

Projet COESTRA

Conception et évaluation d'une nouvelle signalisation lumineuse pour les traversées piétonnes

2020

Rapport d'étude

Sommaire

1. OBJECTIFS ET ENJEUX.....	5
1.1. Objectifs et méthodologie.....	5
1.2. Contexte et enjeux.....	6
1.2.1. <i>La mortalité des piétons reste élevée.....</i>	<i>6</i>
1.2.2. <i>L'analyse de FLAM Piétons.....</i>	<i>7</i>
1.3. Une signalisation lumineuse inadaptée.....	8
1.3.1. <i>Description du feu actuel.....</i>	<i>8</i>
1.3.2. <i>Le feu actuel génère des comportements dangereux.....</i>	<i>9</i>
1.3.3. <i>Le feu actuel est peu crédible et peu respecté.....</i>	<i>10</i>
1.4. Benchmarking international de l'accidentalité.....	11
2. BENCHMARKING INTERNATIONAL DES FEUX PIÉTONS..	13
2.1. Convention de Vienne sur la signalisation routière.....	14
2.2. Feux à 2 états.....	15
2.2.1. <i>Cas de l'Allemagne.....</i>	<i>15</i>
2.2.2. <i>Cas de la Belgique.....</i>	<i>17</i>
2.2.3. <i>Conclusion sur les feux à 2 états.....</i>	<i>17</i>
2.3. Feux à 3 états.....	18
2.3.1. <i>Feux clignotants.....</i>	<i>18</i>
2.3.2. <i>Feux tricolores.....</i>	<i>19</i>
2.3.3. <i>Conclusion sur les feux à 3 états.....</i>	<i>20</i>
2.4. Feux à 4 états.....	21
2.4.1. <i>Accélération du clignotement ou de l'animation.....</i>	<i>21</i>
2.4.2. <i>Décompteurs et sabliers.....</i>	<i>22</i>
2.4.3. <i>Conclusion sur les feux à 4 états.....</i>	<i>31</i>
2.5. Autres dispositifs.....	31
2.5.1. <i>Cas de la République démocratique du Congo.....</i>	<i>31</i>
2.6. Récapitulatif des pays selon les dispositifs utilisés.....	32
3. BILAN DES EXPÉRIMENTATIONS ET ÉTUDES MENÉES EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER.....	34
3.1. Bilan des expérimentations déjà menées en France.....	34
3.1.1. <i>Bilan de l'expérimentation Pussycats 1995.....</i>	<i>34</i>
3.1.2. <i>Bilan de l'expérimentation Sécurifeu, 1998.....</i>	<i>36</i>
3.1.3. <i>Développement du Passage Piéton Spécifique (PPS) entre 1985 et 2015.....</i>	<i>37</i>
3.1.4. <i>Feux mixtes piétons-cyclistes, Strasbourg 2015.....</i>	<i>38</i>
3.1.5. <i>Bilan de l'expérimentation d'un décompteur de temps d'attente piéton, Strasbourg 2015.....</i>	<i>39</i>
3.2. Bilan des expérimentations étrangères sur les feux tricolores.....	41
3.2.1. <i>Canada : étude pour améliorer la compréhension du temps de dégagement, 1994.....</i>	<i>41</i>
3.3. Bilan des expérimentations étrangères sur les feux avec décompteurs.....	42
3.3.1. <i>Décompteur de temps de dégagement.....</i>	<i>42</i>
3.3.2. <i>Décompteur de temps de vert.....</i>	<i>51</i>
3.3.3. <i>Décompteur de temps de rouge.....</i>	<i>52</i>

3.4. Synthèse des études menées à l'étranger.....	54
3.5. Mesures de terrain réalisées par le Cerema.....	56
3.5.1. Mesures sur les feux tricolores irlandais.....	56
3.5.2. Mesures sur les feux clignotants norvégiens.....	60
4. CONCLUSION SUR LES DIFFÉRENTS TYPES DE FEUX....	63
4.1. Feux à 2 états.....	63
4.2. Feux à 3 états de type clignotant.....	63
4.3. Feux à 3 états de type tricolore.....	65
4.4. Feux à 4 états de type clignotant accéléré.....	66
4.5. Feux à 4 états de type décompteur.....	67
5. CONCLUSION GÉNÉRALE.....	68
6. BIBLIOGRAPHIE.....	69

Référence de la commande		
Maître d'ouvrage	Délégation à la Sécurité Routière	
Référence de l'affaire : C19TV0019		
Chargé d'affaire	Nom	Nicolas SPEISSER
		03 87 20 45 23
	@	Nicolas.speisser@cerema.fr
Référence Intranet	http://intra.dterest.cerema.i2	

Auteurs	Nicolas SPEISSER
	Marion VALENTIN

Relecteurs	Samuel LAB
	Christophe DAMAS

Résumé de l'étude

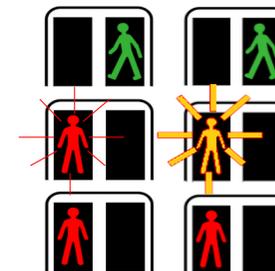
La première partie d'introduction permet de comprendre pourquoi le feu piéton R12 utilisé actuellement en France est inadapté, mal compris et peu respecté par les usagers. Les collectivités demandent ainsi depuis plusieurs années à expérimenter de nouveaux systèmes pour améliorer la sécurité des piétons. Le Cerema a donc réalisé un benchmarking mondial des feux existants et des systèmes déjà expérimentés à l'étranger afin de ne pas tester de matériels qui n'ont pas fonctionné ailleurs (ou qui ont dégradé la sécurité) et de cadrer les futures expérimentations. Cette étude a ainsi pour objectif de conclure sur les types de feux qu'il serait judicieux d'expérimenter en France.

Principaux résultats

Le benchmarking réalisé par le Cerema s'appuie sur l'étude des feux existants dans 53 pays et sur le recueil et l'analyse de plus de 200 documents d'évaluations techniques étrangères. Il apparaît que les feux qui sont les plus répandus et semblent les plus performants sont les feux à 3 états identifiant le temps de dégagement grâce à un feu rouge clignotant ou grâce à la couleur jaune, qui est comprise de tous les usagers comme étant une période de transition avant le passage au rouge.

Ainsi, deux signaux méritent d'être testés en France :

- le feu à 3 états rouge clignotant
- le feu à 3 états jaune clignotant



Ces deux signaux présentent l'avantage de conserver le coffret piéton actuel, afin de limiter les coûts pour les collectivités. Ensuite dans un second temps, afin de ne pas tester plusieurs innovations en même temps, il est envisagé d'expérimenter un décompte numérique, associé à ces feux clignotants.

1. OBJECTIFS ET ENJEUX

1.1. Objectifs et méthodologie

La première phase du projet, qui est l'objet de ce premier rapport d'étude, consiste en la réalisation d'un benchmarking mondial sur tous les dispositifs de feux piétons existant en France et à l'étranger. En effet, ces dispositifs diffèrent largement selon les pays et les continents (feux piétons clignotants, feux piétons bicolores ou tricolores, compteurs de temps de vert, compteurs de temps de rouge de dégagement, compteurs de temps d'attente...). L'objectif de ce travail est d'identifier quel dispositif semble le mieux compris et le mieux respecté par les usagers, afin de l'expérimenter en France.

Cette première phase s'est déroulée en quatre temps :

- Dans un premier temps, nous avons étudié une bibliographie internationale très large, n'excluant aucun système. Nous avons recherché la description des signaux utilisés pour chaque pays, sur une sélection de 50 pays répartis sur cinq continents.
- Ensuite, nous avons réalisé une synthèse de toutes les expérimentations connues, déjà menées en France sur les feux piétons. Depuis 25 ans, des études et des expérimentations ont déjà été réalisées en France sur les feux piétons. Il s'agit donc de prendre en compte ces travaux pour ne pas reproduire ce qui a été déjà réalisé.
- Puis, le Cerema a réalisé un long travail de recherche de documents techniques, en se basant d'abord sur une recherche internet, puis sur des contacts par mail avec son réseau d'experts étrangers. Enfin, des contacts ont été pris auprès de certaines ambassades de France à l'étranger, pour recueillir la réglementation locale, obtenir les coordonnées d'experts et faire traduire les documents techniques les plus intéressants, lorsque nous ne maîtrisons pas la langue. L'équipe

projet intègre des agents maîtrisant les langues Français, Anglais et Allemand. Au total, plus de 200 documents étrangers ont été recueillis, parmi lesquels plus de 70 documents correspondant précisément à notre étude ont été synthétisés (évaluation des comportements, évolution de la fréquence et de la gravité des accidents suite à l'évolution de la signalisation), afin d'identifier les signaux utilisés à l'étranger les plus performants.

- Enfin, quand il nous manquait des données sur certains types de feux, nous avons effectué quelques déplacements à l'étranger (Irlande et Norvège) afin d'observer le fonctionnement précis du système, effectuer des mesures de terrain, réaliser des interviews et analyser les comportements des piétons et le taux de respect des feux.

Cette première phase est conclue par une synthèse faisant le point sur les expérimentations déjà menées en France et sur l'ensemble des systèmes étudiés au niveau international. Cette synthèse propose deux signaux qui semblent bien compris, bien respectés, et qui mériteraient d'être expérimentés en France.

Par la suite, une seconde phase d'expérimentation est prévue. Elle devrait permettre de concevoir des prototypes de ces nouveaux dispositifs en collaboration avec les industriels, puis de les expérimenter dans plusieurs villes de France, en partenariat avec les gestionnaires de voirie. La réalisation d'interviews de centaines de piétons et d'une analyse des comportements dangereux et du taux de respect du feu sur un échantillon de plusieurs milliers de piétons et d'automobilistes permettrait ainsi de conclure sur la plus-value apportée par ces nouveaux feux.

1.2. Contexte et enjeux

1.2.1. La mortalité des piétons reste élevée

En 2017, 14 % des tués sur la route sont des piétons. Ce pourcentage a peu évolué ces dernières années, comme le montre le tableau ci-dessous.

										Total
	Piétons	Vélos	Cyclos	Motos	VT	VU	PL	TC	Autres	
2010	485	147	248	704	2117	146	65	4	76	3 992
	12%	4%	6%	18%	53%	4%	2%	0%	2%	100%
2013	465	147	159	631	1612	133	57	7	57	3 268
	14%	4%	5%	19%	49%	4%	2%	0%	2%	100%
2016	559	162	121	613	1760	130	55	12	65	3 477
	16%	5%	3%	18%	51%	4%	2%	0%	2%	100%
2017	484	173	117	669	1767	99	51	14	74	3 448
	14%	5%	3%	19%	51%	3%	1%	0%	2%	100%

Illustration 1 : Mortalité par catégorie d'usagers en France métropolitaine (source : ONISR 2017)

En 2015, 10 784 accidents corporels ont impliqué un piéton, soit 19 % de l'ensemble des accidents corporels. Par ailleurs, deux tiers des piétons tués le sont en agglomération. Ces statistiques montrent que les piétons en milieu urbain représentent encore une part importante des blessés et des tués sur la route, ce qui justifie la recherche de dispositifs diminuant le risque d'accident pour ces usagers.

Si d'autres modes affichent des diminutions nettes de la mortalité (-22 % pour les VL, -45 % pour les cyclos en 10 ans), la mortalité des piétons n'a diminué que de 2 % depuis 2010. Pourtant, la France se place aujourd'hui dans une dynamique

de développement de la marche et de lutte contre la sédentarité dans un objectif de santé publique.

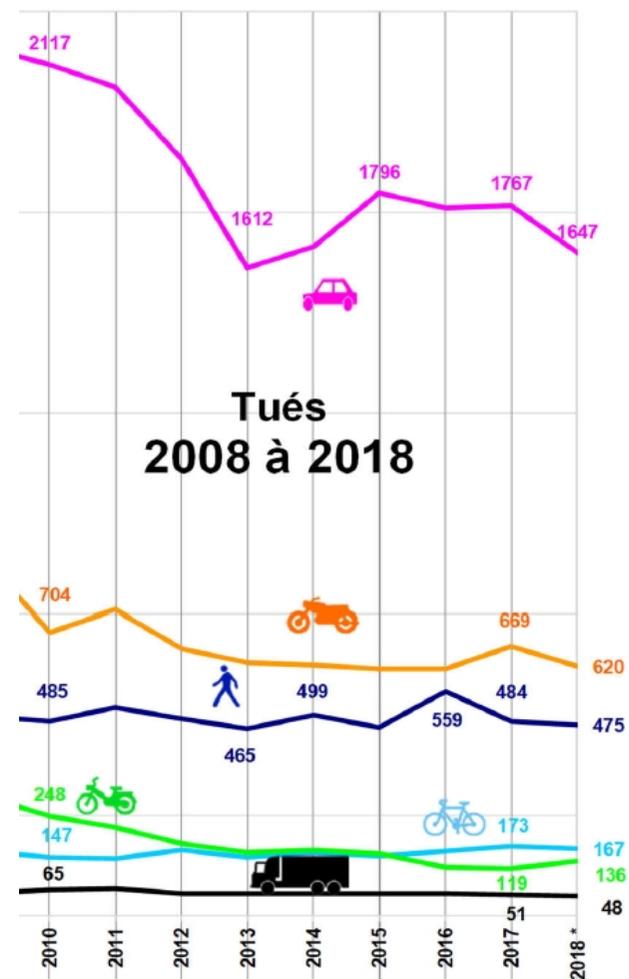


Illustration 2 : Evolution de la mortalité par usagers entre 2010 et 2018 (source : ONISR, bilan provisoire, janvier 2019)

L'illustration n°3 présente l'évolution de la mortalité des piétons selon la localisation des accidents. La part des accidents mortels de piétons localisés sur un passage piéton a augmenté depuis les années 2000, passant d'environ 20 % des tués à environ 30 %.

On peut donc estimer qu'environ 150 piétons sont tués chaque année sur un passage piéton. Le passage piéton, généralement positionné à proximité des carrefours, est donc un lieu de concentration des conflits et des accidents, impliquant de nombreux tués et blessés.

sécurité routière, qui ciblait en 2015, dans la partie « Protéger les plus vulnérables », la mesure B14 : « augmenter le temps de traversée aux carrefours dangereux et expérimenter le décompte du temps restant pour terminer la traversée ». Cette mesure identifiait déjà le besoin d'une évolution sur les feux piétons. À cette fin, le projet propose un état des pratiques pour parvenir à une proposition concrète et testée.

1.2.2. L'analyse de FLAM Piétons

Le projet FLAM (Facteurs liés aux accidents mortels) Piéton porté actuellement par le Cerema apporte une analyse des facteurs d'accidentalité piétonne aux carrefours à feux et permet de mieux en cerner les enjeux. Ces résultats sont utilisés pour définir précisément les besoins auxquels doivent satisfaire les futurs signaux lumineux.

Le projet FLAM se base sur l'analyse de tous les PV d'accidents mortels survenus en 2015. Cette analyse a permis d'étudier les fichiers BAAC et les PV d'accidents concernant 384 piétons qui ont été tués en 2015.

Concernant l'échantillon des piétons tués, on observe que 47 % des tués ont plus de 65 ans. Cette tranche d'âge correspond ainsi bien à un enjeu important pour la lutte contre l'accidentalité routière mortelle. D'après les calculs statistiques de risque, le risque d'être tué pour un piéton de plus de 75 ans est multiplié par 7 par rapport au 0-64 ans. Ceci est lié à la vulnérabilité du piéton âgé lors du choc et dans les suites de l'accident.

L'enjeu d'insécurité routière piétonne en traversée est très fort car 60% des accidents mortels piétons étudiés ont eu lieu lors d'une traversée (227 accidents). La moitié de ces accidents ont lieu sur un aménagement piéton et plus de 13 % sur un passage piéton avec signalisation lumineuse.

Parmi les facteurs d'accident, 49 accidents mortels sont liés au « non-respect des règles de priorité » par le piéton. Plus précisément sur les feux, en 2015, parmi les accidents mortels survenus sur un passage piéton avec signalisation lumineuse, 86 % sont concernés par un non-respect du feu. Il en ressort donc un taux de non-respect du feu piéton important qui engendre de nombreux

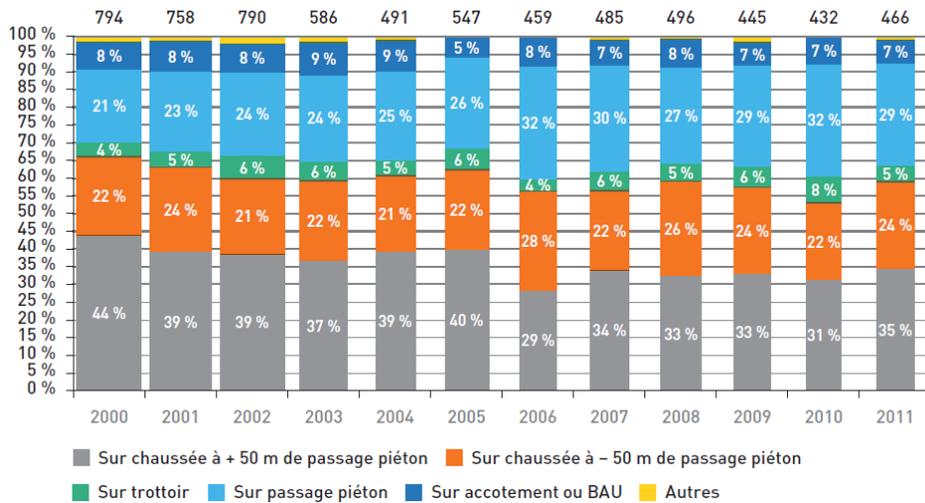


Illustration 3 : Evolution de la mortalité des piétons selon leur localisation (source : ONISR, fichier des accidents)

Le contexte actuel repose également sur une société vieillissante : les personnes âgées représentent la majorité des piétons tués (+ 24 % de piétons seniors tués entre 2013 et 2018, d'après le bilan provisoire 2018), et les études ont montré qu'elles ont tendance à se fier très fortement aux feux de signalisation, plutôt que d'analyser la situation. Les signaux proposés leur sont essentiels, et ceux qui existent actuellement sont inadaptés.

Enfin, le projet s'inscrit dans les orientations du comité interministériel de la

accidents mortels. La bonne compréhension du signal, sa crédibilité et son respect sont donc des facteurs essentiels pour réduire le nombre de piétons tués sur la route.

1.3. Une signalisation lumineuse inadaptée

1.3.1. Description du feu actuel

Au niveau des carrefours à feux, les passages piétons sont gérés à l'aide de signalisation lumineuse. La justification de l'équipement d'un carrefour avec une signalisation lumineuse est généralement la présence de piétons qui ne parviennent pas à traverser en raison d'un flux conséquent de véhicules. Historiquement, les feux de circulation ont d'ailleurs été inventés en 1868 pour protéger les piétons.

Actuellement, la signalisation lumineuse réglementaire en France est le feu R12, composé de deux signaux : un piéton rouge (arrêté) et un piéton vert (en marche). Le feu vert permet la traversée des piétons, puis il est suivi d'un temps de « rouge de dégagement », permettant théoriquement au piéton déjà engagé de terminer sa traversée en toute sécurité, avant le passage au vert du feu tricolore R11v destiné à la circulation générale.



Illustration 4 : Feu piéton R12. (source : article 109-3 de la 6ème partie de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière)

Le fonctionnement d'un cycle de feu français est décrit ci-dessous :

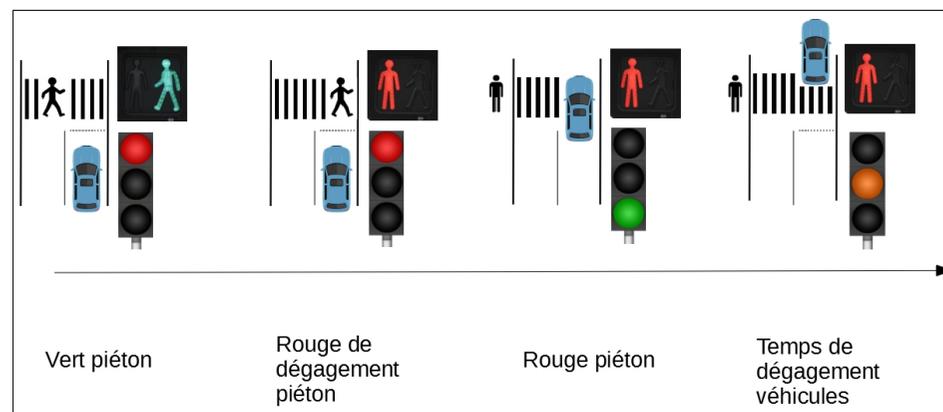


Illustration 5 : Déroulement d'un cycle de feux en France (source : Cerema)

Le rouge de dégagement est un temps qui permet aux piétons de terminer leur traversée avant que le feu tricolore ne passe au vert. De la même manière, les automobilistes sont avertis par le feu jaune qu'ils entrent dans le temps de dégagement, et que le feu va passer au rouge. Pour les piétons, deux périodes différentes (temps de dégagement et rouge piéton) sont indiquées par le même signal. Ils ne peuvent pas savoir quand se déroule le temps de dégagement. Tout l'enjeu de ce projet réside donc dans l'identification du temps de dégagement.

Le retour d'expérience des gestionnaires de voirie urbaine fait état d'un manque de connaissance et de compréhension de ce principe de rouge de dégagement par les piétons. Les nombreuses expérimentations lancées récemment par les collectivités montrent la non-satisfaction des gestionnaires par rapport au signal actuel. Les gestionnaires de voirie sont destinataires de nombreux courriers d'usagers se plaignant de situations d'altercation entre piétons et automobilistes, en raison de cette incompréhension des signaux.

Généralement, quel que soit le mode de déplacement, les feux de circulation

transmettent à l'usager 3 informations :

- vous pouvez vous engager ;
- Attention, le signal va bientôt changer. Par exemple, ce message est donné aux automobilistes par l'intermédiaire du feu jaune du feu R11v, il est donné aux services réguliers de transport en commun par l'intermédiaire du disque du feu R17 mais, en France, cette information n'est pas donnée aux piétons. Pour le piéton, cette information correspond à « attention, le signal va changer de couleur, vous êtes autorisé à finir la traversée entamée, mais vous n'êtes pas autorisé à démarrer une nouvelle traversée ».
- vous n'avez pas le droit de vous engager.

À l'étranger, dans de nombreux pays, cette troisième information est donnée au piéton. Ainsi, certains pays utilisent un feu clignotant pour signaler la période de dégagement. D'autres pays utilisent un compte à rebours du temps de traversée restant, permettant à l'usager de connaître précisément à quel moment le signal va changer de couleur.

En France, l'information de changement d'état n'est pas donnée au piéton. Ou plutôt, elle n'est plus donnée au piéton. Les feux piétons clignotants avaient été introduits en 1974, mais ils ont été interdits en 1991. Après avoir tenté de rechercher l'historique, il semblerait que la modification de 1991 soit justifiée par une mise en conformité des feux : la durée du clignotement étant différente d'une ville à l'autre, plutôt que d'en uniformiser le fonctionnement, la décision a été prise de les supprimer. Aucune étude justifiant ce choix ni aucun rapport d'expérimentation n'ont été retrouvés à ce sujet.

1.3.2. Le feu actuel génère des comportements dangereux

Ce manque d'information donnée au piéton génère plusieurs incompréhensions :

- Le feu bascule au rouge d'une seconde à l'autre. A cet instant, le piéton est donc autorisé à être sur la chaussée quand le feu est rouge. Aucune information n'est donnée sur les périodes de rouge où les piétons sont en sécurité sur la chaussée, et les périodes de rouge où les piétons ne le sont pas. Ce manque d'information génère des comportements dangereux : accélération du piéton, course, ou parfois retournement et retour au trottoir de départ.

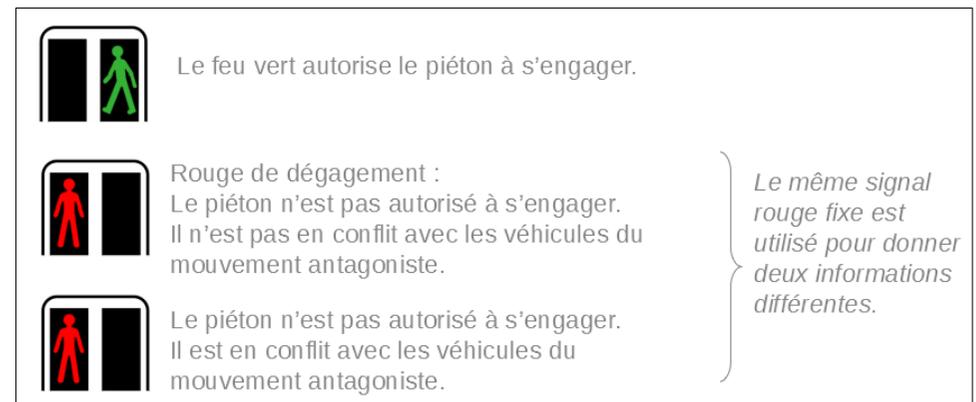


Illustration 6: Description du cycle du feu piéton

- Un automobiliste effectuant un mouvement tournant au carrefour à feux est en conflit avec un piéton traversant sur un passage piéton. L'automobiliste lève la tête et voit le feu piéton rouge. Il n'a aucun moyen de savoir si le piéton est dans son droit ou non. La plupart des usagers,

automobilistes ou piétons, n'ont pas une connaissance précise du système de rouge de dégagement, ni de sa durée (une seconde par mètre de traversée). Cette incompréhension du système génère des comportements dangereux et des altercations entre usagers.



Illustration 7: Conflit entre piéton et véhicule tournant

- Le piéton arrive pendant le rouge de dégagement, constate que les véhicules sont arrêtés, s'engage en pensant que le feu piéton va ensuite passer au vert... ce qui est faux. Il confond ainsi les deux périodes de rouge, différentes mais signalées de la même façon, et se retrouve dans une situation dangereuse, confronté au démarrage des véhicules alors qu'il est sur le passage piéton. Plus le rouge de dégagement est long et plus forte est la probabilité que le piéton soit confronté à cette situation. En arrivant lorsque le feu est rouge, le piéton ne peut pas savoir à quel moment du cycle il se situe. Il ne sait pas s'il est arrivé au début ou à la fin de sa période d'attente.

- Plus globalement, un piéton arrivant pendant le rouge de dégagement et voyant qu'aucun usager (ni piéton ni véhicule) ne traverse le carrefour, pense que les feux sont mal réglés. Ce manque d'informations décrédibilise globalement le fonctionnement des feux, et augmente in fine le taux de non-respect des feux.

1.3.3. Le feu actuel est peu crédible et peu respecté

Par ailleurs, les études récemment réalisées par le Cerema sur le comportement des piétons aux carrefours à feux, et en particulier celle menée en 2016¹ sur le respect des feux par un échantillon de 8 000 piétons, a montré que :

- sur les carrefours où le temps d'attente est court, environ 60 % des piétons arrivant pendant le rouge traversent au rouge sans respecter la signalisation.
- quand le temps d'attente s'allonge, ce taux augmente jusqu'à atteindre un maximum d'environ 80 % des piétons traversant au rouge.

Cette étude confirme que les feux piétons français sont actuellement peu respectés, mal compris et souvent peu crédibles.

Suite à ce constat, il a semblé essentiel de recenser et d'étudier les retours d'expériences étrangers, d'effectuer un bilan des expérimentations déjà réalisées sur les feux piétons en France et de réaliser une étude de comportement sérieuse afin de définir les limites du signal actuel et d'expérimenter un nouveau signal en France qui soit mieux compris, mieux respecté, et qui permette ainsi de limiter les accidents avec les piétons.

1 Le rapport d'étude est disponible ici :

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/regle-120-secondes-tc-haut-niveau-service>

1.4. Benchmarking international de l'accidentalité

Le tableau ci-dessous récapitule l'accidentalité selon les pays.

Comparaison des taux d'accidents selon les pays

* par rapport au nombre total de morts sur la route

	Pays	Année de la statistique	Nombre de personnes tuées sur la route	Pourcentage de piétons tués*	Nombre de piétons tués	Population (en millions) l'année en question	Nombre de tués/100.000 habitants	Nombre de piétons tués/100.000 habitants	Source
Europe	France	2018	3259	15,0%	470	64,81	5,03	0,73	ONISR
	Allemagne	2017	3180	15,1%	483	82,79	3,84	0,58	BAST
	Autriche	2017	414	17,0%	71	8,7	4,76	0,82	International Transport Forum
	Belgique	2017	615	15,0%	93	11,35	5,42	0,82	International Transport Forum
	Danemark	2017	175	17,0%	30	5,7	3,07	0,53	International Transport Forum
	Espagne	2017	1830	19,0%	348	46,5	3,94	0,75	International Transport Forum
	Finlande	2017	225	12,0%	27	5,5	4,09	0,49	International Transport Forum
	Grèce	2017	735	18,0%	133	10,8	6,81	1,23	International Transport Forum
	Irlande	2017	157	20,0%	32	4,7	3,34	0,68	International Transport Forum
	Italie	2017	3378	18,0%	609	60,6	5,57	1,00	International Transport Forum
	Lituanie	2017	192	35,0%	68	2,9	6,62	2,34	International Transport Forum
	Luxembourg	2017	25	16,0%	4	0,6	4,17	0,67	International Transport Forum
	Norvège	2017	106	10,0%	11	5,2	2,04	0,21	International Transport Forum
	Pays-Bas	2017	613	8,0%	50	17,08	3,59	0,29	International Transport Forum
	Pologne	2017	2831	31,0%	878	38	7,45	2,31	International Transport Forum
	République tchèque	2017	577	22,0%	127	10,6	5,44	1,20	International Transport Forum
Royaume-Uni	2017	1793	26,0%	470	66,04	2,72	0,71	Brake	
Suède	2017	253	15,0%	38	9,9	2,56	0,38	International Transport Forum	
Suisse	2017	230	20,0%	46	8,4	2,74	0,55	International Transport Forum	
Amérique	Argentine	2017	5611	11,0%	618	44	12,75	1,40	International Transport Forum
	Canada	2017	1841	15,4%	284	36,54	5,04	0,78	Government of Canada
	Chili	2017	1925	36,0%	285	18,4	10,46	1,55	International Transport Forum
	États-Unis	2016	37461	16,0%	5987	323,4	11,58	1,85	NHTSA
	Mexique	2017	16185	27,0%	4370	122,3	13,23	3,57	International Transport Forum
Océanie	Australie	2018	1140	15,4%	176	25,1	4,54	0,70	Australian government
	Nouvelle-Zélande	2017	378	10,0%	38	4,794	7,88	0,79	International Transport Forum
Afrique	Afrique du Sud	2017	14050	38,0%	5339	56,7	24,78	9,42	International Transport Forum
	Maroc	2017	3726	26,0%	969	35,3	10,56	2,75	International Transport Forum
Asie	Corée du Sud	2017	4185	40,0%	1674	51,47	8,13	3,25	International Transport Forum
	Japon	2017	4431	37,0%	1639	126,8	3,49	1,29	International Transport Forum

Les graphiques ci-dessous classent les pays en fonction du nombre de morts sur les routes et du nombre de piétons tués, ramenés à 100 000 habitants.

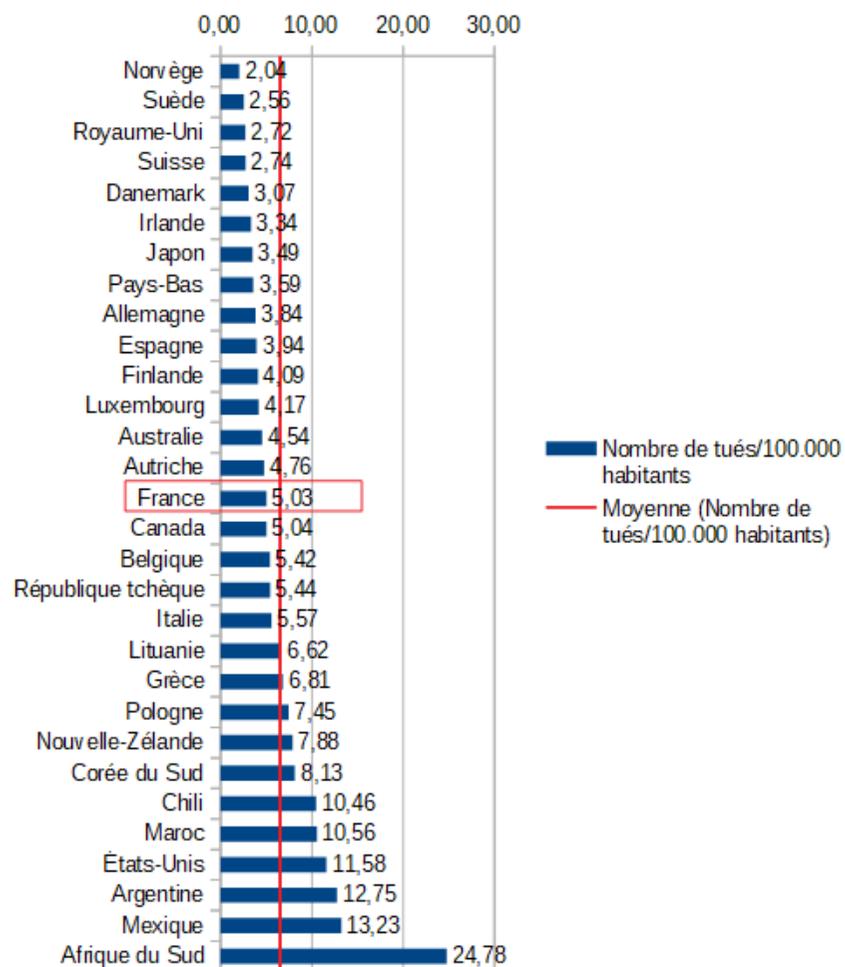


Illustration 8: Diagramme de comparaison des pays en fonction de leur nombre de personnes tuées sur la route pour 100 000 habitants

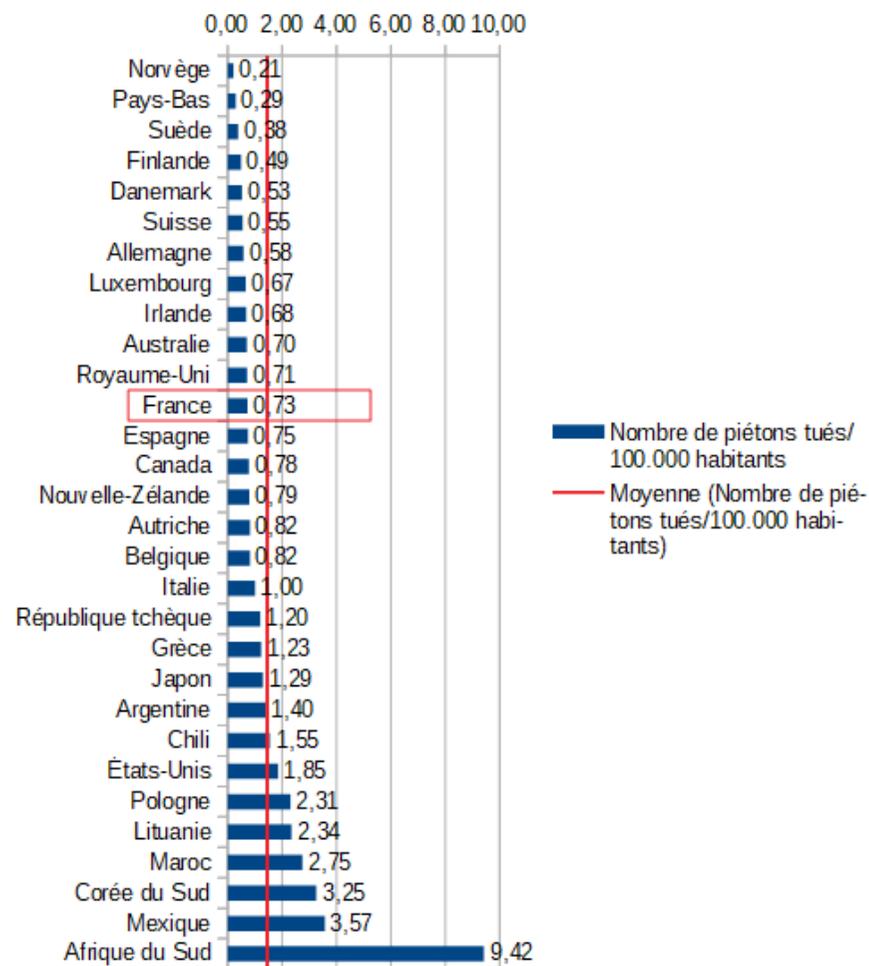


Illustration 9: Diagramme de comparaison des pays en fonction de leur nombre de piétons tués pour 100 000 habitants

On peut voir sur ce graphe que la France ne fait pas partie des pays les plus performants en termes de sécurité routière, mais qu'elle se situe tout de même dans la moyenne des pays étudiés. Il reste cependant possible d'améliorer ces chiffres en améliorant la sécurité des piétons en France.

2. BENCHMARKING INTERNATIONAL DES FEUX PIÉTONS

Cette partie s'attache à présenter de manière descriptive tous les types de feux piétons existant à l'étranger. Avant d'étudier les différents feux piétons que l'on peut trouver dans le monde, il est nécessaire de les classer en plusieurs catégories. Nous avons choisi de les classer en fonction de la quantité d'informations que les différents types de feux donnent aux usagers :

- Ainsi, on retrouve d'abord les feux à deux états, vert et rouge, qui ne donnent que deux informations. Le modèle R12 français en fait partie.
- Seront ensuite répertoriés les feux qui donnent trois informations aux usagers : cette catégorie regroupe les feux de type clignotant et les feux tricolores, qui permettent aux piétons d'avoir une information supplémentaire en identifiant le temps de dégagement.
- Ce benchmarking sera ensuite complété par les feux qui donnent 4 informations aux piétons : il s'agit des feux équipés de décompteur ou des feux animés avec une vitesse variable, qui permettent de connaître la durée restante de temps de dégagement.

Une liste détaillée des pays selon les dispositifs utilisés est donnée au paragraphe 2.7, ainsi qu'une répartition selon les continents. Certains pays peuvent parfois être classés dans plusieurs catégories, car d'une ville à l'autre, les feux utilisés sont différents. Le cas échéant, ils ont été placés en fonction du type de feux apportant le plus d'informations aux piétons, si ce type de feux est répandu dans le pays.

Les modèles de feux de 53 pays ont été répertoriés dans ce benchmarking. La carte ci-contre illustre les pays étudiés.



Illustration 10: Carte du monde avec, en rouge, les pays étudiés dans ce benchmarking. (source : Cerema)

2.1. Convention de Vienne sur la signalisation routière

La Convention de Vienne sur la signalisation routière définit les principes des signaux et symboles routiers pour garantir une certaine uniformité de la circulation routière dans les pays signataires.

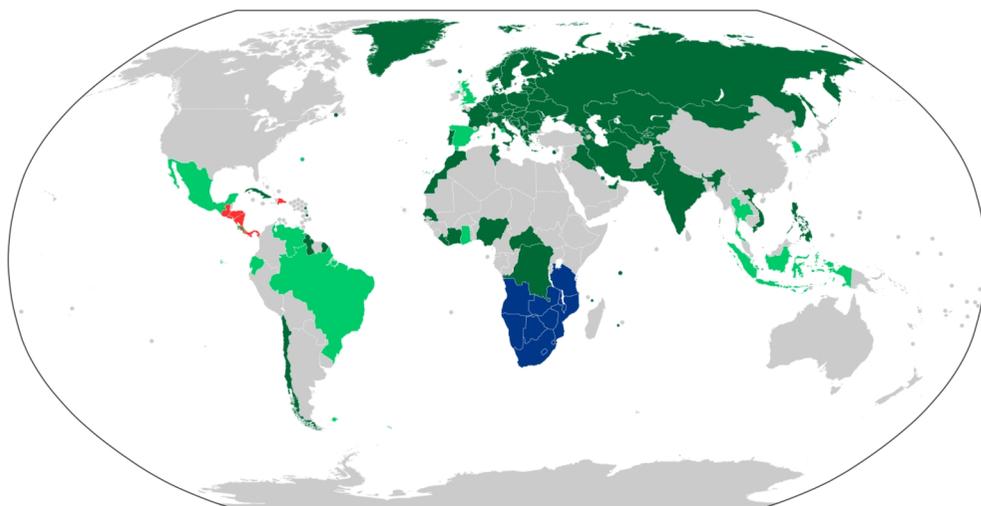


Illustration 11: Ratification de la Convention de Vienne sur la signalisation routière. (source : Wikipédia)

Le vert clair signifie signataire, le vert foncé ratifié, le bleu Convention de SADC et le rouge convention de SIECA.

Cette Convention est entrée en vigueur en France en 1978 et la signalisation lumineuse doit donc la respecter. L'article 24 « Signaux à l'intention des seuls piétons » du chapitre premier « Généralités » énonce les règles à respecter pour les pays signataires. Ce texte indique :

« Signaux à l'intention des seuls piétons »

1. Les seuls feux qui puissent être employés comme signaux lumineux s'adressant aux seuls piétons sont les suivants et ont la signification ci-après :

a) Feux non clignotants :

i) Le feu vert signifie aux piétons autorisation de passer ;

ii) Le feu jaune signifie aux piétons interdiction de passer, mais permet à ceux qui sont déjà engagés sur la chaussée d'achever de traverser ;

iii) Le feu rouge signifie aux piétons interdiction de s'engager sur la chaussée.

b) Feux clignotants : le feu vert clignotant signifie que le laps de temps pendant lequel les piétons peuvent traverser la chaussée est sur le point de se terminer et que le feu rouge va s'allumer.

2. Les signaux lumineux destinés aux piétons seront de préférence du système bicolore comportant deux feux, respectivement rouge et vert ; toutefois, ils peuvent être du système tricolore comportant trois feux, respectivement rouge, jaune et vert. Il ne sera jamais allumé deux feux simultanément.

3. Les feux seront disposés verticalement, le feu rouge étant toujours en haut et le feu vert toujours en bas. De préférence, le feu rouge aura la forme d'un piéton immobile, ou de piétons immobiles, et le feu vert la forme d'un piéton en marche, ou de piétons en marche.

4. Les signaux lumineux pour piétons doivent être conçus et placés de manière à exclure toute possibilité d'être interprétés par les conducteurs comme étant des signaux lumineux destinés à régler la circulation des véhicules.

5. Les signaux lumineux pour piétons peuvent être complétés par des signaux audibles ou tactiles aux passages pour piétons en vue de faciliter aux aveugles la traversée de la chaussée. »

Ainsi, on retient que :

- la convention de Vienne permet de proposer un feu tricolore avec du jaune, dont la signification correspond au temps de dégagement ;
- la convention de Vienne permet de proposer un feu clignotant, mais elle préconise un feu vert clignotant. Pour autant, il est à noter que la Suède a ratifié cette convention, mais que les feux piétons de ce pays sont de couleur rouge clignotant. Le fait que le rouge clignotant ne soit pas évoqué n'est donc pas a priori une interdiction formelle.
- La question de la disposition des feux peut également être soulevée puisque le texte de la convention indique que les feux doivent être disposés verticalement avec le feu rouge en haut et le feu vert en bas ; or, dans de nombreux pays, y compris la France, les deux figurines sont situées côte à côte. Le feu actuel R12 n'est donc actuellement pas conforme à la convention de Vienne.

A ce sujet, les derniers feux piétons ajoutés dans l'IISR française, à savoir le feu R25 et le feu R12 PPS, ne sont pas non plus conformes à la convention de Vienne. Le premier est clignotant de couleur rouge, et le second présente un passage piéton clignotant en jaune.



Illustration 13: Feu R25 clignotant

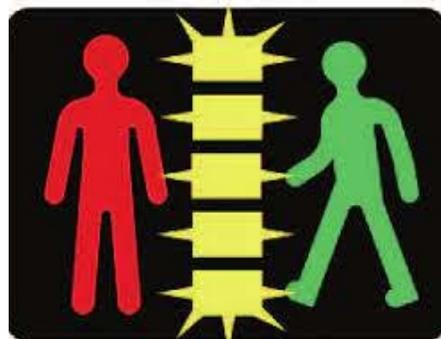


Illustration 12: Feu R12 PPS clignotant

2.2. Feux à 2 états

Il s'agit du type de feux le plus simple dans son fonctionnement puisqu'ils ne comportent que deux états. Il s'agit de feux que l'on trouve dans certains pays d'Europe, et ce sont ceux que l'on peut observer en France. Les symboles utilisés sont toujours une figurine verte en marche pour indiquer l'autorisation de traverser et une figurine rouge immobile pour traduire l'interdiction de s'engager. Parmi les pays utilisant majoritairement ce type de feux, on trouve les suivants, principalement en Europe : Allemagne, Belgique, Danemark, France, Grèce, Luxembourg, Slovaquie, Autriche, Finlande ; mais aussi au Burkina Faso.

2.2.1. Cas de l'Allemagne

La signalisation lumineuse pour les piétons en Allemagne varie selon l'endroit où l'on se trouve. Les très célèbres Ampelmännchen (« petits bonshommes du feu ») sont des figures symboliques que l'on trouve principalement dans l'ex-Allemagne de l'Est et dans Berlin. Ces feux sont restés comme mémoire de l'histoire est-allemande. D'autres villes de l'Ouest ont choisi d'utiliser ce type de signalisation lumineuse. Pour les autres villes, il s'agit de figurines semblables à celles visibles en France, sauf qu'elles sont disposées verticalement et respectent donc la convention de Vienne. Il existe également un modèle que l'on retrouve à certains carrefours qui signale l'état de la traversée à la fois pour les piétons et les cyclistes.



Illustration 14 : Différents types de feux en Allemagne. (source : Wikipédia)

Comme en France, le temps de rouge de dégagement n'est pas identifiable par les usagers. Il est inclus dans la durée de feu rouge et correspond seulement au temps entre le passage du feu piéton au rouge et celui du feu véhicule au vert.

Dans certaines villes, comme Hambourg, on peut apercevoir des feux piétons avec deux feux rouges au lieu d'un.



Illustration 15: Feu mixte piétons-cyclistes à Berlin.



Illustration 16: Feu piéton à Hambourg. (source : Google Street View)

Pour faire écho aux feux mixtes piétons-cyclistes qui ont été expérimentés en France et

qui pourraient être ajoutés au code de la route prochainement, on peut également trouver des feux similaires en France, comme c'est le cas à Berlin par exemple.

Le taux de respect de la couleur du feu est élevé en Allemagne. Si un piéton traverse la rue alors que le feu est rouge, il est passible d'une amende de 5 €. Ce montant peut atteindre 10 € si la traversée a causé un accident. La sanction peut également être appliquée si le piéton met trop de temps à finir de traverser après le passage du feu au rouge. Cependant, les contrôles sont rarement effectués et l'infraction est généralement tolérée ; pour autant, la grande majorité des Allemands respectent la couleur du feu piéton, même en cas de faible circulation sur la route.

Les boîtiers présents sur les poteaux de signalisation sur le trottoir à destination des personnes malvoyantes permettent de déterminer la direction de la traversée grâce à une flèche en relief indiquant la direction, située sous le boîtier. Différents types de flèches existent selon la traversée rencontrée, comme on peut le voir sur l'illustration suivante. Cette flèche émet également une vibration au passage au vert afin d'alerter les personnes malvoyantes de la possibilité de traverser.



Illustration 17 : Exemple de face inférieure d'un boîtier tactile (en haut) ; les différents types existants (en bas) (source : Digital Cosmonaut, Berlin Traffic Lights)

Les flèches sur l'image représentent, de gauche à droite, les flèches correspondant à : une traversée avec demande additionnelle, une traversée normale, une traversée avec un îlot central, une traversée coupée par des rails et une traversée dans deux directions.

L'exemple ci-dessus correspond à une traversée avec îlot central.

2.2.2. Cas de la Belgique

Les feux mis en place en Belgique sont similaires à ceux qui existent en France, en termes de fonctionnement et de design.

D'après une étude effectuée en Belgique par l'ISBR (institut belge pour la sécurité routière) dans 9 des villes les plus peuplées du pays, environ 21 % des piétons ne respectent pas la couleur des signalisations lumineuses. Par ailleurs, l'étude réalisée en 2014 sur des rapports de police d'accidents à Bruxelles à des intersections avec des feux, a relevé que 39 % des piétons impliqués dans ces accidents avaient traversé au feu rouge. De nombreux chercheurs ont obtenu dans leurs recherches respectives des taux de non-respect du feu rouge piéton de l'ordre de 20 à 25 %.

La présence de boutons-poussoirs a été étudiée afin d'évaluer si elle entraîne un meilleur taux de respect des feux. Il a été observé que les piétons ont plus tendance à traverser au rouge lorsque ces boutons sont présents. Selon l'auteur, cela peut s'expliquer parce que sur ces feux, il y a une plus grande probabilité d'arriver au niveau du passage piéton lors d'une phase de rouge – c'est parfois même toujours le cas sur les passages piétons où le feu est toujours rouge sauf si quelqu'un appuie sur le bouton –, et selon le flux de véhicules, plutôt que d'appuyer et d'attendre que le feu change de couleur, les piétons préfèrent traverser si possible.

Il apparaît également que lorsqu'il y a un retour visuel ou audio sur les signaux, les feux ont tendance à être plus respectés : par exemple si lorsqu'un piéton appuie sur un bouton, un message s'éclaire ou un son est émis, ce qui confirme que la demande du piéton est bien prise en compte.

2.2.3. Conclusion sur les feux à 2 états

Les autres feux à 2 états observés à l'étranger sont différents du feu français par leur aspect, mais ils donnent exactement les mêmes informations aux piétons. En particulier, aucun ne permet d'identifier le temps de dégagement. Il n'y a donc aucun intérêt à expérimenter un autre signal à 2 états.

2.3. Feux à 3 états

Ce dispositif apporte une information supplémentaire aux piétons (et aux automobilistes) par rapport au feu à deux états. En effet, l'existence d'un signal différent (généralement clignotant ou jaune) permet aux usagers de savoir que le feu va prochainement passer au rouge. Cette information supplémentaire correspond en fait au temps de rouge de dégagement qui est une période qui existe également sur les feux à 2 états, mais n'est pas identifiable. Dans cette partie sont décrits les différents systèmes à 3 états.

2.3.1. Feux clignotants

Les feux clignotants sont visibles aussi bien en Europe (Irlande, Suède, Pays-Bas, Norvège, Islande et au Portugal), en Australie, en Amérique du Sud (Colombie), en Asie (Qatar, Émirats arabes unis, Bangladesh, Inde) et en Afrique (Nigeria, Afrique du Sud). Cette liste n'est pas exhaustive mais traduit le caractère international de ce type de feux. Le signal clignotant est parfois vert ou rouge selon les pays.

Cas de la Norvège

Les feux piétons norvégiens disposent d'un temps de vert clignotant indiquant l'approche du rouge. La particularité des feux piétons en Norvège réside dans le fait qu'il y a deux feux rouges. Cela vient de l'époque où les feux n'avaient pas de LED, et c'était donc une sécurité au cas où une des deux



Illustration 18: Feu piéton en Norvège.
(source : Dinside, Per Ervland)

ampoules ne fonctionnent plus. Après le passage aux LED, les deux figurines rouges ont été conservées pour leur côté historique. Des études locales ont aussi montré que la présence de ces deux figurines rouges avait un effet bénéfique sur la sécurité des piétons, car les deux feux étaient mieux vus par les piétons.

Cas de l'Australie

L'Australie a adopté un système clignotant avec le signal rouge qui clignote pendant le temps de dégagement.



Illustration 19: Feu rouge clignotant en Australie.

2.3.2. Feux tricolores

Les feux tricolores peuvent être observés en Italie, dans une partie de l'Irlande et sur certaines traversées piétonnes en Lituanie et en Suisse (on trouve des feux tricolores ou verts clignotants).

Cas de l'Irlande

Les traversées piétonnes en Irlande sont semblables à celles qui existent au Royaume-Uni, c'est-à-dire qu'on retrouve les traversées du type PUFFIN (le feu est toujours rouge pour les piétons sauf si un bouton poussoir est activé), PELICAN (traversée classique) ou encore TOUCAN (cyclistes et piétons gérés ensemble avec un feu à deux états). Ces traversées sont caractérisées par des feux différents et des cycles qui peuvent varier. Les traversées de type Pelican et Toucan sont ce qu'on appelle des « *mid-block pedestrian crossings* », c'est-à-dire des traversées simples, situées hors carrefours à feux. On trouve en Irlande deux types de feux piétons à 3 états. Dans le cas de traversées piétonnes situées aux carrefours à feux ou des traversées simples avec un flux piéton important, le feu utilisé est un feu tricolore avec une figurine en marche pour le vert, et une figurine immobile pour le jaune et le rouge. Pour les deux types de traversées que sont les Toucan et Pelican, le type de feu est également à trois états, mais le signal jaune piéton est remplacé par une figurine verte clignotante. Durant le clignotement, les piétons ne peuvent pas commencer à traverser. Lorsque le flux de piéton est important, que la traversée présente un enjeu de sécurité, ce feu bicolore est généralement remplacé par un feu tricolore. Le temps de jaune ou de vert clignotant est calculé sur la base d'une vitesse de déplacement de l'ordre de 1,2 m/s, ce qui est en fait trop rapide pour au moins 1/3 des personnes de plus de 65 ans selon une enquête réalisée dans le pays.

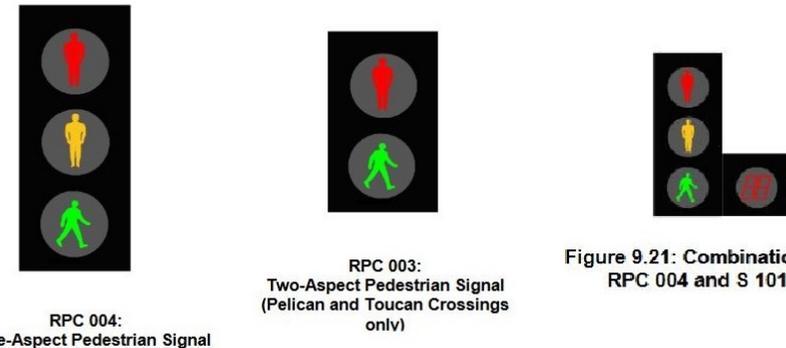


Illustration 20: Différents feux en Irlande. (source : Traffic Signs Manual)

Dans les lieux où il y a de nombreux piétons ou que le temps d'attente est élevé, un décompte peut être installé de chaque côté de la traversée, mais il s'agit de cas isolés. À Dublin, des décompteurs de temps de rouge restant ont été testés à certaines intersections, mais l'idée a finalement été abandonnée à cause de leur incompatibilité avec la micro-régulation de certains carrefours à feux.

Lorsque les phases piétonnes sont assez longues pour permettre la traversée des piétons en sécurité, des boutons-poussoirs ne doivent pas obligatoirement être installés. Cependant, si un temps allongé est requis, un bouton-poussoir doit être accessible pour les piétons. Pour les personnes malvoyantes ou aveugles, des dispositifs à vibration (qui vibrent lorsque le feu est vert pour les piétons) ou sonores sont installés à certains carrefours. Dans le cas où plusieurs traversées sont proches, les signaux sonores mis en place peuvent parfois être confondus entre les traversées, ce qui crée un certain danger. Sur ces intersections, il avait donc été décidé en 2005 de supprimer les signaux sonores et de les remplacer par le système de vibrations au toucher.

Cas de l'Italie

Les feux pour les piétons en Italie ont la particularité d'être tricolores. Tout comme les feux de circulation des véhicules, les feux piétons comportent trois états distingués par la couleur du personnage qui apparaît. Le code de la route italien précise que la figurine verte indiquant l'autorisation de traverser doit être en marche, tandis que les figurines jaune et rouge doivent être immobiles. La similarité entre les feux piétons et les feux pour les véhicules permet une compréhension naturelle du feu. La durée du jaune correspond au rouge de dégagement en France, donc le temps qu'il faut pour traverser la route si le piéton s'engage à la dernière seconde de vert. Il est donc courant que cette phase jaune dure environ 10 secondes.

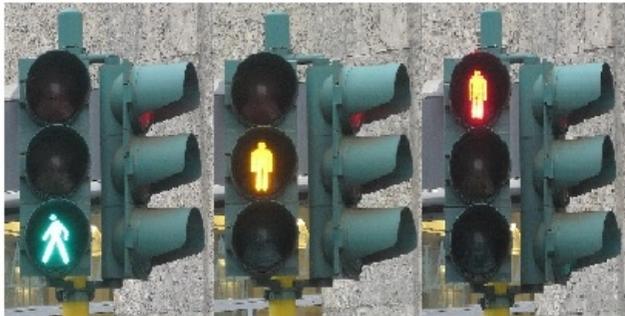


Illustration 21 : Feu tricolore en Italie. (source : Wikimedia Commons)

Le respect de ces feux dépend de la nature des piétons : d'après l'étude réalisée en 2018 par A. Pratelli, M. Lupi, C. Iannelli et A. Lorenzini, « *Crossing at a red light : behavior of tourists and commuters* », les touristes respectent beaucoup plus la couleur du feu (9 % seulement de l'échantillon observé ont traversé au rouge ou au jaune), tandis que les personnes qui effectuent le trajet domicile-travail ont plus tendance à traverser au rouge ou au jaune, ce qui constitue une infraction (36 % de l'échantillon observé). Bien que ces résultats ne soient pas généralisables, on note quand même une certaine proportion de piétons qui ne respectent pas le feu lorsqu'il interdit la traversée.

2.3.3. Conclusion sur les feux à 3 états

Ces types de dispositifs apportent une information supplémentaire aux piétons, mais également aux automobilistes qui comprennent que les piétons sont encore prioritaires sur le passage piéton. Cela permet donc aux piétons de mieux se rendre compte de l'approche du passage au rouge et éventuellement d'adapter leur vitesse. Cependant, bien que la signification du signal clignotant ou jaune soit, en théorie, le même dans tous les pays (autorisation de finir une traversée entamée, mais interdiction d'entamer la traversée), on observe toujours une proportion importante de piétons qui accélèrent le pas pour avoir le temps de traverser en s'engageant durant cette période.

Le feu clignotant pendant le temps de dégagement est le signal le plus répandu dans le monde, la majorité des pays étrangers ont choisi ce système à 3 états et continuent de le développer, ce qui laisse penser qu'il est bien compris et apprécié par les usagers et les gestionnaires de voirie. D'ailleurs, la majorité des systèmes à 4 états, que l'on détaillera dans la partie suivante, se basent sur un feu clignotant.

Le feu tricolore présente l'avantage d'être compréhensible par la majorité des usagers puisqu'il fonctionne de la même façon que les feux pour véhicules, qui sont bien connus. En revanche, la similarité entre ce feu et celui des véhicules peut aussi être un inconvénient, puisqu'il ne faut pas qu'un automobiliste s'engage en apercevant une lueur verte sur un feu tricolore alors qu'il s'agit d'un feu pour piétons. Il est donc important qu'en cas de feux tricolores pour les piétons, leur aspect reste bien différent du feu destiné aux automobilistes.

Enfin, notons que l'Irlande représente un intérêt particulier pour notre étude, puisqu'ils utilisent simultanément plusieurs types de feux piétons à 3 états.

2.4. Feux à 4 états

Les feux à 4 états ajoutent une information supplémentaire : en plus d'indiquer la période de vert, de rouge et de temps de dégagement, ces feux ajoutent la précision de la durée des phases, et notamment celle du temps de dégagement.

2.4.1. Accélération du clignotement ou de l'animation

Dans certains pays, le signal clignotant indiquant l'approche de la fin du temps de vert s'accélère au fil du temps qui passe, ce qui indique le passage imminent au rouge. Le même système existe avec les feux « animés », c'est-à-dire où la figurine verte indiquant l'autorisation de traverser est animée et représente un personnage qui marche. Au fil des secondes qui s'écoulent, le personnage accélère et se met à courir. Ces systèmes permettent donc de savoir que le feu va prochainement changer d'état, de façon plus précise que le clignotement simple, mais sans pour autant connaître un instant précis. On retrouve ces feux en Pologne ou aux Philippines, par exemple.

Cas de la Pologne

En Pologne, le feu piéton est bicolore avec une figurine rouge immobile et une figurine verte en marche. Après un certain temps de vert, le vert clignote afin d'indiquer l'approche du changement d'état. Ce vert clignotant clignote de plus en plus vite lorsque le feu va passer au rouge. Les piétons ont donc une certaine indication sur l'approche imminente de l'interdiction de traverser.



Illustration 22 : Modèles de feux piétons en Pologne. (source : Wikipédia)

Dans les grandes villes polonaises comme Varsovie, les piétons représentent environ 60 % des décès dans les accidents de la route. Selon une étude réalisée dans la capitale, l'endroit le plus risqué pour les piétons lorsqu'ils traversent est le milieu de la traversée dans le cas des traversées avec signaux lumineux, lorsqu'il faut croiser les rails des trams. 25 % des accidents étudiés ont été causés par un piéton ne respectant pas le feu rouge. 55 % des accidents ont été causés par un comportement inapproprié des véhicules au niveau d'un passage piéton. Parmi les 735 accidents étudiés, 33 % avaient eu lieu à des intersections avec signalisation lumineuse. Afin de limiter le nombre d'accidents corporels impliquant des piétons, un meilleur aménagement serait à réaliser pour créer des refuges pour les piétons.

Il est à noter que dans certaines villes, les piétons respectent particulièrement la signalisation lumineuse et ne traversent pas la route lorsque le feu est rouge même s'il n'y a aucun véhicule. Selon une étude sur le comportement des piétons et automobilistes réalisée sur 19 pays européens à travers des questionnaires remplis par un grand nombre de personnes, il a été remarqué que la Pologne présente un taux d'accidents élevé mais pour autant des comportements plutôt « positifs ».

Bien que ce ne soit pas inclus dans la loi, certaines villes polonaises ont commencé à mettre en place des décompteurs afin d'afficher le temps restant pour la traversée des piétons. Selon une étude réalisée par A. Sobota, M. J. Klos et G. Karon, les décompteurs permettent d'améliorer la sécurité des piétons

et des passagers de véhicules.

Cas des Philippines

Aux Philippines, on peut apercevoir des feux animés. Lors de la phase de vert, le personnage marche puis se met à courir au fil du temps.



Illustration 23 : Feu animé aux Philippines. (source : Mental Floss, Nick Greene)

Ce dispositif fonctionne avec un grand nombre de LEDs qui permettent de créer ce mouvement chez le personnage représenté sur le feu.

Conclusion sur le dispositif de clignotant accéléré ou animé

Le dispositif de clignotant accéléré, ou encore d'animé accéléré, présente l'avantage par rapport au clignotant de fréquence constante de signaler aux usagers le changement d'état imminent. Ces systèmes sont relativement faciles à comprendre, en particulier celui avec la figurine animée qui est plutôt intuitif. Pour autant, le système de feu animé semble un peu « gadget » et même s'il fait sourire certains passants, il peut aussi être source de distraction et donc d'accidents. Le dispositif mis en place en Pologne avec le signal clignotant dont la fréquence augmente au fil du temps semble plus pertinent. Cette 4^{ème} information reste tout de même moins précise que lorsque le nombre de secondes exact est affiché.

2.4.2. Décompteurs et sabliers

De plus en plus de pays effectuent des études voire mettent en place des systèmes de comptes à rebours. Ce système permet en effet aux piétons d'obtenir une information précise sur le temps restant avant le changement d'état. Ces décompteurs peuvent être utilisés différemment pour afficher le temps restant. Il est en effet possible de décompter le temps de vert restant (y compris le temps de dégageant clignotant), le temps de dégageant restant ou encore le temps de rouge (donc jusqu'à la prochaine phase de vert). Certains feux décomptent le temps restant pour chaque phase. Il existe également des systèmes où le temps restant est traduit par un sablier qui s'écoule ou des barres lumineuses, mais l'idée reste similaire. De nombreux pays utilisent des comptes à rebours, on en trouve aussi bien en Europe (Russie, Turquie, une partie de l'Espagne, République tchèque, Bosnie-Herzégovine et de plus en plus au Royaume-Uni), en Nouvelle-Zélande, en Amérique du Nord (États-Unis, Canada, Mexique), en Amérique du Sud (Pérou, Chili, Argentine et ponctuellement au Brésil), en Asie (Japon, Corée du Sud, Chine, Thaïlande, Taïwan) et en Afrique (Égypte, Cambodge, parfois au Maroc).

2.4.2.1 Mesure du temps restant de dégageant

Parmi les cas les plus connus de pays dont les feux affichent un décompteur pour le temps de dégageant ou de phase clignotante, on peut citer les États-Unis, le Canada, le Royaume-Uni et l'Argentine.

Cas des États-Unis

Les signaux piétons aux États-Unis comportent trois phases, auxquelles s'ajoute un décompteur. La première consiste en une figurine en marche, de couleur blanche sur fond noir, signifiant « WALK » et indiquant l'autorisation de traverser la chaussée. Cette traversée se fait néanmoins sur un temps de conflit potentiel avec les véhicules tournant à droite, mais le piéton est prioritaire. La deuxième phase est une main orange clignotante qui signifie « DON'T WALK » : un piéton engagé peut finir sa traversée mais les piétons ne doivent pas débiter la

traversée lors de cette phase. Lors de cette phase dont la durée dépend de la largeur de la chaussée, pour celles durant plus de 7 secondes, un compteur est installé à côté du signal et indique le temps restant avant le passage au rouge. Enfin, la dernière phase du cycle correspond à l'interdiction de traverser et est représentée par une main orange fixe interdisant aux piétons de s'engager sur le passage piéton.

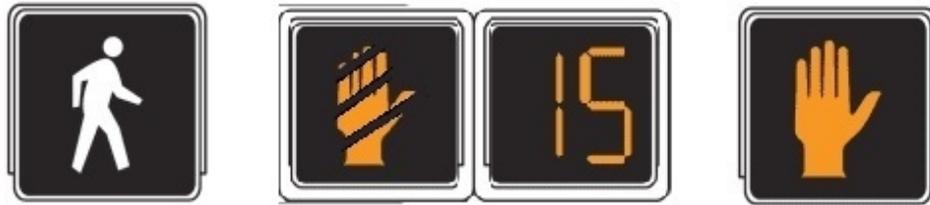


Illustration 24 : Signaux piétons aux États-Unis. (source : BikeWalk NC)

Si le modèle de base des signaux piétons aux USA est globalement le même sur tout le territoire, les états sont libres de choisir leur politique concernant la gestion des piétons ; ils doivent respecter les règles détaillées dans le chapitre 4E du MUTCD (*Manual on Uniform Traffic Control Devices*). Ce manuel indique également les situations dans lesquelles il faut utiliser un signal lumineux pour les piétons, c'est-à-dire par exemple lorsqu'il est nécessaire d'aider les piétons à traverser en sécurité, afin d'éviter les conflits entre piétons et véhicules, ou encore lorsque la traversée de la route se fait en plusieurs temps. Le choix des couleurs blanche et orange plutôt que vert et rouge s'explique afin d'éviter la confusion pour les conducteurs. Ainsi, le vert et le rouge sont les couleurs réservées aux véhicules.

Selon le document de la NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*), 16 % des morts dans les accidents de la route sont des piétons. 18 % de ces accidents mortels piétons ont eu lieu à une intersection.

Les signaux pour les piétons peuvent présenter « WALK » et « DON'T WALK » écrits en toutes lettres. Il s'agit d'une signalisation plus ancienne ayant été conservée à certains carrefours. Le déroulement des couleurs reste identique, le signal « DON'T WALK » clignote pendant le temps de dégagement.



Illustration 25 : Signaux piétons à certaines intersections. (source : Portland Bureau of Transportation)

Selon la volonté des villes concernées, le MUTCD autorise l'utilisation d'yeux animés pour inciter les piétons traversant à être attentifs à leur environnement et plus particulièrement aux véhicules alentours. Ce signal doit être de couleur blanche et doit effectuer un mouvement de balayage. Il doit être allumé uniquement durant la période de « WALK ».



Illustration 26 : Signal « yeux animés » aux USA. (source : Federal Highway Administration, US Department of Transportation)

Sur certaines rues, un système audible peut être mis en place afin de faciliter la traversée pour les personnes malvoyantes ou aveugles. Le MUTCD indique que le mot qui doit être employé lors du feu rouge est « Wait » (attendre). Lorsque le feu passe au vert, la phrase prononcée doit être « Walk sign » autorisant les piétons à traverser. Il peut être ajouté à la suite de cette expression le nom de la

rue qui va être traversée.

Selon les chercheurs B. Huitema, R. Van Houten et H. Manal qui ont rédigé un article reprenant les bilans de plusieurs études effectuées aux USA, l'introduction des décompteurs a permis la réduction du nombre d'accidents impliquant des piétons. En particulier, l'étude de 2007 du Federal Highway Administration estime que cette réduction peut atteindre 25 %.

En fonction des sites étudiés relativement au taux de respect des feux piétons pour la traversée, les résultats obtenus peuvent varier. Une étude effectuée à proximité du campus de l'université du Michigan (*Pedestrian crossing compliance characteristics at grade signalized crosswalks: case study in a downtown-university campus environment*, D. Akin et V. Sisiopiku, 2006) rapporte un taux de respect de 50,6 %. Environ la moitié des piétons traversent donc la voie lors du feu rouge, selon le flux de véhicules et leur vitesse de déplacement. Ce taux de respect peut être influencé par la durée des différentes phases d'un cycle en fonction du nombre de piétons souhaitant s'engager. Selon l'étude de Mullen et al. effectuée en 1990, on peut estimer que globalement aux USA, 20 à 25 % des piétons ne respectent pas le feu piéton lorsqu'ils traversent. L'objectif de ces piétons est de minimiser leur temps d'attente en traversant lorsque le flux de voitures le permet, malgré la couleur du feu. Pour de nombreux piétons, la durée du « *Flashing don't walk* » correspond à une extension de l'autorisation de traverser, donc un temps où il est possible de s'engager.

Cas du Canada

Le système au Canada est semblable à celui qu'on observe aux États-Unis. Les signaux sont composés de trois phases : l'autorisation de traverser, avec une figurine blanche, l'interdiction de traverser, la main orange, et une phase intermédiaire correspondant au rouge de dégagement avec la main orange clignotante, auxquels s'ajoute un décompte indiquant le temps restant. Pour certaines traversées, il est nécessaire d'appuyer sur un bouton-poussoir afin que le feu devienne vert pour les piétons.

Dans le Quebec Highway Safety Code, il est stipulé qu'en cas de présence d'un décompte, il est possible de commencer à traverser durant la période où la

main clignote à condition d'avoir le temps de finir avant le passage au rouge.

Comme le soulignent les auteurs, des universités de Montréal, Paris 8, et de l'INRETS, de l'étude « Effets des caractéristiques de l'environnement sur le comportement des piétons à des intersections urbaines », le piéton est généralement peu discipliné face aux contraintes telles que la signalisation lumineuse. Cela s'explique souvent par des facteurs environnementaux, à la fois en termes d'aménagement du carrefour et des contraintes personnelles (destinations, contraintes horaires...). Dans l'étude effectuée à Montréal, le taux de traversée en infraction par les piétons varie selon la géométrie des croisements. Il a été observé un taux élevé de non-respect de la signalisation lumineuse lorsqu'il s'agit de traverser un axe à sens unique ou un axe à plusieurs voies mais avec terre-plein central, entre 19 et 28 %. Dans le cas d'axes à une ou deux voies de circulation, ce taux descend à moins de 10 % en moyenne.

Des dispositifs pour les personnes malvoyantes sont souvent mis en place aux intersections. Dans certaines villes, il existe un son différent qui est émis selon la traversée (nord/sud ou est/ouest), afin que la personne n'ait pas de doute dans la direction où il est possible de traverser (source : *site de la ville d'Hamilton, Ontario.*)

Cas du Royaume-Uni

Pour limiter le nombre d'accidents impliquant des piétons et des véhicules au niveau des passages piétons, en 2010, Transport for London (TfL) a introduit le système de « *Pedestrian Countdown at Traffic Signals* » (PCaTS) sur certains carrefours de Londres. Ce système remplace la phase de rouge de dégagement qui correspondait à l'extinction du feu et à une durée de « black-out » auparavant, ou au vert clignotant selon les carrefours, avec un décompte indiquant le temps restant pour traverser. Un certain nombre de feux ont ensuite été remplacés par ce système dans les années qui ont suivi, suite à la satisfaction des usagers que cela a suscité. Pour autant, les feux sans décompteurs sont encore très présents en dehors de la capitale et se distinguent des feux que l'on peut trouver en France et ils seront donc détaillés ensuite.



Illustration 27: Feux avec décompteurs à Londres. (source : Transport for London)

Ce type de décompteur est de plus en plus mis en place dans la capitale britannique, en particulier depuis 2014. Des études ont été menées par *Transport for London* pour savoir quel type de décompteur choisir et afin de respecter certaines réglementations, il a été choisi que le décompteur se lancerait sur une période de black-out. En effet, ajouter un décompteur sur un autre signal (figurine rouge, figurine verte, phase clignotante ou même de couleur orange comme aux USA ou au Canada) ne respecte pas les règles TSRGD 2002 (*Traffic Signs Regulations and General Directions 2002*).

Le choix a été fait de placer le décompteur au niveau du feu vert plutôt que du feu rouge, puisque le temps restant correspond à un temps où il est possible de traverser.

En dehors des décompteurs, il existe au Royaume-Uni de nombreux types de signalisations piétonnes portant des noms différents, dont certains sans signalisation lumineuse, qui sont bien spécifiques. Pour le type de traversée dite « PELICAN », pour *Pedestrian Light Control*, les signaux sont une figurine verte

en marche et une figurine rouge immobile : à la fin de la phase piétonne, le signal vert clignote quelques instants avant le passage au rouge. Le début du vert est indiqué par un signal sonore pour les personnes malvoyantes. Les feux sont situés en face du trottoir de départ, comme c'est le cas en France et dans la majorité des pays. Il s'agit d'un système de feu classique et plus ancien, qui tend à être remplacé.

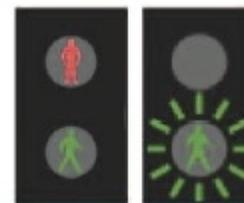


Illustration 28 : Feu de type Pelican. (source : Certu, fiche n°23, signalisation)

Concernant les passages piétons de type « PUFFIN », ce qui signifie *Pedestrian User Friendly Intelligence*, ils sont réservés exclusivement aux piétons, les autres usagers ne peuvent pas les utiliser. Les feux sont parfois situés sur le trottoir de départ et le bouton-poussoir se trouve sur le même boîtier. Le feu est alors orienté vers le trottoir et non vers la route, ce qui implique donc qu'une fois engagé, le piéton ne voit plus l'état du feu. La phase de vert clignotant n'existe pas, et tant qu'aucun piéton ne se présente au passage piéton et appuie sur le bouton-poussoir, le feu piéton reste au rouge. Il y a également un système de détection au niveau du sol : ainsi, si le piéton appuie sur le bouton mais s'engage avant le passage au vert du feu (en cas de faible trafic par exemple), le feu reste au rouge. Cela permet de ne pas stopper la circulation des voitures pour un piéton qui aurait déjà traversé. Ce système est très similaire au projet Pussycats testé en 1995 dans plusieurs villes aux Pays-Bas, en France et en Angleterre. Un tel système, avec le feu situé au début de la traversée, semble avoir entraîné un meilleur taux de respect de la couleur du feu. Ce système tend à se généraliser dans le pays.



Illustration 29: Feu tourne vers le trottoir au Royaume-Uni

Une étude réalisée en 2008 pour le *Department for Transport* a montré que ces traversées piétonnes sont plus sûres que les traversées de type Pelican, avec 24 % d'accidents impliquant des piétons en moins.



Illustration 30 : Feu de type Puffin.

(source : Certu, fiche n°23, signalisation)

Pour certaines traversées en carrefour à feu, les feux peuvent être soit de l'autre côté de la chaussée, soit sur le trottoir de départ. Lorsque les feux sont dirigés vers la chaussée, c'est-à-dire lorsqu'ils sont sur le trottoir de destination de la traversée, il existe une phase de rouge de dégagement, qui se manifeste par un signal éteint entre le vert et le rouge. Dans certaines villes et à certains carrefours, il y a également un décompte qui indique le temps restant durant cette phase de rouge de dégagement où les autres signaux sont éteints.

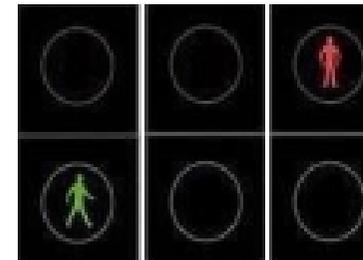


Illustration 31: Système de "black-out" présent au Royaume-Uni

Un dernier type de feux qui peut être mis en place est le système « TOUCAN », pour « two can cross ». Ce système fonctionne de la même façon que le PUFFIN, mais permet de gérer également les cyclistes. Ces feux peuvent être installés aussi bien sur le trottoir de départ que de l'autre côté de la rue.



Illustration 32 : Feu de type Toucan. (source : Certu, fiche n°23, signalisation)

2.4.2.2 Mesure du temps de vert et de dégagement

Certains pays ou certaines villes, ont fait le choix de mettre en place des feux avec un décompte qui affiche le temps de vert restant, donc le temps restant pour traverser. Dans ce temps de vert, le rouge de dégagement français est pris en compte, puisque très souvent, le feu piéton vert clignote pendant les dernières secondes de vert. Le décompte prend donc en compte toute la durée comprise entre deux phases de rouge. Ce choix de décompte a été fait dans certaines régions de l'Espagne, en Chine, au Mexique et en Corée du Sud.

Cas de l'Espagne

La signalisation lumineuse pour les piétons varie fortement selon les villes en Espagne. On trouve beaucoup de dispositifs similaires aux feux français, avec la figurine rouge et la figurine verte et deux phases de fonctionnement. Pour autant, dans certaines villes et ce depuis quelques années, il est possible d'apercevoir des feux piétons animés, où le bonhomme vert indiquant l'autorisation de traverser est animé. Ce feu animé est accompagné d'un décompte qui permet de savoir en un coup d'œil combien de temps il reste pour traverser.

A Barcelone par exemple, on trouve aussi des feux communs pour les piétons et les cyclistes et les deux symboles sont donc affichés pour une meilleure compréhension.



Illustration 33 : Feu vert animé avec décompte (à gauche) et feu double piéton-cycliste (à droite). (source : Wikimedia Commons)

Cas de la Corée du Sud

Les feux en Corée du Sud sont semblables à ceux qu'on peut voir au Japon, avec les mêmes symboles universels utilisés et une phase de vert clignotant indiquant l'interdiction de commencer à traverser. Dans la loi coréenne, une personne qui commence à traverser durant cette phase et qui n'a pas le temps de finir sa traversée avant que le feu devienne rouge n'est pas protégé en tant que piéton en cas d'accident. À certaines intersections, il existe des décompteurs numériques qui affichent le temps de vert restant ou encore des barres qui se vident au fur et à mesure que le temps de vert s'écoule.

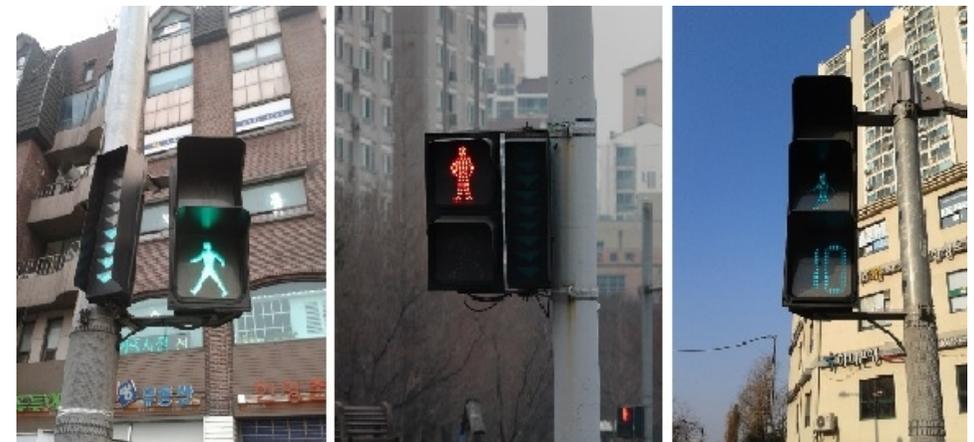


Illustration 34 : Différents feux en Corée du Sud, avec sablier (à gauche) ou avec décompte numérique (à droite). (source : Klawguru, Jowon Kang)

Il arrive qu'à certains feux, dès l'instant où le feu passe au vert, la figurine verte clignote. Cela signifie que les piétons qui attendaient à l'intersection peuvent s'engager, mais que tous ceux qui arrivent après doivent attendre. Le non-respect des règles pour les piétons, comme traverser en dehors des passages piétons ou sans respecter le feu, peut être passible d'une amende d'un montant équivalent à 20 €. (source : article « *Crosswalks and Pedestrian Safety (in Korea)* », *Klawguru.com*).

2.4.2.3 Mesure du temps restant pour chaque phase

Dans certains pays, il y a un décompte pour chaque phase. Ainsi, l'usager peut facilement savoir à la fois combien de temps de vert il lui reste pour traverser, mais aussi combien de temps il doit attendre avant le prochain vert. Ces deux compteurs sont généralement de couleurs différentes, un vert et un rouge, pour éviter la confusion entre les deux. On peut apercevoir ce type de feu en Asie (Japon, Thaïlande, Taïwan), en Afrique (Égypte, Cambodge), en Europe (Turquie, Russie, quelques traversées en République tchèque) et en Amérique du Sud (Pérou, Chili).

Cas du Japon

Les feux au Japon possèdent une phase assimilable au rouge de dégagement en France, où la figurine verte clignote. Cette phase indique l'autorisation de finir de traverser, mais pas de s'engager. Les deux figurines du feu, une verte et une rouge, sont situées l'une en dessous de l'autre, le rouge en haut. À un certain nombre de carrefours, il existe un système de décompte, représenté par un sablier qui se vide au fil du temps. Ce système mesure à la fois la durée restante de vert total (y compris le temps de dégagement), et la durée restante de rouge. Les compteurs sont de couleurs différentes afin que les usagers ne confondent pas les phases.



Illustration 35: Différents feux piétons observés au Japon. (source : Cerema)

Concernant en particulier les feux sans ce système de décompte, les vitesses de déplacement considérées pour le calcul des durées de phases sont similaires à ce qu'on peut voir en France, c'est-à-dire environ 1 m/s. La phase de rouge de dégagement est censée être déterminée à l'aide de cette même vitesse, mais en pratique il semblerait que la durée moyenne de cette phase soit de 3 s, quelle que soit la largeur de la voie à traverser. Une telle durée s'explique par le fait qu'il est attendu des piétons qui se sont engagés de terminer leur traversée s'ils ont atteint au moins la moitié ou de faire demi-tour pour retourner sur le trottoir d'origine.

Selon M. Sugimoto de l'Agence de Police Nationale Japonaise, qui gère les intersections, les cycles intègrent toujours une phase piétonne, et des boutons-poussoirs sont présents afin d'augmenter cette phase en cas de besoin. La plupart des intersections où une phase exclusivement piétonne existe sont équipées de signaux sonores pour les personnes malvoyantes ou aveugles.

La présence de barrières empêchant les traversées piétonnes hors des passages piétons dans les zones à risques permettent de concentrer le flux piéton sur les passages prévus à cet effet. Les signaux sonores qui existent sur plus de 10 000 intersections au Japon peuvent être des mélodies, des chants d'oiseaux ou encore un message diffusé suivi du nom de la rue en japonais.

Cas de la Turquie

La majorité des feux piétons en Turquie sont des feux à deux états avec une figurine rouge immobile et une figurine verte en marche, ce qui correspond au modèle français. Dans certaines rues plus éloignées des grosses artères, le feu piéton reste toujours rouge jusqu'à ce que quelqu'un appuie sur le bouton-poussoir installé. Dans certaines villes et à certains carrefours localisés, la figurine verte est animée et on voit ainsi un personnage en train de marcher pendant la phase de vert. Au cours des deux phases, il existe parfois un décompte qui indique le nombre de secondes restantes pour chaque phase.

Les systèmes mis en place dans la plupart des villes pour les personnes malvoyantes sont des signaux sonores sous la forme de phrases : le signal piéton rouge est traduit par la phrase signifiant « attendez s'il vous plaît » et le

signal vert est « vous pouvez traverser maintenant », en turc. Comme dans de nombreux pays, il y a un bouton-poussoir qui émet tout le temps des bips pour être facilement localisable. Lorsqu'il est poussé, le message correspondant à la phase en cours est émis. Certains de ces boîtiers peuvent également émettre des vibrations au toucher. (source : « *Audible Pedestrian Signals, Istanbul* », site de Melike Ceylan).

Cas du Pérou

La signalisation au Pérou peut prendre deux formes pour les piétons. Il existe des feux statiques, plus classiques, comme ceux qu'on peut apercevoir en France. Le second type de feux est animé : le personnage vert est une succession d'images qui en font une figurine mouvante. Ce feu est accompagné d'un décompte pour chaque phase, vert ou rouge, indiquant le temps restant avant le passage à la phase suivante.

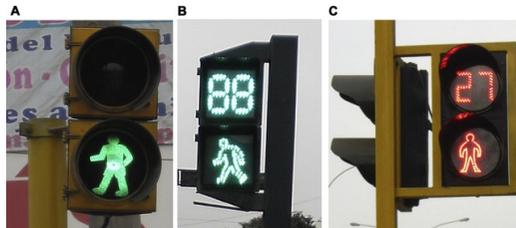


Illustration 36 : Feux au Pérou. (source : J. Jaime Miranda)

Au Pérou, les accidents impliquant un véhicule et un piéton sont très courants. Il s'agit de plus de la première cause de mortalité chez les enfants de 5 à 14 ans, et de la deuxième cause de mortalité pour les personnes âgées de 15 à 44 ans. Dans certaines régions du Pérou, les piétons représentent 80 % des morts dans les accidents du trafic. (source : « *Pedestrians at risk in Peru* », *World Report*, www.thelancet.com).

Cas de Taïwan

Le système de feux à Taïwan est appelé Xiaolüren et sa version animée a été initialement installée dans la ville de Taipei avant de se répandre dans le pays. La signalisation Xiaolüren a été ajoutée dans le *Traffic Signs, Marking and Lights Installation Rules* du Ministère des transports et communications de la République de Chine. Le feu vert est représenté par un homme animé vert avec un chapeau en marche. Sa vitesse de marche varie selon le temps qu'il reste pour traverser. Le feu rouge est traduit par une figurine immobile rouge vue de face. Au début de la phase de vert, le personnage marche lentement, puis lorsqu'il reste environ 14 secondes, il accélère avant d'atteindre sa vitesse maximale lorsqu'il ne reste plus que 10 secondes. Durant ces dernières secondes, la figurine clignote en plus de courir.

Il existe également toujours des feux plus anciens à deux états uniquement, que l'on retrouve plus particulièrement sur la côte Est de Taïwan.

En 1998, le gouvernement de Taipei a décidé de mettre en place des décompteurs, en particulier pour les carrefours où les feux étaient statiques. Ce décompteur se déclenche lorsque le signal passe vert et affiche le temps restant avant le rouge. La phase de rouge est également munie d'un décompte affiché en rouge.



Illustration 37 : Feux à Taïwan. (source : YouTube et Wikipédia)

Il a été relevé dans de nombreux carrefours à Taïwan une grande difficulté à traverser en sécurité. En effet, il existe des passages piétons très longs (pour traverser jusqu'à 8 voies) sans refuge, comme on peut le voir dans un article de

The News Lens, datant d'octobre 2018, « *Pedestrian Nightmare : No 'refuge' on Taiwan's Dreadful Crosswalks* ». Par ailleurs, la durée de vert pour les piétons est parfois trop courte pour pouvoir traverser la rue en entier.



Illustration 38 : Passage piéton très long sans refuge à Taïwan.

Selon une étude réalisée sur environ 1000 accidents mortels impliquant des piétons à Taïwan, près de 12 % des morts ont eu lieu en présence de signalisation lumineuse à la fois pour les piétons et pour les véhicules.

Cas de l'Égypte

Plusieurs types de feux peuvent être observés en Égypte. L'un d'entre eux, que l'on peut voir par exemple dans la ville d'Hurghada, est semblable à ceux existants aux États-Unis, avec la figurine en déplacement de couleur blanche et



Illustration 39 : Feu à Hurghada. (source : Wikimedia Commons)

la main orange. Dans les deux cas, un petit décompte est situé à côté de chaque symbole afin d'indiquer le temps restant.

On trouve aussi des signaux animés, par exemple comme à Assouan, où le personnage vert marche puis court au cours de la phase de vert, le tout accompagné d'un décompte. Cela améliore la lisibilité et la compréhension des signaux lumineux pour les piétons, tout en attirant leur attention vers ce signal, ce qui peut inciter à le respecter.



Illustration 40 : Feux à Assouan. (source : YouTube)

Selon une étude publiée sur *US National Library of Medicine* effectuée auprès de 1300 étudiants de l'université Ain Shams au Caire, plus de 83 % d'entre eux n'attendent pas toujours le vert pour traverser la route. Pour autant, la ville du Caire est réputée pour avoir un trafic très dense et il est conseillé aux piétons de toujours garder un œil sur la route et d'être attentif aux éventuels klaxons. Par ailleurs, de nombreuses personnes trouvent qu'il est extrêmement difficile voire dangereux de traverser les routes en Égypte.

2.4.3. Conclusion sur les feux à 4 états

Le dispositif de décompte, ou *countdown*, est le système qui permet de fournir aux usagers le maximum d'informations. Selon les systèmes, les décompteurs peuvent donner le temps restant pour l'équivalent du rouge de dégagement, pour le rouge total ou pour le vert. Certains dispositifs affichent même le temps restant pour chaque phase. Pour le cas des décompteurs du temps de vert, ces décompteurs comptent souvent l'ensemble du temps de vert et du temps de dégagement. Le décompte affiche alors le temps restant avant le passage au vert pour les véhicules.

Ce genre de dispositif est souvent apprécié des piétons puisqu'ils sont nombreux à trouver ces carrefours plus sécurisants. Avoir une information précise sur le temps restant pour la traversée permet de facilement juger s'il est possible de traverser la rue dans de bonnes conditions. Par ailleurs, la popularité de ce système dans le monde en fait un cas d'étude intéressant.

Entre les différents systèmes observés (animation, clignotant accéléré, sablier et décompte numérique), c'est le décompte numérique qui donne l'information la plus précise, et c'est également le système le plus répandu. Le sablier est souvent utilisé dans les pays où les chiffres arabes sont moins courants. En conclusion, parmi les dispositifs à 4 états, il semble que le décompte numérique soit le système le plus performant et le plus adapté au contexte français.

2.5. Autres dispositifs

2.5.1. Cas de la République démocratique du Congo

Depuis 2013, on trouve dans plusieurs villes de République démocratique du Congo des robots qui gèrent le trafic. Ces robots humanoïdes, créés par l'ingénieure en électronique et directrice de Wotech Thérèse Izay, ont des lumières rouges à l'avant et à l'arrière pour stopper les véhicules et des lumières vertes sur les bras pour autoriser le passage. Ces robots donnent également aux piétons des informations s'ils peuvent traverser ou non.



Illustration 41: Traffic Robot, utilisé en République démocratique du Congo. (source : Wikipédia)

2.6. Récapitulatif des pays selon les dispositifs utilisés

Le tableau ci-dessous fait le bilan des 53 pays classés selon le type de feux que l'on y trouve. Dans le cas où plusieurs types de feux peuvent être observés, les pays ont été classés selon le type de feux donnant le plus d'informations aux piétons.

Types de feux	2 états		3 états		4 états	
	Bicolore	Clignotant	Tricolore	Animé / Accélééré	Décompteur	
Nombre de pays	10	13	4	2	23	
Allemagne		Afrique du Sud	Irlande	Philippines	Argentine	
Autriche		Australie	Italie	Pologne	Bosnie-Herzégovine	
Belgique		Bangladesh	Lituanie		Brésil	
Burkina Faso		Colombie	Suisse		Cambodge	
Croatie		Émirats arabes unis			Canada	
Danemark		Inde			Chili	
Finlande		Islande			Chine	
France		Nigeria			Corée du Sud	
Grèce		Norvège			Costa Rica	
Luxembourg		Pays-Bas			Égypte	
		Portugal			Espagne	
		Qatar			États-Unis	
		Suède			Japon	
					Maroc	
					Mexique	
					Nouvelle-Zélande	
					Pérou	
					République tchèque	
					Royaume-Uni	
					Russie	
					Taiwan	
					Thaïlande	
					Turquie	
Autres dispositifs :	RD Congo					

Illustration 42: Tableau récapitulatif de 53 pays selon le type de feux utilisé

Répartition des pays selon le type de feux piétons

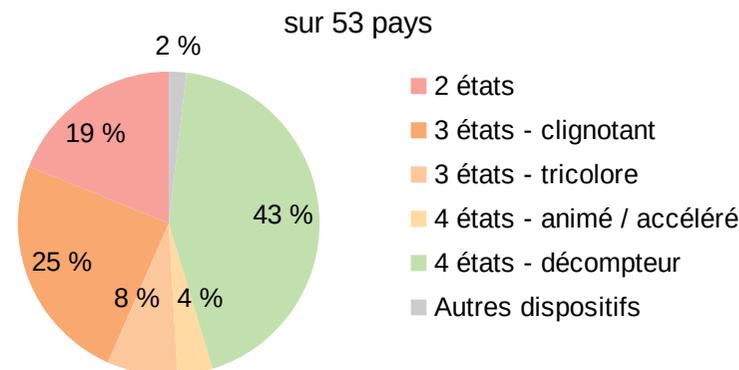


Illustration 43: Diagramme de répartition des 53 pays selon le type de feux utilisés

Focus sur les types de décompteurs

Si l'on s'intéresse de plus près aux feux avec décompteurs, en particulier à la phase qu'ils décomptent, on obtient le tableau suivant :

Détail pour les pays avec décompteurs			
Vert et rouge de dégagement	Rouge de dégagement	Rouge	Chaque phase
6	4	3	10
Brésil Chine Corée du Sud Costa Rica Espagne Mexique	Argentine Canada États-Unis Royaume-Uni	Bosnie-Herzégovine Maroc Nouvelle-Zélande	Cambodge Chili Égypte Japon Pérou République tchèque Russie Taiwan Thaïlande Turquie

Illustration 44: Tableau récapitulatif des pays selon les types de décompteurs.

On remarque sur le tableau précédent que les pratiques sont très diverses d'un pays à l'autre. Les pays anglophones (USA, Canada, Royaume-Uni) ont fait le choix de décompter le temps de dégagement.

Les deux graphiques ci-dessous représentent la répartition des dispositifs selon les continents. On remarque que les signaux à 2 états ne sont utilisés qu'en Europe, les autres continents préférant les systèmes à 4 états.

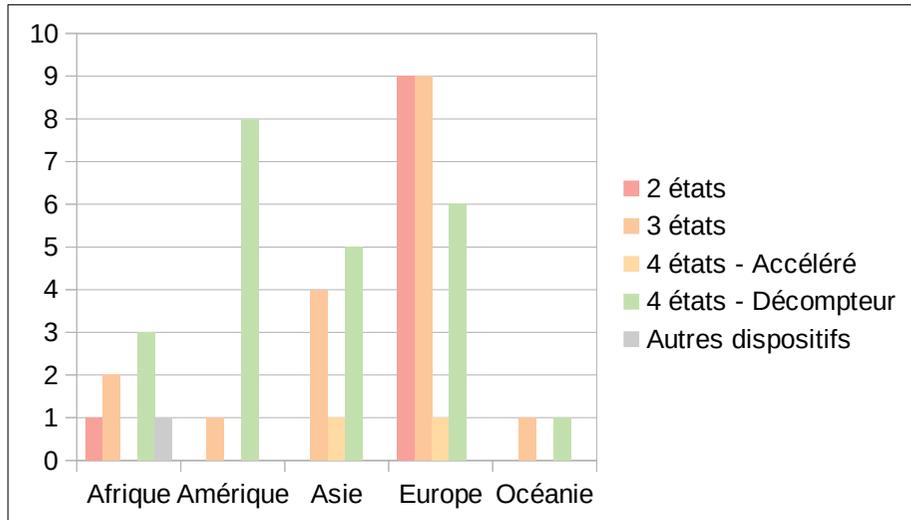


Illustration 45: Diagramme de répartition des dispositifs en fonction des continents

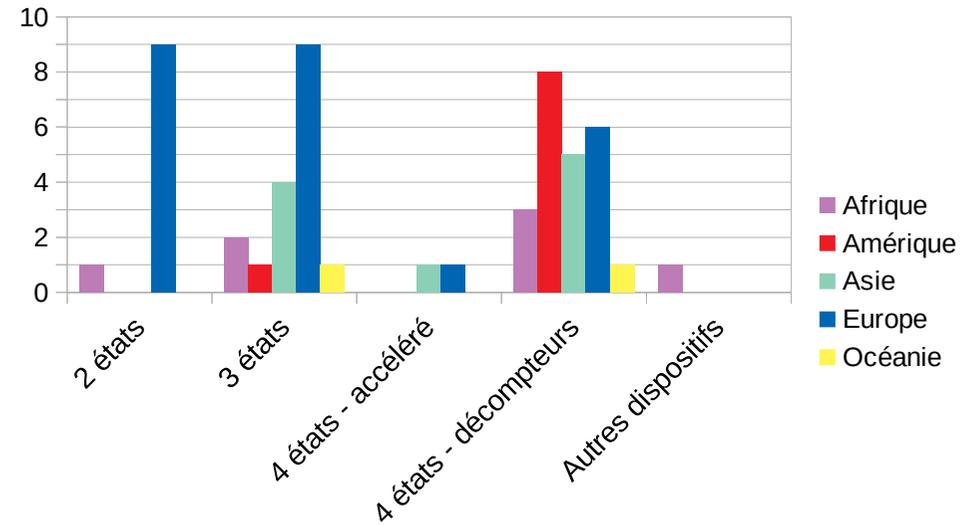


Illustration 46: Diagramme de répartition des continents selon les dispositifs utilisés

3. BILAN DES EXPÉRIMENTATIONS ET ÉTUDES MENÉES EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER

Après avoir décrit l'ensemble des feux existant à l'étranger, intéressons-nous à présent aux études et évaluations déjà menées sur ces différents types de signaux. Les études réalisées en France et à l'étranger seront donc analysées dans cette partie.

3.1. Bilan des expérimentations déjà menées en France

3.1.1. Bilan de l'expérimentation Pussycats 1995

Présentation du dispositif : détecteurs de piétons et signal tourné vers le trottoir

L'acronyme PUSSYCATS signifie « *Pedestrian Urban Safety System and Comfort At Traffic Signals* ». Testé en 1995 dans les villes de Rustington et Woolwich en Angleterre, de Heemstede aux Pays-Bas et de Toulouse et Nancy en France, sur des traversées piétonnes qui fonctionnaient avec des boutons-poussoirs, ce système est composé de quatre éléments :

- un signal piéton orienté vers le trottoir et non pas vers la chaussée, de sorte qu'un piéton ne puisse plus voir le signal pendant sa traversée. Ce signal peut afficher trois messages ;
- un détecteur de piéton en attente ;

- un détecteur de piéton en mouvement ;
- un algorithme pour gérer le système « piétons-messages-gestion du trafic ».

Concernant le signal piéton, il est situé sur le trottoir de départ de la traversée et est sous la forme d'un feu à trois signaux. Ainsi, il n'est visible que des piétons souhaitant traverser et ne présente aucune ambiguïté pour les autres usagers, que ce soit les véhicules ou les piétons qui sont déjà engagés, et facilite la perception des personnes malvoyantes. Les trois états que peut afficher le boîtier sont les suivants : un triangle jaune lumineux avec point d'exclamation noir indiquant la traversée possible mais la nécessité d'être vigilant (conflit possible avec des véhicules) ; une figurine rouge immobile et une figurine verte en marche, comme présenté sur l'image ci-dessous.

L'idée du dispositif est d'utiliser des détecteurs de piétons. L'un a pour objectif de détecter les piétons en attente, à l'aide de capteurs situés sur un tapis. En cas d'attente prolongée sur les capteurs, un système de traitement permet de basculer le feu piéton dans son état « vert ». Le second détecteur doit capter la présence de piétons en mouvement sur un passage. Son objectif est d'adapter le temps de dégagement en fonction de la vitesse de déplacement du piéton et de maintenir les feux de circulation des véhicules au rouge tant qu'il se trouve sur la chaussée. Lorsqu'un piéton est détecté, le feu des véhicules sur l'axe principal passe au rouge et le signal triangulaire « attention » s'allume pour les piétons leur signalant l'autorisation de traverser avec méfiance puisque les véhicules situés sur l'axe secondaire ont le feu vert. Si après un certain laps de temps, un piéton est toujours détecté sur le tapis, ce



Illustration 47: Dispositif de feux Pussycats.

(source : rapport d'étude du CETE de Lyon)

feu sur l'axe secondaire passe au rouge afin que le signal piéton devienne vert, indiquant que la traversée se fait alors sans conflit. La durée de feu vert pour les piétons est cependant limitée par une valeur maximale afin que les véhicules puissent se remettre en mouvement après un temps.

Bilan des résultats

En bilan de cette étude, les auteurs indiquent que ce système fonctionne bien et est très efficace puisqu'il permet la traversée en sécurité des usagers, en particulier les plus vulnérables. Un certain sentiment d'insécurité est cependant relevé par les gens interrogés, puisqu'une fois engagés, il n'y a plus de signal visible quant à l'état de la traversée (si le signal est toujours vert ou non). L'objectif était justement de ne plus perturber les piétons en cours de traversée avec un changement de signalisation. Par ailleurs, le fait de ne pas avoir à fixer le signal en face pouvait permettre aux piétons d'être plus enclins à regarder autour d'eux. Lors des phases d'observation, aucun gain de sécurité relatif à ce point qui puisse être imputé au système n'a été réellement observé par les auteurs de l'étude.

Les temps d'attente des piétons n'ont pas augmenté, certains l'ont même trouvé subjectivement plus court. Cependant, ce bilan rapporte la nécessité de mieux informer la population quant au fonctionnement du signal et des détecteurs afin de rassurer ceux qui ressentent un sentiment d'insécurité lors de la traversée. 60 % des piétons s'engagent durant la phase triangle jaune à Toulouse, 47 et 68 % sur les deux traversées à Nancy. Cela correspond aux mêmes conditions que la plupart des passages piétons actuels, où les véhicules sur l'axe parallèle à la traversée ont le feu vert en même temps.

Conclusion sur le projet

Le dispositif Pussycats est un système innovant en France en termes de positionnement de la signalisation lumineuse et des différents états du feu. En effet, le choix de placer le feu en amont de la traversée, sur le trottoir de départ et tourné vers le trottoir présente a priori plusieurs avantages. Tout d'abord, cela

permet d'éviter les confusions pour les autres usagers qui ne peuvent pas considérer ce feu pour le leur. Ensuite, il est plus facile pour les personnes malvoyantes de distinguer l'état du feu puisqu'il est plus proche. Enfin, ce feu permet en théorie aux piétons de s'engager sur le passage piéton en fonction de la couleur du feu, et de finir leur traversée quoi qu'il arrive, sans se préoccuper d'un éventuel changement de couleur du feu (changement qui fait parfois paniquer les piétons ne connaissant pas la notion du rouge de dégagement lorsqu'il survient en milieu de traversée). Cela correspond aussi au fonctionnement des automobilistes, qui, une fois le feu vert franchi, ne se soucient plus du feu pendant la traversée du carrefour. Pourtant, malgré ces avantages théoriques, l'étude a montré que dans la pratique, les usagers sont justement inquiets de ne pas pouvoir vérifier l'état du feu pendant leur traversée. Ce signal tourné vers le trottoir n'a donc pas rassuré les piétons. Par ailleurs, ce système est très peu répandu, il n'est utilisé que dans un seul pays, au Royaume-Uni.

Le triangle jaune est un signal pertinent puisqu'il incite les piétons à la prudence envers les véhicules tournant, mais il faut que les piétons sachent qu'ils sont prioritaires durant cette phase. La phase piétonne, traduite par la figurine verte habituelle, durant laquelle tous les véhicules sont arrêtés, présente l'avantage de faciliter la traversée pour les personnes les plus vulnérables, mais ces temps ne doivent pas être trop importants selon le flux de véhicules. Ce qui ressort est surtout la nécessité de mieux informer la population relativement à un tel système pour qu'il soit réellement bien compris et utilisé.

En conclusion, le bilan de l'expérimentation est mitigé. Le développement de ce signal n'a pas été poursuivi, il ne semble donc pas opportun d'expérimenter ce signal en France dans les années à venir. Le principe retenu, à savoir l'expérimentation simultanée de 3 innovations (orientation du signal, feu jaune triangulaire et détecteurs multiples) n'a malheureusement pas permis d'identifier quelle innovation est responsable de ce bilan peu concluant. A l'avenir, il faudra ainsi veiller à ne tester qu'une innovation à la fois.

Source : « *Amélioration de la sécurité et du confort des piétons aux traversées équipées de signalisation lumineuse – Projet PUSSYCATS* » du CETE de Lyon, septembre 1995.

3.1.2. Bilan de l'expérimentation Sécurifeu, 1998

Présentation du dispositif Sécurifeu : décompteur de rouge de dégagement

Sécurifeu est un dispositif ayant pour objectif de renforcer la sécurité des piétons, en améliorant sa connaissance du temps restant pour traverser la chaussée en toute sécurité. L'expérimentation a été réalisée sur les sites de Colmar et de Besançon en 1998, sur une intersection pour chaque ville.

Le principe de ce dispositif est la mise en place d'un afficheur à deux chiffres présent au-dessus ou en dessous des signaux pour les piétons. Un décompte se lance lorsque le feu piéton passe au rouge et indique le temps restant avant que le feu pour les voitures passe au vert. Il indique donc ce qu'on appelle le temps de rouge de dégagement, qui est globalement méconnu de nombreux usagers. Ce dispositif permet aux piétons qui se sont engagés sur le passage piéton et qui voient le feu devenir rouge de s'assurer qu'ils ont le temps de finir la traversée avant que les véhicules s'engagent sur le carrefour.

Le système Sécurifeu a été testé sur des intersections avec une large traversée, un environnement susceptible de générer des flux piétons importants et des temps de dégagement piétons bien respectés.



Illustration 48 : Dispositif Sécurifeu.
(source : Rapport d'étude Sécurifeu)

Présentation des résultats obtenus

Afin d'évaluer l'efficacité de ce nouveau signal, des enquêtes auprès des piétons, des enregistrements vidéos et des mesures sur les temps de démarrage des véhicules ont été effectués. Les enquêtes ont été réalisées avant l'installation du dispositif et après, afin d'avoir une situation de référence.

Les résultats de l'étude de 1998 indiquent que les piétons considèrent la traversée comme moins dangereuse et plus sécurisante une fois le dispositif installé. En effet, 70 % des piétons trouvent la traversée « très sécurisante » ou « sécurisante », alors qu'ils n'étaient que 50 % à le penser avant la mise en place du nouveau système. La notion de temps de dégagement est également mieux appréhendée et plus de personnes réalisent que le piéton reste prioritaire sur les véhicules tournant à droite, même lorsqu'il traverse sur ce temps de rouge de dégagement (94 % des personnes interrogées, contre 80 % auparavant). La présence du dispositif permet une meilleure compréhension du fonctionnement de la signalisation lumineuse.

Lorsque l'on demande aux piétons ce qu'ils font s'ils se sont engagés et que le feu passe au rouge, ils étaient 93 % à répondre qu'ils poursuivaient leur traversée avant installation du dispositif (ce qui est donc autorisé puisque le temps de rouge de dégagement est prévu pour). Après l'installation de Sécurifeu, ils ne sont plus que 89 % à répondre ainsi à la question. D'après les auteurs de l'étude, cet écart ne serait pas significatif pour qu'il puisse être pris en compte.

Des questions ont également été posées à propos du dispositif en lui-même. Environ 80 % des piétons ont correctement répondu à la question « À quoi sert le boîtier aux chiffres lumineux ? ». Cela traduit donc à la fois que la majorité des personnes comprennent bien le rôle d'un tel dispositif, mais également qu'il reste un certain nombre d'usagers pour qui ce n'est pas clair. Pour autant, les réponses possibles pour cette question utilisaient des termes techniques, sûrement trop techniques pour certains. Les réponses ne traduisent peut-être donc pas parfaitement la compréhension que les gens ont du dispositif.

L'analyse des temps de démarrage des véhicules montre que les conducteurs utilisent ce décompte pour se préparer à démarrer, sans pour autant exercer une pression sur les piétons en anticipant le feu vert.

Source : rapport sur Sécurifeu écrit par le CETE de l'Est en septembre 1998.

Un système similaire, appelé TEMPOCITE a été testé en 2000 sur 8 traversées de la ville de Toulouse. Le bilan de cette étude a montré une augmentation du nombre de piétons qui traversent en courant ou en accélérant et une augmentation du nombre de piétons qui attendent le cycle suivant lorsqu'ils arrivent au passage pendant le rouge de dégagement. Cela implique donc une réduction de la part des usagers en danger, donc présents sur le passage piéton alors que le feu des véhicules passe au vert. (Source : rapport sur TEMPOCITE écrit par le CETE du Sud-Ouest en 2000.)

Conclusion sur le projet

Le système Sécurifeu qui a été expérimenté à Colmar et à Besançon a été perçu de manière favorable par les piétons. Cela leur a permis de se sentir plus en sécurité lors de leur traversée du carrefour et l'étude a fait ressortir une meilleure compréhension du fonctionnement de la signalisation lumineuse chez les usagers. Pour autant, les échantillons étudiés et en particulier ceux relatifs au comportement des piétons étaient trop faibles pour que l'étude soit effectivement concluante. Si la mise en place d'un décompte du temps de rouge de dégagement, et donc en particulier du temps restant avant le passage du feu véhicule au vert, est une idée intéressante, il aurait pu être pertinent de changer le modèle de feu afin d'en augmenter la compréhension des usagers. En effet, il a été observé qu'une part des usagers comprenaient le dispositif à l'envers, c'est-à-dire qu'ils attendaient pendant le décompte et démarraient quand il arrivait à zéro, en même temps que les voitures. Pour un piéton qui vient d'arriver au feu alors que le décompte est en cours avec une figurine piétonne rouge, il peut facilement croire que lorsque le décompte atteindra zéro, il pourra s'engager pour traverser. En fait, parmi les 3 périodes du cycle (vert piéton, rouge de dégagement, rouge piéton), les deux dernières sont signalées par le même visuel rouge fixe, et l'une de ces deux périodes fait l'objet d'un décompte. Il n'est pas surprenant qu'une partie des usagers interprète que c'est en fait le rouge piéton qui est décompté, et ainsi pensent qu'arrivé à zéro, c'est la

période de vert piéton qui démarre. Cette expérimentation est donc biaisée par le feu qui peut porter à confusion. Pour ces raisons, le développement de ce dispositif a été abandonné. Il serait judicieux de réaliser une nouvelle expérimentation de ce décompteur, en associant un feu adapté.

3.1.3. Développement du Passage Piéton Spécifique (PPS) entre 1985 et 2015

Le passage piéton spécifique (PPS) est un système de feux intelligents fonctionnant en présence de piétons. Dans l'instruction interministérielle sur la signalisation routière, il s'agit du nouveau signal « R12 pps ». Implanté sur des passages piétons hors intersection, ce système doit s'adapter aux capacités des usagers. Ce type de signal vient répondre aux enjeux des feux en section courante, lorsque l'arrêt des véhicules ne se fait que pour permettre la traversée piétonne. Le signal R12 pps est constitué des figurines verte et rouge classiques, mais qui sont séparées par une barre verticale de couleur jaune.

L'objectif est de simplifier la vie du piéton. En arrivant au niveau du feu, le piéton est détecté et la barre verticale jaune du feu piéton s'allume, pour indiquer qu'un piéton a été détecté et que le système a lancé la procédure de passage au vert du feu piéton. Le feu tricolore des véhicules passe également au jaune clignotant. Deux cas sont alors possibles. Si le piéton reste en attente sur le trottoir, il est à nouveau détecté par le capteur. Le feu tricolore des véhicules passe alors au rouge et le feu piéton passe au vert : le piéton peut alors traverser en toute sécurité. Dans le second cas, si le piéton a déjà traversé sans attendre son feu vert, le capteur ne le détecte pas une seconde fois sur le trottoir. Le clignotement du jaune s'arrête et les feux s'éteignent.



Illustration 49: Feu R12 PPS clignotant

En l'absence de piéton, les signaux lumineux sont éteints, ce qui permet à la fois de limiter la consommation d'énergie et de ne pas surcharger les conducteurs d'informations inutiles.

Le système PPS a été testé dès 1985 dans la ville de Toulouse et évalué par le Certu. En 2015, le code de la route a été modifié par l'article 7 du décret n°2015-808 du 2 juillet 2015 pour ajouter la signification du feu jaune clignotant à destination des piétons.

Source : rapport du Cerema sur les Passages piétons spécifiques (PPS), fiche n°15, de mars 2016.

En conclusion, ce feu a un usage très spécifique, puisqu'il ne peut être employé que sur les traversées simples, en dehors des carrefours. Il a déjà été intégré dans l'IISR.

3.1.4. Feux mixtes piétons-cyclistes, Strasbourg 2015

Ce type de feux s'adresse particulièrement aux cyclistes, qui d'après l'article R. 412-30 du code de la route, doivent respecter la signalisation lumineuse, sauf signalisation spécifique, adressée aux piétons lorsque la piste cyclable traversant la chaussée est parallèle et contiguë à un passage piéton. Il apparaît que les cyclistes ont parfois du mal à comprendre le signal lumineux pour les piétons et ce dispositif a pour objectif d'y remédier.



Illustration 50: Feu mixte piétons-cyclistes. (source : SIRAC)

L'expérimentation ayant eu un bilan positif, l'Eurométropole de Strasbourg a demandé une prolongation de l'expérimentation afin de maintenir les feux mixtes sur les sites équipés. Ce type de feux pourrait prochainement être ajouté dans l'IISR, et il faut donc veiller à ce qu'il soit compatible avec les dispositifs à expérimenter dans le cadre du projet Coestra.

Ces feux particuliers existent également dans d'autres pays, comme en Allemagne ou en Croatie.

De notre point de vue, ces feux mixtes sont tout à fait pertinents. Lors de cette expérimentation strasbourgeoise, il n'était pas question de modifier le nombre d'états du feu, mais bien de faire comprendre aux cyclistes que ce feu s'applique également à eux. Le projet Coestra pourra ainsi proposer un dispositif à expérimenter, qui soit compatible avec ces coffrets mixtes piétons/cycles.

3.1.5. Bilan de l'expérimentation d'un décompteur de temps d'attente piéton, Strasbourg 2015

Présentation du dispositif du décompteur de temps d'attente

Cette expérience a été menée par le Service de l'Information et de la Régulation Automatique de la Circulation (SIRAC) à Strasbourg entre 2014 et 2015. Le dispositif mis en place consiste en un système de décompte du temps restant avant le prochain vert piéton. Le décompteur est éteint durant le temps de vert. L'objectif est d'inciter les piétons à ne pas traverser la chaussée hors période de vert, puisqu'ils savent exactement combien de temps il reste à attendre. Le système a été testé sur une traversée piétonne à Strasbourg avec un flux important de piétons qui viennent du centre-ville ou s'y rendent.



Illustration 51: Décompteur de temps d'attente testé à Strasbourg en 2015

Présentation des résultats obtenus

Plusieurs critères ont été observés sur cette intersection, tels que le respect du feu piéton, le placement des piétons en traversée et le temps de rouge restant pour ceux qui traversent au rouge.

À l'issue de l'expérimentation, on note une légère diminution du nombre de piétons traversant au rouge (29 % avant installation, 26 % après). De notre point de vue, ces résultats ne sont cependant pas particulièrement concluants, d'autant qu'ils ne traduisent pas de la variabilité des comportements selon la plage horaire, le jour et le sens de traversée. Il a cependant été observé une homogénéisation des comportements des piétons après mise en place du décompteur avec un taux de piétons traversant au rouge plus proche de la moyenne (on observait des écart-types de 10 et 9 % selon le sens de traversée, pour des écarts-types de 4 et 6 % après installation). Le comportement des piétons est donc plus prévisible au niveau de cette traversée.

Par ailleurs, les conflits entre cyclistes et piétons ont été limités puisque la présence de ce dispositif semble avoir incité les piétons à se placer sur le passage piéton en attente plutôt que sur la piste cyclable. 87 % des piétons se placent sur le passage piéton depuis l'installation du dispositif, contre 79 % auparavant. Près de 75 % des personnes interrogées qui considèrent que la présence de ce décompte a changé leur comportement disent qu'il les encourage à attendre le passage au vert. Cela permet donc une meilleure sécurité pour les piétons lors de leur traversée du carrefour.

Cependant, il a été observé que la moitié des piétons traversant au rouge le font dans les 5 dernières secondes. Il est à noter que lorsque le décompteur affiche 5 s, le feu des véhicules passe à l'orange. Les piétons traversent donc logiquement à l'instant où les véhicules s'arrêtent.

Source : « Rapport d'évaluation et demande de poursuite de l'expérimentation » par le SIRAC, du 7 décembre 2015.

Conclusion sur le dispositif

L'étude réalisée semble sérieuse, et l'échantillon analysé est suffisant, avec plus de 2000 piétons étudiés par sens de traversée. Le dispositif de décompte de temps d'attente pour les piétons, testé à Strasbourg, a plus ou moins rempli son objectif d'inciter les piétons à traverser au vert. En effet, la moitié des piétons interrogés disent être incités à attendre le vert pour traverser. En revanche, la proportion de personnes traversant au rouge n'a finalement que peu diminué, passant de 29 % à 26 %. L'impact de ce dispositif sur le comportement des piétons reste donc malheureusement assez faible.

Par ailleurs, les comportements des piétons sont plus homogènes et il s'avère que les piétons traversant au rouge se mettent moins en danger (en traversant à la fin du rouge piéton, donc lorsque les voitures sont au moins au orange).

Le décompte s'allume à la première seconde de rouge : il décompte donc la somme du rouge de dégagement et du temps d'attente au rouge. L'avantage de ce type de décompte est qu'il est facile à comprendre, puisque les piétons sont autorisés à traverser lorsque le compte atteint zéro. Cela fait donc penser à un compte à rebours avant un départ. Cependant, sa mise en place est compliquée sur les carrefours à temps de phases variables : si le temps de phase varie lors d'un même cycle, cela peut générer une confusion. Par exemple, si le décompte affiche 40 s restantes, mais qu'aucun véhicule n'est détecté comme arrivant sur l'intersection et qu'il est décidé de donner le vert aux piétons, le temps d'attente pour les piétons serait actualisé, par exemple en sautant de 40 secondes à 10 seconde. L'acceptation par le piéton de ces modifications sur un carrefour micro-régulé est à étudier. Ce type de décompte est donc éventuellement à réserver pour les carrefours à temps fixes.

Notons que le cas suivant aurait aussi pu être étudié : afin de distinguer le temps de dégagement, le décompte de temps d'attente pourrait aussi démarrer son décompte à la fin du temps de dégagement. Ainsi, on observerait le feu piéton vert, puis le feu piéton rouge pendant les quelques secondes de dégagement, puis le décompte se mettrait en marche (en même temps que le démarrage des voitures), ce qui permettrait aux usagers de faire la différence entre temps

de dégagement et temps de rouge. Le cas étudié dans cette expérimentation strasbourgeoise pourrait d'ailleurs inciter le piéton à traverser au rouge. En effet, lorsque le feu piéton passe au rouge, que le décompte démarre (avec le nombre 50 secondes par exemple), et que les véhicules sont toujours arrêtés, le piéton peut avoir tendance à se dépêcher de traverser tant que les véhicules n'ont pas démarré, de peur de devoir attendre les 50 secondes affichées.

D'autre part, pour les carrefours micro-régulés, le seul temps qui reste toujours identique est le temps de dégagement (qui est défini par la réglementation). Ainsi, le décompte du temps de dégagement pourrait être judicieux et mériterait d'être expérimenté sur un carrefour micro-régulé. Mais il devra être associé à un feu permettant d'identifier le temps de dégagement, pour ne pas reproduire les erreurs de Sécurifeu (1998).

3.2. Bilan des expérimentations étrangères sur les feux tricolores

De nombreuses études ont également été menées à l'étranger. Le Cerema a réalisé un long travail de recherche de documents techniques, en se basant d'abord sur une recherche internet, puis sur des contacts par mail avec le réseau d'experts étrangers rencontrés par l'équipe-projet dans le cadre des groupes de travail européens et des congrès internationaux auxquels ils participent. Enfin, des contacts ont été pris auprès de certaines ambassades de France à l'étranger, pour recueillir la réglementation locale, obtenir les coordonnées d'experts et faire traduire les documents techniques les plus intéressants, lorsque nous ne maîtrisons pas la langue (en japonais, notamment).

Au total, plus de 200 documents étrangers ont été recueillis, parmi lesquels plus de 70 documents correspondant précisément à notre étude ont été synthétisés (les références documentaires sont détaillées dans la dernière partie Bibliographie). Les documents qui présentaient des données concrètes et chiffrées sont présentés ci-dessous. Ces études sont triées par types de feux. Tout d'abord, une étude concernant les feux tricolores au Canada est résumée. Les études suivantes concernant les feux avec décompteurs, d'abord les décompteurs de temps de dégagement (avec rouge clignotant, puis vert clignotant, et enfin black-out), puis les décompteurs de temps de rouge, pour finir avec les décompteurs de temps de vert.

Ces résumés présentent la méthodologie suivie par les auteurs des études, leurs résultats et un bref bilan.

3.2.1. Canada : étude pour améliorer la compréhension du temps de dégagement, 1994

Dans le cadre d'une étude réalisée par Gourvil, Pellerin et Hassan en 1994 au Québec (résumée dans un document de recherche sur la sécurité des piétons de la Federal Highway Administration), des feux piétons tricolores ont été testés par opposition aux feux canadiens classiques (figurine blanche et main orange, qui clignote pendant le temps de dégagement). Huit intersections ont ainsi été équipées et près de 2000 piétons ont été interrogés.

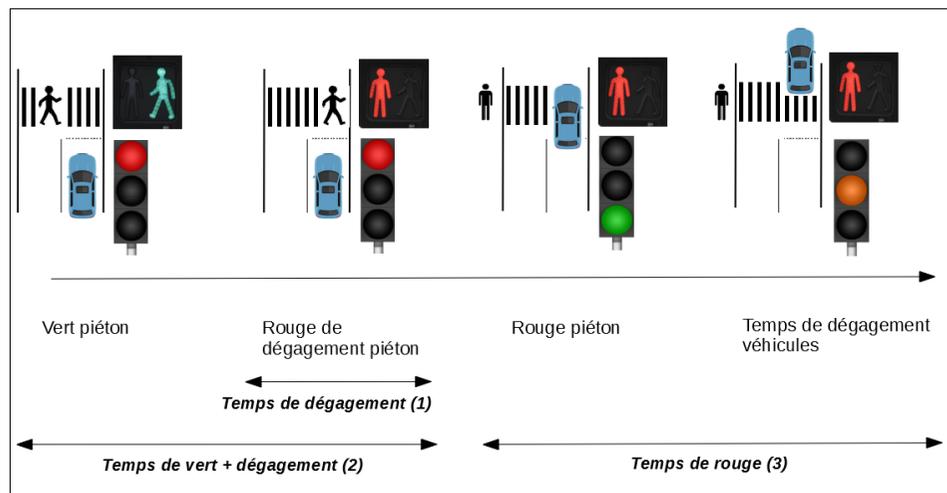
Selon les résultats, les feux tricolores sont mieux compris par les piétons, en particulier le temps de dégagement : avec les feux à phase clignotante, 58 % des gens savaient que commencer à traverser est interdit, contre 78 % lorsque le feu est tricolore. Cependant, le comportement des piétons n'avait pas vraiment changé et les auteurs n'ont pas relevé d'avantages en termes de sécurité et ont donc indiqué que l'installation de feux tricolores n'était pas justifiée.

En conclusion, le bilan sur les feux tricolores est positif, avec une meilleure compréhension du signal. Au vu du faible gain en matière de comportement et de sécurité, les auteurs ont conclu qu'il n'était pas pertinent d'acheter et de raccorder des centaines de feux tricolores pour remplacer les feux bicolores déjà en place.

3.3. Bilan des expérimentations étrangères sur les feux avec décompteurs

Les feux avec décompteurs ont été testés et étudiés dans de très nombreux pays, ce qui permet donc de récolter un large échantillon de résultats. Les études sont triées selon le type de temps décompté :

- décompte du temps de dégagement (1) ;
- décompte du temps de vert + dégagement (2) ;
- décompte du temps de rouge (3).



3.3.1. Décompteur de temps de dégagement

Dans cette partie sont détaillées différentes études menées sur les décompteurs de temps de dégagement. En premier, il s'agira de feux avec une phase de rouge clignotant, puis les feux avec vert clignotant et enfin les systèmes black-out pendant le temps de dégagement.

Rouge clignotant : Canada, Toronto, Howard (2013)

Méthodologie

Deux études ont été réalisées sur le même échantillon et la même base de données. La première a été réalisée en 2011 par Camden, Howard *et al.*, la seconde en 2013 par Richmond, Camden, Howard *et al.*

Ces deux études ont été menées sur la ville de Toronto au Canada et consistent en l'observation de 1965 intersections sur lesquelles un décompteur de temps de dégagement a été installé entre novembre 2007 et décembre 2009. La période de référence sans décompteur s'étend de janvier 2000 à novembre 2007. Le nombre de collisions entre piétons et véhicules a été relevé sur chaque intersection à partir des documents de la police. Les accidents n'ont été relevés que s'ils avaient lieu sur voie publique, après installation du décompteur mais au moins le lendemain de cette installation. Il devait également s'être écoulé plus de 6 mois entre l'installation d'un feu sur l'intersection et son remplacement par un décompteur.

Présentation des résultats

La première étude conclut que « l'installation de décompteurs n'a pas réduit le nombre de collisions entre piétons et véhicules » et que « aucun effet statistique sur le nombre de collisions n'a pu être observé ».

Pour la seconde étude, sur les 1965 intersections étudiées, 23 428 collisions piétons-véhicules ont été observées sur la période de 10 ans. En excluant les collisions ne respectant pas les conditions citées au-dessus, les chercheurs ont conservé 9262 accidents. Une évaluation statistique différente a été menée, avec un modèle plus sensible. Un coefficient a été attribué à chaque intersection, en fonction du niveau de trafic supporté sur l'intersection. Il a été noté une augmentation de 26 % du nombre d'accidents impliquant piétons et véhicules et respectant les critères de l'étude, depuis l'installation des décompteurs par rapport à la situation de référence. Plus d'accidents ont été relevés durant l'hiver et il a été remarqué un plus grand nombre de collisions avec blessure minime et de ceux avec blessure grave.

Les auteurs de cette étude expliquent leurs résultats très différents de ceux obtenus précédemment (comme l'étude de Markowitz en 2006 aux États-Unis, citée dans le paragraphe suivant) par la nature des collisions retenues et les caractéristiques des intersections.

Le papier de recherche indique également que le nombre d'accidents a diminué sur les intersections sans décompteur et qu'il était donc attendu une diminution des accidents sur celles avec un décompteur, qui n'a pas eu lieu, d'où une « augmentation » du nombre d'accidents.

Conclusion sur cette étude

Il s'agit d'une étude plutôt polémique, puisque deux groupes de chercheurs ont analysé les mêmes données et leurs conclusions sont très différentes. La seconde étude a été réalisée par une équipe de chercheurs de l'hôpital de Toronto, qui avait remarqué une hausse du nombre de patients blessés sur la route arrivant à l'hôpital. Cette étude est particulièrement intéressante pour le Cerema, car elle s'appuie sur un échantillon très large (1965 intersections équipées) et sur une période de plusieurs années, contrairement à la majorité des études recueillies qui analysent une dizaine d'intersections. Cette seconde étude témoigne des risques que peuvent engendrer les décompteurs, puisqu'il a été relevé dans le cas de la ville de Toronto une forte augmentation du nombre de collisions entre piétons et véhicules (26 %). Ce résultat tranche avec la

majorité des études menées sur les décompteurs du même genre. Les auteurs indiquent que cette divergence peut être due aux conditions des collisions retenues et à la géométrie des intersections. Pour autant, cette étude soulève bien la question de la sécurité des piétons après la mise en place des décompteurs.

Le chirurgien du *Hospital of Sick Children*, qui est à l'origine de ces études, Andrew Howard, a pu être contacté par le Cerema, pour comprendre les différences de résultats entre les 2 études. Il écrit que la seconde étude est celle à prendre en compte. Il indique que les piétons utilisent cette information de temps restant pour leur utilité (pour traverser rapidement) au détriment de leur sécurité. Il faut également prendre en compte le fait que les conducteurs utilisent les décompteurs de traversées piétonnes pour anticiper, accélérer et s'assurer de passer avant le passage du feu au rouge. Il précise aussi qu'il serait intéressant de donner le vert aux piétons quelques secondes avant les véhicules sur la perpendiculaire, afin que ceux-ci soient déjà sur le passage piéton quand les véhicules démarrent, ce qui les obligerait à leur céder le passage.

En conclusion, cette étude, basée sur un très large échantillon, montre les limites du système de décompteur de temps de dégagement. Les piétons s'en servent pour traverser jusqu'au dernier moment. De plus, les automobilistes se servent de cette information qu'ils voient sur la traversée piétonne, pour accélérer. Sur un carrefour classique, leur feu passe au rouge quand le décompteur piéton indique 2 secondes, et leur feu passe au jaune quand le décompteur piéton indique 5 secondes. Ainsi, avec le feu vert, si le décompteur piéton indique 8 secondes, ils savent que le feu passe au jaune dans 3 secondes, donc ils accélèrent. Cet impact sur les comportements des piétons et des automobilistes a engendré une augmentation des collisions de 26 %. Il faudra donc ne pas reproduire ce fonctionnement en France, et ne pas généraliser l'installation de tels décompteurs, mais plutôt les réserver aux carrefours sensibles avec des flux piétons importants, où la vitesse des véhicules est déjà réduite par l'aménagement.

Rouge clignotant : Canada, Montréal, Saunier, 2013

Méthodologie

14 intersections de Montréal ont été sélectionnées pour être étudiées parce qu'elles avaient chacune des caractéristiques différentes : des temps de rouge maximum de durée variable et une signalisation lumineuse différente (sans feux, avec feux par bouton-poussoir, avec feux sans décompteur, avec feux et décompteur).

Des observations ont été réalisées sur ces 14 sites pendant 4 jours, afin de relever : heure d'arrivée au croisement, groupe d'âge, sexe, nombre de piétons se déplaçant ensemble, nombre de piétons qui attendent au coin de la rue, passage piéton utilisé et direction de la traversée.

Présentation des résultats

La comparaison entre les intersections avec signalisation lumineuse pour piétons et celles n'en ayant pas montre qu'en présence de signaux, le nombre de traversées dangereuses diminue. Il apparaît qu'avec l'ajout d'un signal lumineux, les traversées illégales sont nombreuses, mais plus de la moitié de celles-ci ne sont pas dangereuses (une traversée est considérée dangereuse lorsque le piéton traverse sur la durée de rouge fixe).

Plus le temps de dégagement offert est long et supérieur à celui nécessaire pour traverser, plus la proportion de traversées illégales est importante. Lorsque le temps de dégagement est plus long que le temps nécessaire à la traversée, plus de gens auront tendance à traverser sur ce temps-là, ce qui est donc une traversée illégale, bien que souvent elle ne soit pas dangereuse.

Dans le cas où il y a un décompteur, il a été observé lors de cette étude qu'aucun des 355 piétons observés n'avait fini sa traversée sur le rouge fixe. La présence d'un décompteur change donc le comportement des piétons sur le point de traverser.

Les coefficients obtenus traduisant l'influence de certains paramètres sur le nombre de violations et de traversées dangereuses témoignent de la forte influence de la présence d'un décompteur sur la réduction de ces événements (de l'ordre de -1,5, par rapport aux autres caractéristiques comme l'âge, la taille du groupe, le sexe, le temps d'attente qui sont toutes inférieures en valeur absolue à 0,54). Cette valeur montre que la présence d'un décompteur réduit de manière importante le nombre de traversées dangereuses et de violations.

Conclusion sur cette étude

Il apparaît que la présence d'une signalisation lumineuse réduit le nombre de traversées mettant en danger la vie des piétons, et ce phénomène est accentué en présence d'un décompteur. Plus le piéton a d'informations, moins les traversées dangereuses sont fréquentes. Cette étude souligne l'importance de proposer aux piétons un maximum d'informations sur la sécurité de leur traversée.

Rouge clignotant : Australie, centre d'affaires de Sydney, 2011

Méthodologie

Le décompteur affiche le temps restant durant la phase clignotante de dégagement. L'expérience a été menée sur deux intersections avec plusieurs traversées de tailles différentes du centre d'affaires de Sydney afin d'évaluer l'efficacité de ces dispositifs.

Cette évaluation s'est faite à travers une analyse vidéo avant et après installation des dispositifs et par enquêtes auprès des piétons une fois le dispositif mis en place. L'évaluation vidéo a permis d'analyser le comportement des piétons, quand ils commençaient ou finissaient la traversée, leur vitesse de déplacement et éventuellement les conflits.

Présentation des résultats

Sur les traversées les plus larges, il a été relevé une augmentation de près de 12 % du nombre de piétons entamant leur traversée tardivement (qui commencent durant la phase clignotante) ainsi qu'une augmentation des piétons traversant tardivement mais finissant leur traversée avant le passage au rouge. La vitesse de déplacement de ces personnes a augmenté entre la situation de base et la situation en test. Sur les traversées moins larges, il a seulement été observé une augmentation de la vitesse de marche des piétons qui traversent tardivement.

Plus de 70 % des piétons interrogés considèrent que la traversée est plus sûre une fois le dispositif installé. 63 % des personnes ayant répondu à l'enquête disent que la présence du décompte rend la signalisation plus facile à comprendre.

Conclusion sur cette étude

Malgré l'augmentation de piétons entamant leur traversée tardivement, il n'y a pas eu de changement concernant le nombre de piétons finissant pendant le feu rouge. La présence du décompte a en fait réduit le respect de la signalisation lumineuse puisque plus de gens commencent à traverser durant la phase clignotante. De plus, les auteurs indiquent qu'au vu des résultats obtenus, ils ne peuvent pas affirmer que la présence du décompte améliore la sécurité des piétons.

Par ailleurs, il a été observé que les effets engendrés par la présence de décomptes sont plus importants sur les larges traversées.

En conclusion, les piétons apprécient le système, car il donne plus d'informations et rend le fonctionnement du carrefour plus facilement compréhensible. En revanche, les piétons ont tendance à se servir de cette information pour démarrer tardivement pendant le temps de dégagement, et accélèrent le pas pour finir leur traversée dans les temps.

Rouge clignotant : Nouvelle-Zélande, Auckland, 2007

Méthodologie

Pour améliorer la sécurité des piétons dans le centre d'affaires d'Auckland, qui concentre le plus de piétons dans le pays, deux sites très fréquentés ont été choisis pour tester le dispositif de décompte de temps de dégagement. Ces deux sites présentent des caractéristiques différentes, afin de tester plusieurs configurations.

Les observations ont été réalisées sur les deux sites avant l'installation des décomptes, puis juste après leur installation (dans la semaine qui a suivi), et enfin après un à trois mois. Certains piétons ont également répondu à un questionnaire après avoir traversé.

Présentation des résultats

D'après les observations et en comparant les différentes situations, il apparaît que sur une des intersections moins de piétons se trouvent sur la chaussée lorsque le feu passe au rouge fixe après installation des décomptes. Cependant, la tendance inverse a été observée sur l'autre intersection étudiée. Pour expliquer les résultats inattendus concernant cette intersection, les auteurs de l'étude ont identifié un facteur potentiellement responsable : la présence très importante de touristes. Cette intersection est par ailleurs proche de divers arrêts de transports en commun, ce qui peut aussi expliquer que certains piétons pressés, s'engagent lors de la phase clignotante voire au rouge.

Sur une des intersections, moins de conflits entre piétons et véhicules ont été observés, bien que leur nombre reste faible (l'écart est cependant significatif statistiquement). Aucun changement significatif n'a été relevé sur la seconde intersection.

Conclusion sur cette étude

Les auteurs de cette étude concluent que si les décompteurs sont placés aux bonnes intersections, ils ont une influence positive sur la sécurité des piétons. Cependant, ils peuvent aussi avoir un impact négatif sur le comportement des usagers.

Cette étude, basée sur un faible échantillon et seulement deux carrefours, ne nous permet pas de tirer de conclusions précises.

Rouge clignotant : États-Unis, San Francisco, Markowitz (2006)

Méthodologie

Cette étude a été réalisée à partir d'observations effectuées avant et après installation de dispositifs de décompteurs sur 14 carrefours dans la ville de San Francisco (respectivement les périodes de juillet 1999 à avril 2001 et d'avril 2001 à fin décembre 2002). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence des décompteurs sur les blessures des piétons impliqués dans un accident, l'évolution des comportements, si les piétons apprécient ce système et pourquoi.

Afin de répondre à ces questions, les auteurs de l'étude ont observé la phase en cours lorsqu'un piéton commence et finit sa traversée, si un piéton s'est mis à courir ou a abandonné sa traversée et s'il y avait un conflit piéton-véhicule. Les observations ont été effectuées sur près de 600 piétons avant installation et environ 900 après.

Présentation des résultats

L'analyse des accidents a montré une baisse de 52 % des blessures des piétons impliqués dans des accidents après l'installation des décompteurs. Une baisse

significative du nombre de piétons encore sur le passage piéton alors que le feu passait au rouge a pu être observée, et la proportion de piétons qui doivent courir pour finir leur traversée ou qui doivent abandonner la traversée a nettement diminué. Moins de conflits piétons-véhicules ont également été notés.

Alors que seulement 34 % des piétons trouvaient les feux piétons « très utiles » avant l'installation des décompteurs, ce chiffre atteint 76 % après. Plus de 90 % des personnes interrogées trouvent les décompteurs « plus utiles » que le système classique.

Conclusion sur cette étude

Ainsi, à travers l'étude des accidents et des enquêtes menées auprès des usagers, le bilan de cette étude s'est montré positif, aussi bien en termes de satisfaction des usagers que des risques qu'ils encourent lors des traversées des rues.

Cependant, l'échantillon étudié, à savoir le nombre de collisions avant et après, n'est pas précisé dans le papier. Il est écrit que les carrefours sélectionnés sont ceux qui présentaient au moins 2 accidents dans les 21 derniers mois, soit un ordre de grandeur d'au moins un accident par an. L'étude étant faite sur 14 carrefours sur 2 ans, l'échantillon est probablement constitué d'environ une trentaine d'accidents, ce qui est faible pour valider la baisse de l'accidentalité supposée de 52 %, avec un intervalle de confiance entre 25 et 93 %. Nous retenons donc que les décompteurs ont eu un impact positif, mais nous ne pouvons conclure sur la diminution de l'accidentalité.

Rouge clignotant : États-Unis, Berkeley, 2005

Cette étude s'est portée sur la ville de Berkeley, qui en 2005 a fait installer des décompteurs de temps de dégagement sur différents carrefours de la ville. 11 intersections ont été observées afin de rédiger le rapport de cette étude pour analyser l'impact de la mise en place de ces décompteurs.

En anglais, le terme de « sortie illégale » correspond à une situation où un piéton finit sa traversée au feu rouge. Le terme d' « entrée illégale » correspond à une situation où le piéton s'engage sur le passage piéton durant la phase de dégagement.

Le taux de respect des feux à Berkeley est bas, possiblement parce que la ville est adaptée aux piétons et les véhicules roulent lentement. Avant l'installation des décompteurs, 99,5 % des piétons qui arrivaient au niveau du passage piéton durant la phase clignotante s'engageaient. Ce chiffre est descendu à 94,6 % après la mise en place des dispositifs. Le pourcentage de personnes finissant leur traversée tardivement (alors que le feu est passé au rouge) a également diminué de 23 à 18 %.

En conclusion, de la même manière que pour l'étude précédente, nous retenons un impact plutôt positif du décompteur sur le taux de respect des feux, mais la taille de l'échantillon ne permet pas de conclure avec certitude sur leur efficacité.

Rouge clignotant : États-Unis, Lake Buena Vista, 2000

Méthodologie

Dans la ville de Lake Buena Vista en Floride (connectée au *Walt Disney World Resort*), des décompteurs de temps de dégagement ont été étudiés sur deux intersections en 2000, afin de déterminer quels impacts ceux-ci ont sur le comportement des piétons.

Dans cette étude, deux traversées équipées de décompteurs ont été observées et comparées à des traversées à proximité ayant des feux conventionnels. Les décompteurs ont été évalués par rapport au respect du feu vert, au nombre de personnes qui se mettent à courir pendant leur traversée et au nombre de personnes qui se mettent à courir quand la phase clignotante apparaît.

Présentation des résultats

Il a été observé que pour un passage piéton sans décompteur, environ 41 % des piétons ne respectaient pas la couleur du feu. En présence du décompteur, ce nombre passe à 53 %. On remarque cependant que moins de piétons se mettent à courir lorsqu'ils traversent et que le feu se met à clignoter (on passe de 10 % à 3 % de piétons concernés) puisqu'ils se rendent compte qu'ils ont le temps de finir leur traversée en sécurité.

Conclusion sur cette étude

La conclusion de cette étude selon les auteurs est que les décompteurs ont des effets positifs et négatifs sur les comportements, sur ces sites particuliers. Ils préconisent alors d'effectuer des observations dans d'autres villes afin de réellement trancher sur l'influence des décompteurs sur le comportement des piétons.

Rouge clignotant : États-Unis, Detroit, 2014

Méthodologie

Cette étude menée en 2014 s'appuie sur l'analyse de 449 sites à Détroit, parmi lesquels 362 ont été équipés de décompteurs, et les 87 restant n'ont pas été équipés et servent donc d'échantillon de comparaison. Cette étude a été menée sur une période de 10 ans : le taux d'accident mensuel sur ces carrefours a été relevé.

Présentation des résultats

Les décompteurs ont été mis en place progressivement à partir de la cinquième année. Au bout de 10 ans, tous les 362 carrefours étaient équipés de décompteurs. Au démarrage de l'étude (année 0), environ 7 accidents survenaient chaque mois. A la fin de l'étude (année 10), environ 2 accidents survenaient chaque mois. Les auteurs affichent donc une réduction des accidents de 70 %.

Conclusion sur cette étude

Les gains affichés sont très élevés. L'échantillon est certes important, de taille suffisante pour en tirer des conclusions. Toutefois, plusieurs autres facteurs devraient être pris en compte : baisse du trafic (évoquée dans l'étude), et probablement une réduction globale des vitesses au cours des 10 années écoulées. Tout ne peut pas être imputé aux seuls décompteurs. Il aurait été très intéressant de savoir la baisse connue sur l'échantillon « témoin », mais ces chiffres ne sont pas détaillés dans le papier. En conclusion, les résultats de l'impact des décompteurs sur la sécurité sont très positifs, l'étude se basant sur un échantillon conséquent, ce qui est très rare. Nous pouvons donc conclure que les décompteurs ont permis de diminuer le nombre d'accidents à Detroit. Toutefois, le chiffre de -70 % est sans doute légèrement surévalué.

Vert clignotant : Chine, Shanghai, 2013

Méthodologie

Cinq intersections similaires, deux sans décompteurs et trois avec décompteurs, ont été étudiées à Shanghai pour évaluer l'impact des décompteurs de temps de dégagement. À partir d'études de vidéos et de questionnaires, des données de comportement (vitesse de marche et respect des feux) et de compréhension des signaux ont pu être évaluées.

Présentation des résultats

La présence d'un décompteur permet l'augmentation de la proportion de piétons qui traversent la route sans danger. Cette augmentation est d'autant plus marquée pour la population plus âgée qui bénéficie encore plus de l'installation du dispositif. Selon les auteurs, l'amélioration de la sécurité sur les passages piétons est prouvée par les résultats statistiques de cette étude.

Pour les intersections avec décompteur, il a été remarqué que le temps de réaction était moins important que pour les traversées sans décompteur, quel que soit l'âge des piétons.

Que ce soit en présence ou en absence de décompteur, plus de 80 % des répondants considèrent qu'il est autorisé de traverser lors de la phase clignotante. Ils sont même plus nombreux à le penser lorsqu'il y a un décompteur.

Conclusion sur cette étude

La sécurité semble être améliorée par la présence d'un décompteur et les effets bénéfiques que cette présence génère se font encore plus ressentir pour les populations plus âgées. Cependant, les auteurs de cette étude précisent que pour que les décompteurs soient encore mieux utilisés, il faut mettre en place

des campagnes d'information pour que les usagers sachent de quoi il s'agit et comment les utiliser au mieux.

Vert clignotant : Corée du Sud, comparaison de types de décompteurs, 2002

Méthodologie

Après s'être rendu compte que les piétons ne comprenaient pas bien la phase de vert clignotant et sa signification le gouvernement coréen a décidé de tester l'installation de décompteurs de temps de dégagement. Deux types ont ainsi été installés dans deux villes : un décompteur numérique à Jinju et un décompteur « graphique » à Changwon. L'objectif était de comparer le comportement des usagers en fonction de la présence ou non d'un décompteur et du type de dispositif installé. Les chercheurs ont relevé le nombre de piétons traversant durant la phase clignotante, le nombre de piétons ayant manqué de temps pour traverser avant le passage au rouge et le nombre de véhicules passant pendant la phase clignotante piétonne.

Présentation des résultats

Il a été observé que moins de piétons s'engagent durant la phase clignotante en présence d'un décompteur. Pour un décompteur numérique, ce nombre passe de 24 % à 20 % ; pour un décompteur graphique, il passe de 33,5 % à 26 %.

Cependant, il apparaît qu'un nombre légèrement plus important de piétons manque de temps pour finir leur traversée en sécurité (2,9 % pour les décompteurs numériques alors qu'ils n'étaient que 1,3 % avant ; 1,4 % pour les décompteurs graphiques contre 0,5 % avant leur installation). Il semblerait donc que les décompteurs aient donné l'impression aux piétons qu'ils avaient le temps de traverser, alors que ce n'était finalement pas le cas.

Conclusion sur cette étude

Il apparaît que les décompteurs étudiés ont eu un impact plutôt positif sur le respect des feux par les piétons, mais qu'au contraire il y avait plus souvent encore des piétons sur la chaussée lorsque leur feu passe au rouge fixe, parce qu'ils pensaient avoir assez de temps pour traverser.

La comparaison des deux types de décompteurs montre qu'un décompteur numérique semble avoir un meilleur impact sur le respect du feu, mais que la version graphique permet aux usagers de mieux évaluer le temps restant et s'ils peuvent traverser. Les chercheurs ajoutent cependant que de plus amples études seraient nécessaires pour conclure sur l'efficacité des deux signaux, en raison du faible échantillon de cette première étude.

Black-out : Royaume-Uni, Londres, 2011

Méthodologie

Avant l'installation des décompteurs, le temps de dégagement était traduit par un « black-out », c'est-à-dire une extinction du feu piéton pendant quelques secondes. Cette absence d'affichage était peu comprise des usagers qui pouvaient être inquiétés par rapport au fonctionnement du feu. Il a donc été choisi de tester un affichage du temps restant avant le rouge lors de la phase de dégagement.

Afin d'étudier l'influence de la mise en place des décompteurs, des vidéos ont été prises sur les huit sites pour observer le comportement des piétons, des conducteurs et leurs interactions et des enquêtes ont été réalisées auprès des passants, avant et après installation. Durant ces enquêtes, il leur a été demandé le type de traversée qu'ils préféraient, leur perception du temps, leur sentiment de sécurité et leur interprétation de l'information.

Au cours de l'étude, les durées de vert, de dégagement et de rouge ont légèrement été modifiées, ce qui influe nécessairement sur les observations.

Présentation des résultats

La grande majorité des piétons interrogés aiment ou aiment beaucoup le dispositif de décompteur (plus de 80 % en moyenne sur tous les sites). Les personnes à mobilité réduite apprécient encore plus le dispositif, à 94 %. Moins de piétons se sentent pressés lorsque le dispositif est installé par rapport à la situation de référence.

88 % des piétons disent avoir plus de temps pour traverser. Il est à noter que pourtant, le temps de vert a été diminué de 3 s (de 9 à 6 s), et le temps de dégagement est passé de 9 à 12 s. Si 73 % des piétons considéraient la traversée sûre avant que les décompteurs soient mis en place, ils sont 91 % ensuite.

D'après l'analyse vidéo des traversées piétonnes, il apparaît qu'en moyenne sur les huit sites, le nombre de personnes traversant au rouge est équivalent. En moyenne, 62 % des piétons traversaient au rouge (contre 61 % avant l'installation). Il a été relevé que plus de gens traversaient durant la phase de dégagement, et moins durant la phase de vert. Les auteurs indiquent que de tels résultats concernant le nombre de traversées au feu rouge ne peuvent pas être expliqués par cette étude et relèvent peut-être de changements dans le trafic.

Conclusion sur cette étude

Cette étude a permis de relever que la majorité des usagers ont apprécié ce nouveau système affichant le temps restant pour traverser avant le passage au rouge. Beaucoup moins de personnes se sentent pressées lors de leur traversée et un nombre significatif de piétons se sentent plus en sécurité en présence du décompteur.

Le décompteur est surtout utilisé pour déterminer si la traversée est possible et sûre plutôt que pour savoir combien de temps exactement prend la traversée (une fois engagés, les piétons font moins attention au temps qu'il reste, à part pour éventuellement adapter leur vitesse de marche).

Ainsi, le dispositif a engendré des réponses plutôt positives de la part des usagers qui se sentent plus rassurés. Pour autant, un fort taux de non-respect

de la couleur du feu a été observé avant et après installation et des recherches supplémentaires seraient nécessaires pour déterminer comment les intersections pourraient être améliorées pour encourager un meilleur comportement.

Black-out : États-Unis, Alexandria, 2005

Méthodologie

À la suite du constat du faible taux de respect de la signification légale du temps de dégagement, représenté par une main orange clignotante aux USA, avec ou sans décompteur, les auteurs de cette étude (Jeremiah P. Singer et Neil D. Lerner) ont choisi de tester sur une intersection un décompteur de temps de dégagement sur un temps de black-out plutôt qu'une phase clignotante.



Illustration 52: Affichage classique aux USA (à gauche) et affichage expérimental (à droite). (source : rapport de l'étude)

Deux carrefours similaires ont été étudiés avec les décompteurs classiques pendant une semaine, puis un des sites a été équipé avec le décompteur expérimental pendant une semaine. Le site ayant conservé le décompteur classique sur les deux semaines d'étude est appelé site de contrôle. Sur ces sites ont été observés le respect des feux, la réussite des traversées, le nombre de piétons se mettant à courir, à faire demi-tour et le nombre de conflits entre piétons et véhicules.

Les carrefours sélectionnés pour cette étude sont situés à proximité de zones d'intérêt et sont donc le lieu d'un fort trafic piéton. Leur géométrie et les durées des phases des feux sont similaires pour les deux sites.

Présentation des résultats

Il apparaît que plus de piétons commencent à traverser tardivement avec le modèle expérimental : non seulement ces piétons commencent à traverser durant la phase de dégagement, mais ils ont même tendance à le faire alors que cette phase est déjà bien entamée. Cela implique donc des fins de traversées durant le feu rouge, assez tardivement. Pour autant, il apparaît que les piétons arrivant au début de la phase de dégagement ont moins tendance à traverser avec le système expérimental.

L'absence de symbole durant la phase de dégagement, mis à part le décompte, semble diminuer la sensation d'urgence chez les piétons qui traversent lors de cette phase. Ainsi, ils ont tendance à marcher plus lentement en présence du modèle expérimental. Seulement un conflit entre piéton et véhicule a été observé sur la durée de l'étude, et celle-ci ne permet donc pas de conclure sur une quelconque influence du modèle.

Conclusion sur cette étude

Un modèle avec décompte et black-out semble avoir encouragé les piétons à débiter leur traversée tardivement dans la période de dégagement, ce qui entraîne donc des traversées très tardives. Pour autant, les auteurs indiquent que cela ne génère pas une diminution de la sécurité des piétons, mais aucune étude relative aux accidents n'a été menée. Ce dispositif n'a été testé que sur un site, et les résultats obtenus ne sont donc pas généralisables.

En conclusion, les études sont rares sur le black-out et les résultats de cette étude montre une tendance plutôt négative de ce système. Cela permet de confirmer encore le faible potentiel de ce type de signalisation lumineuse.

3.3.2. Décompte de temps de vert

Rouge clignotant : États-Unis, Columbia, 2011

Pour cette étude, 25 intersections du district de Columbia ont été étudiées. À ces carrefours, des décompteurs de temps de vert (avec le temps de dégagement inclus) ont été mis en place, par opposition aux décompteurs de temps de dégagement que l'on trouve aux États-Unis et tels qu'ils sont autorisés par le MUTCD.

D'après les résultats de cette étude, l'utilisation de décompteur de temps de vert n'a pas d'influence sur le comportement des piétons qui traversent durant la phase clignotante, par rapport aux décompteurs de temps de dégagement.

90 % des piétons interrogés trouvent que le décompteur de vert total leur donne plus d'informations. 86 % des usagers préfèrent d'ailleurs ce dispositif par rapport au décompteur de temps de dégagement uniquement.

En conclusion, le décompteur de temps de vert est apprécié des usagers d'après les questionnaires, mais aucun impact sur la sécurité n'a pu être démontré par les analyses de comportement.

3.3.3. Décompteur de temps de rouge

Bosnie-Herzégovine, Doboj, 2012

Méthodologie

Deux carrefours ont été étudiés dans la ville de Doboj en Bosnie-Herzégovine, l'un en centre-ville et l'autre dans une rue avec moins de trafic. Des observations ont été réalisées avant et après installation de décompteurs de temps de rouge restant sur les deux sites.

Lors des périodes d'observation, ont été relevés le nombre de piétons, le nombre de personnes respectant le feu (distingués en fonction de la couleur du feu à leur arrivée) et le nombre de piétons traversant au rouge. En cumulé sur les deux sites, plus de 20 000 piétons ont été observés. Les vidéos d'observation ont été réalisées sur 7 jours pour chaque intersection et pour chaque situation (avec/sans décompteur).

Présentation des résultats

Les observations réalisées sur ces deux sites ont montré que les hommes et les enfants ont plus souvent des comportements illégaux (avec une variation significative) après installation du décompteur qu'avant, par opposition aux femmes. L'analyse du nombre total d'infractions selon les traversées montre que l'affichage du temps restant de rouge a un impact positif sur le comportement des piétons pour la traversée.

La présence des décompteurs a amélioré le comportement des plus jeunes en particulier à l'intersection avec de nombreux véhicules, tandis que c'est sur l'intersection avec moins de véhicules que de meilleurs comportements ont été observés pour les adultes. Cependant, il a été noté que la plupart des infractions

commises par les femmes avaient dorénavant lieu dans les 4 premières secondes de rouge.

Conclusion sur cette étude

Cette étude a montré que le comportement des piétons varie selon leur âge et leur sexe. Pour autant, l'installation de ces décompteurs a eu une influence positive sur les comportements des piétons lors des traversées, quels que soient l'environnement et le flux de véhicules. La présence du décompteur ne change pas le nombre de piétons se déplaçant lentement. Lorsque le temps de rouge est plus long (ici 44 s), l'affichage du temps restant a en fait des conséquences négatives sur les personnes âgées de 16 à 40 ans, qui ont plus tendance à traverser illégalement.

Pour conclure cette étude, les auteurs précisent que ce dispositif est nouveau dans le pays et ses environs (en 2013 lors de la rédaction de l'article) et donc que certains résultats peuvent être dus à l'enthousiasme de la nouveauté et qu'il est donc important de poursuivre les études.

Allemagne, Hambourg, 2010

Méthodologie

En 2005, un décompte a été installé pour une intersection du centre d'affaires, affichant le temps de rouge restant. Une étude avant-après a été réalisée afin d'observer le volume de trafic des véhicules et des piétons, le temps d'attente et le comportement des piétons. Des observations par vidéos ont été réalisées et des piétons ont été interrogés, afin d'évaluer les apports de la mise en place d'un tel dispositif.

Présentation des résultats

D'après l'étude réalisée sur ce décompte en 2005, la mise en place du dispositif a réduit le pourcentage de gens traversant au feu rouge (passant de 18 à 12 % et de 24 à 21 % selon la traversée considérée).

Selon les résultats des questionnaires, le temps d'attente acceptable par les piétons augmente en présence d'un décompte. La plupart des gens donnent un bilan positif des décomptes de manière générale.

Conclusion sur cette étude

Suite aux bons résultats en termes de réduction des comportements dangereux obtenus lors de cette étude, le gouvernement a décidé de poursuivre l'installation de décomptes dans la ville. Pour autant, ce ne sont pas des dispositifs que l'on trouve en majorité dans le pays. Les résultats de cette étude montrent que le décompte de temps de rouge, c'est-à-dire du temps d'attente, aide une partie des piétons à patienter. Les résultats sont positifs, mais le gain reste limité puisque le comportement de seulement 3 à 6% des piétons est modifié.

3.4. Synthèse des études menées à l'étranger

Le tableau ci-dessous fait le bilan des études ayant été menées à l'étranger pour évaluer certains dispositifs. Le (+) signifie amélioration et le (-) signifie détérioration.

Dispositif testé	Lieu	Date	Nombre d'intersections étudiées	Bilan comportemental	Bilan accidentologie pour les piétons
Tricolore	Québec (Canada)	1994	8	Aucun réel impact	∅
Rouge clignotant + décompteur de dégagement	Sydney (Australie)	2011	2	(-) Comportement	∅
	Toronto (Canada)	2011	1965	∅	"no negative aspects"
	Toronto (Canada)	2013	1965	∅	26,00 %
	San Francisco (USA)	2006	14	∅	-52,00 %
	Michigan (USA)	2016	189	∅	-6,00 %
	Detroit (USA)	2014	362	∅	-70,00 %
	Auckland (N-Z)	2007	2	(+) Sécurité (-) Comportement	∅
	Montréal (Canada)	2013	14	(+) Sécurité (+) Comportement	∅
Vert clignotant + décompteur de dégagement	Shanghai (Chine)	2013	3	(+) Sécurité	∅
	Jinju et Changwon (Corée du Sud)	2002	2	(+) Comportement (-) Sécurité	∅
Black-out + décompteur de dégagement	Londres (UK)	2011	8	(-) Comportement	∅
	Alexandria (USA)	2005	1	(-) Comportement	∅
Rouge clignotant + décompteur de vert	Columbia (USA)	2011	25	Aucun réel impact	∅
Bicolore + décompteur de rouge	Hambourg (Allemagne)	2010	1	(+) Comportement	∅
	Doboj (Bosnie-Herzégovine)	2012	2	(+) Comportement	∅

L'analyse des évaluations menées à l'étranger permet de conclure sur les points suivants :

- Malheureusement, aucune évaluation sur l'efficacité des feux clignotants n'a pu être trouvée à l'étranger. Ces feux sont souvent en place depuis de nombreuses années, et aucune évaluation n'a été publiée à ce sujet. Il y a donc un réel manque sur ce type de feux, pour lesquels nous devons démarrer de zéro, sans référence étrangère.
- Malheureusement, une seule étude sur l'efficacité des feux tricolores a pu être trouvée. Il s'agit d'une étude ancienne (1994), dans laquelle la comparaison entre feux clignotants et feux tricolores n'a pas permis de conclure précisément sur la plus-value du système en termes de sécurité routière. Il en ressort que les feux tricolores sont mieux compris que les feux bicolors, mais ceci n'avait pas suffi à justifier le changement de système de feu piéton au Canada.
- De nombreuses études ont été publiées récemment sur les décompteurs, notamment en Amérique du Nord. Les décompteurs les plus courants sont ceux qui décomptent le temps de dégagement. Les résultats sont partagés. Les études américaines montrent une amélioration des conditions de sécurité, avec une amélioration des comportements des piétons et une réduction des accidents. A l'inverse, l'étude de Toronto a montré une nette augmentation du nombre d'accidents sur les 1965 intersections étudiées, qui serait notamment due à une dégradation du comportement des automobilistes sur les carrefours en croix, qui anticipent en prenant leur information sur les décompteurs piétons et accélèrent avant le passage au jaune de leur feu. Au regard de ces études, il paraît judicieux de limiter l'usage des décompteurs aux traversées simples, afin d'éviter cette accélération des automobilistes, et aux carrefours où la vitesse est déjà modérée par l'aménagement (zones à circulation apaisées, zones 30 crédibles, zones de rencontre, rues pavées, etc). Il ne semble donc pas opportun de généraliser l'usage de ces décompteurs. Ceux-ci semblent plus adaptés à un usage ponctuel, sur des traversées à enjeux présentant des flux piétons importants. Le décompteur pourrait ainsi être un complément

que les gestionnaires de voirie pourraient installer sur des traversées piétonnes particulières, par exemple devant une gare ou un lycée.

3.5. Mesures de terrain réalisées par le Cerema

La réalisation d'une synthèse des études menées à l'étranger, détaillée dans la partie précédente, a montré qu'aucune étude n'a été réalisée sur l'efficacité des feux clignotants, pourtant largement utilisés à l'étranger. De la même manière, il y a un réel manque d'informations sur l'efficacité des feux tricolores. Le Cerema a donc tenté d'y remédier en allant réaliser des mesures de terrain sur 2 sites étrangers : Galway (Irlande) où sont utilisés simultanément des feux tricolores et des feux clignotants, et Oslo (Norvège) où sont utilisés les feux clignotants.

3.5.1. Mesures sur les feux tricolores irlandais

Nous nous sommes intéressés au modèle de feu tricolore, qui n'a pas fait l'objet de beaucoup d'expérimentations dont les rapports ont pu être étudiés. Ainsi, nous avons pu échanger avec la ville de Galway en Irlande, dans laquelle on peut trouver des feux bicolores (avec phase de vert clignotant) et des feux tricolores.

Afin d'observer et de comparer ces deux types de feux pour déterminer si les comportements des piétons varient et si un des deux modèles est mieux compris, nous sommes allés dans cette ville rencontrer Susan Loughnane, ingénieure dans le domaine de la circulation à la ville de Galway.

Entretien avec Susan Loughnane

Nous avons pu rencontrer Susan Loughnane qui travaille comme ingénieure au PC de la ville de Galway. Durant cette rencontre, nous avons discuté des types de feux existants en Irlande et plus particulièrement à Galway.

Types de feux à Galway

On trouve à Galway, comme de manière générale en Irlande, plusieurs types de feux. En général, le feu vert piéton dure 6 secondes et le temps de dégagement (vert clignotant ou feu jaune) est calculé pour une vitesse de déplacement de 1,2 m/s. Ce temps est parfois adapté selon les cas. Après le passage du feu piéton au rouge, il y a toujours 2 secondes de rouge intégral. Toutes les intersections sont équipées de bouton-poussoirs.

Principalement aux intersections, on trouve des feux piétons tricolores au fonctionnement similaire à celui des véhicules.

Pour les traversées piétonnes en section courante, il y a plusieurs options : on peut tout d'abord trouver des feux bicolores avec phase de vert clignotant. Ces feux fonctionnent de la façon suivante, tel que repris dans le schéma ci-dessous : le feu est rouge pour les piétons. Lorsqu'un piéton appuie sur le bouton-poussoir, le feu véhicule devient jaune après quelques secondes. Le feu piéton passe au vert pour 6 secondes, puis clignote. Peu de temps après le début du clignotement, le feu véhicule clignote jaune : cela signifie que s'il n'y a plus de piéton sur le passage piéton, le véhicule peut passer. Durant ce laps de temps, les piétons sont prioritaires.

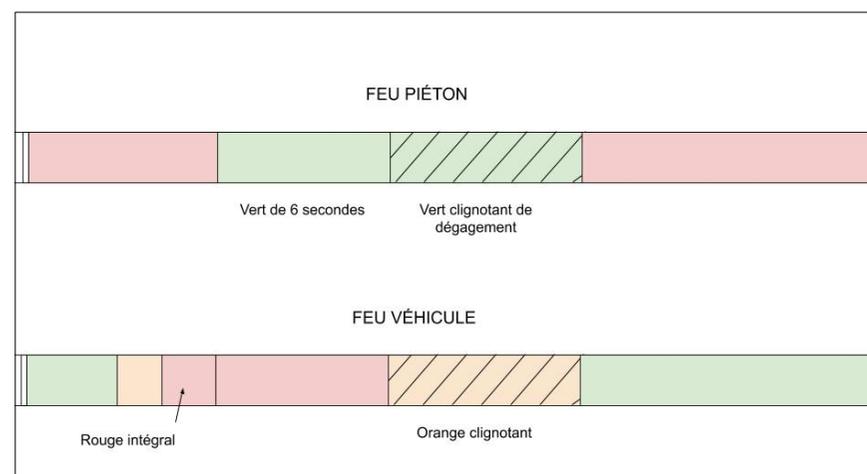


Illustration 53: Fonctionnement des feux bicolores en section courante à Galway lorsqu'un piéton appuie sur le bouton-poussoir

On peut également trouver des feux tricolores en section courante, généralement aux traversées avec un flux de piétons plus important. Ils fonctionnent de la même façon que les feux aux intersections, mais nécessitent une interaction avec le bouton-poussoir.

Les bouton-poussoirs peuvent avoir un rôle différent. Certains permettent d'accélérer l'arrivée de la phase piétonne, c'est-à-dire que lorsqu'un piéton appuie, le vert piéton est donné plus rapidement. Ce cas ne concerne que les feux situés aux intersections.

Dans certains cas de traversées en section courante, l'interaction avec le bouton-poussoir permet de déclencher l'arrivée d'une phase piétonne. Sans cette interaction, la phase piétonne n'aurait pas lieu.

Remplacement des feux

Certains types de feux sont parfois remplacés par d'autres à Galway. En effet, concernant les feux bicolores, il arrive que la phase de jaune clignotant des véhicules soit supprimée pour des raisons de sécurité. Cette phase indique aux conducteurs qu'ils peuvent s'engager avec précaution s'il n'y a plus de piéton sur le passage piéton.

Les feux bicolores en section courante sont de plus en plus remplacés par des feux tricolores, lorsqu'ils atteignent leur fin de vie. Pour la majorité des usagers, les feux tricolores sont plus compréhensibles et sont donc préférés aux feux bicolores.

Il n'y a pas spécialement de législation concernant le remplacement des feux piétons, cela se fait plutôt au fur et à mesure lorsqu'un feu devient défectueux.

Fonctionnement du PC

Le système Omnia utilisé dans le PC fonctionne avec la fibre optique ; le coût élevé de l'installation de la fibre optique fait que tous les carrefours ne sont pas connectés au PC.

De nombreuses caméras sont placées aux intersections pour surveiller la

circulation. Cependant, ils n'interfèrent pas avec les signaux : en entrant un minimum et un maximum de temps de vert, ils laissent le système gérer les phases à partir de boucle de détection à chaque entrée d'un carrefour.

Observations des comportements des piétons

Au cours de notre déplacement en Irlande, nous avons pu observer les comportements des piétons à plusieurs intersections avec des géométries similaires et des feux différents.

Les traversées choisies ont toutes une largeur équivalente et concernent un axe 2 x 1 voies, bidirectionnel.

Traversée 1 : Coach Station

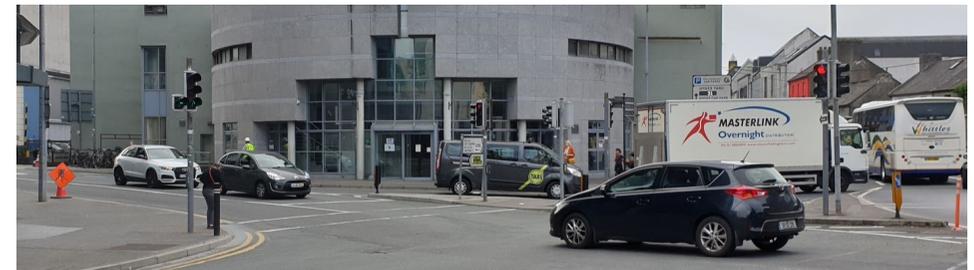


Illustration 54: Traversée à Coach Station entre Fairgreen Road et Forster Street

Le feu piéton est ici tricolore et nécessite une interaction avec le bouton-poussoir pour obtenir le feu vert piéton, sans quoi le temps d'attente est très élevé et varie fortement d'un cycle à l'autre.

Traversée 2 : Eyre Square



Illustration 55: Traversée à Eyre Square entre Forster Street et Station Road
Le feu piéton est ici bicolore avec phase de vert clignotant.

Carrefour	Coach Station	Eyre Square
Type de traversée	2x1 voies bidirectionnelles	2x1 voies bidirectionnelles
Type de feu	Tricolore	Bicolore
Bouton-poussoir	Oui	Oui

Illustration 56: Tableau descriptif des traversées étudiées

Carrefour	Durée de vert (s)	Durée de dégagement (s)	Durée de rouge (s)	Nombre de piétons qui passent au vert	Nombre de piétons qui passent au vert clignotant/ jaune	Nombre de piétons qui s'engagent sur le temps de dégagement et finissent au rouge	Nombre de piétons qui passent au rouge
Coach Station	6	10	110	76	22	25	251
Eyre Square	6	10	67	271	34	31	249

Illustration 57: Récapitulatif des comptages

Carrefour	Proportion de vert	Proportion de temps de dégagement	Proportion de rouge	Taux de piétons qui passent au vert	Taux de piétons qui s'engagent pendant le temps de dégagement	Taux de piétons qui passent au rouge	Total de piétons observés
Coach Station (tricolore)	4,8%	7,9%	87,3%	20,3%	12,6%	67,1%	374
Eyre Square (vert clignotant)	7,2%	12,0%	80,7%	46,3%	11,1%	42,6%	585

Illustration 58: Tableau d'étude des proportions de chaque événement

On observe que le feu bicolore clignotant est mieux respecté par rapport au nombre de piétons observés. En effet, en moyenne 7 % des piétons arrivent alors que le feu est vert, et 46 % des piétons traversent au vert, ce qui montre qu'environ 39 % des piétons respectent le feu et attendent le vert pour traverser. Cette valeur est plus faible pour le feu tricolore, avec 15 % des piétons qui attendent le vert pour traverser.

Par ailleurs, le feu tricolore que nous avons étudié a un temps de rouge très long et variable selon les cycles (nous avons pu mesurer une durée variant entre 1'35 et 2'10). Cela explique donc le faible taux de respect dans ce cas-là.

Avec le feu tricolore, 53 % des piétons s'engageant pendant le temps de dégagement finissent leur traversée au rouge. Avec le feu clignotant, ce sont 48 % des piétons. Le taux de comportements dangereux pendant le temps de dégagement est donc comparable.

En conclusion, il semble que le taux de respect du feu soit plus dépendant du

temps d'attente que du type de feux. L'étude réalisée avait pour objectif de connaître un ordre de grandeur du taux de respect, et d'observer s'il y avait une nette différence de comportement pendant le temps de dégagement, ce qui n'est pas le cas. Cette analyse ne permet donc pas de trancher en faveur d'un feu clignotant ou d'un feu tricolore.

Bilan des entretiens avec des piétons

Pendant la journée de mesure, environ 1000 piétons ont été comptés. En complément, treize piétons ont été interrogés par rapport à la signalisation lumineuse de Galway, ou d'Irlande en général. Il leur a été demandé s'ils préféreraient les feux tricolores ou bicolores avec vert clignotant.

Il en ressort qu'un peu plus de la moitié d'entre eux ont une préférence pour les feux tricolores, qu'ils trouvent plus compréhensibles. Beaucoup ont le sentiment qu'un feu tricolore leur accorde plus de temps pour traverser qu'un feu bicolore. Les piétons interrogés ont soit une préférence pour le tricolore, soit considèrent que les deux systèmes sont bons. Aucun piéton n'a déclaré préférer les feux bicolores. Le tableau ci-dessous récapitule les réponses des piétons interrogés.

Conclusion des observations en Irlande

Les différentes observations que nous avons pu réaliser et les échanges que nous avons pu avoir sur place nous ont porté à penser qu'expérimenter un feu à trois couleurs plutôt qu'à deux pourrait être intéressant pour améliorer la compréhension des feux. En effet, la présence d'une couleur intermédiaire jaune traduit la gradation de l'autorisation à traverser et les gens y sont plus sensibles qu'à un brusque passage du vert au rouge. Aucun piéton irlandais n'a déclaré préférer les feux bicolores.

Bien que le taux de respect ne soit pas forcément amélioré par la présence d'un feu tricolore, il semble que les usagers en comprennent mieux le fonctionnement, ce qui semble donc être un atout non négligeable concernant un nouveau modèle de feux en France.

Bilan des entretiens avec les piétons			
Sexe	Tranche d'âge	« Avez-vous une préférence entre les feux bicolores et tricolores et pourquoi ? »	Conclusion
F	15-16	Tricolore, parce qu'ils donnent plus de temps pour traverser la rue, on se sent moins pressés.	Tricolore
F	20s	Je préfère ceux avec les décompteurs. Et sinon sans décompteurs, je trouve les tricolores plus faciles à comprendre parce qu'on sait vraiment ce que chaque couleur signifie.	Tricolore
F	60s	Les tricolores sont plus faciles à comprendre, on sait quand y aller et quand attendre.	Tricolore
F	60s	Je trouve que les deux fonctionnent très bien.	Les 2
H	70s	Tricolore. (pas de raison donnée)	Tricolore
H	50s	Jamais fait attention.	
H	60s	Je n'ai pas vraiment de préférence entre les deux.	Les 2
H	70s	Les deux sont compréhensibles, on traverse au vert et on attend au rouge.	Les 2
H	60s	Tricolore, parce qu'ils donnent plus de temps pour traverser.	Tricolore
H	50s	Pas de préférence, ce qui est important est d'appuyer sur le bouton et d'attendre le vert.	Les 2
F	30s	Policrière. Il existe des traversées avec ou sans feux. Ces derniers sont plus dangereux. Pour les traversées avec feux, le jaune signifie que le rouge arrive, ce qui est mieux compréhensible quand on veut respecter les feux, mais la plupart ne le font pas et tentent de traverser.	Tricolore
F	40s	Tricolore, avec le jaune on sait que le rouge arrive et on peut accélérer. Plus clair que le vert clignotant	Tricolore
F	20s	Il faut choisir le type de feux qui consomme le moins d'énergie, donc a priori celui avec deux figurines seulement. Mais sinon, les deux systèmes sont clairs et donnent autant de temps.	Les 2

Illustration 59: Tableau récapitulatif des entretiens avec les piétons

Il serait donc tout à fait envisageable de tester un dispositif à trois couleurs en France. Une solution alternative au passage à un feu piéton tricolore (avec trois figurines situées les unes en dessous des autres) serait l'utilisation de diodes bicolores pour le personnage immobile. Ainsi, il pourrait clignoter jaune durant le temps de dégagement, puis passer au rouge fixe pour interdire la traversée aux piétons.

3.5.2. Mesures sur les feux clignotants norvégiens

3 sites ont été étudiés : les croisements Skippergata/Radhusgata (1ère photo ci-dessous, 2x1 voies), Kristian Ivs gate / Universitetsgata (2ème photo ci-dessous, 2x1 voies) et Torggata / Hausmanns Gate (3ème photo ci-dessous, 2x2 voies séparées par un îlot).

La Norvège utilise des feux bicolores, dont le rouge est doublé. Le temps de dégivrage est identifié grâce à un signal vert clignotant.



Illustration 60: Carrefour Skippergata (source : Cerema)

Le premier carrefour est traversé par un trafic d'environ 600 uvp/h entrant dans le carrefour.

Le second carrefour est traversé par un trafic d'environ 550 uvp/h entrant.

Le troisième carrefour est traversé par un trafic d'environ 800 uvp/h entrant.



Illustration 61: Carrefour Kristian Ivs gate (source : Cerema)



Illustration 62: Carrefour Torggata (source : Google Street View)

Les analyses suivantes ont été réalisées :

Carrefour	Branche étudiée	Valeur moyenne vert	Durée vert clignotant	Valeur moyenne rouge	Total cycle moyen	Nombre de piétons qui passent au vert	Nombre de piétons qui passent au vert clignotant	Nombre de piétons qui s'engagent au vert clignotant et finissent au rouge	Nombre de piétons qui renoncent à traverser au vert clignotant (sont comptés aussi au vert)	Nombre de piétons qui passent au rouge	Total piétons	Comportements dangereux
Skippergata/Radhusgata	Skippergata	18	4	27	49	105	6	3	0	21	135	0
	Traversée double Skippergata	18	5	26	49	47	0	9	0	9	65	1 (court pour traverser)
	Radhusgata	13	4	30	47	113	0	7	2	26	146	0
Kristian Ivs gate / Universitetsgata	Kristian Ivs gate Traversée Ouest	15	4	36	55	129	0	30	0	60	219	1 (traverse alors qu'un VL arrive)
	Kristian Ivs gate Traversée Est	12	4	30	46	341	0	45	3	92	478	1 (traverse au rouge avec téléphone)
Torggata / Hausmanns Gate	Hausmanns gate Ouest	11	7	44	62	133	0	17	0	135	285	0
	Hausmanns gate Est	11	7	44	62	142	0	23	2	171	336	0

Carrefour	Branche	Proportion de temps de vert	Proportion de temps de dégagement	Proportion de rouge	Proportion de piétons qui passent au vert	Proportion de piétons qui s'engagent pendant le temps de dégagement	Proportion de piétons qui passent au rouge	Proportions de piétons qui renoncent à traverser au vert clignotant
Skippergata/Radhusgata	Skippergata	36,7%	8,2%	55,1%	77,8%	6,7%	15,6%	0,00 %
	Traversée double Skippergata	36,7%	10,2%	53,1%	72,3%	13,8%	13,8%	0,00 %
	Radhusgata	27,1%	8,7%	64,3%	77,4%	4,8%	17,8%	1,37 %
Kristian Ivs gate / Universitetsgata	Kristian Ivs gate Traversée Ouest	26,8%	7,3%	65,9%	58,9%	13,7%	27,4%	0,00 %
	Kristian Ivs gate Traversée Est	25,4%	8,8%	65,8%	71,3%	9,4%	19,2%	0,63 %
Torggata / Hausmanns Gate	Hausmanns gate Ouest	18,0%	11,3%	70,7%	46,7%	6,0%	47,4%	0,00 %
	Hausmanns gate Est	18,0%	11,3%	70,7%	42,3%	6,8%	50,9%	0,60 %

Au total, le comportement de plus de 1600 piétons a été étudié. La taille des échantillons varie en fonction de la fréquentation piétonne de chaque carrefour.

Ces analyses nous permettent d'affirmer que :

- les feux sont globalement bien respectés en Norvège. On observe des taux de piétons qui traversent au vert compris entre 42 % et 78 % selon les carrefours, ce qui est supérieur aux taux observés en France
- le fonctionnement du vert clignotant utilisé en Norvège n'est pas satisfaisant : sur les 147 piétons pouvant démarrer leur traversée pendant le vert clignotant, seulement 7 d'entre eux (5%) ont renoncé à entamer leur traversée, alors que c'est illégal. De plus, parmi les 140 piétons ayant démarré leur traversée au vert clignotant, seuls 6 ont fini leur traversée au vert. Ceci est dû au trop court temps de vert clignotant alloué, entre 4 et 7 secondes selon les carrefours, insuffisant pour traverser 2 voies de circulation. Comme celui-ci est trop court et peu respecté par les Norvégiens, les gestionnaires de voirie y ajoutent environ 6 secondes de rouge intégral. Ce fonctionnement est alors peu compréhensible pour les usagers. Le temps de vert clignotant est assimilé comme du vert, puisqu'un temps de rouge de dégagement est prévu ensuite.

En conclusion, nous retenons qu'en Norvège, le vert clignotant est très peu respecté, il est assimilé par les piétons à du vert fixe. Pour maintenir la crédibilité du signal clignotant, il doit être suffisamment long pour permettre de réaliser la traversée entière, et ce signal clignotant ne devrait pas être suivi par une autre période de dégagement.

4. CONCLUSION SUR LES DIFFÉRENTS TYPES DE FEUX

La première partie d'introduction a montré combien le feu actuel R12 était inadapté, mal compris et peu respecté par les Français. Les collectivités demandent ainsi depuis plusieurs années à expérimenter de nouveaux systèmes pour améliorer la sécurité des piétons. Le Cerema a donc réalisé un benchmarking mondial des feux existants et des systèmes déjà expérimentés à l'étranger afin de ne pas tester de matériels qui n'ont pas fonctionné ailleurs (ou pire, qui ont dégradé la sécurité) et de cadrer les futures expérimentations. Cette partie a donc pour objectif de conclure sur les types de feux qu'il serait judicieux d'expérimenter en France.

4.1. Feux à 2 états

Ces feux se trouvent principalement en Europe et sont ceux qui existent actuellement en France. Leur fonctionnement, bien que simple en pratique, n'est pas toujours compris des usagers.



Illustration 63: Schéma de fonctionnement des feux bicolores classiques.

Le feu vert indique l'autorisation de traverser, puis lorsque le feu passe au rouge,

cela annonce la phase de rouge de dégagement où tout piéton déjà engagé peut finir sa traversée, mais ne doit pas s'engager. Cette durée de rouge de dégagement, qui dure du passage au rouge pour le feu piéton au passage au vert du feu véhicule, est de durée suffisante pour permettre la traversée complète d'un piéton s'engageant à la dernière seconde de vert. La durée dépend donc uniquement de la largeur de la voie à traverser.

Les différents systèmes à deux informations sont les suivants :

- le feu allemand, identique au français si ce n'est que les deux figurines sont placées verticalement, n'apporte évidemment aucune plus-value ;
- le feu tourné vers le trottoir utilisé uniquement au Royaume-Uni. Il a été testé en France en 1995 (projet Pussycat) mais l'expérimentation n'a pas été concluante.
- Le feu dont le rouge est doublé, qui n'apporte aucune information supplémentaire.

En conclusion, aucun autre dispositif à deux informations ne semble plus efficace que notre signal actuel, il n'est donc pas utile d'expérimenter un signal équivalent au nôtre.

4.2. Feux à 3 états de type clignotant

Nous avons vu lors du benchmarking mondial que la majorité des pays étrangers identifient le temps de dégagement à l'aide d'un feu à trois (voire quatre) états. Ces feux à 3 états, que l'on trouve beaucoup en Europe mais également sur tous les autres continents, permettent de donner aux usagers une information supplémentaire.

Parmi les feux à 3 états, le feu clignotant est le signal le plus répandu à l'étranger. De très nombreux pays l'utilisent et continue de le développer. Parmi les 200 documents d'évaluation recueillis, aucune étude ne remet en question l'efficacité et la bonne compréhension de ce feu clignotant.

Les feux clignotants indiquent le temps de dégagement et donc la fin du temps de vert. Pour ces feux, cette phase clignotante se déroule pendant le temps de dégagement. La phase clignotante indique donc une interdiction de s'engager mais une autorisation à achever une traversée entamée.

Les phases clignotantes observées à l'étranger sont soit verte soit rouge. Le choix de la couleur est important puisque l'objectif est de garantir une bonne compréhension du signal. Parmi les pays étudiés dont les feux comportent une phase clignotante (avec ou sans décompteur), environ les deux tiers utilisent le vert clignotant pour indiquer l'approche de la fin du temps de vert, par opposition au rouge clignotant.



Illustration 64: Schéma de fonctionnement des feux avec vert clignotant.



Illustration 65: Schéma de fonctionnement des feux avec rouge clignotant.

Le tableau ci-dessous montre la répartition des pays selon la couleur de la phase clignotante de leurs feux.

Rouge clignotant	Vert clignotant
7	16
Afrique du Sud	Bangladesh
Argentine	Brésil
Australie	Cambodge
Canada	Colombie
États-Unis	Corée du Sud
Nouvelle Zélande	Émirats arabes unis
Suède	Irlande
	Islande
	Japon
	Nigeria
	Norvège
	Pays-Bas
	Pologne
	Qatar
	Royaume-Uni
	Taïwan

Illustration 66: Répartition de certains pays selon la couleur de la phase clignotante

Le choix du vert clignotant présenterait les inconvénients suivants :

- il existait en France avant 1991 et il a été abandonné ;
- la couleur verte (et le bonhomme en marche) ne donnent pas clairement l'information qu'un piéton sur le trottoir ne doit pas d'engager ;
- l'étude de cas en Norvège a montré que les piétons ne respectaient pas l'interdiction de s'engager au vert clignotant. Les gestionnaires de voirie ont donc dû ajouter une phase de rouge de dégagement, ce qui correspond à notre système actuel ;
- Il n'est pas compatible avec la synthèse sonore actuelle qui prononce « rouge piéton » pendant le temps de dégagement ;

- Enfin, le code de la route français indique que « *Lorsque la traversée d'une chaussée est réglée par [les feux de signalisation lumineux], les piétons ne doivent s'engager qu'au feu vert.* » (article R412-38). Les piétons pourraient ainsi s'engager pendant le vert clignotant. Ce signal ne serait donc pas compatible avec le code de la route.

Bien que non évoqué dans la Convention de Vienne, un feu rouge clignotant est envisageable, puisque la Suède qui a ratifié cette Convention utilise ce type de feux. De plus, puisque le temps de dégagement est actuellement représenté par un feu rouge fixe en France, il semble plus cohérent de maintenir un temps de rouge clignotant, afin de faire comprendre aux piétons qu'ils ne doivent pas s'engager. Par ailleurs, le choix du rouge clignotant va dans le sens de la sécurité, puisque les personnes ne connaissant pas le rôle de la phase clignotante auront plutôt tendance à s'arrêter en voyant le rouge clignotant plutôt que de traverser. Concernant les dispositifs audibles pour les personnes malvoyantes, la phase de dégagement est actuellement traduite par le message du rouge piéton. Enfin, concernant la compatibilité avec le code de la route, un feu rouge clignotant traduirait bien l'interdiction de s'engager pour un piéton.

Tous ces éléments nous permettent donc de conclure qu'un signal rouge clignotant serait le plus pertinent dans le contexte français.



4.3. Feux à 3 états de type tricolore

Les feux tricolores pour piétons, que l'on trouve principalement en Italie, en Irlande et parfois en Lituanie et en Suisse, permettent de donner une information supplémentaire aux piétons par rapport aux feux actuels en France. La phase jaune de ces feux remplace le rouge de dégagement des feux à deux états et est plus compréhensible grâce à son fonctionnement semblable aux feux tricolores des véhicules. La phase jaune dure assez longtemps pour qu'une personne qui s'engage lors du début de cette phase ait le temps d'atteindre le bout de la traversée avant le passage au rouge, qui coïncide avec le passage au vert des véhicules.



Illustration 67:
Feu tricolore.
(source :
123RF)

Ces feux présentent un avantage par rapport aux feux à phase clignotante en termes de compréhension par les usagers. Une phase jaune est universelle grâce à son utilisation pour les feux destinés aux véhicules. Cependant, il est nécessaire de conserver une différence d'aspect entre feux piétons et feux pour les véhicules, afin d'éviter tout risque de confusion, et d'informer la population quant à la durée de la phase de jaune.

Ce dispositif respecte la Convention de Vienne sur la signalisation routière, que la France a ratifiée.

L'étude de cas réalisée en Irlande a montré que les piétons étaient très attachés à ce signal jaune, qu'ils trouvent plus clair et plus sécurisant. Ce signal a également été testé au Québec en 1994, en comparaison des feux avec phase de rouge clignotant habituellement installés. Le bilan de cette étude est que les piétons comprennent mieux la phase de dégagement et l'interdiction de commencer à traverser qui l'accompagne. Pour autant, le comportement des piétons n'a pas changé malgré cette amélioration. Finalement, ce modèle avait été abandonné par le Québec parce que le coût économique du remplacement de chaque feu était trop grand par rapport aux faibles apports de ce

changement. On peut donc imaginer que la même difficulté se poserait en France : il faudrait alors remplacer tous les feux piétons, ce qui entraînerait un coût important pour un système qui, certes apporte plus d'informations que le feu actuel, mais qui en apporte autant qu'un feu bicolore avec phase clignotante.

L'objectif du Cerema est également de proposer un feu qui n'engendrerait pas de coût excessif pour les collectivités. Au vu des avantages que présente ce feu tricolore jaune, il pourrait être opportun de tester son efficacité. Afin de conserver le coffret du feu R12 actuel, il pourrait être imaginé d'expérimenter un signal tricolore clignotant, avec une première phase de vert, puis un clignotement jaune du bonhomme arrêté, puis un signal rouge fixe du piéton arrêté. Cela permettrait d'associer les avantages du feu clignotant à ceux du feu tricolore, tout en gardant le coffret actuel grâce à une double implantation de LED (jaune et rouge) au niveau de la figurine arrêtée. L'expérimentation des deux signaux, le premier rouge clignotant et le second jaune clignotant, permettrait de conclure sur la meilleure performance de l'un ou de l'autre.



4.4. Feux à 4 états de type clignotant accéléré

Les feux à phase clignotante qui s'accélère, que l'on trouve en Pologne par exemple, présente les avantages d'un feu à phase clignotante plus classique. Ils apportent cependant une information supplémentaire aux usagers, puisque le rythme du clignotement du feu augmente alors que la fin de la phase de vert approche. Cette accélération traduit le caractère imminent du changement de couleur du feu et évite de trop surprendre les piétons lorsque le feu passe au rouge.

Il existe également des feux à figurines animées : lorsque le feu passe au vert, le personnage marche puis accélère jusqu'à se mettre à courir vers la fin du temps de vert. Ces feux sont souvent couplés à des décompteurs, mais il arrive qu'on en trouve sans ce dispositif supplémentaire.

Bien que ces types de feu donnent plus d'informations que les feux classiques ou à phase clignotante « simple », ils n'apportent pas la précision des décompteurs qui sont donc plus intéressants. De plus, un clignotement accéléré ou une figurine animée aura tendance à attirer le regard des usagers, y compris ceux non concernés par le feu piéton, ce qui peut donc les déconcentrer. Ces feux présentent un côté « gadget » qui ne correspond pas à l'objectif recherché, en plus d'un prix unitaire plus élevé qu'un feu classique. Il ne nous semble donc pas pertinent d'expérimenter ces feux animés.

4.5. Feux à 4 états de type décompteur

Les feux avec décompteurs sont ceux qui permettent aux usagers d'avoir un maximum d'informations concernant la traversée. À travers ce benchmarking, nous avons vu qu'il existe différentes façons de mettre en place ces décompteurs. Il est en effet possible d'afficher le temps restant soit pour la phase de vert, soit pour la phase de rouge, soit pour la phase de rouge de dégagement ou encore deux décompteurs pour le rouge et pour le vert.

Le principal retour d'expérience sur les décompteurs est celui provenant du Canada, avec une étude sérieuse basée sur 1965 carrefours équipés de décompteurs et plusieurs années d'accidents étudiés. La conclusion de cette étude est une augmentation de 26% des collisions entre piétons et automobilistes, en raison de traversées trop tardives par les piétons, et de prises de vitesse d'automobilistes qui anticipent en regardant les secondes restantes sur le décompteur du feu piéton situé sur la perpendiculaire.

Nous en avons conclu que les décompteurs étaient des compléments intéressants, mais que leur usage devait se limiter sur les traversées simples et sur les carrefours où les vitesses sont réduites grâce à l'aménagement. Nous imaginons ainsi que les collectivités souhaiteront expérimenter un nouveau feu, probablement à 3 états, dans le but de généraliser ce feu s'il est efficace. Et en complément de celui-ci, les gestionnaires de voirie pourraient ajouter un décompteur sur les carrefours sensibles, avec des flux piétons importants et des faibles vitesses pratiquées, par exemple devant une gare ou un lycée.

Se pose alors la question de la période à décompter. Dans un contexte où de plus en plus de carrefours à feux ont des phases de durée variable (micro-régulation) afin d'optimiser l'écoulement des différents flux, véhicules et piétons, il apparaît qu'un décompteur du temps de rouge de dégagement est le plus



Illustration 68: Feu avec décompteur.
(source : SRTS Guide)

pertinent. En effet, cette durée de rouge de dégagement est la seule durée qui reste toujours fixe, même si la durée du cycle varie, puisqu'elle dépend uniquement de la largeur de la voie à traverser. On peut donc facilement les mettre en place à la fois dans les plus petites villes dont les carrefours sont à plans de feux fixes et sur les carrefours micro-régulés des grandes métropoles. Le décompteur de temps de dégagement semble à première vue le plus pertinent, mais il pourrait également être judicieux d'expérimenter d'autres types de décompteurs (de temps de vert ou de rouge).

Ce type de décompteur se trouve en Argentine, au Canada, aux États-Unis et parfois au Royaume-Uni. Il a également été testé en France à Colmar et Besançon en 1998 et à Toulouse en 2000. Lors de ces expérimentations, il avait été choisi de conserver le design du feu classique actuel en France en y ajoutant le décompteur. L'idée serait ici de modifier le modèle du feu afin que le rôle du décompteur soit plus clair. Il s'agit de ne pas reproduire l'erreur réalisée en 1998 pour Sécurifeu, à savoir un décompteur de rouge de dégagement, avec un feu qui ne distingue pas le rouge de dégagement du rouge fixe, ce qui portait donc à confusion. Cela éviterait également la confusion pour un piéton venant d'arriver au carrefour et ne sachant pas comment fonctionne le dispositif qui pourrait penser pouvoir traverser à la fin du décompte. Il serait donc envisagé de mettre en place un décompteur dont le décompte démarrerait en même temps que le clignotement.

Il est essentiel également de ne pas reproduire les erreurs du projet Pussycat (1995), qui avait expérimenté plusieurs innovations en même temps et n'avait pas pu identifier l'impact de chaque composante. Ainsi, il nous semble important de séparer dans le temps les deux expérimentations : dans un premier temps, tester et évaluer le feu clignotant, seul, puis s'il est efficace, lui ajouter dans un second temps un décompteur.

Ainsi, le modèle de feu qui apparaît comme le plus pertinent au regard de la législation française actuelle et des enseignements du benchmarking mondial, serait donc un feu à 3 états de type clignotant rouge ou jaune, associé dans un second temps à un décompteur de temps de dégagement.

5. CONCLUSION GÉNÉRALE

La première partie de contexte a permis de comprendre dans quelle mesure le feu actuel français était inadapté, mal compris, peu crédible et peu respecté. Ce feu à 2 états, qui ne distingue pas le temps de dégagement, génère ainsi plusieurs incompréhensions entre usagers, ce qui peut engendrer des accidents. Face à ce constat, les collectivités ont souhaité depuis plusieurs années expérimenter de nouveaux signaux pour répondre aux demandes de leurs administrés. Certaines d'entre elles ont d'ailleurs déjà commencé à tester différents dispositifs. Il a ainsi été demandé au Cerema de traiter ce sujet, afin d'éviter de reproduire les erreurs déjà réalisées en France ou à l'étranger, et de se servir des retours d'expérience étrangers pour cibler les types de feux qui semblent les plus performants.

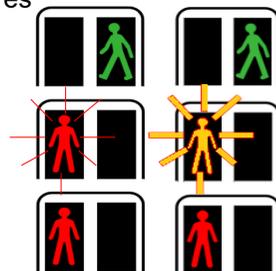
Le benchmarking, basé sur l'étude des feux dans 53 pays et le recueil de plus de 200 rapports d'évaluations réalisés dans le monde, a permis de décrire les différents types de feux existant à l'étranger, selon s'ils sont à 2 états, 3 états (identification du temps de dégagement) ou 4 états (identification et durée de temps de dégagement). Cette difficulté n'est pas propre à notre pays : la majorité des pays étrangers ont cerné ce problème et ont fait évoluer leur signalisation lumineuse pour donner plus d'informations aux piétons.

Il apparaît que les feux qui sont les plus répandus et semblent les plus performants sont les feux à 3 états identifiant le temps de dégagement grâce à un feu rouge clignotant ou grâce à la couleur jaune, qui est comprise de tous les usagers comme étant une période de transition avant le passage au rouge, identique à celle du feu jaune présent sur les feux tricolores pour la circulation générale.

Ainsi, deux signaux méritent d'être testés en France :

- le feu à 3 états rouge clignotant
- le feu à 3 états jaune clignotant

Ces deux signaux présentent l'avantage de conserver le



coffret piéton actuel, afin de limiter les coûts pour les collectivités. La conception du feu jaune clignotant s'appuie sur une double implantation de LED sur la figurine piétonne arrêtée, ce qui est techniquement réalisable.

Ensuite dans un second temps, afin de ne pas expérimenter plusieurs innovations en même temps, il pourra être intéressant de tester un décompte numérique, associé à ces feux clignotants, s'ils s'avèrent efficaces. Le retour d'expérience canadien nous a appris qu'il n'était pas judicieux de généraliser ces systèmes de décompteurs. Il s'agirait plutôt de les réserver aux traversées simples (hors carrefours) ou aux carrefours sensibles, avec de forts flux piétons, et surtout des vitesses apaisées, afin d'éviter toute prise de vitesse dangereuse des automobilistes qui accéléreraient en anticipant grâce à l'information des décompteurs piétons.

A ce jour, les villes de Strasbourg, Metz, Nancy, Lille, Versailles, Rouen, Nice, Aix-en-Provence et Toulouse souhaitent se servir des enseignements de ce travail et ainsi expérimenter ces deux feux clignotants sur leurs réseaux. Le Cerema se propose de les accompagner pour la réalisation des évaluations avant et après l'installation des dispositifs expérimentaux.

6. BIBLIOGRAPHIE

AKIN D., SISIPIKU V., *Pedestrian crossing compliance characteristics at-grade signalized crosswalks : case study in a downtown-university campus environment*, 86th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C., 14/11/2006

AKPAN U. U., SENAM N., *The communicativeness of road traffic signs in Uyo, Akwa Ibom State of Nigeria*, International Journal of Education and Research, Vol. 3 No. 2, février 2015

ARHIN S. A., NOEL E. C., LAKEW M., *Evaluation of two countdown pedestrian signal displays for pedestrian safety*, Safety and Security Engineering IV, 2011

Bangladesh Road Transport Authority, *Bangladesh Road Signs Manual, Traffic Signs Manual*, mars 2000

BARLOW J., BENTZEN B. L., TABOR L., *Accessible Pedestrian Signals : Synthesis and guide to best practice, Final Report*, National Cooperative Highway Research Program, mai 2003

Bitre, *Australian Road Deaths Database*, Australian Government, Department of Infrastructure, Transport, Cities and Regional Development. Disponible à https://www.bitre.gov.au/statistics/safety/fatal_road_crash_database.aspx

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), *Traffic and Accident Data, Summary Statistics – Germany*, Federal Highway Research Institute, septembre 2018

BERGERON J., CAMBON DE LAVALETTE B., TIJUS C., POITRENAUD S., LEPROUX C., THOUÉZ J-P. ; RANNOU A., *Effets des caractéristiques de l'environnement sur le comportement des piétons à des intersections urbaines*, Canada, INRETS

BOATENG R. A., *Comprehensive Evaluation of the effectiveness of pedestrian countdown signals on road users in Michigan*, Master's Theses, avril 2016

Brake : The road safety charity, *UK road casualties*, <https://www.brake.org.uk/facts-resources/1653-uk-road-casualties>

BRISBANE G., LEVASSEUR M., *Contract Report : Trial of pedestrian countdown timers in the Sydney CBD – Final Report*, Roads and Traffic Authority of NSW, juin 2011

Bußgeldkatalog, *Roe Ampel überfahren*, 2019, <https://www.bussgeldkatalog.org/rote->

[ampel/](#)

CAIRNEY P., *Pedestrian Safety in Australia*, Federal Highway Administration, Report n°FHWA-RD-99-093, décembre 1999

Certu, *Royaume-Uni : Piétons*, « La signalisation pour les modes actifs », Fiche n°23, décembre 2013

CETE de l'Est, *Rapport d'étude Sécurifeu*, septembre 1998

CETE de Lyon, *Projet PUSSEYCATS – Amélioration de la sécurité et du confort des piétons aux traversées équipées de signalisation lumineuse*, septembre 1995

CETE du Sud-Ouest, *TEMPOCITE : Système de sécurisation des traversées piétonnes à feux*, octobre 2000

CEYLAN M., *Audible Pedestrian Signals, Istanbul*, 21/01/2016, <https://melikeceylan.wordpress.com/2016/01/21/audible-pedestrian-traffic-signals/>

CLEAVER M. A., HISLOP J., DE ROOS M. P., FERNANDES R., PRENDERGAST M., BRISBANE G., LEVASSEUR M., MCTIERNAN D., *An evaluation of pedestrian countdown timers in the Sydney CBD*, NSW Centre for Road Safety, ARRB Group Ltd., Australian Road Safety Research, Policing and Education Conference, 2011

Code de la route, Partie réglementaire, Livre IV : L'usage des voies ; Titre Ier : dispositions générales, Chapitre II : Conduite des véhicules et circulations des piétons, Section 6 : Circulation des piétons, Article R412-38

Code de la route belge, Arrêté royal portant règlement général sur la police de la circulation routière et de l'usage de la voie publique, Titre II : règles d'usage de la voie publique, Article 42 Piétons, 01/12/1975, https://www.code-de-la-route.be/textes-legaux/sections/ar/code-de-la-route/215-art42

Convention de Vienne, Convention sur la signalisation routière, Chapitre premier : Généralités, Article 24 : Signaux à l'intention des seuls piétons, 1968

Department for Transport, *Puffin Crossings, Good Practice Guide – Release 1*, Royaume-Uni, juillet 2006

Department of Transport, *Traffic Signs Manual*, Chapter 9 : Traffic Signals, Irlande

DIEPENDAELE K., *Respect des feux de signalisation par les piétons : mesure nationale de comportement menée en Belgique*, Institut Belge pour la Sécurité Routière (ISBR), 2015

Dinside, *Hvorfor er det to røde menn ?* (« Pourquoi y a-t-il deux hommes rouges ? »), Norvège, 05/08/2012, <https://www.dinside.no/motor/hvorfor-er-det-to-rode-menn/61268548>

DIEPENDAELE K., *Non-compliance with pedestrian traffic lights in Belgian cities*, Transportation Research Part F, 2018

Digital Cosmonaut, *German Traffic Lights – You're Using Them All Wrong*, <https://digitalcosmonaut.com/2013/berlin-traffic-lights-youre-using-wrong/>

FEE J. A., *European Experience in Pedestrian and Bicycle Facilities*, Federal Highway Administration, 1974

FRASER B., *Pedestrians at risk in Peru*, The Lancet, World Report, vol. 377, p. 543-544, 12/02/2011

Hamilton, *Accessible Pedestrian Signals*, <https://www.hamilton.ca/streets-transportation/walking-pedestrians/accessible-pedestrian-signals>

HOOVER A., VENCATACHELLUM V., TSE M., *Trial of pedestrian signals incorporating a numerical countdown display in Auckland CBD*, IPENZ Transportation Group Conference, 10/10/2007

HOWARD A., RICHMOND S. A., WILLAN A. R. *et al. The impact of pedestrian countdown signals on pedestrian-motor vehicle collisions : a reanalysis of data from a quasi-experimental study*, 2013

HUANG H., ZEGEER C., *The effects of pedestrian countdown signals in Lake Buena Vista*, Florida Department of Transportation, novembre 2000

HUITEMA B., VAN HOUTEN R., MANAL H., *An analysis of the effects of installing pedestrian countdown timers on the incidence of pedestrian crashes in the city of Detroit Michigan*, Western Michigan University, TRB 2014 Annual Meeting

IBRAHIM J., DAY H., HIRSHON J. M., EL-SETOUHY M., *Road risk-perception and pedestrian injuries among students at Ain Shams University, Cairo, Egypt*, PubMed, juillet 2012

International Transport Forum, *Road Safety Annual Report 2018*, <https://www.itf-oecd.org/road-safety-annual-report-2018>

IRYO-ASANO M., ALHAJYASEEN W., PARK H. J., *Understanding Pedestrian Behaviors and traffic controls at signalized crosswalks for Safety Improvements in Japan and USA*,

présentation, mars 2016

KANG J., *Crosswalks and pedestrian safety (in Korea)*, 08/02/2014, <https://klawguru.com/2014/02/08/crosswalks-and-pedestrian-safety-in-korea/>

KAPOOR S., MAGESAN A., *Paging Inspector Sands : The costs of public information*, American Economic Association, ville de Toronto, 2014

KIM K. W., KIM Y., SEO H. Y., *An evaluation of pedestrian countdown signals*, Corée, KSCE Journal of Civil Engineering, décembre 2002

LANGBROEK J., DE CEUNYNCK T., DANIELS S., SVENSSON A., LEURESHYN A., BRIJS T., WETS G., *Analyzing interactions between pedestrians and motor vehicles at two-phase signalized intersections – an explorative study combining traffic behaviour and traffic conflict observations in a cross-national context*, 2012

Legislation.gov.uk, *The Traffic Signs Regulations and General Directions 2002*, <http://www.legislation.gov.uk/ukSI/2002/3113/part/I/made>

LIPOVAC K., VUJANIC M., MARIC B., NESIC M., *The influence of a pedestrian countdown display on pedestrian behavior at signalized pedestrian crossings*, Transportation Research Part F, Bosnie-Herzégovine, 08/07/2013

MA W., LIAO D., BAI Y., *Empirical analysis of countdown signals on pedestrian behaviour*, Institution of Civil Engineers publishing, 22/10/2013

Manual on Uniform Traffic Control Devices, Chapter 4E : *Pedestrian Control Features*

MARKOWITZ F., SCIORTINO S., FLECK J. L., YEE B. M., *Pedestrian Countdown signals : experience with an extensive pilot installation*, Institute of Transportation Engineers, janvier 2006

Mental Floss, *The Illuminated Magic of International Pedestrian Crossing Signals*, Nick Greene, 07/10/2014, <http://mentalfloss.com/article/59290/illuminated-magic-international-pedestrian-crossing-signals>

Ministère des Transports, de la Mobilité Urbaine et de la Sécurité Routière, *La chronique du gouvernement : le respect du feu tricolore*, Burkina Faso, 2015, <http://www.transports.gov.bf/index.php/90-le-ministere/259-la-chronique-du-gouvernement-le-respect-du-feu-tricolore>

Ministry of Transport, Public Works and Water Management, *Road Traffic Signs and Regulations in the Netherlands*, Traffic Regulations and Road Signs (RW 1990), Road Signs

Ministry of Transportation and Highways, *Pedestrian Crossing Control Manual for British Columbia*, Application and Installation, Pedestrian Signal, p.2-21, Canada, 1996

MINITRANSPORTE, *Manual de Señalización Vial*, p.787-788, Colombie, 2015

MULEY D., ALHAJYASEEN W., KHARBECHE M., *An overview of pedestrian signal setting and implementation in the State of Qatar*, Procedia Computer Science 109C 545-552, 2017

NEVIUS C. W., *Countdown to crosswalk danger, not safety*, San Francisco Chronicle, 30/01/2015, <https://www.sfchronicle.com/bayarea/nevius/article/Countdown-to-crosswalk-danger-not-safety-6052041.php>

NHTSA, *Traffic Safety Facts 2016 Data*, DOT HS 812 493, mars 2018. Disponible à <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812493>

Nigeria Highway Code, 2008

NZ Transport Agency, *The official New Zealand road code*, « About other road users », <https://www.nzta.govt.nz/resources/roadcode/about-other-road-users/information-for-pedestrians/>

OLSZEWSKI P., OSINSKA B., ZIELINSKA A., *Pedestrian safety at traffic signals in Warsaw*, 6th Transport Research Arena, avril 2016

PAPADIMITRIOU E., THEOFILATOS A., YANNIS G., *Patterns of pedestrian attitudes, perceptions and behaviour in Europe*, Safety Science, 27/10/2012

PHA Transportation Consultats, *Pedestrian countdown signal evaluation*, City of Berkeley, 2005

Piétons dans la circulation, Usagers de la route, TCS, Suisse, <https://www.tcs.ch/fr/tests-conseils/conseils/usagers-de-la-route/pietons.php>

PRATELLI A., LUPI M., IANNELLI C., LORENZINI A., *Crossing at a red light : behavior of tourists and commuters*, WSEAS Transactions on Environment and Development 14, Italie, mai 2018

QUISTBERG A., KOESPEL T., BOYLE L., MIRANDA J., JOHNSTON B., EBEN B., *Pedestrian signalization and the risk of pedestrian-motor vehicle collisions in Lima, Peru*, PubMed, mai 2014

Road Traffic Rules, Obligations of Pedestrians, p.7, Gouvernement de la République de

Lituanie, 2013

Samgöngustofa, *REGLUGERÐ um umferðarmerki og notkun þeirra* (« Règlement, panneaux de signalisation et leur utilisation »), Islande, 2013

SAUNIER N., BROSSEAU M., LE MOUEL K., MIRANDA-MORENO L., *The impact of traffic lights on dangerous pedestrian crossings and violations : a case study in Montreal*, TRB 2012 Annual Meeting, 12/11/2011

SAUNIER N., BROSSEAU M., ZANGENEHPOUR S., MIRANDA-MORENO L., *The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections : A case study in Montreal*, Transportation Research, 2013

SCHLABBACH K., *Countdown signals for pedestrians in Germany*, HafenCity Universität Hamburg, 2010

SINGER J. P., LERNER N. D., *Countdown Pedestrian Signals : A comparison of alternative change interval displays*, Federal Highway Administration, mars 2005

SIRAC, *Décompteur de temps d'attente piéton, Site du quai des Bateliers – Rapport d'évaluation*, Strasbourg Eurométropole, 07/12/2015

SOLAGBERU BA., BALOGUN RA., MUSTAFA IA., IBRAHIM NA., OLUDARA MA., AJANI AO., IDOWU EO., *Pedestrian injury profile in Lagos (Nigeria) – the third most densely populated city in Africa*, Lagos State University Hospital, 2012

South African Road Traffic Signs Manual, Volume 3 Traffic Signal Design, 2012

SUEUR C., CLASS B., HAMM C., MEYER X., PELE M., *Different risk thresholds in pedestrian road crossing behaviour : a comparison of French and Japanese approaches*, Accident Analysis and Prevention 58, 2013

SUPERNAK J., VERMA V., SUPERNAK I., *Pedestrian countdown signals : what impact on safe crossing ?*, Open Journal of Civil Engineering, 2013

The News Lens, *Pedestrian Nightmare : No Refuge on Taiwan's Dreadful Crosswalks*, 13/10/2018, <https://international.thenewslens.com/article/105874>

Transport for London, *Pedestrian Countdown at Traffic Signals, An overview of London's successful trials*, septembre 2011

Transport for London, *Pedestrian Safety Action Plan*, Mayor of London

Transport Roads & Maritime Services, *Traffic Lights*, Roads, Safety Rules, Road Rules, NSW Government (Australie),
<https://www.rms.nsw.gov.au/roads/safety-rules/road-rules/traffic-lights.html>

VAN HOUTEN R., MALENFANT J. E. L., *Canadian Research on pedestrian safety*, Federal Highway Administration, décembre 1999

VERMA V., *Effectiveness of countdown pedestrian systems in downtown San Diego*, San Diego State University Thesis, 2012

Wikimedia Commons, *Pedestrian signals by country*,
https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Pedestrian_signals_by_country

Wikipédia, *Convention de Vienne sur la signalisation routière*, https://fr.wikipedia.org/wiki/Convention_de_Vienne_sur_la_signalisation_rout%C3%A8re

Wikipédia, *Ampelmännchen*, Allemagne, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ampelm%C3%A4nnchen>

Wikipédia, *Traffic robots in Kinshasa*,
https://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_robots_in_Kinshasa

Wikipédia, *Xiaolüren*, Taïwan, <https://en.wikipedia.org/wiki/Xiaol%C3%BCren>

WOO H., LIN P-L., *Relationship between pedestrian fatal accidents and their characteristics in Taiwan*, International conference of Thai society from Transportation & Traffic Studies, octobre 2011