique comme étant la solution la plus efficace pour ce type de tâches.

Le problème de gestion de trafic routier comporte plusieurs fonctions différentes et complémentaires, la première d'entre elles étant la tâche basique de détection des véhicules.

Dans ce contexte, des études ont été réalisées en utilisant des capteurs lumineux, Ultrason et magnétiques. Ces derniers, restent les plus adaptés et les plus fiables pour répondre à cette question. Notre tâche consiste à utiliser un autre type de capteurs, à savoir les capteurs de vision (caméra) et proposer des algorithmes de détection, les implémenter et les tester par la suite.

Au cours du chapitre précédent, nous avons essayé de présenter toute la base nécessaire à la compréhension du thème de manière générale, ainsi que les techniques et les outils nécessaires pour sa réalisation. Dans le présent chapitre nous allons expliquer en détail la méthodologie et la logique suivies tout au long de ce travail pour aboutir à notre objectif à savoir : la modélisation de notre système puis la conception des algorithmes de détection et de classification des véhicules.

2 Environnement du travail

Pour pouvoir réaliser notre solution nous avons besoin d'utiliser des outils matériels pour l'implémentation des algorithmes et des outils logiciels pour l'affichage et l'analyse des résultats.

2.1 Matériels utilisés

2.1.1 Nœud capteur

Un nœud capteur (dit "mote" en anglais) est composé principalement d'un processeur, une mémoire, un émetteur/récepteur radio, un ensemble de capteurs, et une Alimentation (voir Figure.30).

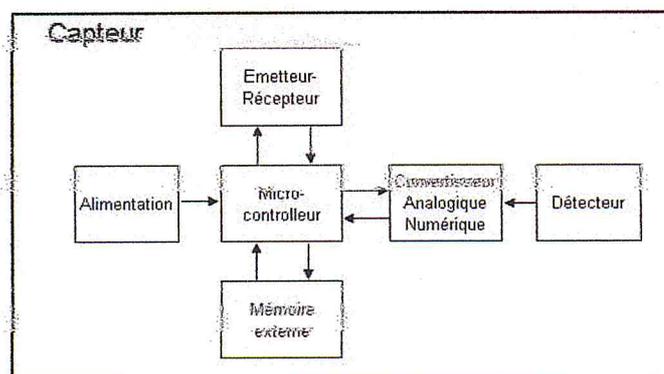


Figure 30 : Schéma d'architecture d'un capteur

Description sur les composant d'un nœud capteur :

➤ **Unité de traitement**

Notre application a été développée sur une **Pandaboard** (voir Figure.31) qui est une petite carte mère (**microcontrôleur**) traite les données reçues du convertisseur analogique-numérique et transmet les données utiles à l'émetteur-récepteur, possédant les performances suivantes :

- CPU ARM dual core à 1,2 GHz
- carte graphique intégrée (PowerVR SGX540 [1]).
- 1 Go de RAM
- 2 ports USB, 1 port Ethernet (carte Ethernet USB)
- sortie HDMI
- 2 prises jack (hautparleur + micro)
- sortie console (RS232)
- stockage: carte memoire sd 16 go

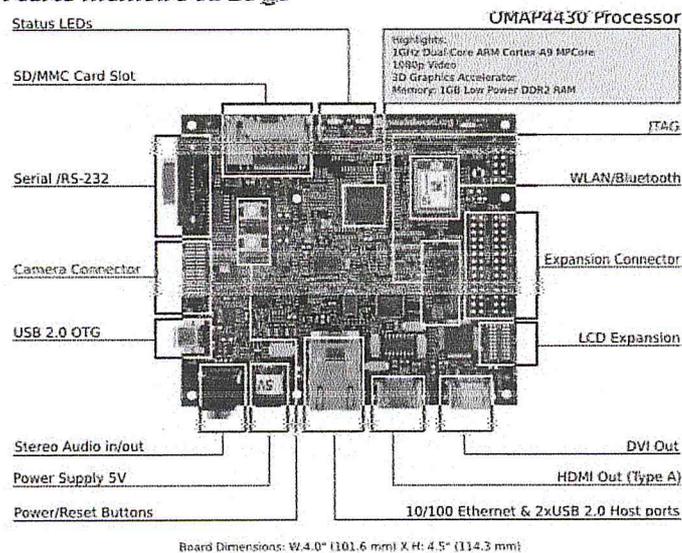


Figure 31 : La carte mère (Pandaboard)

➤ **Unité de communication**

C'est l'intermédiaire entre les nœuds capteurs (émetteur/récepteur), et le serveur central contenant seulement un circuit radio pour pouvoir recevoir et transmettre les messages transmis par l'unité de traitement.

L'émetteur-récepteur assure deux fonctions : transmettre des signaux (émetteur) et recevoir des signaux (récepteur). (Voir Figure.32)

L'émetteur envoie les données vers le monde extérieur. Le monde extérieur est le réseau de capteur, dont le rôle est de router l'information vers l'utilisateur final.

Le récepteur reçoit les informations du réseau : d'une part les mises à jour logicielles, d'autre part les informations d'autres capteurs à relayer vers l'utilisateur final.

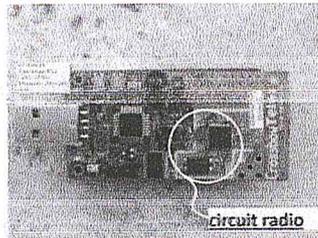


Figure 32 : Image réel des éléments de station de communication

➤ **Unité de captage**

Est un ensemble d'un **détecteur** et d'un **convertisseur analogique numérique**. (Voir *Figure.33*)

○ **Un détecteur**

Le détecteur est l'élément qui capte la grandeur physique de l'environnement dans lequel a été placé le capteur.

○ **Un convertisseur analogique numérique**

Le convertisseur analogique transforme le signal capté en signal numérique, compatible avec le microcontrôleur.

Webcam 10x digital zoom, f=3.85mm mégapixel.

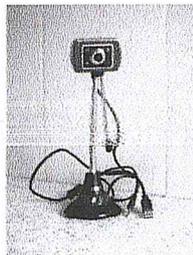


Figure 33 : Capteur visuel

➤ **Alimentation**

L'alimentation fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement du capteur, (Batterie 5V, 1.5A)

2.1.2 Serveur central

Nous avons utilisé un simple ordinateur portable pour jouer le rôle du serveur de notre architecture du réseau de capteur (voir *Figure.34*). Les données transmises par les nœuds capteurs sont acheminées par la station de base et seront sauvegardées et traitées au niveau du serveur en temps réel.

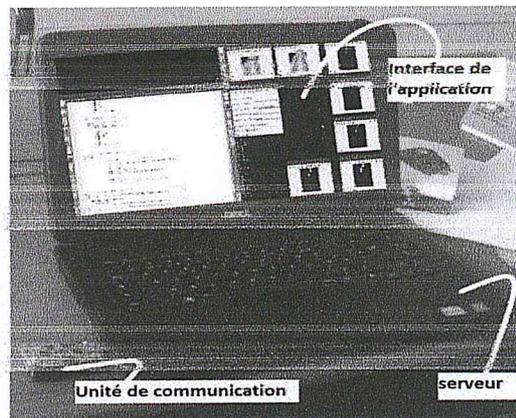


Figure 34 : Image réel du serveur

2.2 Logiciels utilisés

➤ **Système d'exploitation pour la Pandaboard**

Le développement de notre application c'est fait sous l'environnement GNU/Linux, plus précisément le système d'exploitation : Ubuntu 12.04 LTS - the Lucid Lynx et cela pour sa stabilité et sa gestion optimisée des différentes ressources de la machine.

➤ **Langage de programmation**

Le langage utilisé dans notre application est le C++. Le C++ est un langage de programmation permettant la programmation sous de multiples paradigmes comme la programmation procédurale, la programmation orientée objet et la programmation générique. C'est un langage extensible, libre, qui permet (sans l'imposer) une approche modulaire et orientée objet de la programmation. Le langage C++ est actuellement le 3^{ème} langage le plus utilisé dans le monde.

❖ **Caractéristiques du langage C++**

- Possibilité d'utiliser différents niveaux d'optimisation au sein d'un même programme (objets - langage structuré classique - assembleur).
- Libre, utilisable sans restriction dans des projets commerciaux.
- Permet une approche Orientée Objet, il supporte l'héritage multiple et la surcharge des opérateurs.
- Extensible, facile à interfacer avec des bibliothèques C existantes.

➤ **Editeur de texte -Gedit-**

Est un éditeur de texte libre (sous licence GPL), compatible UTF-8. Il est fourni par défaut avec l'environnement graphique GNOME. Il a été conçu à l'aide de la bibliothèque GTK de façon à avoir une interface graphique simple et propre, inspiré des idéaux du projet GNOME.

➤ **Analyse de la librairie –OpenCV-**

❖ **Informations générales**

OpenCV (Open Computer Vision) est une librairie populaire dans le domaine du traitement d'images et de vidéos. Elle est distribuée sous licence BSD. Elle est disponible sur les plateformes Windows, Linux, Androïde et Mac, dans les langages de programmation suivants : C, C++, Phyton et bientôt Java.

❖ **Utilisation dans le projet**

La librairie OpenCV possède plus de 500 fonctions. Dans le cadre de ce projet, des fonctions de détection et de suivi d'objet sont requises, et la librairie contient plusieurs implémentations de ce genre de fonction.

❖ **Décision sur la librairie**

La librairie dispose d'une bonne documentation, elle est libre, gratuite et relativement complète. Pour toutes ces raisons, la librairie OpenCV a été retenue pour l'implémentation de notre application.

➤ Analyse de la librairie – BGSLibrary -

La BGSLibrary a été développé par Andrews Sobral et fournit un cadre C++ pour effectuer la soustraction de fond (BGS). Le code fonctionne soit sous Windows ou sous Linux. Actuellement, la bibliothèque dispose de 35 algorithmes BGS. Une grande quantité d'algorithmes ont été fournies par plusieurs auteurs. Le code source est disponible sous licence GNU GPL, la bibliothèque est gratuit et open source. N'importe quel utilisateur peut être téléchargé dernier code source du projet en utilisant client SVN. Pour les utilisateurs de Linux, un Makefile peut être utilisé pour compiler tous les fichiers et générer un exécutable de l'exemple. Le tableau 1 énumère quelques-uns des algorithmes disponibles dans BGSLibrary.

➤ Qt

Est un framework (bibliothèque) orienté objet développé en C++ par Nokia. Elle offre des composants d'interface graphique (widgets), d'accès aux données, de connexions réseaux, de gestion des fils d'exécution, d'analyse XML...etc. Elle cohabite parfaitement avec OpenCV ce qui offre une aisance de programmation, elle est de plus multi-plateforme, libre et open source. Qt se base sur des mécanismes de signaux et slots ce qui rend la programmation événementielle possible.

3 Fonctionnement de notre système de détection

3.1 Processus de détection des véhicules

Dans le contexte d'implémenter notre système de détection, On a proposé une solution basée sur l'utilisation d'une caméra fixe.

• Les étapes utilisées

La méthode utilisée est basée sur le traitement des images statiques au niveau de gris, pris sur un intervalle de courte durée par une caméra vidéo. En effet, on utilise une segmentation à base des niveaux de gris de l'image traitée et les segments obtenus nous renseignent sur la présence du véhicule.

➤ L'acquisition d'images numériques

Les capteurs physiques CCD (Charge Couple Device) par exemple scanné, caméras et appareils photos sont les appareils de numérisation les plus utilisés pour les systèmes de reconnaissance d'objet.

Un appareil de numérisation est défini par :

– nombre de signaux pouvant enregistrer dans un espace x, y (nombre de pixels qu'ils peuvent enregistrer).

– dynamique du signal : nombre de niveaux de gris ou de couleurs (de 256 couleurs à 16,7 millions, et plus).

Chaque appareil possède une résolution de prédilection pour laquelle il a été conçu, cette résolution peut être fixe ou variable (utiliser des fonctionnalités de type zoom... pour la modifier) ; les systèmes de reconnaissance travaillent généralement à des résolutions de 200 dpi à 300 dpi. Dans notre projet on nous intéresse par L'acquisition de l'image avec une webcam.

➤ **Redimensionnement d'image**

Le redimensionnement, ou la mise à l'échelle, est une transformation applicable à une image numérique qui consiste à en modifier la taille, que ce soit pour l'agrandir ou pour la rétrécir, comme le ferait un zoom.

Nous intéresser a la rétrécir car on n'a pas besoin de détail, et pour minimiser la utilisation de la mémoire dans les traitements.

➤ **Définir une ROI**

La définition de telles régions (Region Of Interest) permet de définir des zones dans lesquelles on considère l'information plus importante. Une ROI sera encodé plus fidèlement qu'une autre zone. Elle est définie par l'utilisateur.

➤ **Détection de changement**

La détection des changements dans une image constitue une source d'information très importante. En effet, effectuer une simple différence temporelle entre les images successives d'une scène nous permet de nous donner une indication sur le taux de changement spatio-temporel de la séquence d'image. La soustraction d'images peut permettre de détecter le changement entre les différentes images.

A quoi peut correspondre maintenant la "soustraction" de deux images, c'est à dire soustraire à chaque pixel de la première image, la valeur du pixel correspondant de la seconde ? Il est facile de voir que si les pixels ont une même valeur, alors la différence sera nulle : ainsi si rien n'a changé d'une image à l'autre, il n'y aura pas de différence. Si au contraire, quelque chose a changé, alors la différence sera ou positive (disons plutôt noire) ou négative (disons plutôt blanche) et nous détectons ainsi les changements.

Après avoir faire plusieurs études sur les méthodes de la bibliothèque BGSLibrary qui fournit un cadre C++ pour effectuer la soustraction de fond (Background Subtraction, BGS). nous avons trouvé que la méthode " AdaptiveSelectiveBackgroundLearning()" est la meilleure a adapter à notre projet.

➤ **Filtrer le mask**

Lors de l'acquisition, des effets indésirables peuvent s'introduire dans les données de l'image. Ces effets sont du bruit, sorte de parasites, qui font varier l'intensité d'un pixel par rapport aux autres pixels qui sont à son voisinage. Ces bruits entraînent l'altération de l'image.

On a utilisé deux méthodes pour le filtrage, filtre de convolution et filtre morphologique sous OpenCV :

Filtre de convolution :

```
void cvSmooth( const CvArr* src, CvArr* dst, int smoothtype = CV_GAUSSIAN, int size1 = 3, int size2 = 0, double signal = 0, double sigma2 = 0 ) ;
```

Filtre morphologique avancés :

```
void cvMorphologyEx( const CvArr* src, CvArr* dst, CvArr* temp, IplConvKernel* element, int operation, int iterations = 1 );
```

➤ **Suivi les véhicules détecter**

Dans cette partie nous allons créer un programme capable de localiser et suivi un véhicule dans une suite d'image.

On a utilisé la méthode « blobDetector » de la classe « SimpleBlobDetector » qui est l'une des fonctions de la bibliothèque OpenCV.

Avant le suivi, il faut que l'utilisateur déclarer les paramètres du suivi, en suite appliqué «blobDetector» sur le mask filtrée pour localiser et suivi les taches blanches.

➤ **Extraction des caractéristiques de chaque véhicule détecte**

Pour effectuer nos traitements il faut déterminer la position de chaque véhicule et leur superficie en pixel pour connaître leur position et le classifier parmi les poids lourd ou véhicules légers.

➤ **Appliquer l'algorithme qui correspond au traitement :**

Dans notre application nous avons développé deux algorithmes, l'un qui calcul le nombre des véhicules « COUNTING », et l'autre qui détecte le place occuper ou libre de la place de stationnement « PARKING », pour cela on à besoin des résultats de la fonction « blobDetector ».

➤ **Résultat final en temps réel**

Le résultat de l'application **COUNTING** est deux nombres entiers, le premier c'est le nombre des véhicules entrants **NB_IN** et le deuxième c'est le nombre des véhicules sortants **NB_OUT**.

Et pour l'application **PARKING**, elle a comme résultat un tableau des boolien, qui représente la situation du parking en temps réel, comme suit :

Palace [3] ==true ☐ la place N°3 est occuper.

Palace [7] ==false ☐ la place N°7 est libre.

Visual Paradigm for UML Standard Edition Universidad del País Vasco

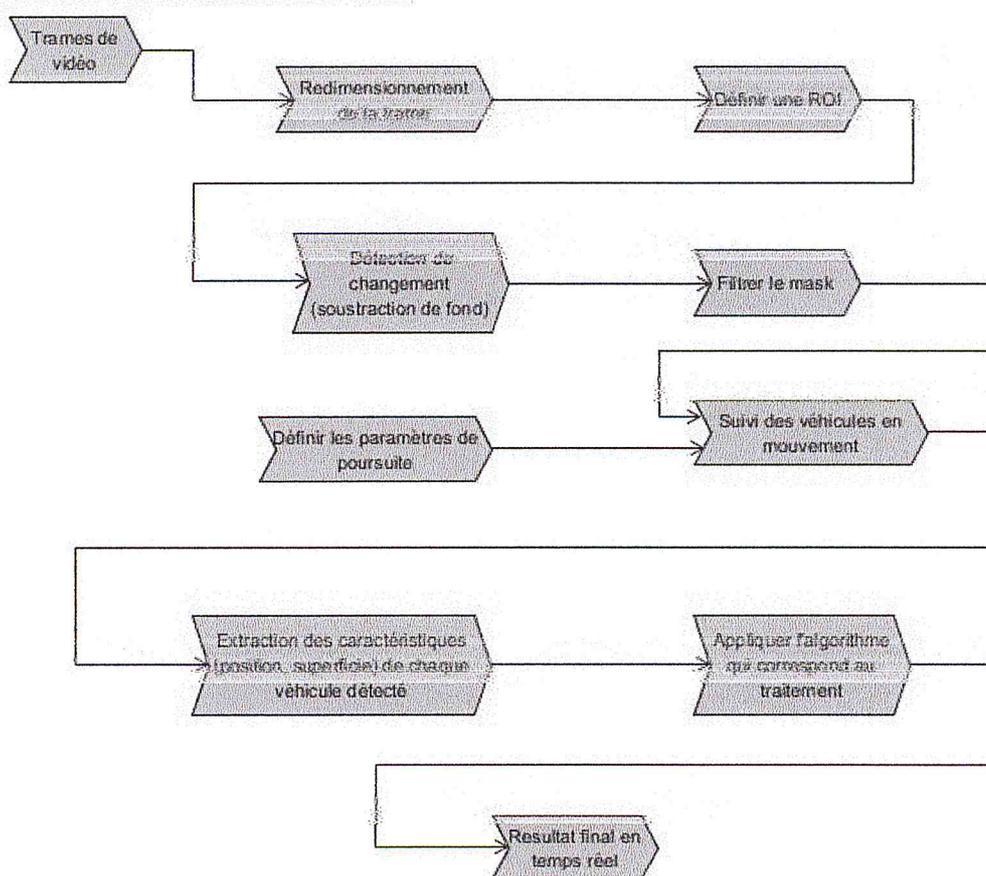


Figure 35 : Processus de détection

3.2 Système de calcul du nombre des véhicules entrants et sortants sur la route

3.2.1 Problématique

Alger est une ville cosmopolite où vivent près de quatre millions d'habitants et où le transport public fait défaut. Pour pouvoir se déplacer, les Algérois se rabattent sur le véhicule personnel. Imaginons donc le nombre de véhicules qui circulent dans la capitale aux heures de pointe auxquels il faut rajouter les véhicules des autres wilayas en déplacement à Alger et dont le nombre s'élève à près d'un million.

Tous ces mouvements créent des embouteillages au niveau des différents carrefours alors que le réseau routier est saturé et obsolète.

3.2.2 Solution

Pour remédier à cette situation, il est indispensable de dresser un état des lieux concernant les points noirs et le nombre de véhicules qui y transitent.

Pour cela une mise en place d'un réseau de capteurs visuels sans fil au niveau des carrefours et dans les entrées et sorties des autoroutes est nécessaire. Cette installation nous permettra de connaître le nombre des véhicules qui transitent par ces passages pour pouvoir réguler la circulation en installant des feux tricolores intelligents au niveau des carrefours ainsi que des panneaux d'information pour inciter les usagers à utiliser d'autres voies lorsque l'autoroute est encombrée.

3.2.3 Principe de fonctionnement de l'algorithme COUNTING

Le capteur, placé en position parallèle à l'autoroute (deux fois deux voies) et au-dessus de celle-ci, détecte les véhicules de passage dans les deux sens.

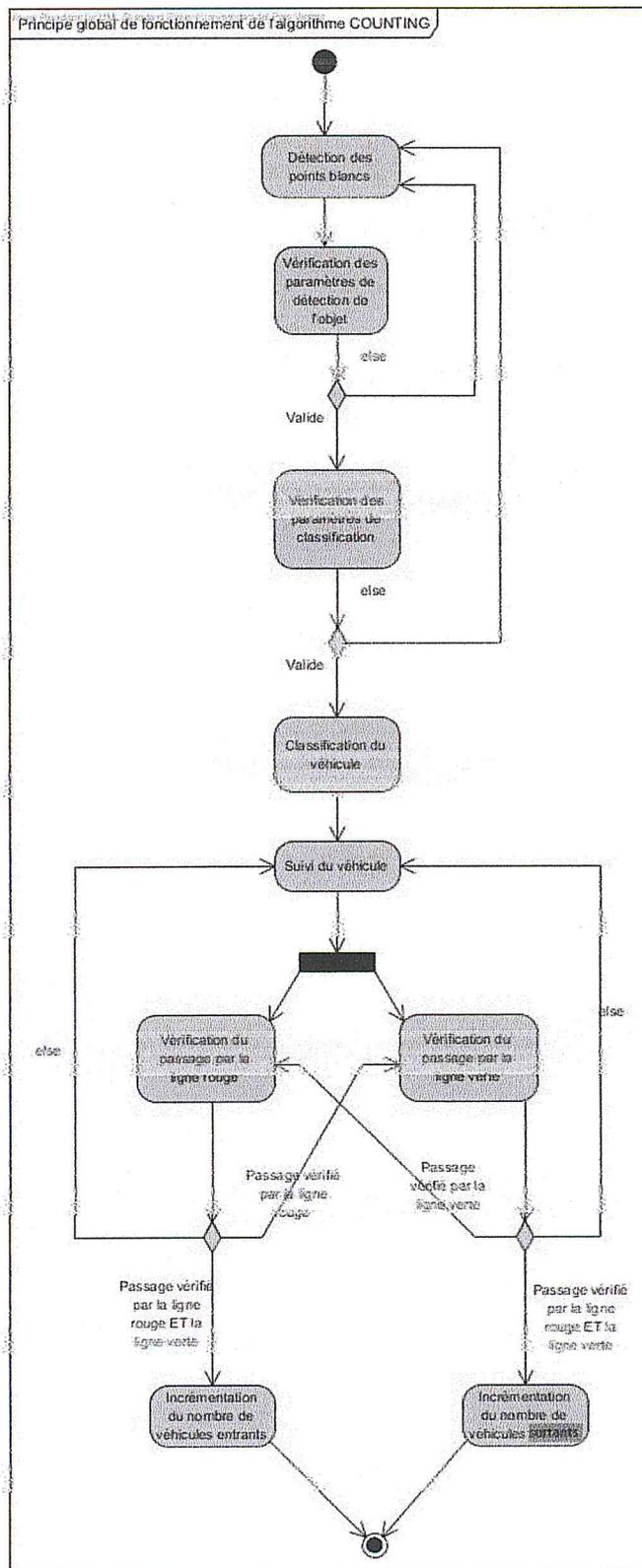


Figure 36: Diagramme d'activité de l'algorithme de détection et de classification COUNTING.

3.2.4 Etapes de traitement

Elles servent à exécuter le programme qui fait le décompte des véhicules en déplacement.

~~Ce programme s'exécute comme suit:~~

1. Affichage de la première trame captée de l'autoroute
2. Sélection de la zone opérationnelle
3. Traçage de deux lignes perpendiculaires à la route, l'une de couleur rouge et l'autre de ~~couleur verte.~~
Ces deux lignes servent à définir le sens de passage des véhicules et leur nombre de la façon suivante:
 - Si le véhicule passe de la ligne verte à la ligne rouge le programme incrémente la variable IN.
 - Dans le cas contraire, il incrémente la variable OUT.
4. Réglage des paramètres de détection d'objet et de la classification
 - dist_beetwin*:
 - Si la distance entre deux objets est inférieure à *dist_beetwin*, ces derniers sont considérés comme une seule unité.
 - Sinon chaque objet est considéré comme une unité;
 - [min_aria,max_aria]*: c'est l'intervalle de la superficie des véhicules a détecter ou pour les classifier.
 - mouv_L1_L2_Y*: position de la ligne verte et rouge sur l'axe Y de l'image.
 - mouv_L2_Y*: position de la ligne rouge par rapport à la ligne verte.
 - Épaisseur*: épaisseur des lignes.
 - min_dist*: utilisé par l'algorithme d'identification de véhicules
 - si la distance entre le centre du véhicule de l'image précédente et celui de l'image actuelle et inférieure à *min_dist*, l'identifiant *ID* de ce véhicule ne change pas,
 - Sinon on aura détecté un nouveau véhicule auquel un nouvel identifiant est attribué. Et l'ancien véhicule gardera son identifiant original.
5. Prise de la décision de détection d'un véhicule entrant ou sortant :
 - Si les paramètres sont vérifiés **ET** si le centre du véhicule roulant touche successivement les deux lignes → détection d'un seul véhicule.
6. Classification des véhicules détectés
~~Dans cette étape nous procédons à la classification des véhicules selon la superficie du~~ mask par pixel détecté précédemment. Par rapport à la position de la caméra on définira les classes de véhicules (PL/VP), on utilise les paramètres [*min_aria, max_aria*].
7. Le nombre de véhicules (IN, OUT) est transmis en temps réel au serveur central.

Voir le déroulement des actions dans la Figure 37 :

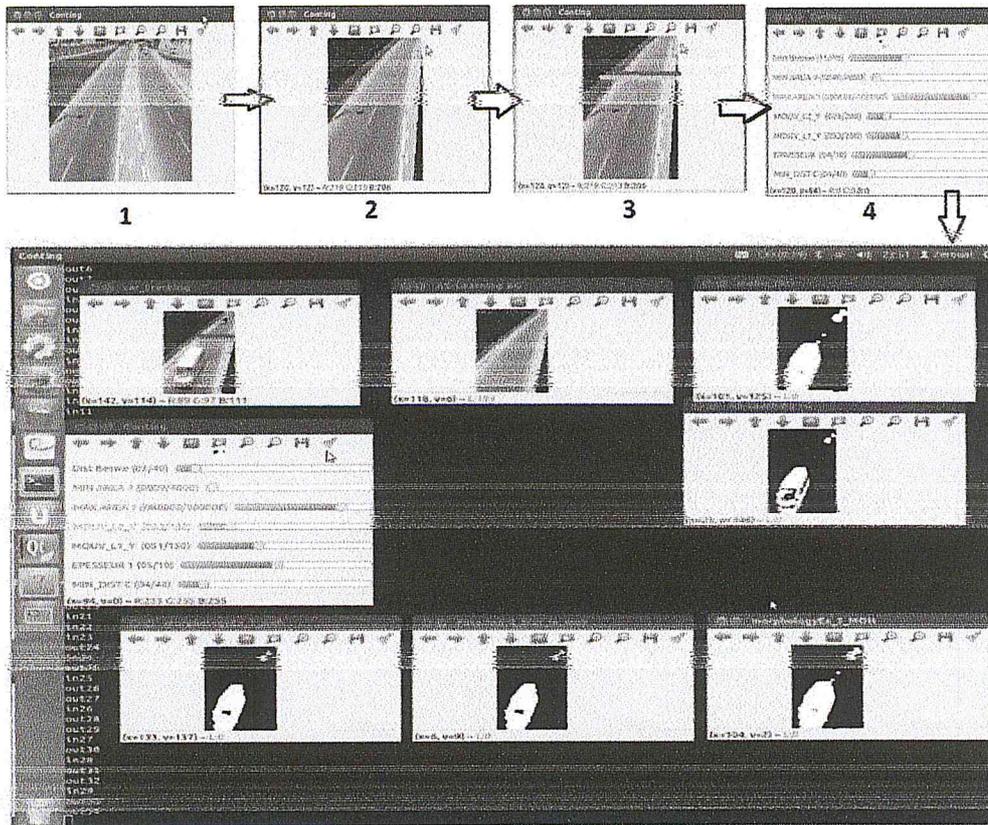


Figure 37 : Etapes du traitement de l'algorithme de détection et de classification COUNTING.

3.3 Système qui détermine l'état des places (ID, libre/occupée) dans la zone de stationnement

3.3.1 Problématique

Les usagers des parkings éprouvent des difficultés à se garer au niveau des grandes villes car les lieux de stationnement sont souvent saturés ou mal gérés.

3.3.2 Solution

Pour parer à cet inconvénient il est nécessaire de recurer et élaborer un système de gestion informatisé.

Notre étude perçoit, çà cet effet, l'installation d'un réseau de capteurs visuel sans fil au niveau des parkings. Ces caméras nous permettent de connaître en temps réel les places de stationnement disponibles après l'utilisation de notre application PARKING (voir Figure.39) afin d'orienter les usagers directement sur simple consultation d'une application android. Principes de fonctionnement de l'algorithme PARKING

3.3.3 Principe de fonctionnement de l'algorithme PARKING

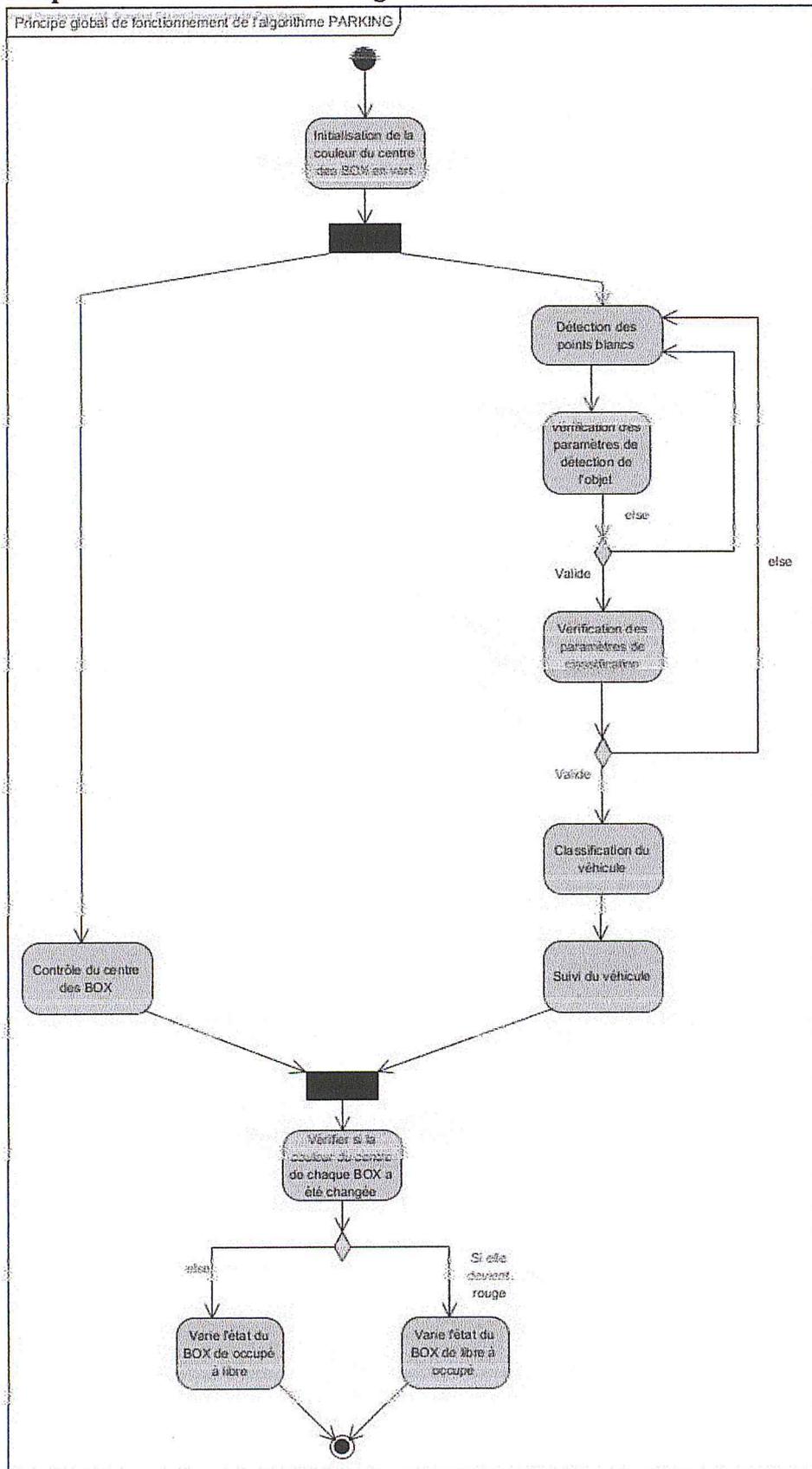


Figure 38 : Diagramme d'activité de l'algorithme de stationnement PARKING

3.3.4 Etapes de traitement

État initial:

1. Définir le nombre de places que contient le parking.
2. Déterminer le périmètre du parking.
3. Numérotation des places de stationnement.

État fonctionnel:

4. Les centres des places disponibles sont marqués par un point vert
5. Les véhicules détectés sont marqués par un cercle rouge

Lorsque le signe rouge se positionne sur le point vert de la place de stationnement, l'Etat de cette dernière varie de libre à occupé.

6. La situation des places (position, état) est transmise en temps réel au serveur central.

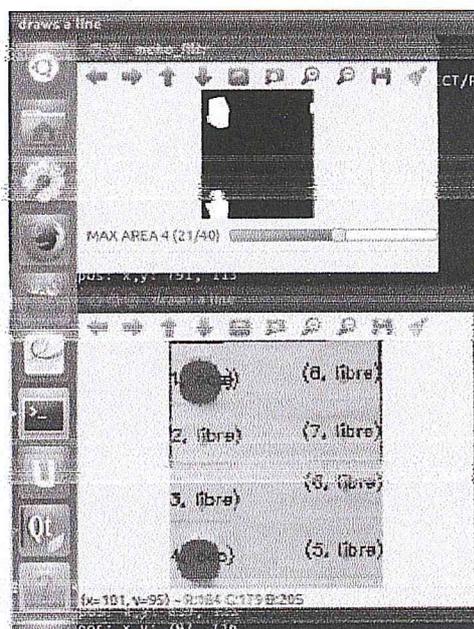


Figure 39 : image réel de l'interface de l'application PARKING

CHAPITRE –IV–

Expérimentation et conclusion

1 Test de l'algorithme de détection COUNTING

Dans cette partie, nous allons tout d'abord **implémenter** notre algorithme de détection puis présenter une **analyse** des **résultats** obtenus suite à des **tests** réels. Ensuite, nous proposerons une amélioration de l'algorithme pour faire la classification des véhicules.

1.1 Paramètres de l'application

Pour améliorer l'efficacité et la précision de notre algorithme et rendre l'application plus fiable et facile à l'implémenter sur plusieurs terrains, nous allons créer une interface qui permettra le réglage des paramètres de détection et de classification des véhicules (voir Figure.40).

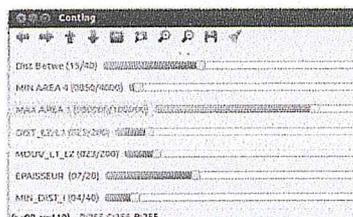


Figure 40 : interface des paramètres

Avant de tester le premier algorithme proposé **COUNTING**, nous devons définir un certain nombre de paramètres, qui sont :

~~-résolution : nombre de pixel a traité sur l'image~~

~~-dist_beetwin_blobs:~~

- Si la distance entre deux objets est inférieure à `dist_beetwin_blobs`, ces derniers sont considérés comme une seule unité,
- ~~Sinon chaque objet est considéré comme une unité.~~

~~-[min_aria,max_aria]: c'est l'intervalle de la superficie des véhicules à détecter ou pour les classifier.~~

~~-pos_L1_L2/Y: position de la ligne verte et rouge sur l'axe Y de l'image~~

- Changer cette position de haut en bas de façon à trouver le meilleur des cas où la précision de la détection sera élevée.

~~-dist_L2/L1: la distance entre la ligne rouge et la ligne verte.~~

~~-Épaisseur: c'est l'épaisseur des deux lignes~~

- augmenter l'épaisseur des deux lignes de façon à ce que le véhicule roulant à une grande vitesse touche successivement les deux lignes.
- plus l'épaisseur est large plus il faut augmenter la distance entre les deux lignes.

~~-min_dist_ID: utilisé par notre algorithme d'identification des véhicules~~

- si la distance entre le centre du véhicule de l'image précédente et celui de l'image actuelle est inférieure à `min_dist`, l'identifiant ID de ce véhicule ne change pas.
- Sinon on aura détecté un nouveau véhicule auquel un nouvel identifiant est attribué. Et l'ancien véhicule gardera son identifiant original.

La relation entre `pos_L1_L2/Y` et la position de la camera : la position de la caméra par rapport aux deux lignes influe sur la précision de la détection des véhicules.

- Si la caméra est élevée les lignes doivent se trouver sur la moitié supérieure de l'image.
- Si la position de la caméra est basse les lignes doivent se trouver la partie inférieure de l'image.

1.2 Implémentation de l'algorithme de détection COUNTING

Après avoir présenté en détail notre algorithme de détection et les différents paramètres de l'application, nous avons mené quatre expériences avec les trois paramètres suivants :

- Une résolution comprise entre [30x 30] px et [300x300] px de l'image
- Une position des deux lignes comprise entre 14px et 80px sur l'axe y de l'image, et on fixe la résolution sur la valeur qui nous donne la meilleure précision.
- Une épaisseur de ligne comprise entre 1px et 19px et on fixe les valeurs des meilleurs résultats de précision des deux derniers paramètres.

Les trois premières expériences réelles ont été effectuées sur une route de deux voies à moyenne circulation au niveau des trémies qui mènent vers Dely Brahim et vers Bois des Cars, du côté du rond-point d'Ain Allah, Alger (voir Figure.41).

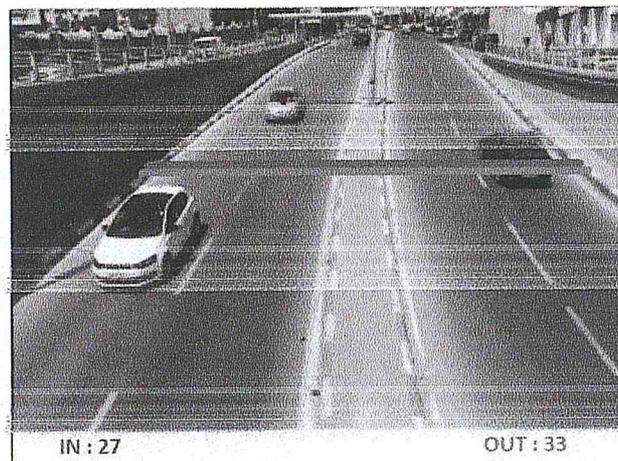


Figure 41 : Image réelle de l'implémentation de l'algorithme COUNTING

1.3 Expériences

1.3.1 Première expérience

Dans ce tout premier scénario de test de l'algorithme de détection, où l'objectif est d'améliorer les performances de notre système en termes de consommation d'énergie, le capteur est placé au-dessus de la voie à double sens (deux files pour chaque sens) débouchant de la trémie menant vers Dely Brahim (voir figure 41). Le capteur est chargé de détecter les véhicules passant dans les deux files pour les deux sens. Les circonstances de cette expérience sont données comme suit :

- Emplacement du nœud capteur de vision (webcam) sur le pont, en position verticale par rapport à la route, à environ 10 m au-dessus du passage des véhicules.
- varier le paramètre « **résolution** » entre [30x30] px et [300x300] px.

• Résultat

Les tests ont été faits sur un échantillon de 52 véhicules entrant et 55 véhicules sortant de différents types. Les résultats obtenus de cette première expérience sont présentés sous forme d'un graphe (voir Figure.42).

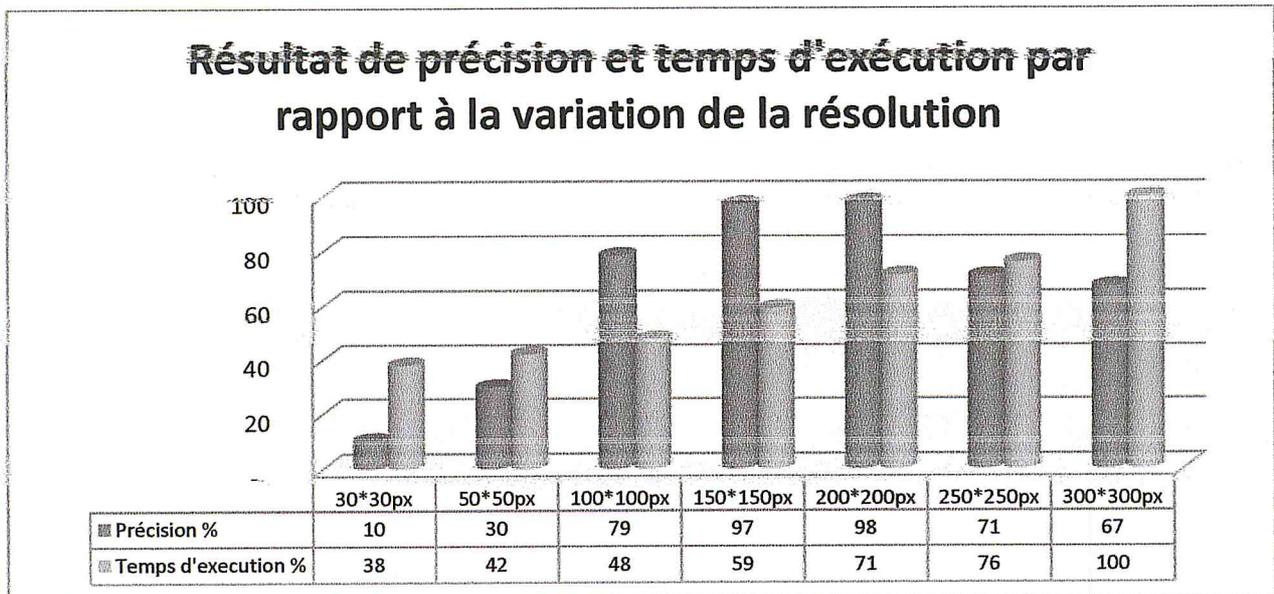


Figure 42 : Résultat de précision et temps d'exécution par rapport à la variation de la résolution

• Analyse

Sur 107 véhicules de différents types et à des résolutions de l'image différentes, nous remarquons que les résultats changent comme suit :

Si la résolution est mauvaise (de 30*30px à 150*150px) :

- Les algorithmes de traitements de l'image seront moins complexes, donc la consommation de la mémoire sera réduite.
- Le traitement sera rapide, par conséquent le temps d'exécution sera plus court.
- La précision de détection sera moins élevée, à cause de l'imprécision de l'image.

Si la résolution est meilleure (de 200*200px à 300*300px) :

- Les algorithmes de traitements de l'image seront plus complexes, donc la consommation de la mémoire sera plus élevée.
- Le traitement sera lent, et donc le temps d'exécution devient plus long.
- La précision de détection sera moins élevée, à cause de l'influence des détails de l'image lors du traitement.

• Déduction

La résolution doit être augmentée progressivement jusqu'à l'obtention d'une précision optimale. Dans le cas présent, on a constaté que la résolution de [200*200] px nous a permis d'obtenir une précision de détection plus élevée, avec un temps d'exécution convenable, d'où une consommation de mémoire réduite.

1.3.2 Deuxième expérience

Les résultats obtenus de la première expérience (résolution optimale 200px) vont nous servir pour cette deuxième expérience, où l'objectif est d'améliorer les performances de notre système en termes de précision de détection, sur une voie ayant les mêmes caractéristiques que la première qui est la trémie menant vers Bois des Cars.

-Les circonstances de cette expérience sont les mêmes que celles de la première, en ajoutant le paramètre résolution fixé à 200px.

-Le paramètre à faire varier dans cette expérience est le «pos_L1_L2/Y » que l'on fixera entre 14px et 80px.

• Résultat

Les tests ont été effectués sur un échantillon de 220 véhicules tous types confondus, dont 122 véhicules entrants et 98 véhicules sortants. Les résultats obtenus de cette première expérience sont présentés sous forme d'un graphique (voir Figure 43).

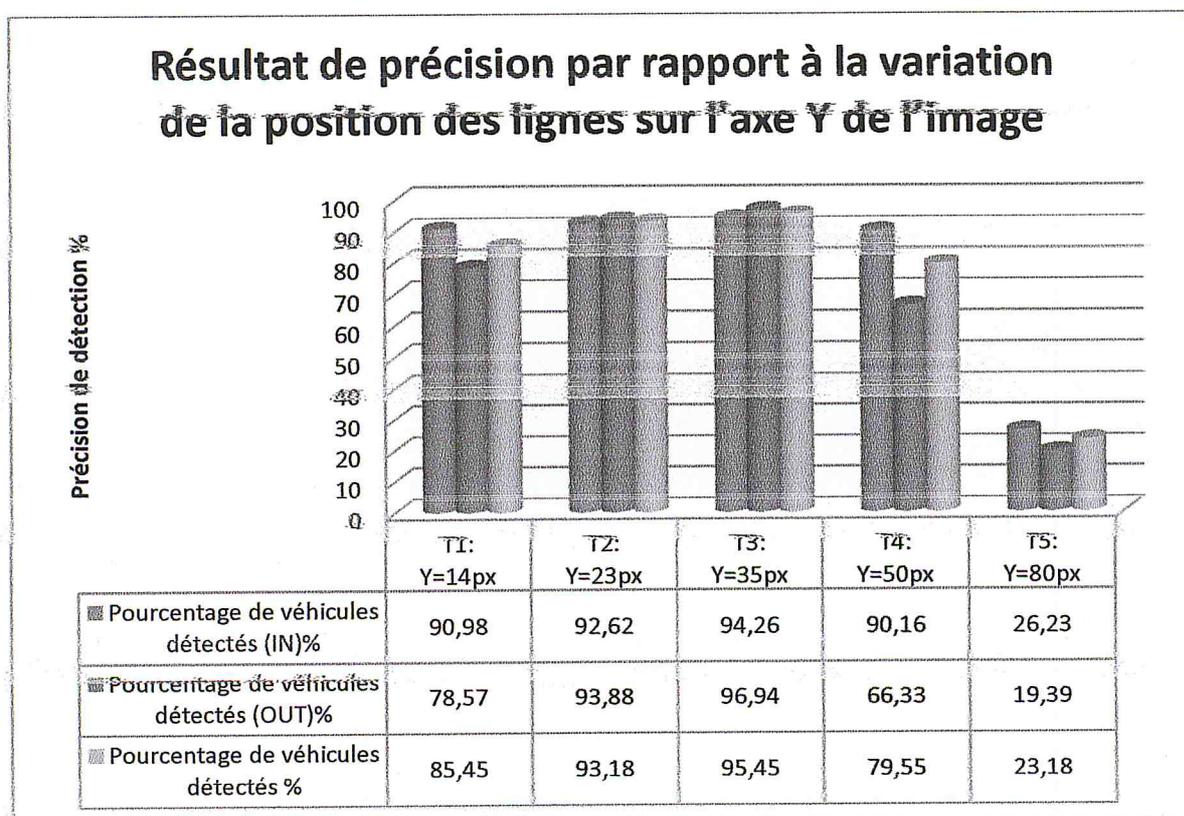


Figure 43 : Résultat de précision par rapport à la variation de la position des lignes sur l'axe Y de l'image

• Analyse

Nous pouvons voir qu'après la modification de la position des lignes, la précision de détection a augmenté jusqu'à atteindre 95,45% à 35px.

L'analyse détaillée des résultats obtenus nous a permis de constater que :

- La précision de détection passe de 85% sous une ordonné de 14px à 95,45% à 35px.
- Tandis que la détection des véhicules entrants passe progressivement de 90,98% à 94,26% et pour la détection des véhicules sortants aussi de 78,57% à 96,94 entre 14px et 35px.

- Au-delà de l'ordonné Y=35px on constate une chute progressive de la précision de détection qui devient subitement très importante. A titre d'exemple, lorsque Y=50px nous aurons une précision de 79,55%, et pour Y=80px la précision atteindra les 23,18%.

• **Déduction**

Nous déduisons de ces deux expériences que la résolution de 200px et la position des deux lignes de 35px est une configuration convenable mais qui peut être améliorée en affinant le paramètre « épaisseur ».

1.3.3 Troisième expérience

Cette expérience vient en complément des deux précédentes, pour améliorer la fiabilité de l'algorithme dans le but d'augmenter la précision de détection. Nous allons procéder dans cette expérience à la variation de l'épaisseur, Et ce, sous les conditions suivantes :

- Résolution de l'image à 200px
- Position des lignes à Y=35px
- Epaisseur de 1px à 19px

Les résultats de l'expérience sont présents dans la Figure.44 ci-dessous

• **Résultat**

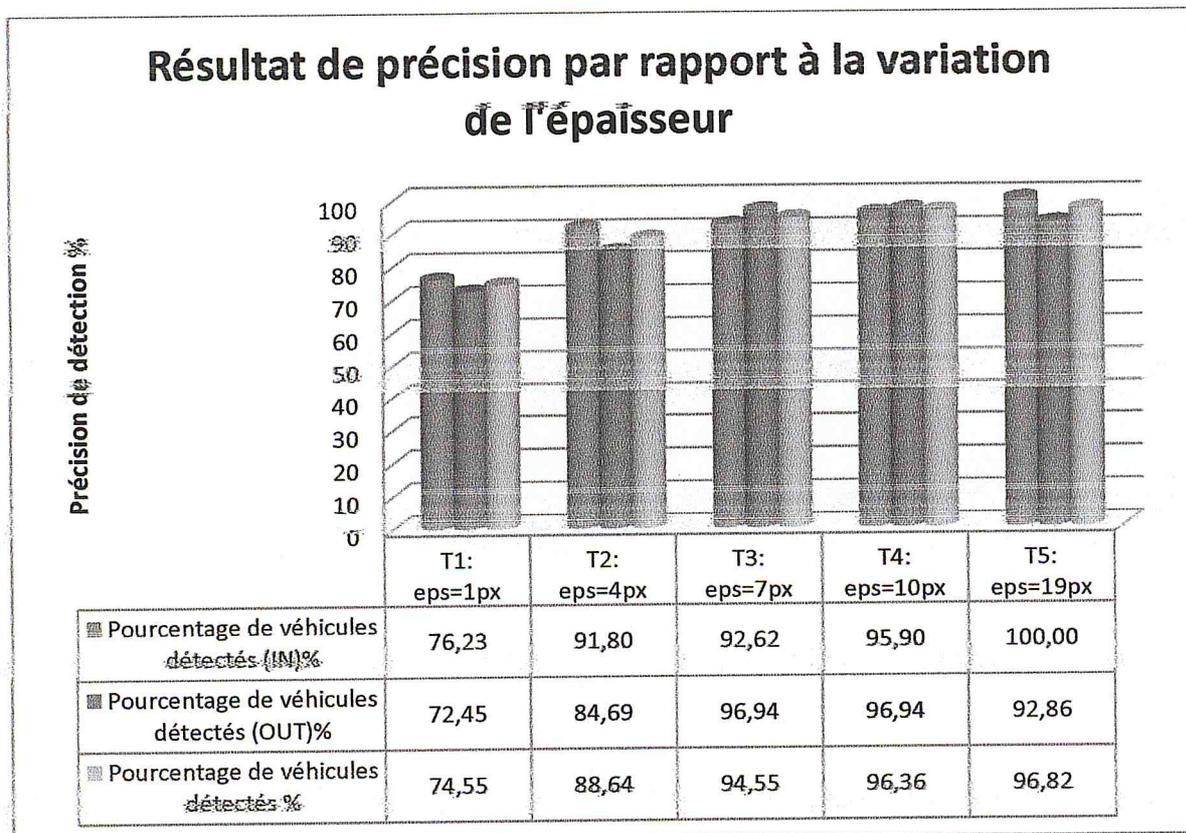


Figure 44 : Résultat de précision par rapport à la variation de l'épaisseur

• **Analyse**

Malgré une bonne détection de véhicules de 96,82% grâce à une épaisseur de 19px, nous avons opté pour l'épaisseur de 10px qui nous a donné une précision de 96,36 laquelle est inférieure à la première à cause d'une bonne proportion entre la précision de détection des véhicules entrants et les sortants.

• **Déduction**

Après avoir analysé les résultats obtenus lors de ces expériences, nous constatons que la résolution de 200px et la position des deux lignes de 35px et l'épaisseur de 10px est la configuration la plus efficace dans ce lieu pour une détection optimale.

1.3.4 Quatrième expérience

Après avoir faire plusieurs tests sur différentes expérimentations on a trouvé que la vibration du la caméra et l'occultation des véhicules sont les problèmes qui diminuer la précision de la détection.

Dans cette expérience nous avons fait des tests de notre Algorithme **COUNTING** dans quatre routes différentes, les expérimentations ext3 et ext4 ont été faite dans des routes qui ont des mal condition de position et fixation et de qualité de la caméra, et on a calculé la précision de détection en néglige les non-détectés à cause des vibrations et des occultations.

Le résultat ce présente dans le graphe suivant (voir Figure.45).

• **Résultat**

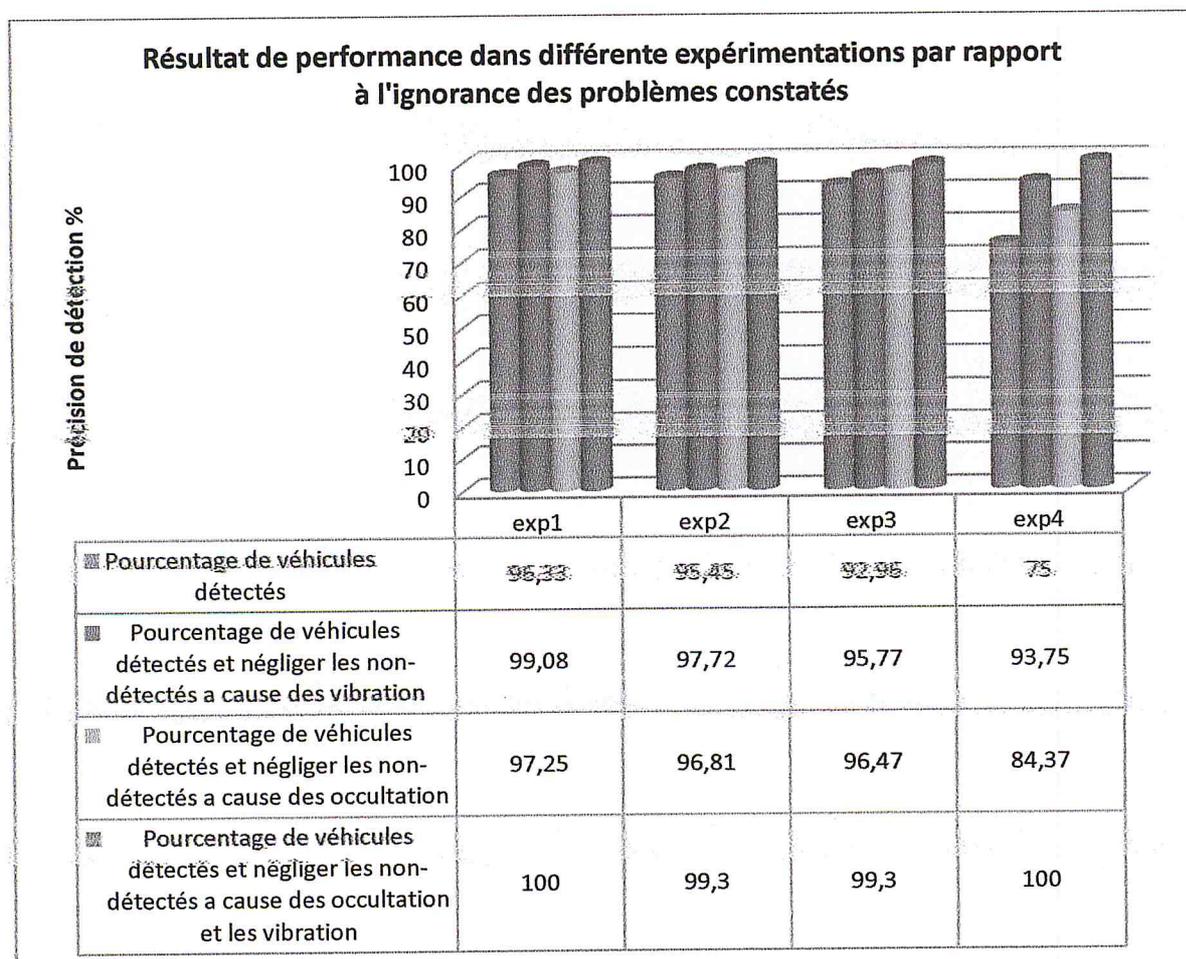


Figure 45 : Résultat de performance dans différente expérimentations par rapport à l'ignorance des problèmes constatés.

• Analyse

D'après l'analyse de ces résultats en remarque que la précision de détection dans les cas normaux (exp1, exp2) est de moyenne approuvable de 95,89% mais en peut la rendre plus exacte comme le montre le résultat des tests avec l'ignorance des non-détectés à cause des vibrations et la performance augmente avec un taux de 2,51% pour aboutir le 98,4% et la détection sera admissible, ou par l'ignorance des non-détectés à cause des occultations et la performance augmente de 1,14% pour atteindre le 97,03% et la détection sera aussi acceptable. Et si en néglige les non-détectés à cause des vibrations et des occultations la précision de détection augmente de 3,16% jusqu'à atteindre une précision de détection optimale et parfaite avec une moyenne d'un taux de 99,65% et la détection sera plus précise et idéale.

Dans le pire des cas (exp3, exp4) et avec la négligence des non-détectés à cause des vibrations la moyenne de la précision est de 94,76% la quelle est admissible, et si en néglige les occultations le taux de la précision sera 96,47, et avec l'ignorance des non-détectés à cause des vibrations et des occultations en atteindre une précision de détection optimale avec une moyenne d'un taux de 99,65% et la détection sera plus précise.

• Déduction

Après avoir faire plusieurs tests dans des différentes expérimentations, nous avons relevé des **anomalies** et on a trouvé les **solutions** suivantes pour améliorer la fiabilité de notre algorithme **COUNTING** :

1. Vibration de la caméra → Une bonne fixation de la caméra est indispensable. Et pour éviter la détection des petites vibrations on augmente la variable de la superficie minimal «*min_aria*» des objets à détecter.
2. Les occultations et la mauvaise position de la caméra → Surélévation maximum de la camera ou par une détection visuel par satellite.

Il est possible que plusieurs objets pénètrent dans la scène dans le même objet (voir *Figure.46*, *Figure.47*). Si ceux-ci restent dans un objet commun pour l'ensemble du suivi, il ne sera pas possible de les séparer puisque nous manquerons d'informations. Ils seront donc suivis comme un seul objet.

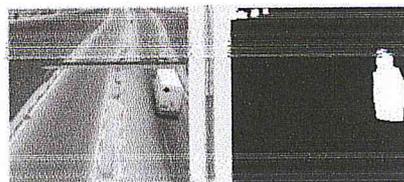


Figure 46 : Exemples réel d'une occultation.

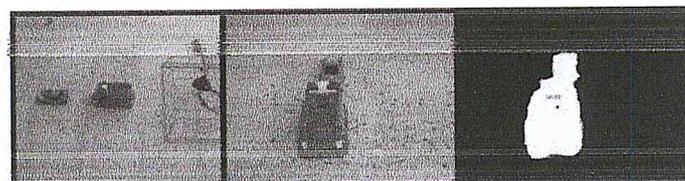


Figure 47 : Présentation d'une Occultation des véhicules

Surélévation maximum de la camera (voir Figure.48) ou par une détection visuel par satellite est la meilleur solution de ce problème.

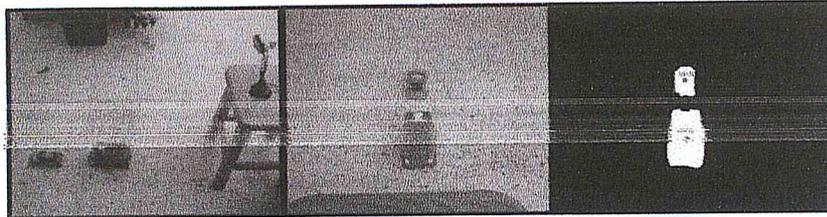


Figure 48 : Surélévation de la camera résoudra le problème d'occultation

3. Changement de l'identifiant du véhicule entre les deux lignes, par manque de stabilité de la caméra → Démeunier l'épaisseur des deux lignes à la fonction de la vitesse des véhicules.
4. Un véhicule roulant à grande vitesse peut traverser les deux lignes sans toucher l'une ou l'autre ou les deux à la fois, entre deux images successives → Augmenter l'épaisseur des deux lignes de façon à ce que le véhicule roulant a une grande vitesse touche successivement les deux lignes.

Un véhicule roulant à grande vitesse peut traverser les deux lignes sans toucher l'une ou l'autre ou les deux à la fois, entre deux images successives (voir Figure.49).

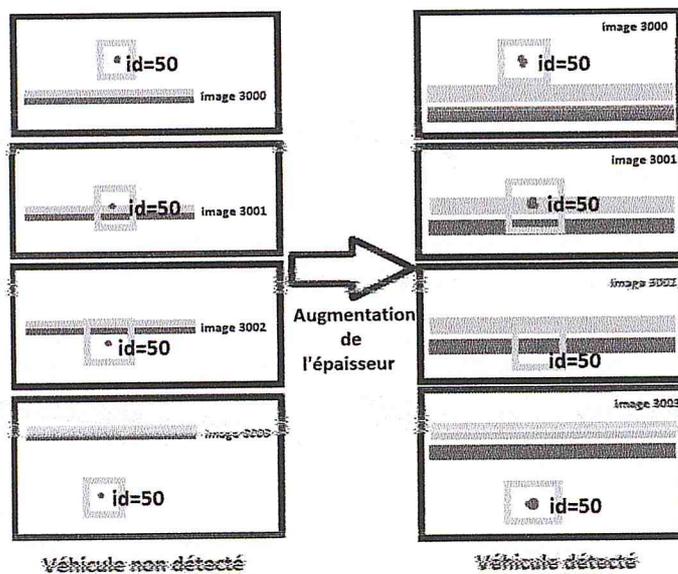


Figure 49 : Présentation de la nécessité de réglage de l'épaisseur

1.4 Conclusion

Au fil du quatrième et dernier chapitre, nous avons présenté la mise en œuvre de notre système de détection et de classification des véhicules sur une plateforme de réseau de capteurs sans fil en utilisant les capteurs sans fil. Suite à un ensemble d'expériences réelles, nous avons obtenu et présenté une série de résultats qui nous ont permis de tester la fiabilité de notre algorithme.

Ainsi nous avons montré l'efficacité de notre solution de détection avec le type de capteurs visuel utilisés et les circonstances des expériences réelles menées. Nous retenons de cela que notre algorithme a donné un bon niveau de fiabilité sur différents types de routes (un sens pour chaque voie/deux sens pour chaque voie).

2 Test de l'algorithme de stationnement PARKING

2.1 Paramètre de l'application

-*place* : structure d'une place de stationnement { position(x, y) , état(libre/occupée) } .

-*plc [nbr]* : tableau de structure « place », nbr : nombre total de place du parking.

-*résolution* : nombre de pixel a traité dans l'image

-*dist_beetwin_blobs*:

- Si la distance entre deux objets est inférieure à *dist_beetwin_blobs*, ces derniers sont considérés comme une seule unité,
- Sinon chaque objet est considéré comme une unité.

-*[min_aria,max_aria]*: c'est l'intervalle de la superficie des véhicules à détecter ou pour les classifier.

2.2 Implémentation de l'algorithme de stationnement PARKING

D'après les tests réels faites au CERIST cet algorithme est parfait, il nous reste sauf la réduction de la consommation de la mémoire qui implique la diminution de la résolution des images capturés pour faciliter les traitements.

Dans ce scénario nous allons faire deux expériences qui nous permettront de déterminer le paramètre suivant :

- Une résolution comprise entre [20x 20] px et [300x300] px de l'image

Cette expérience réelle a été effectuée sur un parking de huit places comme le montre la Figure.50, block B du CERIST à Ben Aknoun, Alger.

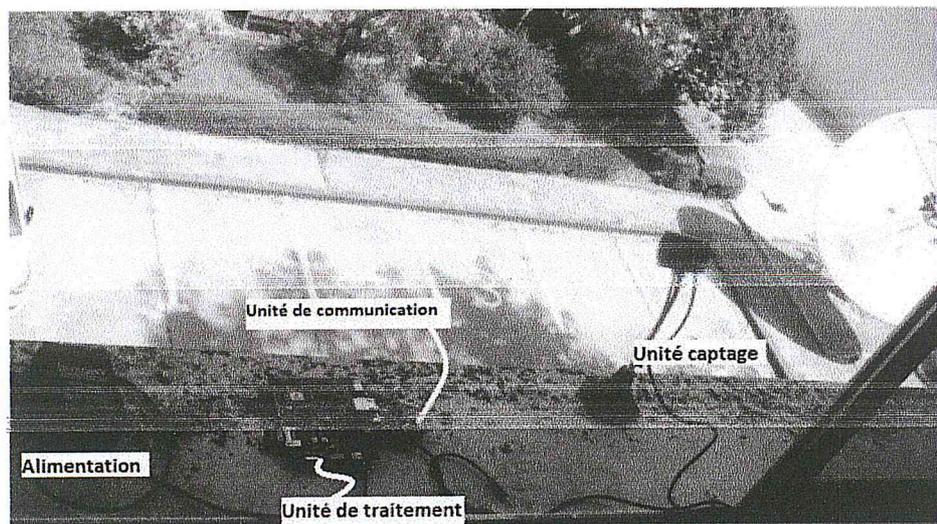


Figure50: Image réelle de notre expérience (PARKING)

2.3 Expérience

Dans cette expérience, nous avons utilisé la superficie des véhicules à détecter optimale obtenue, et nous avons effectué une variation de la résolution des images capturées pour atteindre le cas optimale de la précision et de consommation de mémoire. Les paramètres de test sont :

- Parking de huit places
- Une résolution comprise entre [20x 20] px et [300x300] px de l'image

Le résultat obtenu suite à ce test est résumé sous forme d'un graphe dans la Figure.51.

• Résultat

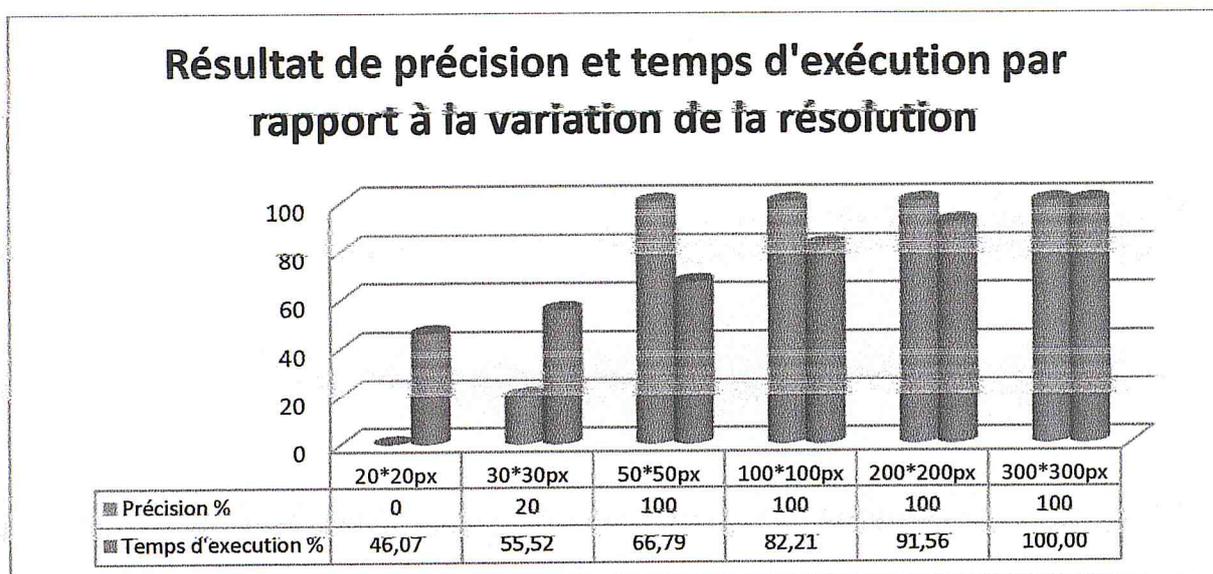


Figure 51 : Résultat de précision et temps d'exécution par rapport à la variation de la résolution

• Analyse

Si la résolution est mauvaise (de 20*20px à 50*50px) :

- Les algorithmes de traitements de l'image seront moins complexes, donc la consommation de la mémoire sera réduite.
- Le traitement sera plus rapide, par conséquent le temps d'exécution sera plus court.
- La précision de détection sera plus élevée si en augment la résolution.

Si la résolution est meilleure (de 100*100px à 300*300px) :

- Les algorithmes de traitements de l'image seront plus complexes, donc la consommation de la mémoire sera plus élevée.
- Le traitement sera lent, et donc le temps d'exécution devient plus long.
- La précision de détection est haute

• Déduction

La résolution doit être augmentée progressivement jusqu'à l'obtention d'une précision optimale. Dans le cas présent, on a constaté que la résolution de [50*50] px nous a permis d'obtenir une précision de détection plus élevée et parfaite de 100%, avec un temps d'exécution adéquat, d'où une consommation de mémoire réduite.

2.4 Conclusion

Comme on a pu le constater au travers des différentes simulations, notre objectif est atteint. En effet, le système qu'on a proposé permet aux capteurs visuels (caméra) de réagir de façon intelligente, améliorant ainsi l'extraction de nombre de points libres et occupés disponibles dans la zone de stationnement, avec l'ID de chaque spot au niveau des places de stationnements (PARKING).

3 Comparaison de notre solution de détection et classification avec celle basée sur les capteurs lumineux et magnétiques

Si nous devons considérer la solution proposée dans [3], [4], et dans [5] par nos camarades étudiant qui ont utilisé les capteurs lumineux et magnétique et ultrasons respectivement pour la détection des véhicules, et la comparer avec notre solution basée sur les capteurs visuels, les résultats que nous obtenons sont nettement meilleurs comme le résume le tableau suivant :

Tableau 2 : Bilan N°1 d'Algorithme de détection

	Fiabilité de détection
Algorithme de détection à base des capteurs lumineux	67% (20 détection sur 30 véhicules)
Algorithme de détection à base des capteurs magnétique	98% (90 détection sur 100 véhicules)
Algorithme de détection à base des capteurs ultrasons	100% (100 détection sur 100 véhicules)
Algorithme de détection à base des capteurs visuels	99,65% (324 détection sur 327 véhicules)

A partir des différents sites internet et suite à des informations recueillies auprès des chercheurs du Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique (CERIST), j'ai élaboré un tableau comparatif des moyens nécessaires à la réalisation du projet de détection des véhicules en utilisant le réseau de capteurs sans fil (voir Tableau 1).

Tableau 3 : Bilan N°2 d'Algorithme de détection

	cout	consommation énergétique	installation
Algorithme de détection à base des capteurs lumineux	++	++	++
Algorithme de détection à base des capteurs magnétique	+++	+++	++++
Algorithme de détection à base des capteurs ultrasons	++	++	+++
Algorithme de détection à base des capteurs visuels	+	++	+

4 Conclusion générale et perspectives

Depuis quelques années les avancées technologiques en terme miniaturisation des machines et des supports de communication ont rendu envisageable le déploiement et l'exploitation d'un nombre de capteurs, organisés en réseau. D'ailleurs selon le MIT (Massachusetts Institute of Technology), les réseaux de capteurs ont été identifiés comme l'une des technologies clefs de l'avenir et ce en raison de l'incroyable potentiel applicatif qu'elle renferme. Cependant, dans cette technologie reste relativement récente et soulève d'importantes problématiques de recherche en terme d'organisation, de communication, de gestion, et de la consommation d'énergie et l'exploitation des données récoltées. Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans ce cadre-là.

Nous avons donc étudié dans un premier temps les réseaux de capteurs sans fil et les différentes technologies des systèmes de transport intelligents, puis nous nous sommes familiarisés avec les outils et l'environnement de travail à savoir les capteurs visuels, et la cartes Pandaboard, et les langages de programmations C et C++. Dans un second temps, nous avons présenté en détail l'approche de conception de nos deux algorithmes de détection basés sur un programme de traitement de l'image. A la fin, nous avons mené des expériences afin de tester notre système dans un environnement réel et retenir les meilleures conditions permettant de donner un rendement optimal de notre application.

Le système que l'on a mis en œuvre a montré des résultats très encourageant en termes de fiabilité de détection de l'algorithme PARKING avec un taux atteignant les 100%, de même que les résultats de l'algorithme CONTING obtenus qui étaient très bons, où ils pouvaient atteindre un taux de 99%.

4.1 Améliorations futures possibles

Ce travail, ouvre la porte à plusieurs perspectives que l'on résumera comme suit :

- Les faiblesses de notre algorithme proviennent directement de l'utilisation de la soustraction d'arrière-plan. Le premier problème est que les ombres peuvent déformer beaucoup les objets. Un certain nombre de techniques d'élimination d'ombres ont été essayées, mais celles-ci n'ont pas donné de bons résultats puisqu'elles avaient souvent pour effet d'enlever une bonne partie des objets considérés et de fragmenter les blobs. L'utilisation d'autres méthodes pourrait toutefois permettre d'améliorer la précision de l'algorithme.
- Notre solution de classification pourrait être améliorée après l'utilisation de nouveaux critères d'analyse différent, nous renseigner de la superficie de l'objet a détecté , ou bien en créant tout simplement une base de données des signatures enregistrées sur un ensemble de véhicules bien définis avec lesquelles des comparaisons peuvent être faites avant chaque classification.
- Implémentation de nos algorithmes dans des applications diverses, telles que les Systèmes de transport intelligent comme la gestion des intersections et l'affichage des temps de parcours des autoroutes, où l'on pense que les algorithmes que nous avons réalisés, et qui ont obtenu des bons résultats de précision de détection de véhicules circulant sur les deux sens des deux voie, pourront être utiles et bénéfiques pour cette application importante qui pourra aider à diminuer la charge connue dans les intersections et les autoroutes.

- Pareillement, avec la collecte des données qu'effectuent nos deux algorithmes, nous pouvons penser à la réalisation de plusieurs systèmes d'aide à la décision qui peuvent servir dans la vie quotidienne, comme pour une gestion de parking par une interface web qui évitera les longues files d'attente.
- Utilisation des réseaux GSM au lieu des réseaux de capteur pour le transfert des données en temps réel (voir *Figure 52*).

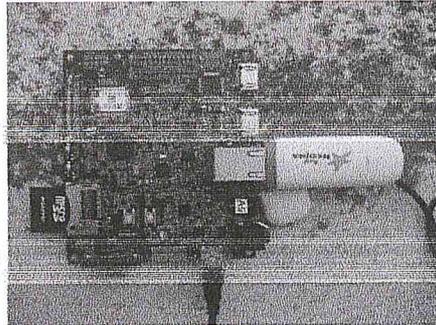


Figure 52 : Utilisation d'une clé Ooredoo pour le transfert des données en temps réel dans le réseau GSM

Enfin, ce projet a fait l'objet d'une expérience intéressante qui m'a permis à la fois d'acquérir de nouvelles connaissances et d'améliorer mes compétences dans le domaine de traitement de l'image et des réseaux en général et celui des réseaux de capteur en particulier.

Bibliographie

- [1] Réseaux en mode ad hoc et cellulaire. [En Ligne] : <http://www.clubic.com/article-14372-2-les-reseaux-locaux-sans-fil.html>
- [2] Rebhi Y, Mokdad M. «Implémentation d'un protocole de planification pour la collection de données agrégées dans un réseau de capteurs sans fil» USDB, Septembre 2013.
- [3] Ouali Med, Kermia Amar. « Développement d'un système de détection et de classification des véhicules à base de capteurs ultrason » UMBB. juin 2014
- [4] adlane, I. A. Le service technique de l'information et développement de technologie. Université des sciences et de la technologie «HOUARI BOUMEDIEN». (2012).
- [5] M.G, S. e. (s.d). Vehicle-Classification Algorithm Based on ComponentAnalysis for Single-Loop Inductive Detector. META.
- [6] M. Badet, W. Bonneau. " Mise en place d'une plateforme de test et d'expérimentation", Projet de Master Technologie de l'Internet 1ere année, Université Pau et des pays de l'Adour. 2006.
- [7] I. Akyildiz, W. Su, E. Cayirci, Y. Sankarasubramaniam. "A survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA. Août 2002.
- [8] Sofiane MOAD. « La consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil ». IFSIC-Rennes 1. 2008.
- [9] RSF, comment ça marche. [En Ligne] : {HYPERLINK "http://www.commentcamarche.net/contents/1309-reseaux-sans-fil-wireless-networks"}.
- [10]: A. Manjeshwar and D. P. Agarwal. «Apteen: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks»-. Parallel and distributed processing Symposium. Proceedings International, IPDPS, pp. 195-202, 2002.
- [11] Younis, A. a. A survey on routing protocols for wireless sensor networks, Ad Hoc Networks. (2005).
- [12] L. Schwiebert, S. G. Research challenges in wireless networks of biomedical sensors. RUME. (2001).
- [13] Jr, J. d. Design methodology for PicoRadio networks, Design, AutomationTest Eur. Germany. (2001).
- [14] I.F.Akyildiz, W. Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. (2002).
- [15] adlane, I. A. le service technique de l'information et développement de technologie. Université des sciences et de la technologie «HOUARI BOUMEDIEN». (2012).
- [16] les transports intelligents. [En Ligne]. {<http://www.transport-intelligent.net/technologies/capteurs-77/>}
- [17] Hamza TERIAKI, Roumaïssa RAGHDI . « Reconnaissance d'objet dans une image pour application (organisation du parking) en se basent sur la segmentation automatique ». USTHB 2013.
- [18] Marquage du stationnement, wikipedia. [En Ligne]. {http://fr.wikipedia.org/wiki/Marquage_du_stationnement_en_France}.

