



Détection des groupes de piétons et adaptation en temps réel du temps de vert

Expérimentation d'un capteur thermique



Rapport d'étude

Référence de la commande		
Maître d'ouvrage	Délégation à la sécurité routière	
	Cerema Direction Technique Territoires et Ville	
Coordonnées du correspondant	Nom	DAMAS Christophe
		04 72 74 59 44
	@	Christophe.damas@cerema.fr

Référence de l'affaire : C16 TV 0097 – C16 TV 0175		
Chargé d'affaire	Nom	SPEISSER Nicolas
		03 87 20 45 23
	@	Nicolas.speisser@cerema.fr
Référence Intranet	http://intra.dterest.cerema.i2	

Auteurs	LAB Samuel SPEISSER Nicolas
Contributeurs	PAGNEUX Gérald SZYMKOWIAK Eric
Relecteurs	DAMAS Christophe, Cerema DtecTV HIRON Benoît, Cerema DtecTV LOESCH Dominique, Metz Métropole TORTEL François, Cerema Est

Sommaire

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	4
1.1 Contexte	4
1.2 Objectifs de l'évaluation	5
2. PRÉSENTATION DU MATÉRIEL FLIR TRAFIONE	5
2.1 Présentation générale	5
2.2 Fonctionnement du capteur	5
2.3 Modes et contraintes d'installation du matériel	5
2.4 Fiche récapitulative de l'industriel	7
3. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION	8
3.1 Site retenu et problématique	8
3.2 Installation du matériel et paramétrage	10
3.3 Déroulement de l'évaluation	12
4. RÉSULTATS	14
4.1 Évaluation de la fiabilité du capteur	14
4.2 Évaluation des mesures de régulation induites	17
4.3 Évaluation du bénéfice en termes de sécurité routière	19
5. LIMITES DU SYSTÈME ET PERSPECTIVES	21
6. CONCLUSION	22

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1 Contexte

Afin d'assurer la sécurité des piétons, il est essentiel de bien prendre en compte ces usagers vulnérables au niveau des traversées piétonnes.

En 2011, 88 % des piétons tués le sont en traversant la chaussée dont 24 % à moins de 50 mètres d'un passage piéton et 29 % sur le passage piéton. Près d'un piéton tué sur trois était donc sur un passage piéton, signe qu'il est important de sécuriser encore davantage ces traversées piétonnes.

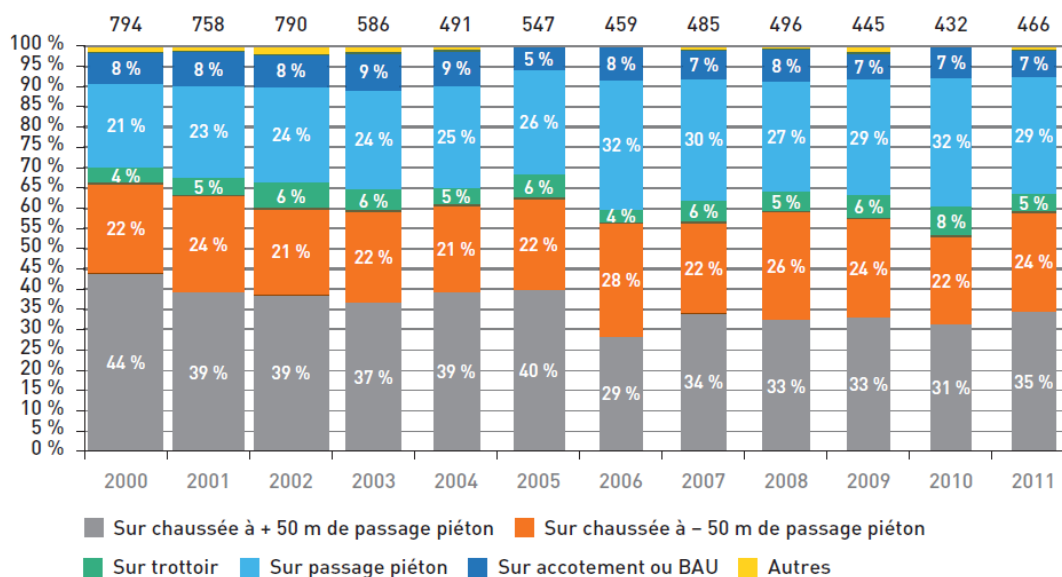


Illustration 1: Evolution de la mortalité des piétons selon leur localisation

source : ONISR, fichier des accidents. Les effectifs de la mortalité à 6 jours comptabilisés avant 2005 sont corrigés pour conversion en mortalité à 30 jours par application du coefficient majorateur de 1,069.

De nombreux carrefours à feux font l'objet de flux piétons importants. Le fonctionnement des feux n'est pas toujours adapté à ces flux. Les cycles de feux prévoient généralement un temps de vert fixe pour leur permettre de traverser. Quand un groupe de piétons se présente à un carrefour, les temps de vert ne sont parfois pas suffisants pour assurer la traversée de tous, en toute sécurité. En particulier, la traversée des groupes scolaires pose parfois problème, puisqu'elle nécessite un temps long, et ce temps de traversée ne peut pas être donné systématiquement. Il est donc important que le carrefour puisse s'adapter en temps réel à la fréquentation piétonne. Le capteur qui fait l'objet de cette évaluation pourrait permettre d'évaluer le nombre de piétons se présentant au carrefour, et d'adapter le plan de feu en conséquence.

1.2 Objectifs de l'évaluation

L'objectif de ce travail est d'évaluer un système d'adaptation des durées de vert aux flux piétons, basé sur une quantification des flux piétons par des capteurs thermiques. Il s'agit ainsi de mettre en service plusieurs capteurs de type FLIR TrafiOne, d'évaluer précisément leur fonctionnement et leur fiabilité, puis d'évaluer globalement l'apport de la mise en place de ces capteurs pour la sécurité des piétons.

2. PRÉSENTATION DU MATÉRIEL FLIR TRAFIONE

2.1 Présentation générale

TrafiOne est un détecteur pour la gestion du trafic routier et la commande dynamique des feux tricolores développé par la société FLIR.

TrafiOne associe un capteur d'imagerie thermique FLIR Lepton à des algorithmes de détection vidéo thermique intégrés pour détecter :

- les véhicules et cyclistes au niveau de la bande d'arrêt et à l'avance ;
- les piétons et cyclistes sur le trottoir et/ou sur le passage piéton.

2.2 Fonctionnement du capteur

Le TrafiOne utilise l'imagerie thermique pour détecter à la fois la présence de véhicules et de cyclistes en approche ou à l'arrêt à une intersection, tout comme il est capable de détecter les piétons et cyclistes traversant ou attendant à un passage piéton.



Illustration 2: Image thermique issue du capteur associée à une zone de détection prédéfinie

Le capteur d'imagerie thermique permet également de détecter piétons, cyclistes ou véhicules dans l'obscurité la plus totale, dans l'ombre et le contre-jour. Par conséquent, il est en capacité de détecter le trafic 24h/24, 7j/7.

Le capteur est relié au contrôleur des feux via des sorties à contact sec ou via le réseau de communication TCP/IP, pour un contrôle plus dynamique de la signalisation, basé sur des informations de présence ou de débit.

2.3 Modes et contraintes d'installation du matériel

Les capteurs TrafiOne sont fixés sur un mât dans une position surélevée ou latérale, en direction de la route ou du trottoir, et face au trafic entrant / sortant afin de détecter les véhicules, les piétons qui attendent ou traversent, et les cyclistes. Le support de feu est souvent utilisé comme mât de fixation pour installer le capteur.

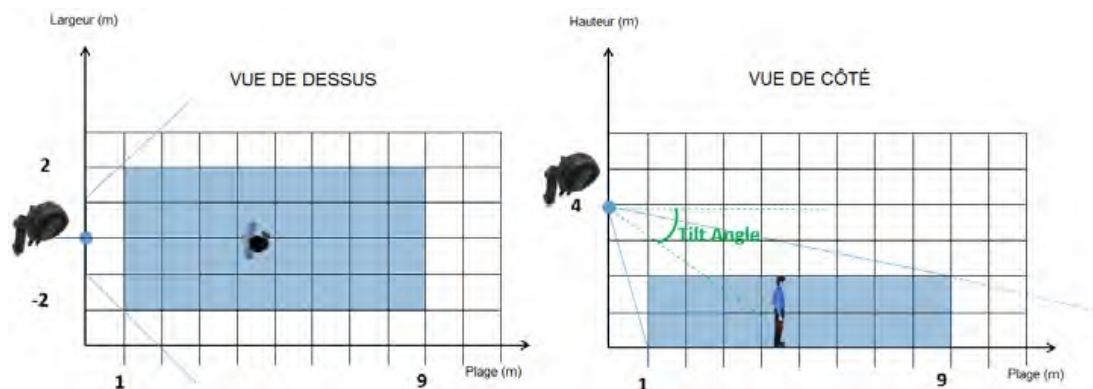


Illustration 3: Installation du capteur et définition des zones de détection

Une fois installés sur leurs mâts, il est possible de paramétrer jusqu'à 8 zones de détection par capteur pour détecter les piétons :

- s'approchant du passage piéton ;
- attendant au niveau du trottoir ;
- traversant sur le passage piéton.

Il est préconisé d'installer le matériel à une hauteur comprise entre 3 et 6 mètres, en fonction de la taille de la zone de détection et de l'angle (la notice du matériel donne des valeurs précises pour chaque taille de zone).

Il existe 2 modes de détection différents :

- Un mode de présence standard qui détecte les piétons indépendamment de leur mouvement et de leur direction.
- Un mode de présence directionnelle qui détecte uniquement les piétons qui se déplacent selon la direction configurée et dans l'angle d'écart configuré, et ignore tous les croisements de trafic, y compris les véhicules.

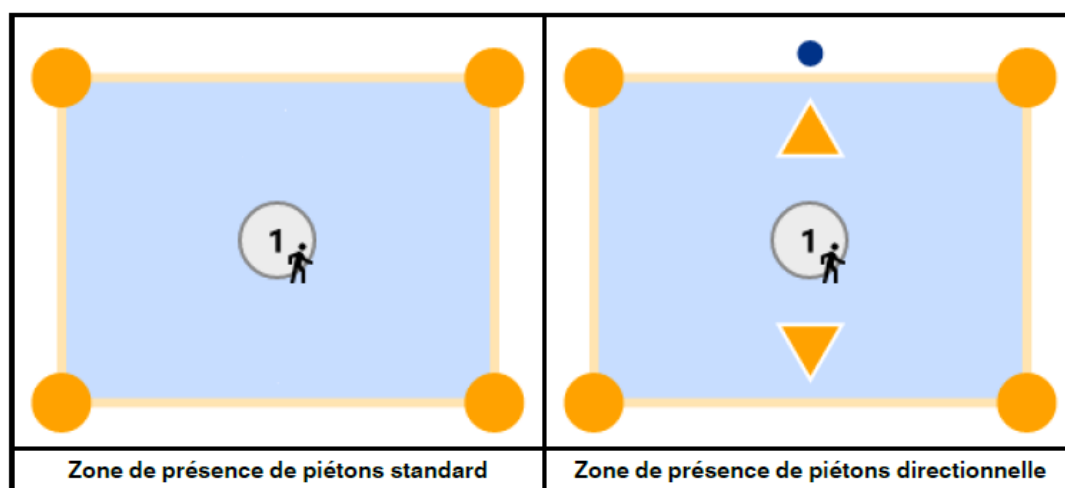


Illustration 4: Modes de détections du capteur

2.4 Fiche récapitulative de l'industriel

Présentation du système		TrafiOne	
Fonctionnalités	Détection de présence de piétons et de vélos sur le trottoir et le passage protégé Détection des véhicules et vélos en approche ou à l'arrêt à une intersection (licence en option) Surveillance Wi-Fi (licence en option) Diffusion de vidéo visible HD (licence en option)		
Nombre de zones de détection	8 zones de présence de véhicules 8 zones de présence de piétons		
Configuration	Page Web par Wi-Fi sécurisé ou Ethernet		
Capteur thermique			
Résolution	160 x 120		
Nombre d'images par seconde	9 ips		
Type de détecteur	Matrice à plan focal (FPA), capteur infrarouge grandes ondes (LWIR) à microbolomètre VOx non refroidi Longueur d'onde de 8 à 14 µm		
Vidéo en continu	RTSP		
Compression	H.264, MPEG-4, MJPEG		
Capteur visible			
Résolution	CMOS HD couleur 1080 x 1920		
Nombre d'images par seconde	30 images/s		
Champ de vision horizontal de l'objectif	95 °		
Vidéo en continu	RTSP		
Compression	H.264, MPEG-4, MJPEG		
Types de produit			
Nom du produit	TrafiOne 195	TrafiOne 156	
Référence	10-7070	10-7075	
Champ de vision horizontal	95 °	56 °	
Distance de détection (selon la hauteur d'installation)	Présence de véhicules et de vélos : 0 – 20 m Présence de piétons et de vélos : 0 – 12 m	Présence de véhicules et de vélos : 20 – 40 m Présence de piétons et de vélos : 10 – 25 m	
Hauteur d'installation	3,5 – 6 m	5,5 – 8 m	
Boîtier			
Matériau	Boîtier en aluminium avec pare-soleil PC GF10		
Support	Brides de fixation PA GF30 et tube en aluminium		
Alimentation, sorties, communication			
Alimentation	12 – 42 VCA/VCC		
Consommation électrique	3 W		
Sorties	1 Contacts secs N/O et N/C directs 16 contacts secs N/C via l'interface TI BPL2		
Ethernet	10/100 MBps		
PoE	PoE A et PoE B		
Communication par courant porteur	Jusqu'à 2 MBps via l'interface TI BPL2		
Wi-Fi	IEEE 802.11		
Spécifications environnementales			
Résistance aux chocs et aux vibrations	Spécifications NEMA TS2		
Matériaux	Résistant aux intempéries et aux UV		
Indice IP	IP67		
Plage de température	-40 °C à +55 °C (-40 °F à +131 °F)		
FCC	FCC partie 15, classe A		
Conformité aux réglementations			
Directives UE	CEM 2014/30/EU, RoHS 2011/65/EU		

3. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉVALUATION

3.1 Site retenu et problématique

L'évaluation du capteur TrafiOne a été réalisée sur un site présentant des enjeux importants en termes de sécurité. Ce site est situé sur le boulevard Paixhans à Metz. Ce boulevard urbain présente un trafic important, avec des vitesses pratiquées élevées, la vitesse étant limitée à 50 km/h.

La ville de Metz a souhaité évaluer cette stratégie de régulation du trafic sur cette traversée, dans l'optique de la déployer plus largement sur son territoire si son efficacité en termes de sécurité est avérée. Le site étudié est situé entre un collège et un gymnase. Plusieurs fois par jour, des groupes scolaires, composés de 15 à plus de 50 enfants, traversent ce carrefour pour rejoindre leur collège ou le gymnase.

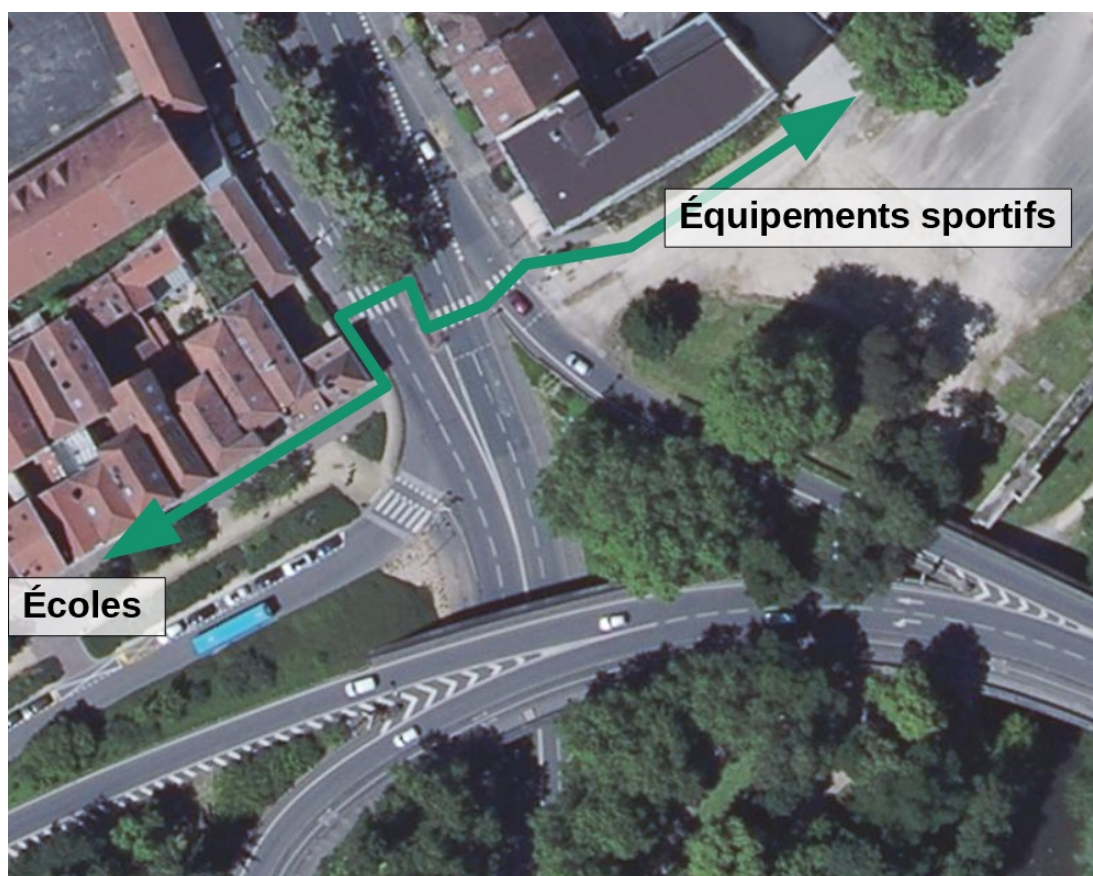


Illustration 5: Cheminement emprunté par les groupes scolaires et traversée piétonne

La traversée de ces groupes nécessite une durée plus longue, largement supérieure au temps fixe de traversée habituellement prévu, inférieur à 15 secondes. Le boulevard est congestionné en heure de pointe. Au vu de la demande de trafic sur cet axe, il n'était pas possible de donner systématiquement un temps de traversée très long, au risque de saturer complètement cet axe. Il est également important que les feux de circulation restent crédibles pendant les périodes où les piétons sont très peu nombreux. C'est donc bien la grande variabilité du trafic piéton qui justifie la mise en place d'une stratégie de régulation adaptative.

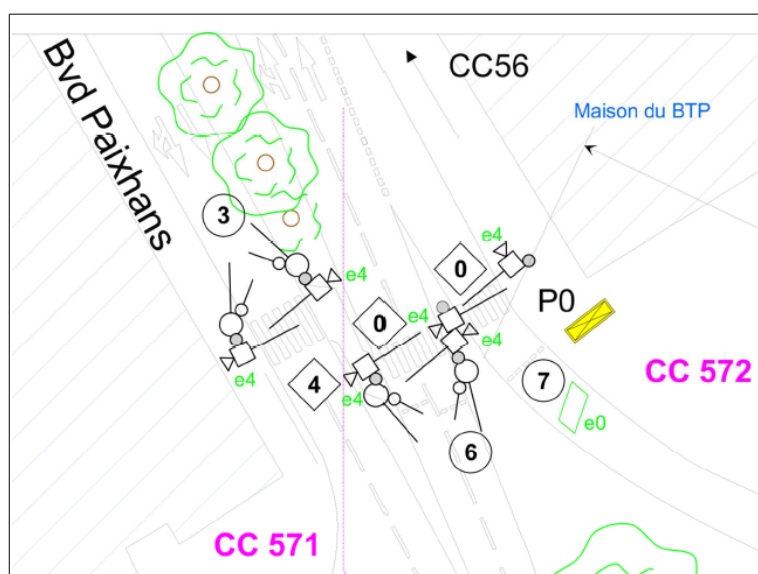
Avant la mise en service du capteur, une grande partie des élèves traversaient la route alors que le feu piéton était déjà passé au rouge, voire que le feu pour les voitures était déjà

passé au vert. Cette situation à risque devait être évitée. La mise en place du capteur devrait donc permettre de détecter en temps réel la présence d'un groupe de piétons, d'évaluer sa taille et de donner ponctuellement un temps de vert adapté à la taille du groupe.



Illustration 6: Traversée piétonne réalisée par un groupe scolaire sur le boulevard Paixhans avant la mise en service du capteur

Le carrefour sur lequel les capteurs ont été installés présente une particularité. En effet, du point de vue de la régulation, cette traversée n'est pas gérée comme un carrefour unique, celle-ci est décomposée en deux entités bien distinctes (voir illustration ci-après, CC571 et CC572). Pour des questions de régulation sur cet axe structurant, le premier demi-carrefour est coordonné avec le carrefour situé en aval sur le même axe, alors que le second demi-carrefour est coordonné à celui en amont. Cela implique que les groupes scolaires doivent effectuer la traversée en deux temps en marquant un arrêt sur l'îlot central qui n'est pas adapté pour stocker confortablement de grands groupes. Aussi, pour améliorer la sécurité des piétons, parallèlement à la mise en place du capteur, un travail sera réalisé pour coordonner les feux afin de favoriser, dans la mesure du possible, des traversées en une fois sans arrêt sur l'îlot central.



7. Illustration: Schéma du carrefour

Sur la première demi-traversée n°4 côté Ouest, mesurant 7 mètres, le temps de dégagement est de 7 secondes. Sur la seconde demi-traversée n°0 (qui comporte un îlot sans feux), le temps de dégagement est de 14 secondes.

3.2 Installation du matériel et paramétrage

Sur le boulevard Paixhans, la traversée piétonne a été équipée de 3 capteurs Trafione.

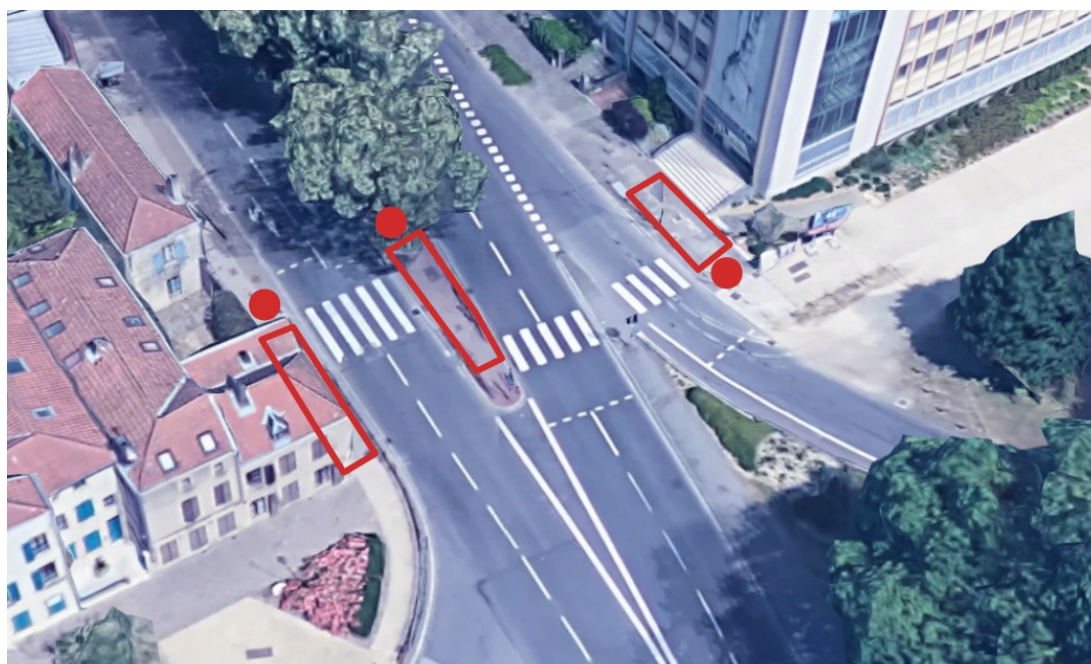
Les capteurs ainsi mis en place ont permis de définir 3 zones de détection :

- une première à l'extrémité Ouest de la traversée ;
- une deuxième à l'extrémité Est de la traversée ;
- une dernière sur l'îlot central qui sépare les deux sens de circulation automobile.

L'installation et le paramétrage des capteurs ont nécessité de définir précisément des zones de détections. Pour les extrémités Est et Ouest, les zones de détections ont été définies au droit de la traversée. Sur l'îlot central, la zone de détection correspond à l'îlot tout entier.



Illustration 8: Capteur installé sur le support de feu du boulevard Paixhans



● Emplacement du capteur

▭ Zone d'attente détectée par le capteur

Illustration 9: Emplacements des capteurs et des différentes zones de détection

Il a ensuite fallu définir quelles seraient les actions de régulation à mettre en œuvre lorsque des groupes scolaires se présentent dans les différentes zones. La durée de vert est adaptée en fonction du taux d'occupation des zones. 3 seuils de taux ont été identifiés.

Après de nombreux tests pour paramétrer correctement les capteurs, les seuils et temps suivants ont été validés.

	Temps de vert accordé aux piétons sur chaque demi-traversée ¹
Fonctionnement nominal	Entre 10 et 15 secondes
Seuil 1	25 secondes
Seuil 2	35 secondes
Seuil 3	50 secondes

Tableau 1: Temps de vert accordés et notions de seuils

Les temps de vert accordés pour chaque seuil ont été définis et recalés suite au visionnage des vidéos. Ils correspondent au temps de traversée des groupes observés, auxquels quelques secondes de marge ont été ajoutés.

Les zones d'attentes définies préalablement n'ont pas toutes la même surface, c'est la raison pour laquelle les actions de régulation mises en place sont déclenchées suivant des taux d'occupation qui peuvent varier d'une zone à l'autre.

	Taux d'occupation		
	Capteur 1 (côté Ouest)	Capteur 2 (îlot central)	Capteur 3 (côté Est)
Seuil 1	30 %	25%	30 %
Seuil 2	50 %	45 %	50 %
Seuil 3	75 %	70 %	75 %

Tableau 2: Taux d'occupation et notions de seuil

En résumé, si un groupe de piétons se présente du côté Ouest, et si ce groupe occupe 50 % de la zone d'attente, alors il déclenche un seuil 2. Un temps de vert de 35 secondes lui sera accordé pour chaque demi-traversée.

Ainsi, un groupe n'occupant que 20 % de la zone d'attente ne génère pas d'action de régulation particulière. Les personnes isolées ou petits groupes de 4-5 piétons ne se verront donc pas attribuer un temps de vert supplémentaire. En effet, pour ces groupes de petite taille, le temps de vert proposé en fonctionnement normal a été jugé suffisant pour traverser dans de bonnes conditions de sécurité.

1 Pour rappel la traversée piétonne est décomposée en deux. De part et d'autre de l'îlot central les traversées sont gérées indépendamment avec des périodes de vert qui peuvent se superposer. Un seuil 1 de 25 s sera donc mis en place de part et d'autre de la traversée.

3.3 Déroulement de l'évaluation

L'évaluation porte sur trois aspects :

- tout d'abord, la fiabilité des mesures du capteur, c'est-à-dire s'il est capable de détecter précisément la présence de piétons et d'évaluer la taille des groupes ;
- ensuite, nous avons évalué le lien entre la détection d'un groupe par le capteur et la mesure de régulation donnée sur le terrain par le PC Régulation, c'est-à-dire si la traversée d'un groupe a effectivement engendré un temps de vert adapté ;
- enfin, le bénéfice en termes de sécurité routière, c'est-à-dire l'évolution des conditions de traversée après la mise en place du dispositif.

La méthode d'évaluation détaillée ci-après et les résultats obtenus sont le fruit d'un travail mené conjointement entre le Cerema Est et le PC Régulation du Trafic de Metz.

Le carrefour étudié a été filmé par l'intermédiaire d'une caméra mobile du Cerema, avant la mise en service des capteurs TrafiOne, aux mois de décembre 2016, mai et juin 2017.

La fiabilité du capteur a été évaluée dans toutes les conditions météorologiques (périodes de températures négatives, chaleurs estivales, de jour et de nuit, par temps de pluie, de brouillard, etc).

Ces vidéos réalisées servent de situation de référence pour la suite de l'étude afin de pouvoir évaluer correctement l'impact de la mise en place des différents capteurs sur la traversée piétonne.



Illustration 10: Caméra mobile installée pour filmer la situation de référence

Le visionnage de ces vidéos (5 journées) par des agents a permis de mettre en évidence les pratiques des groupes scolaires lors de leurs traversées (nombres de piétons traversant au vert, au rouge de dégagement et au rouge piéton). Les résultats de cette situation de référence sont détaillés dans la partie 4.3.

Après l'installation des capteurs, de nouveaux enregistrements vidéos ont été réalisés aux mois de février, avril, mai et juin 2018, afin de pouvoir évaluer l'impact du dispositif sur les traversées de groupes et sur la sécurité des piétons.

Les enregistrements effectués (7 journées) ont également été visionnés afin de comparer les pratiques de traversées à la situation de référence et évaluer les bénéfices en termes de sécurité sur les traversées de groupes scolaires.

Les évaluations ont été réalisées en utilisant le firmware validé et préconisé par le fabricant.



Illustration 11: Extrait d'un enregistrement réalisé à partir de la caméra mobile

4. RÉSULTATS

4.1 Évaluation de la fiabilité du capteur

4.1.1 Évaluation de la détection des piétons

Références normatives

Il n'existe pas de normes traitant explicitement de ce type de mesures.

Les normes NF P 99-300 et NF P 99-330 « Données routières : élaboration, stockage et diffusion. Unités de mesure et de traitement. Nature, exactitude des données de trafic routier et séquençage métrologique » ne définissent pas la détection d'un piéton comme une grandeur mesurable par les capteurs qui s'y réfèrent. Il n'y a donc pas de classe d'exactitude définie pour cette détection.

Néanmoins, nous nous inspirons des méthodes de qualification du mesurage des différentes grandeurs du trafic routier développées dans ces deux normes. On peut ainsi envisager d'appliquer les classes d'exactitude définies pour la détection des véhicules extraites du « tableau 3.1 Résultats de mesures individuelles du chapitre 9 de la norme NF-P-99-300 » reportée dans le Tableau 3 ci-dessous.

Notation usuelle	Nature de la mesure	Code	Domaine d'application	Classes d'exactitude			
				A	B	C	D
DET	Détection d'un véhicule	XI	Tous véhicules	≤ 1 %	≤ 3 %	≤ 6 %	> 6 %

Tableau 3: Définition des classes d'exactitude pour la détection des 2 roues

On se référera également :

- à la norme NF ISO 3534-1 pour le vocabulaire et symboles de statistique – Partie : termes de statistiques généraux et termes utilisés en calcul de probabilités ;
- à la norme NF X 06-032 : traitement statistique des données, détermination d'un intervalle statistique de dispersion ;
- à la norme NF X 06-050 : application à la statistique, étude de la normalité d'une distribution.

Résultats obtenus

Des enregistrements issus du capteur d'imagerie thermique ont été réalisés dans le but d'évaluer si les piétons et éventuellement cyclistes se présentant dans les zones d'attentes définies étaient convenablement détectés.

Deux types de défauts ont ainsi pu être mis en évidence :

- Le premier défaut est la **non détection**. Le taux de non détection représente la part des piétons réellement présents dans la zone de détection mais qui n'ont pas été détectés. De plus, s'agissant d'un détecteur de présence et non de comptage le taux de détection devra être calculé non pas par rapport au nombre de piétons mais par

rapport au nombre d'événements (une arrivée d'un ou plusieurs piétons est un événement) pendant lequel il y a au moins un piéton présent.

- Le deuxième défaut est la **fausse détection** : on mesurera le taux de fausses détections, comme la part de détections ne correspondant pas à la présence réelle d'un piéton. Généralement, il s'agit d'une détection alors qu'il n'y a aucun piéton dans la zone, ou du maintien de la détection d'un piéton alors que celui-ci a quitté la zone.

Le visionnage de ces vidéos a permis d'analyser 732 arrivées de piétons/cyclistes ou « événements ».

Sur ces 732 événements on peut distinguer :

- Ceux qui s'arrêtent dans la zone d'attente pour effectuer une traversée piétonne (167 événements). Pour ce cas de figure on observe 100 % de détection et 7 fausses détections (4,19%).
- Ceux qui traversent la zone sans s'y arrêter (565 événements). Pour ce cas de figure on observe 99,82 % de détection (1 non détection qui correspond à un cycliste à vitesse élevée) et 8 fausses détections (1,42%).



Illustration 12: Image issue du capteur TrafiOne. On peut apercevoir en haut à gauche la date, l'heure, le numéro de la zone, et surtout le taux d'occupation de la zone en temps réel (noté « Occ »). A cet instant précis, les piétons occupent 18 % de la zone d'attente définie. Cette zone est représentée par le rectangle blanc.

En ce qui concerne les fausses détections, les 15 cas répertoriés représentent 2,05 % du total des détections.

Dans l'ensemble de l'échantillon de test (732 événements), le taux de non-détection est de 0,14 % (une seule non détection), encadré dans l'intervalle de confiance à 95 % de [0,01% - 0,14 % - 0,72%]. **On peut donc conclure sur la fiabilité du capteur** (qui serait classé A en prenant la norme NF-P-99 300 comme référence) en ce qui concerne **sa capacité à détecter les piétons.**

4.1.2 Évaluation du taux d'occupation

En fonction du taux d'occupation de la zone d'attente, les seuils enregistrés précédemment (voir Tableau 2: Taux d'occupation et notions de seuil) impactent les cycles de feux. Le Cerema a ainsi cherché à évaluer si le taux d'occupation de la zone d'attente était cohérent avec le nombre de personne dans la zone d'attente.

Les 732 évènements observés grâce aux enregistrements issus du capteur d'imagerie thermique ont ainsi été analysés. Les taux d'occupation pour ces évènements ont été relevés, ainsi que le nombre de piétons présents à chaque évènement. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant. Seuls les groupes composés de 1 à 6 piétons présentent des effectifs suffisants pour réaliser une analyse statistique (444 arrivées de 1 piétons, 180 arrivées de 2 piétons, ..., et seulement 4 arrivées de groupes de 6 piétons). Pour les groupes de 7 piétons et plus, nous n'avions que 1 ou 2 cas, ce qui n'a pas permis d'effectuer une analyse.

La détection des grands groupes est traitée dans la partie suivante.

Piétons	Taux d'occupation Moyen (%)	Taux Minimum (%)	Taux Maximum (%)	Écart-type	Effectif
1	4,61	1	14	2,40	444
2	7,99	1	27	3,65	180
3	12,07	5	27	4,21	61
4	13,77	4	23	5,21	26
5	19,50	9	27	5,81	8
6	19,50	17	24	3,11	4

Tableau 4: Évaluation du taux d'occupation en fonction du nombre de piétons

Ce tableau montre notamment qu'en moyenne, un groupe de 2 piétons occupait 8 % de la zone. Toutefois on remarque qu'au maximum, un groupe de 2 piétons a occupé 27 % de la zone.

Les valeurs minimales et maximales s'expliquent par le fait que le taux d'occupation dépend beaucoup du placement précis des piétons. S'ils sont alignés avec le capteur, un piéton peut en cacher un autre, ce qui diminue le taux d'occupation. De manière générale, plus les piétons sont proches les uns des autres, plus le taux d'occupation global est faible. La vitesse a également un impact sur le taux d'occupation. Un piéton traversant la zone rapidement occupera davantage d'espace pour le capteur qu'un piéton arrêté dans la zone.

Il semble donc que le taux d'occupation moyen indiqué par le capteur soit globalement représentatif du nombre d'individus présents dans la zone d'attente. En moyenne, sur la zone d'attente étudiée, un piéton occupe 3,6 % de la zone.

4.2 Évaluation des mesures de régulation induites

Le visionnage des vidéos réalisées après la mise en service du capteur a permis de mettre en évidence les temps de vert attribués aux groupes scolaires. Pour chacun des 45 groupes de piétons ayant effectué la traversée, nous avons compté le temps de vert qui leur a été offert. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants.

Demi-traversée 7 mètres (Ouest)					
Temps de vert	Nombre de groupes	Seuil	Effectif minimum	Effectif maximum	Effectif moyen
14 s	2	-	9	28	-
15 s	3	-	7	34	-
25 s	13	Seuil 1	7	30	23
35 s	27	Seuil 2	7	53	26
50 s	0	Seuil 3	-	-	-

Tableau 5: Temps de vert accordés sur la traversée de 7 mètres

Demi-traversée 14 mètres (Est)					
Temps de vert	Nombre de groupes	Seuil	Effectif minimum	Effectif maximum	Effectif moyen
11 s	1	-	28	28	-
14 s	1	-	28	28	-
15 s	1	-	7	7	-
25 s	10	Seuil 1	7	34	22
35 s	32	Seuil 2	7	53	26
50 s	0	Seuil 3	-	-	-

Tableau 6: Temps de vert accordés sur la traversée de 14 mètres

On constate que :

- 91 % des groupes de piétons (82/90) ont été détectés et ont déclenché une mesure de régulation allongeant le temps de vert. Le seuil 1 a été atteint 23 fois, tandis que le seuil 2 a été atteint 59 fois.
- Dans 8 cas sur 90, le groupe n'a pas été détecté, et n'a bénéficié que d'un temps de vert classique, entre 10 et 15 secondes. Il s'agit de groupes qui ne se sont pas stockés dans la zone d'attente, mais souvent en amont de celle-ci. Certains enseignants, n'étant pour l'instant pas informés du dispositif, préfèrent stocker les élèves loin de la route et donc loin du passage piéton. Ils ne sont donc pas dans la zone, ou partiellement seulement, et la taille du groupe ne peut donc pas être évaluée à sa juste valeur.
- Enfin, un groupe de 7 piétons est parvenu à déclencher un seuil 2. En fonction de leur positionnement, s'ils sont bien répartis dans la zone, ils peuvent effectivement occuper un pourcentage de la zone bien supérieur à la moyenne. Ce cas peut arriver, mais il est moins problématique puisqu'il n'implique qu'un temps de vert trop long, qui est moins dommageable qu'un temps de traversée trop court.

- Le seuil 3 de 50 secondes n'a lui jamais été déclenché, signe qu'un paramétrage plus précis pourrait encore être réalisé.
- En conclusion, **le contrôleur du carrefour et le PC Régulation ont réagi de manière satisfaisante. La détection des groupes a effectivement engendré les mesures de régulation attendues.**

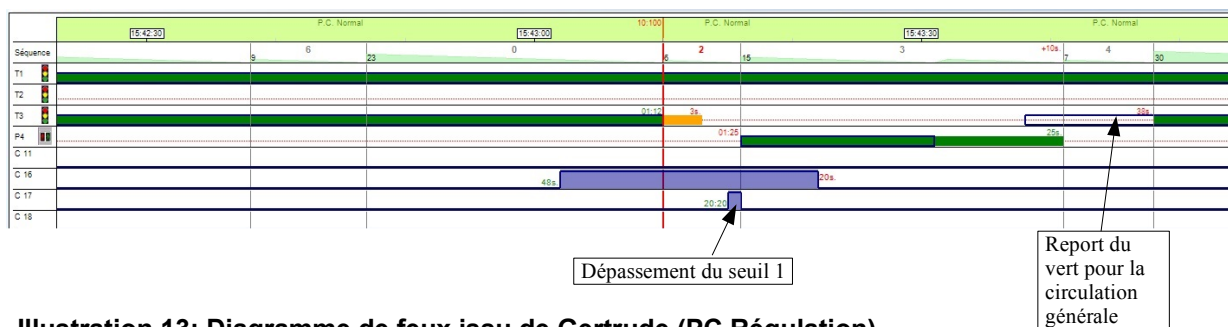


Illustration 13: Diagramme de feux issu de Gertrude (PC Régulation)

4.3 Évaluation du bénéfice en termes de sécurité routière

Le comportement des groupes lors des traversées a également pu être mis en évidence à l'aide des images vidéos recueillies avant et après la mise en service du capteur.

Deux cas de figure ont fait l'objet d'une analyse détaillée. Il s'agit des traversées où :

- un ou plusieurs piétons démarre sa traversée pendant le rouge de dégagement ;
- un ou plusieurs piétons est encore présent sur la chaussée alors que le vert est redonné à la circulation générale.

Les résultats issus des évaluations avant/après sur les traversées de groupe sont présentés dans les tableaux suivants.

Demi-traversée 7 mètres	Avant	Après
Piétons démarrent au rouge de dégagement	14/37 38%	2/45 4%
Piétons sur la chaussée quand le vert est redonné aux voitures	14/37 38%	1/45 2%

Tableau 7: Résultats observés sur la demi-traversée de 7m

Demi-traversée 14 mètres	Avant	Après
Piétons démarrent au rouge de dégagement	18/37 49%	10/45 22%
Piétons sur la chaussée quand le vert est redonné aux voitures	14/37 38%	4/45 9%

Tableau 8: Résultats observés sur la demi-traversée de 14m

Analyse statistique sur les 2 traversées	Avant	Après
Piétons démarrent au rouge de dégagement	32/74 43 %	12/90 13 %
Intervalle de confiance à 95 %	[31,8 % - 43,2 % - 55,3 %]	[7,1 % - 13,3 % - 22,1 %]
Piétons sur la chaussée quand le vert est redonné aux voitures	28/74 38 %	5/90 6 %
Intervalle de confiance à 95 %	[26,8 % - 37,8 % - 49,9 %]	[1,8 % - 5,6 % - 12,5 %]

Tableau 9: Bilan statistique sur les traversées avant et après mise en service du capteur

Les bornes de l'intervalle de confiance sont calculées à l'aide des valeurs tabulées de la loi statistique binomiale. Si les intervalles de confiance « avant » et « après » sont disjoints, cela signifie que nous pouvons conclure que la situation a été améliorée.

Les tests statistiques issus des observations réalisées avant et après la mise en service de la stratégie de régulation montrent que celle-ci a permis d'améliorer significativement les conditions de sécurité des groupes scolaires lors des traversées.

Avant la mise en service du capteur, sur 43 % des traversées, des élèves s'engageaient pendant le rouge de dégagement, avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 31,8 % et 55,3 %. Après la mise en service du capteur ce cas de figure ne représente plus que 13 % des cas, soit entre 7,1 % et 22,1 % avec un intervalle de confiance à 95 %.

De la même manière, avant la mise en service du capteur, sur 38 % des traversées, des piétons étaient encore présents sur la chaussée lorsque le vert était redonné à la circulation générale soit entre 26,8 % et 49,9 % avec un intervalle de confiance à 95 %. Après la mise en service ce chiffre tombe à 6 % inclus dans un intervalle de confiance à 95 % entre 1,8 % et 12,5 %.

Les intervalles de confiance étant disjoints, les tests statistiques nous permettent de conclure que le dispositif mis en place a réellement permis d'améliorer la situation, avec moins de piétons en situation dangereuse, qui finissent leur traversée alors que le vert est déjà redonné à la circulation générale.

Ainsi, sur la traversée piétonne étudiée et avec le paramétrage défini préalablement avec le PC Régulation du trafic de Metz, l'installation de capteurs TrafiOne a permis d'améliorer les conditions de traversée des groupes de piétons et notamment des groupes d'enfants.

5. LIMITES DU SYSTÈME ET PERSPECTIVES

Bien que sur la traversée étudiée à Metz, l'évaluation menée a permis de conclure sur la fiabilité du capteur et son intérêt pour améliorer la sécurité des groupes lors des traversées, certains points peuvent encore être améliorés.

Il convient d'attacher une attention particulière à la définition préalable des zones d'attentes au niveau du capteur. Ces zones ont été définies au droit de la traversée piétonne, mais il a été observé que de nombreux groupes attendent en dehors de cette zone car l'espace de stockage est relativement vaste. Certains groupes sont partiellement dans la zone, d'autres sont même tellement loin de la chaussée qu'ils n'entrent pas dans la zone. C'est la raison pour laquelle parfois, de grands groupes scolaires se voient attribuer des temps de vert de 25 secondes correspondant au seuil 1 défini par le capteur, alors qu'ils mériteraient un seuil 3. Maintenant que l'évaluation a permis de conclure sur la fiabilité du capteur, des améliorations peuvent être apportées en communiquant avec les enseignants responsables des groupes scolaires pour leur indiquer précisément l'endroit où ils doivent se stocker avant les traversées ou en modifiant une nouvelle fois la position exacte de la zone d'attente en fonction des comportements observés. Ces zones doivent être positionnées précisément après analyse des comportements sur le terrain, et doivent bien souvent être déplacées plusieurs fois avant de trouver la position idéale.

Une autre limite du système a pu être mise en évidence, il s'agit des cyclistes qui traversent la zone en empruntant le trottoir. Ils traversent la zone à vitesse élevée et induisent un taux d'occupation de la zone d'attente largement supérieur aux piétons. Ce phénomène reste toutefois rare, mais il est important de le prendre en compte, car deux cyclistes pourraient potentiellement déclencher un seuil 1.

Enfin, même si la part de ce phénomène reste marginale et tout à fait acceptable, la fiabilité du capteur en ce qui concerne les fausses détections pourrait encore être améliorée par le fabricant. Il s'agit des piétons qui attendent dans la zone, puis qui traversent, mais le capteur maintient leur présence dans la zone. Le taux d'occupation de ce piéton est donc maintenu et s'ajoute à celui des autres piétons arrivant plus tard. Ce phénomène peut donc déclencher des seuils même si les groupes effectivement présents sont de petite taille. Le problème avait été communiqué pendant l'expérimentation au fabricant, qui l'a partiellement traité. Avec la mise à jour du fabricant, les piétons « maintenus » dans la zone disparaissent après quelques minutes.

Soucieux d'améliorer toujours plus la sécurité des piétons comme celle des autres modes, la ville de Metz et Metz Métropole ont déjà installé ce capteur sur un autre site en centre-ville présentant des problématiques similaires. Il s'agit d'une traversée piétonne située entre un lycée et un arrêt de bus à haut niveau de service. Des groupes importants empruntent ainsi cette traversée située au centre-ville de Metz. Sur ce second site actuellement en test, des perspectives nouvelles sont étudiées comme la possibilité d'inhiber la priorité TC si un groupe est détecté par le capteur, ou celle de prolonger le temps de vert tant que des piétons sont détectés sur la traversée. En complément de l'allongement du temps de traversée, des mesures de régulation permettant l'anticipation de l'ouverture du signal piéton sont également à l'étude.

6. CONCLUSION

Le boulevard Paixhans présentait une situation à risque, avec de grands groupes de piétons traversant un boulevard urbain très fréquenté, avec un temps de traversée limité. Cette courte phase de vert engendrait des traversées au rouge, ainsi que des piétons, souvent des enfants, encore présents sur la chaussée alors que le vert avait déjà été redonné à la circulation générale. Le boulevard étant un axe structurant, congestionné en heure de pointe, il n'était pas possible d'augmenter systématiquement le temps de vert sans dégrader significativement le fonctionnement de l'axe. Il fallait pouvoir cibler ces groupes, qui traversent une à deux fois par heure, et donner en temps réel un temps de vert adapté, uniquement quand le besoin était avéré.

Pour répondre à cette problématique, la ville de Metz et Metz Métropole ont fait le choix d'installer des capteurs thermiques de type TrafiOne de part et d'autre de la traversée. Le Cerema s'est chargé de l'évaluation avant/après du dispositif.

Les résultats de l'évaluation ont montré d'une part que le capteur était fiable pour la détection de piétons. Sur 732 arrivées de piéton(s) analysées, 99.82 % des piétons ont été détectés. L'évaluation de la taille des groupes, réalisée via le taux d'occupation de la zone, dépend largement du positionnement précis des piétons, notamment la proximité des uns par rapport aux autres, de la taille des piétons, mais surtout du positionnement du groupe, qui n'est parfois que partiellement dans la zone. Le bilan est globalement positif pour la capacité du capteur à évaluer la taille d'un groupe.

Par ailleurs le lien entre capteur et PC Régulation, ainsi que la stratégie de régulation mise en place, fonctionnent de manière satisfaisante, puisque 91 % des groupes de piétons observés (82/90) ont été détectés et ont déclenché une mesure de régulation allongeant le temps de vert. Le seuil 1 a été atteint 23 fois, tandis que le seuil 2 a été atteint 59 fois.

Ces temps de vert allongés ont eu un impact significatif sur les conditions de traversée des piétons. En effet, avant la mise en service du dispositif, sur 43 % des traversées de groupes, des élèves démarraient leur traversée pendant le rouge, tandis qu'après la mise en service, ce cas de figure ne représente plus que 13 % des cas. De plus, avant mise en service, 38 % des traversées engendraient la présence d'enfants sur la chaussée alors que le feu était redevenu vert pour la circulation générale. Après la mise en service, cette difficulté ne concerne plus que 6 % des groupes. Les tests statistiques réalisés nous permettent d'affirmer que le dispositif a eu un réel impact sur les conditions de traversées des piétons.

Ainsi, nous pouvons conclure que sur la traversée piétonne étudiée et avec le paramétrage défini préalablement avec le PC Régulation du trafic de Metz, l'installation de capteurs TrafiOne a permis d'améliorer les conditions de traversée des groupes de piétons et notamment des groupes d'enfants.