

**Opération de recherche SERRES :
Évaluation multicritère : application à la
sécurisation et à la modernisation de l'axe
Yvetot – La Mailleraye
(Département de Seine-Maritime)
Août 2014**



Rapport de recherche

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	01/04/14	Version initiale, contexte, projet, sécurité (EV)
2	01/05/14	Intégration exploitation, environnement (DC)
3	15/05/14	Relecture, ajouts et compléments OM
4	19/05/14	Intégration comportement des usagers et perspectives (SB)
5	01/08/14	Modifications et compléments suite aux différentes relectures

Affaire suivie par

Eric Violette - DITM / Groupe ESM / ERA34
Tél. : 02 35 68 81 33 / Fax : 02 35 68 81 23
Courriel : eric.violette@cerema.fr

Rédacteurs

Eric VIOLETTE - DITM / Groupe ESM / ERA34

David CHEINISSE - DITM / Groupe ESM

Olivier MOISAN - DITM / Groupe SR / ERA34

Stéphanie BORDEL - Dter Ouest – LR Saint Brieuc / ERA33

Remerciements pour leur contribution à cette étude :

Peggy Subirats, Cyrille Le Lez, Alexandre Hublart, David Doucet, Lucien Di Giacomo, Béatrice Groult, Yohan Dupuis – DITM / Groupe ESM ; Olivier Bisson – DITM / Groupe SR

Les personnels de la direction des routes du Département de Seine-Maritime

Table des matières

1 – Contexte du projet.....	5
1.1 – La démarche du Département de Seine-Maritime.....	5
1.2 – Route plus sûre / Route sans accident.....	7
1.3 – Une démarche diagnostic approfondie.....	8
1.4 – Du diagnostic aux aménagements.....	10
1.5 – Déroulement et phasage des aménagements de sécurité.....	14
1.6 – Des actions de communication auprès des usagers pour agir sur les comportements.....	16
1.7 – Synthèse des actions de sécurité menées sur l'axe.....	18
2 – Démarches de suivi et d'évaluation.....	18
2.1 – Le suivi et l'évaluation dans les démarches de sécurité.....	18
2.3 – Les évaluations des opérations d'exploitation.....	21
2.4 – Les éléments issus de la littérature.....	22
2.5 – Synthèse des différentes démarches.....	22
2.6 – Une démarche pragmatique pour l'axe Yvetot – La Mailleraye.....	23
2.7 – Impacts – Indicateurs – Mesures – Protocoles.....	25
3 – Les impacts des aménagements de sécurité.....	26
3.1 – Les aménagements des intersections.....	26
3.2 – Le cas particulier du Pont de Brotonne.....	35
3.3 – Le cas particulier de la section à 2x2 voies (en projet).....	36
3.4 – La prévention des sorties de chaussée (en projet).....	37
3.5 – Les dépassements.....	39
3.6 – Les vitesses pratiquées.....	40
3.7 – Globalité de l'axe et cohérence.....	48
4 – Les impacts en terme d'écoulement du trafic.....	49
4.1 – Les giratoires.....	49
4.2 – Les profils de vitesses pratiquées.....	62
5 – Les impacts sur le comportement des usagers.....	63
6 – Les impacts environnementaux.....	64
6.1 – Estimation des nuisances sonores.....	64
6.2 – Estimation des émissions de polluants dans l'air et de consommation énergétique avec modèles.....	64
6.3 – Estimation des consommations énergétiques à partir de mesures sur véhicules.....	66
6.4 – le recueil de données nécessaire.....	67
7 – Synthèse.....	68
7.1 – L'évaluation appliquée au cas d'Yvetot – La Mailleraye.....	68
7.2 – Des indicateurs directs et indirects pour la sécurité routière.....	68
7.3 – Des indicateurs à formaliser pour l'exploitation et l'environnement.....	69
7.4 – Des indicateurs et des méthodologies à définir pour les usagers.....	69
7.5 – Des mesures et des modes opératoires à mutualiser dans une approche multicritère.....	73
8 – Perspectives.....	74

8.1 – Éléments généraux sur l'évaluation.....	74
8.2 – Évaluer à partir de quelles connaissances ?.....	74
8.3 – Pourquoi évaluer ?.....	75
8.4 – Pour qui évaluer ?.....	76
8.5 – Comment évaluer ?.....	77
8.6 – À quel moment évaluer ?	77
8.7 – Synthèse.....	78
8.8 – Propositions d'action.....	78
Références.....	79
Annexes.....	83
Annexe 1 – Le carrefour RD490 / RD143.....	84
Annexe 2 – Le carrefour de la Quenellerie.....	85
Annexe 3 – Aménagement des giratoires et obstacles.....	86
Annexe 4 – Calcul des indicateurs « écoulement du trafic » et « consommations énergétiques » pour l'étude de cas du giratoire RD490/RD913.....	87

1 – Contexte du projet

1.1 – La démarche du Département de Seine-Maritime

Avec 6 600 km de routes qui supportent un trafic moyen de 1 700 véhicules par jour, le Département de Seine-Maritime a fait de la sécurité routière une priorité et conduit des actions particulièrement innovantes via son Collège Départemental de Sécurité Routière et par la sécurisation d'itinéraires départementaux qualifiés de stratégiques pour une longueur totale d'environ 900 km.

Le Département de Seine-Maritime a identifié six itinéraires stratégiques majeurs qui assurent, en dehors des autoroutes, la desserte première de tout son territoire. Ils supportent un trafic important et constituent de ce fait un enjeu essentiel pour l'amélioration de la sécurité routière.

L'axe Yvetot – La Mailleraye sur Seine est un de ces itinéraires stratégiques dont l'aménagement est inscrit dans la durée.

La mise en service du Pont de Brotonne en 1977 en franchissement de la Seine s'est accompagnée par des aménagements d'envergure sur un axe Nord Sud répondant à une desserte locale du Pays de Caux et du territoire. Ces aménagements conçus dès le départ pour un projet à long terme en 2x2 voies ont perduré pendant 30 ans.

Le Département a délibéré en 2007 sur un projet visant à sécuriser cet itinéraire (figure 1) devenu inadapté au trafic, et dont la géométrie conçue à l'origine pour une 2x2 voies incite à des vitesses élevées.

Une étude Avant-Projet Sommaire a été réalisée sur l'ensemble de l'itinéraire avec des principes généraux :

- Réduire le nombre de carrefours.
- Apaiser les vitesses et sécuriser les carrefours.
- Homogénéiser la section courante à 6,50 m lignes de rives comprises, avec des bandes multifonctionnelles d'1,20 m de part et d'autre.
- Créer des contre allées pour certains usagers (engins agricoles et modes doux).

Aujourd'hui, le Département décline les aménagements en phase projet et en réalisation, selon les priorités définies en comités de pilotage mais aussi en fonction des contraintes spécifiques à chaque aménagement (coût, contrainte foncière, environnementale). Lors des études de détail, certains choix de l'Avant-Projet Sommaire (APS) sont inévitablement remis en discussion, mais en laissant toujours la place à l'innovation (carrefour chicane, voie lente sur le pont de Brotonne).

L'équipe projet est constituée d'une équipe de maîtrise d'œuvre interne, de bureaux d'études extérieurs (EGIS, ERA, A2P pour le paysage) et des contrôles externes et extérieurs dont le Cerema / DterNC pour la sécurité routière.

La maîtrise d'œuvre est assurée par le Service Études et Travaux de Rouen qui travaille en équipe avec l'ensemble des services de la Direction des Routes :

- le Service Sécurité Routière.
- le Service Hydraulique pour les enjeux de bassins versants (enjeu fort sur cet itinéraire).
- le Service Patrimoine Routier.
- l'Agence d'Exploitation.

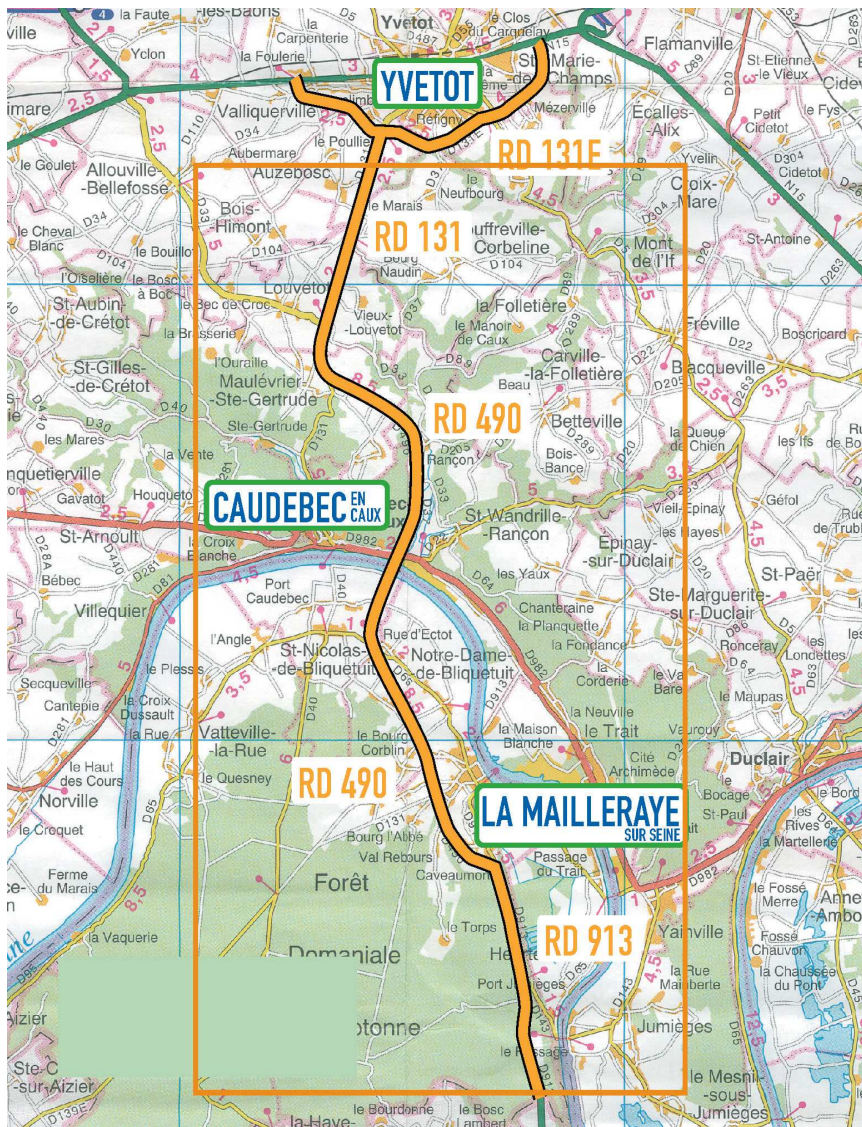


Figure 1 : Plan de situation de l'axe Yvetot – La Mailleraye

1.2 – Route plus sûre / Route sans accident

Intégré dans le programme global de sécurisation et de modernisation des routes départementales, l'axe routier de 23 km situé entre Yvetot et la Mailleraye-sur-Seine, via le pont de Brotonne, expérimente le dispositif « Route plus sûre, Route sans accident » conçu en collaboration avec le Cerema / DterNC.

S'appuyant sur une proximité de travail ancienne et étroite, les deux partenaires ont souhaité faire de l'aménagement de cet axe une opération exemplaire en appliquant ce nouveau concept développé en collaboration avec le Réseau Scientifique et Technique du MEDDE.

En ouvrant le champ de l'innovation et en s'associant aux démarches nationales de Sécurité Routière, une méthode spécifique et pluridisciplinaire a été initiée pour tester des projets plus sûrs, conçus en intégrant dès leur mise au point les enjeux de sécurité routière.

Cette démarche particulière et innovante permet de valoriser les résultats de la recherche, de faire progresser les techniques départementales et d'atteindre l'objectif fixé de « Route sans accident ».

Dans le cadre du projet d'aménagement de l'axe Yvetot – La Mailleraye, il est apparu opportun de mettre en œuvre une démarche globale qui permette de prendre en compte, dans la mesure du possible, les connaissances acquises durant les dernières années sur le rôle de l'infrastructure dans la survenue des accidents. Cela se traduit par une conception ou des aménagements de l'infrastructure qui réduisent les conséquences des erreurs humaines sanctionnées par des accidents ; une route qui pardonne.

Cependant, dans une approche systémique de la sécurité routière, il est admis que les aménagements de l'infrastructure routière permettent de réduire les accidents corporels survenus sur un point particulier, un axe ou un itinéraire dans des proportions variables (Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., Sørensen, M., 2009). Ainsi, agir seulement sur l'infrastructure ne permet pas de supprimer l'ensemble des accidents graves ou mortels. De même, les actions de communication auprès des usagers ne permettent pas d'éviter tous les accidents. Par contre, les modifications de l'infrastructure génèrent une forte communication sociale.

Il apparaît ainsi pertinent de proposer une démarche d'ensemble en déployant un panel d'outils, de méthodes, d'actions et de solutions qui portent simultanément sur l'infrastructure routière et le comportement des usagers.

Le principal objectif de la démarche est d'offrir aux usagers de la route, pris dans leur diversité, un itinéraire qui présente un très haut niveau de sécurité sur lequel ils peuvent circuler sans être victime d'un accident grave. Pour ce faire, les principaux leviers de la démarche sont :

- **Offrir une infrastructure sûre** d'une part en supprimant toutes les caractéristiques susceptibles de provoquer ou d'aggraver un accident et d'autre part en proposant des aménagements ayant un haut niveau de sécurité routière.

- **Agir sur le comportement des usagers** d'une part en menant des actions de communication lors des principales étapes de mise en œuvre du projet et d'autre part en proposant des actions de communication engageante qui permettent aux usagers d'être partie prenante du dispositif de sécurisation de l'itinéraire.

Ainsi, la démarche proposée n'est pas strictement similaire à celle définie par la Suède depuis 1997 et appelée « *Vision Zero* » (Swedish Road Administration, 2006). Elle s'en inspire cependant dans la volonté de proposer une infrastructure routière la plus sûre possible en intégrant au mieux les usagers dans la boucle.

Enfin, durant les différentes phases de déroulement du projet, des actions de suivi et d'évaluation ont été mises en œuvre afin d'estimer l'impact des mesures prises sur la sécurité de l'itinéraire aménagé. Pour ces actions, des méthodes relevant de la doctrine nationale et des outils expérimentaux issus de la recherche ont été utilisés. De même, ces actions de suivi peuvent être objectivement utilisées pour définir et mettre en œuvre une politique de contrôle/sanction adaptée à l'itinéraire et au non-respect des règles par les usagers. Le paragraphe 2 du présent rapport détaille la démarche mise en œuvre.

1.3 – Une démarche diagnostic approfondie

Afin d'agir de la manière la plus efficace possible sur l'infrastructure routière et proposer des aménagements adaptés, différentes démarches de diagnostic ont été mises en œuvre pour connaître la situation présente, pour proposer des contre mesures et prévoir l'impact des propositions d'aménagement. Ces démarches concernent différents domaines et s'appuient sur un corpus méthodologique existant.

L'étude de l'accidentologie avérée sur l'axe a fait l'objet de plusieurs études complémentaires telles que :

- **L'étude des accidents corporels** survenus sur l'axe durant 5 années en utilisant la méthode SURE (Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes)(Setra, 2005a) qui intègre la lecture des procès-verbaux d'accidents corporels pour la détermination des scénarios-type, l'identification de facteurs d'accidents et la localisation des problématiques.
- **L'inspection de sécurité de l'infrastructure** par la démarche ISRI (Inspections de Sécurité Routière des Itinéraires) (Setra, 2008) qui vise à détecter les défauts routiers indépendamment d'une accidentologie avérée et des comportements des usagers.
- **La connaissance des usages et des comportements** par des observations et des mesures réalisées in-situ, telles que trafics, vitesses pratiquées,...

L'étude des accidents a mis en évidence un itinéraire avec une forte accidentalité, notamment la gravité (tableau 1). Pour la période 2001-2010, on dénombre globalement 37 accidents, 24 blessés hospitalisés et 14 tués. Par analogie à des itinéraires similaires sur le réseau national, il apparaît que cet axe, même s'il n'est pas plus accidenté,

présente un pourcentage d'accidents mortels particulièrement élevé.

L'analyse typologique des accidents montre que :

- 55 % des accidents surviennent en intersection (avec une référence nationale à 10 %) en raison notamment d'un nombre élevé de carrefours sur l'itinéraire mais aussi d'une vitesse pratiquée particulièrement rapide.
- 28 % des accidents sont des pertes de contrôle qui aboutissent soit à des chocs frontaux, soit à des chocs contre obstacle. Ces accidents sont d'une extrême gravité.
- 17 % des accidents présentent des typologies plus diversifiées telles que : collisions arrières, manœuvres de dépassement et collisions avec présence de piéton.

Période 2001-2010	Taux d'accidents	% d'accidents mortels
France entière (bidirectionnelles)	6.0	18.8 %
Axe Yvetot – La Mailleraye	5.2	29.4 %
Risque statistique	normal	significatif

Tableau 1 : Accidents corporels (2001-2010)

L'inspection de sécurité de l'itinéraire a fait ressortir les principaux défauts énumérés ci-après :

- La présence d'obstacles non isolés ou insuffisamment isolés en accotement.
- Une portion de l'itinéraire en chaussée mono-déversée, favorisant le déport.
- Des accotements herbeux n'offrant pas de possibilité de rattrapage.
- Des défauts de visibilité ou de lisibilité sur certaines intersections et accès riverains.
- Des branches non perpendiculaires en intersection qui nuisent à la visibilité.
- Une signalisation horizontale et verticale présentant des défauts de lisibilité.

La connaissance des usages et des comportements a mis en évidence les principales spécificités de cet itinéraire :

- Un axe d'intérêt local et régional fréquenté par des usagers très divers, entraînant une importante mixité. Ces usages sont caractérisés par des niveaux de trafic variant de 5000 à 10 000 véhicules/jour et des proportions de poids lourds comprises entre 10 et 17 %. La présence d'engins agricoles est fréquente selon les saisons, ainsi que celle de vélos en raison de l'intérêt touristique de la région. L'itinéraire supporte avant tout un trafic d'usagers locaux issus des départements

de la Seine-Maritime et de l'Eure (80 %) avec une forte proportion de déplacements domicile-travail.

- Les comportements sont caractérisés par des vitesses (CETE Normandie-Centre, 2010a) particulièrement élevées sur l'itinéraire. Les mesures montrent une vitesse moyenne des véhicules légers « libres » à 93 km/h (référence ONISR : 82 km/h), une V_{85}^1 à 105 km/h et plus de la moitié (54 %) des usagers qui dépassent la vitesse limite autorisée de 90 km/h (référence ONISR : 28 %) (ONISR, 2011).

1.4 – Du diagnostic aux aménagements

L'ensemble des démarches de diagnostic a permis d'évaluer les enjeux de sécurité, de hiérarchiser les mesures à prendre et de proposer différents aménagements de l'infrastructure à étudier et mettre en œuvre. La figure 2 illustre l'articulation des différentes démarches utilisées.

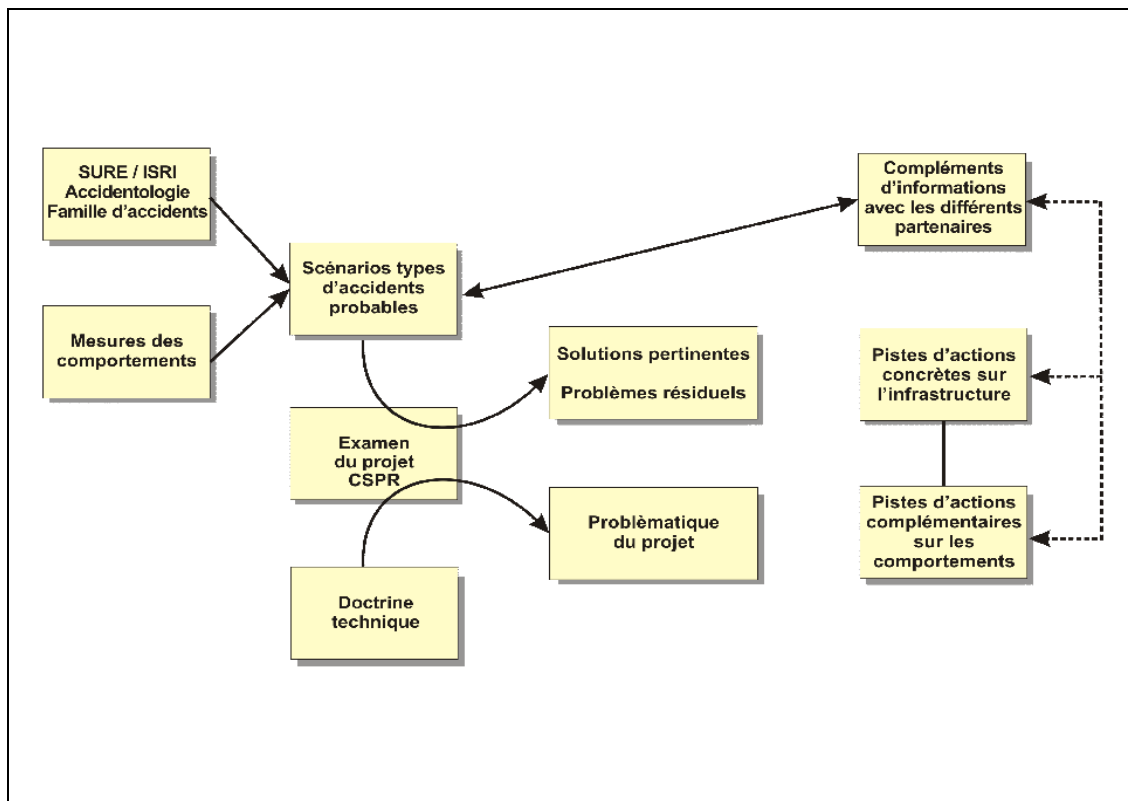


Figure 2 : Articulation des démarches utilisées dans le projet (source Cerema / DterNC)

On notera à ce stade l'attention particulière portée aux problèmes et difficultés résiduels des aménagements proposés qui ne permettraient pas d'atteindre l'objectif de sécurité. Dans ce cas, le recours à des solutions innovantes est envisagé.

1 V_{85} : Vitesse en dessous de laquelle circulent 85% des usagers.

Le projet d'aménagement global de l'itinéraire a fait l'objet d'un APS décliné en plusieurs projets d'exécution qui ont été contrôlés selon la méthode CSPR (Contrôle de Sécurité des Projets Routiers) (Setra, 2005b) élaborée au niveau national. On distingue alors trois familles de propositions d'aménagements :

- En relation directe avec l'accidentologie avérée, les principales mesures concernent les carrefours ; suppression, remplacement par des carrefours giratoires ou aménagement sur place (îlots, chicanes,...).
- Afin d'agir sur les pertes de contrôle, des mesures d'apaisement des vitesses sont envisagées avec une homogénéisation de la section courante par une redistribution du profil en travers au profit de bandes multifonctionnelles (photo 1).
- Les difficultés liées à la mixité des usagers sont traitées par la création de contre allées pour certains usagers (engins agricoles et modes doux) et la prise en compte des principales traversées piétons (photo 2).



Photo 1 : Exemple de bandes multi-fonctionnelles (source département de Seine-Maritime)



Photo 2 : Passerelle pour piétons de La Mailleraye (source département de Seine-Maritime)

Dans la perspective « route plus sûre, route sans accident », les mesures envisagées ont été évaluées *a priori* en considérant la question suivante : **le projet règle-t-il le problème ?** (CETE NC, 2010b) Cette analyse a été menée en prenant en compte :

- Les acquis récents de la recherche en sécurité routière.
- L'accidentalité observée dans le département de Seine-Maritime afin d'une part d'évaluer des particularités propres à cet itinéraire et d'autre part d'estimer le risque de survenue d'accidents pour des configurations d'infrastructure similaires.

Cette évaluation *a priori* a suscité des points de vigilance à prendre en compte par des traitements complémentaires voire des solutions innovantes, notamment pour les cas suivants :

- La chaussée mono-déversée pour le risque de perte de contrôle : mise en œuvre de bandes d'alerte audio-tactiles en rive et en axe pour la prévention des sorties de chaussée (Anelli, Ledon, Violette, 2013 ; Anelli et Violette, 2014).
- L'implantation des carrefours giratoires avec une visibilité et une lisibilité suffisantes de jour et de nuit : signature des giratoires par des aménagements paysagers spécifiques avec une attention particulière prêtée à l'îlot central (photo 3) et une mise en lumière.
- Le traitement des obstacles latéraux : éradication complète de l'ensemble des obstacles, soit en les supprimant soit en utilisant des supports à sécurité passive (photo 4) (CETE NC, 2009) .



Photo 3 : Carrefour giratoire RD131-RD490 (source département de Seine-Maritime)



Photo 4 : Support de signalisation à sécurité passive (source département de Seine-Maritime)

1.5 – Déroulement et phasage des aménagements de sécurité

Inscrits dans la durée depuis l'APS, le déroulement et le phasage du réaménagement de l'axe Yvetot – La Mailleraye sont programmés sur plusieurs années. Le tableau 2 ci-dessous précise les aménagements déjà réalisés à la fin de l'année 2013. La lecture de ce tableau montre que la priorité a été donnée à l'aménagement des intersections qui constitue le principal enjeu de sécurité.

Travaux réalisés	Dates de réalisation
<i>Aménagement provisoire de l'intersection RD490 / RD131</i>	---
<i>Aménagement provisoire de l'intersection RD490 / Ancienne gare de péage</i>	2007-2008
<i>Aménagement provisoire de l'intersection RD131 / RD33</i>	---
Aménagement de l'intersection RD490 / VC8	2008
Aménagement de l'intersection RD913 / R1D43	2009
Giratoire RD490 – RD37a + piste cyclable	2009 - 2010
Aménagement du pont de Brotonne : réalisation d'une voie mixte réservée aux engins agricoles et vélos	2010
Aménagement de l'intersection RD490 / Ancienne gare de péage et parking de covoiturage	2010
Giratoire RD490 – RD913 + contre allées	2011
Aménagement de l'intersection RD490 / RD131 + contre allées + passerelle piéton / vélo	2011 - 2013
Carrefour chicane de la Quenellerie	2013
Réalisation d'une voie d'évitement pour l'accès d'E'Caux Centre	2012
Aire de covoiturage de Yvetot	2013
Réalisations de bandes multifonctionnelles dans le cadre de l'aménagement des giratoires RD490 / RD913 (560m) et RD490 / RD131 (600m)	2013
Traitement des obstacles latéraux sur la section comprise entre le giratoire RD490 / Ancienne gare de péage et le giratoire RD490 / RD131 : suppression de l'éclairage sur l'échangeur dénivelé RD490 / RD65 (dépose de 16 mâts d'éclairage public), arasement des têtes de buse (50 regards situés dans les accotements)	2013
Réalisation de bandes rugueuses associées à une limitation de vitesse à 70 km/h réalisées au carrefour RD913 / RD143 et RD490 / VC8	2013

Tableau 2 : Travaux d'aménagement réalisés sur l'axe Yvetot – La Mailleraye

Suite à des accidents survenus entre 2011 et 2013 sur l'itinéraire en dehors des zones aménagées, plusieurs aménagements ont été réalisés. Le tableau 3 ci-dessous décrit ces aménagements.

Projets programmés ou à l'étude	Dates de réalisation ou de programmation
Modification du profil en travers et mise en œuvre de lignes d'alertes audio-tactiles en rive sur la section limite du département de l'Eure et l'intersection RD490 / RD913	2013
Modification du profil en travers et mise en œuvre de lignes d'alertes audio-tactiles en axe programmés sur la section entre le giratoire RD131 / RD37a et la section à 2x2 voies	2014
Réalisation de bandes multifonctionnelles non programmées sur la section comprise entre l'intersection RD490 / RD913 et le giratoire de l'ancienne gare de péage	En cours d'étude
Étude du carrefour des Douanes	En cours d'étude

Tableau 3 : Aménagements supplémentaires suite à accidents

Enfin, dans le cadre de l'aménagement global de l'axe, plusieurs aménagements sont encore à programmer. Le tableau 4 liste ce qui est prévu pour terminer les aménagements initialement envisagés dans l'APS.

Projets programmés ou à l'étude	Dates de réalisation ou de programmation
Réalisation de bandes multifonctionnelles entre l'intersection RD131 / RD33 et le carrefour chicane de la Quenellerie (400 m)	2014
Réalisation de bandes multifonctionnelles entre le futur giratoire RD131 / RD104 et le giratoire RD131E / RD131 (2,5 km)	différé
Reprise du profil en travers de la 2x2 voies en 2+1 voie :	2014
Giratoire RD131 / RD33	2014
Giratoire RD131 / RD104	2015 - 2016
Giratoire RD131 / VC2	2015 - 2016
Carrefour RD490 / VC8	différé

Tableau 4 : Aménagements à programmer

1.6 – Des actions de communication auprès des usagers pour agir sur les comportements

Un levier complémentaire à l'aménagement de l'infrastructure routière est celui de la communication auprès des usagers en utilisant des moyens classiques mais aussi des moyens innovants, notamment la communication engageante.

Parmi les vecteurs de communication classiques, les supports institutionnels utilisés par le département sont largement diffusés auprès de la population et des usagers de la route. Le magazine mensuel d'information du département diffuse des articles sur les travaux d'aménagement et de sécurisation des routes départementales. De même, des plaquettes d'information (photo 5) ciblées sur des aménagements particuliers présentent à la fois la démarche mise en œuvre et le mode d'emploi des nouveaux aménagements.

5 MOIS DE TRAVAUX

Après l'installation d'une passerelle pour la traversée des modes doux à l'entrée de la commune de la Mailleraye-sur-Seine, l'aménagement d'un giratoire à l'intersection des routes départementales 131 et 490 améliorera définitivement les conditions de sécurité des usagers et des habitants de la commune. Ce projet participe à la modernisation de l'axe structurant reliant Yvetot à la Mailleraye-sur-Seine, et s'inscrit dans le programme de sécurisation des itinéraires stratégiques de Seine-Maritime.

Pris en considération par le Département de Seine-Maritime le 11 décembre 2007, ce projet a été élaboré en concertation avec la commune de La Mailleraye-sur-Seine.

Succédant aux travaux de la passerelle réalisés en mai 2012, ceux du giratoire, d'une durée de 5 mois, débiteront en octobre 2012. Ils se dérouleront sous circulation afin de minimiser la gêne pour les usagers.

UN POINT DANGEREUX SUR UN ITINÉRAIRE STRATÉGIQUE

La RD 490 est une section de l'itinéraire stratégique reliant les deux rives de la Seine en franchissant le pont de Brotonne. C'est un axe fréquenté où sont enregistrés 6 000 véhicules/jour dont 16% de poids-lourds.

Au niveau de La Mailleraye-sur-Seine, cet itinéraire est dangereux du fait de la présence de plusieurs carrefours très rapprochés et fréquentés, en particulier celui avec la RD 131 qui constitue l'entrée principale de la commune.

Pour améliorer les conditions de sécurité de ce carrefour, le Département a installé un giratoire provisoire dès 2008.

Aujourd'hui, il est nécessaire de procéder à son aménagement définitif et de sécuriser les proches intersections avec les voies communales.

COÛT DU GIRATOIRE : 1,4 M € TTC

LE PROJET EST FINANCÉ PAR LA RÉGION HAUTE-NORMANDIE : 1,17 M €

LE DÉPARTEMENT DE SEINE-MARITIME : 230 000 €

AVEC LE SOUTIEN DE LA RÉGION HAUTE-NORMANDIE, LE DÉPARTEMENT DE SEINE-MARITIME SÉCURISE LE CARREFOUR RD 131 - RD 490 SUR LA COMMUNE DE LA MAILLERAYE-SUR-SEINE

Photo 5 : Plaquette d'information travaux du CG76 (source département de Seine-Maritime)

Cependant, si l'on souhaite agir sur le comportement des usagers dans le sens d'adopter une conduite plus sûre pour être acteur et participer à un objectif de sécurité routière, il

convient de proposer un autre mode de communication. Avec le concours des équipes de recherche en sécurité routière et comportement des usagers du Cerema / Dter Ouest, l'idée retenue pour la sécurisation de l'axe Yvetot – La Mailleraye a été l'utilisation du concept de communication engageante développé par F Girandola et RV Joule (Girandola & Joule, 2008).

Ce concept, illustré par la figure 3, associe la communication « classique » aux actions engageantes. Plus précisément, il s'agit d'informer en apportant des connaissances (communication persuasive) mais également d'associer des actes anodins réalisés de manière volontaire dans un contexte particulier qui amène à réaliser le comportement attendu. Ainsi, la communication engageante permet à la fois d'informer et de changer les comportements par le biais d'actions engageantes.

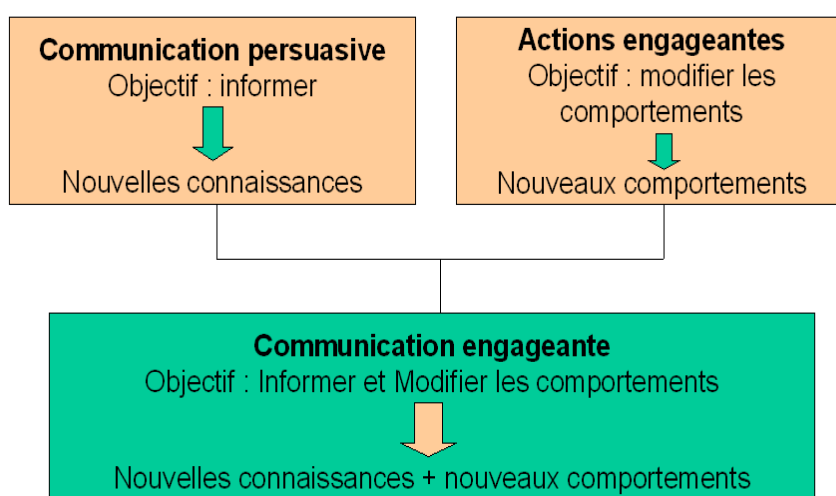


Figure 3 : Schéma explicatif du concept de communication engageante (source Cerema / Dter Ouest)

Pour l'itinéraire Yvetot – La Mailleraye, la mise en œuvre initialement envisagée durant l'année 2013 et reportée en 2014 consistera en l'organisation d'une journée d'information sur le thème de la sécurité routière qui se déroulera sur une aire localisée sur l'axe afin de solliciter directement les usagers concernés. A cette occasion, une information sera apportée sur la politique et les aménagements pour sécuriser les routes du département, notamment le caractère innovant de certaines démarches (communication persuasive). De manière complémentaire, les usagers seront invités à répondre à un questionnaire sur l'infrastructure routière pour les amener à réfléchir sur leur comportement d'automobiliste. Ce questionnaire permettra de présenter une Charte d'engagement contenant un nombre réduit d'actions simples que les usagers peuvent s'engager à suivre. Suite à cet acte volontaire et public, il sera remis aux usagers un autocollant qui permet de les identifier ainsi qu'un porte-clés spécifique qui leur rappelle l'engagement pris.

Ce type de démarche appliqué dans d'autres cas a montré une efficacité significative sur le changement de comportement des personnes qui y ont adhéré.

1.7 – Synthèse des actions de sécurité menées sur l'axe

Démarrés en 2009, les aménagements de sécurité de l'axe Yvetot – La Mailleraye ne s'achèveront pas avant 2016 au mieux. En effet, au-delà de la conduite technique d'un projet, viennent se greffer des difficultés d'ordre administratif et juridique, notamment pour certains aménagements des procédures d'enquête publique et d'expropriation. Dans tous les cas, un important travail de concertation tant auprès des élus que des riverains est nécessaire pour mener le projet à son terme. Pour faciliter la conduite du projet, un COPIL² réunissant l'ensemble des acteurs impliqués est convoqué annuellement pour acter les aménagements réalisés et aborder la poursuite des travaux envisagés par les services du Département.

2 – Démarches de suivi et d'évaluation

2.1 – Le suivi et l'évaluation dans les démarches de sécurité

Les démarches de sécurité intègrent différentes actions en s'appuyant sur un cadre méthodologique global rappelé dans la figure 4 ci-dessous.

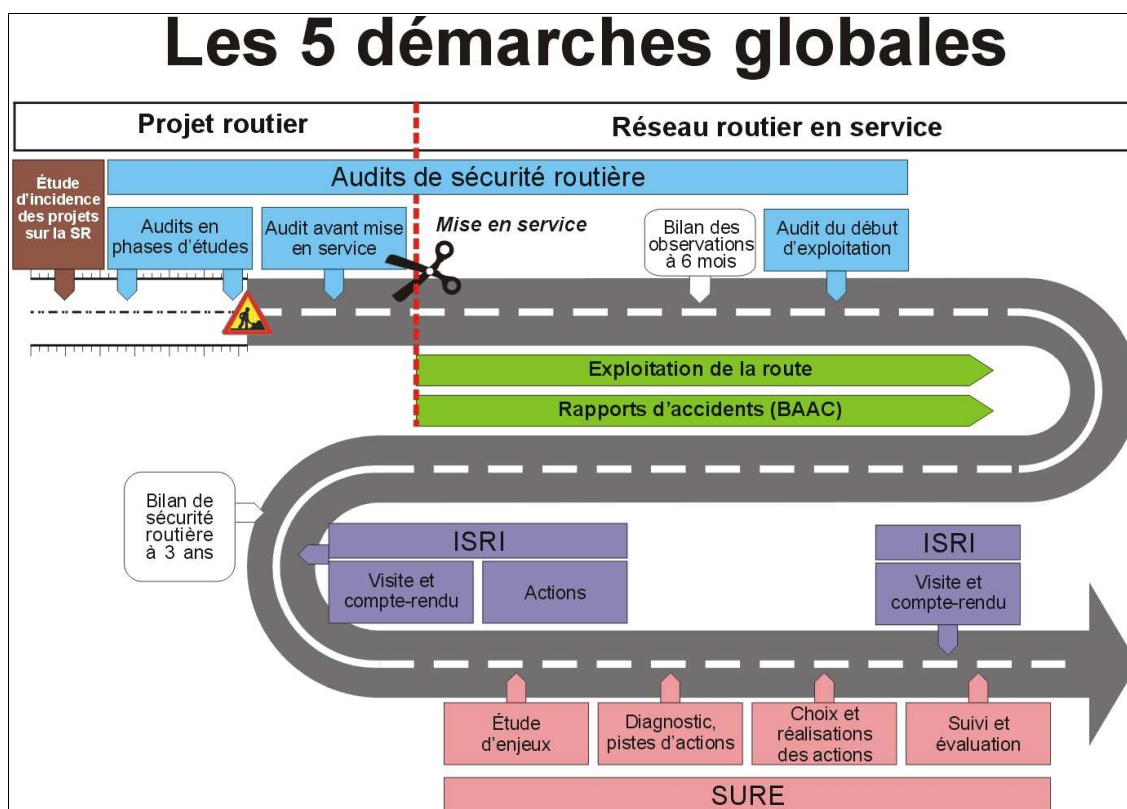


Figure 4 : Les 5 démarches des actions de sécurité routière (source : SETRA)

2 COPIL : Comité de Pilotage.

Il convient de signaler ici que les démarches décrites dans ce paragraphe s'appliquent aux routes du réseau national. Leur application partielle ou totale n'est pas exigée des gestionnaires de réseaux locaux tels que les Conseils Généraux. Cependant, ils peuvent avantageusement s'en inspirer.

2.1.1 – Démarche SURE

Les évaluations relatives aux actions de sécurité routière sont décrites dans différents guides notamment la démarche SURE : Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes (Setra, 2005a, 2006a). Cette démarche destinée avant tout aux routes du réseau national s'appuie sur les quatre piliers suivants : connaître, comprendre, agir, évaluer. Si aux trois premiers piliers sont associés des guides méthodologiques, la tâche d'évaluation n'en dispose pas.

En préalable, il est important de rappeler que l'évaluation s'organise dès le lancement de la démarche et que la traçabilité du projet facilitera sa réalisation. En effet, l'évaluation nécessite de comparer des indicateurs **avant et après** aménagement ou intervention puis de relever des informations au fur et à mesure de l'avancement de la démarche (Cf. CSPR).

L'évaluation poursuit les objectifs suivants :

- **vérifier que l'amélioration de la sécurité sur l'itinéraire retenu est bien effective ;**
- identifier en quoi la démarche SURE y contribue ;
- améliorer les connaissances dans le domaine de la sécurité de l'infrastructure et identifier les lacunes ;
- contribuer à mieux communiquer avec les partenaires ;
- corriger les erreurs d'aménagement sur le terrain avant qu'elles n'aient des conséquences dommageables ;
- améliorer la démarche et sa mise en œuvre pour le traitement des itinéraires suivants.

Pour ce faire, il convient :

- **de suivre l'évolution globale de l'accidentalité sur l'itinéraire à mesure que son traitement est mis en œuvre ;**
- de dresser le bilan de l'opération lorsque l'itinéraire sera réputé " traité " au sens de la démarche SURE ;
- de suivre, sur l'itinéraire retenu, l'évolution de l'accidentalité associée à chacun des thèmes, sections ou zones d'accumulation d'accidents corporels (ZAAC) identifiés au cours de l'étude de diagnostic ;
- d'évaluer l'efficacité de chaque intervention ou opération d'aménagement ;
- de vérifier le fonctionnement de l'organisation, y compris le processus de définition des mesures correctrices.

Tableau 5 : Extrait du guide démarche SURE (Setra, 2006a)

2.1.2 – Démarche CSPR

L'absence de guide méthodologique pour l'évaluation renvoie généralement au CSPR qui intègre une démarche de bilan en trois étapes : à la mise en service, 6 mois après la mise en service et 3 ans après la mise en service (Setra, 2003). Le CSPR décrit d'une part dans des fiches pratiques les mesures d'évaluation selon les principaux types d'aménagements de sécurité à évaluer et d'autre part dans des fiches outils les indicateurs à utiliser pour mener les évaluations avant / après.

Le tableau ci-dessous, extrait du guide CSPR illustre ce propos pour l'aménagement des intersections (fiche aménagement).

Observations immédiates	Bilan à 3 ans
<ul style="list-style-type: none">– Traces de freinage brutal au-delà des lignes de stop ou de cédez le passage– Bris de verre ou de carrosserie– Traces de pneumatiques sur les bordures– Accidents matériels– Accidents corporels éventuels– Capacité du carrefour– Observation de manœuvres non autorisées ou dangereuses– Difficultés d'exploitation qui peuvent être source d'accidents	<ul style="list-style-type: none">– Lecture de la main courante au SDIS (Service Départemental d'Intervention et de Secours)– Capacité du carrefour– Lecture du relevé d'observations <i>in situ</i> (patrouilles)– Analyse des accidents corporels (PV)

Tableau 6 : Extrait de la fiche aménagement des carrefours interurbain / guide CSPR (Setra, 2003)

Les fiches outils associées concernent les principales familles d'indicateurs telles que :

- la définition de la zone d'influence
- les observations terrain
- le recueil et l'analyse des accidents
- les mesures de vitesses et de trafic
- le recueil d'avis et de témoignages
- les études statistiques avant / après

Le cadre méthodologique des démarches SURE et CSPR est particulièrement contraignant et plutôt destiné aux projets d'envergure. Sa transposition aux routes départementales n'a pas été envisagée. De même, les modes opératoires pour élaborer les données nécessaires à la détermination des indicateurs ne sont pas clairement définis et les gestionnaires ont une grande marge de manœuvre pour les mettre en place.

2.1.3 – Audits de sécurité routière

Plus récemment, les audits de sécurité routière ont été définis notamment pour assurer la transposition de la directive européenne 2008/96/CE du 19 novembre 2008 relative à la gestion de la sécurité sur les infrastructures routières (Setra, 2012). Comme pour les autres démarches, celle des audits de sécurité s'adresse aux routes nationales et aux autoroutes concédées et concerne les projets d'infrastructure. Ces audits s'effectuent à trois stades :

- études (ETU)
- préalable à la mise en service (PMS)
- début d'exploitation (DEX)

Si les deux premiers audits font plutôt référence au respect des normes et recommandations techniques, le DEX fait appel à un référentiel d'observations à effectuer sur le terrain par le gestionnaire et qui tient notamment compte du comportement des usagers.

Cependant, les modes opératoires relatifs à ces observations sont laissés à la discrétion des gestionnaires. On note que le cadre méthodologique relativement souple des audits de sécurité routière vient contrebalancer celui plus contraint de la démarche CSPR.

2.3 – Les évaluations des opérations d'exploitation

Les opérations d'exploitation au sens large du terme ont formalisé les principes et les procédures d'évaluation de ces projets. Ainsi, des guides méthodologiques sont en préparation au sein du RST (Certu, 2013 ; Setra, 2013). Si les projets de sécurité routière relèvent plutôt de l'audit que de l'évaluation, ceux d'exploitation s'appuient globalement sur la méthodologie suivante :

- **l'évaluation *a priori* (ou évaluation ex-ante)** : elle doit permettre au maître d'ouvrage d'apprécier l'efficacité et l'impact d'un projet, en référence aux objectifs assignés et aux moyens nécessaires à sa mise en œuvre. Elle constitue une aide à la décision pour 1) choisir une solution parmi plusieurs variantes ou plusieurs projets concurrents ; 2) prendre la décision de lancer l'opération ; 3) mobiliser les moyens nécessaires.
- **l'évaluation *a posteriori* (ou évaluation ex-post)** : elle consiste à apprécier les effets réels d'un projet, après déploiement et appropriation de ce dernier par les bénéficiaires. Elle doit permettre entre autres 1) de qualifier et de quantifier les impacts contribuant à l'atteinte des objectifs assignés initialement au projet et mesurer l'efficacité et l'efficacité du projet ; 2) d'analyser les effets, positifs et négatifs, sur chaque acteur et chaque composante de la société : usagers de la route et gestionnaires d'infrastructure en tout premier lieu, mais aussi collectivités locales, contribuables, riverains, opérateurs de transports, etc..
- **le suivi** : entre les deux phases de l'évaluation, le suivi qui peut durer plusieurs

années, est un enjeu primordial de la démarche. L'existence des données, leur qualité, leur disponibilité sont essentielles pour la réalisation effective de l'évaluation. Pour ce faire, un observatoire ainsi qu'un tableau de bord du projet sont des outils techniques et organisationnels pour assurer ce suivi.

2.4 – Les éléments issus de la littérature

La bibliographie réalisée dans l'action 3 de SERRES (Bakry, 2011) a permis d'analyser plusieurs méthodologies mises en œuvre pour différents domaines d'applications. La figure 5 ci-dessous synthétise ces méthodes en distinguant à la fois les différentes phases du projet ainsi que les domaines d'impact. Pour chacun des domaines d'impact, des indicateurs issus de divers projets sont listés en distinguant ceux qui appartiennent au noyau dur et qui devraient être systématiquement évalués de ceux qui apparaissent comme complémentaires et qui ne sont pas toujours aisément disponibles.

Phase du projet	Projet		Conception	Expérimentation	Mise en œuvre globale	
Phase de développement de système associé	Conception	Programmation	Prototype	Test d'essai	Démo grande échelle	Mise en œuvre globale
Domaine d'impact	Evaluation a priori				Evaluation a posteriori	
Conditions de trafic	Modélisation du trafic			tests de terrain		
Sécurité du trafic	Modélisation du trafic et/ou du comportement des conducteurs Evaluation d'experts			Combinaison de test sur simulateur et sur terrain		Evaluation de sécurité
Environnement	Modélisation des émissions (basé sur simulation)			Tests de laboratoire		Modélisation des émissions (basée sur données)
Socio-économie	Analyse multi-critère			Recueil de données qualité de l'air		
	Etude coût-bénéfice (usage p ex les coûts dommage ou la volonté à payer)					

Figure 5 : Modes d'évaluation des différentes phases d'un projet (source : Cerema / Dter Sud-Ouest)

2.5 – Synthèse des différentes démarches

Les différentes démarches présentées dans les chapitres précédents illustrent la diversité des approches possibles. Ainsi, les cadres méthodologiques principalement destinées aux projets de sécurité routière concernent plutôt les projets d'envergure et adoptent des démarches d'évaluation *a posteriori*. En effet, ce qui relève de l'évaluation *a priori* s'intéresse avant tout au respect des normes et de la réglementation. L'aide à la décision pour le gestionnaire se situe plutôt dans la démarche SURE (actions Comprendre et Agir). Ainsi, ces démarches appartiennent plus aux domaines de l'audit, du contrôle et de l'inspection plutôt que de l'évaluation. Pour ces projets, l'évaluation d'impacts autres que ceux liés à la sécurité routière est généralement peu représentée et les principaux

indicateurs concernent les accidents corporels de la circulation ainsi que le comportement des usagers (en particulier ceux qui sont inadaptés).

Pour les projets d'exploitation, un effort important de formalisation d'un cadre méthodologique est en cours notamment pour donner aux gestionnaires d'une part des éléments d'aide à la décision (évaluation *a priori*) et d'autre part des éléments de bilan (évaluation *a posteriori*). Au-delà du cadre méthodologique, la principale difficulté réside dans la procédure de suivi à mettre en œuvre sur toute la durée de l'opération afin de pouvoir effectivement réaliser l'évaluation *a posteriori*. Selon les projets, si les domaines d'impacts sont pluridisciplinaires, le poids des indicateurs de sécurité routières (accidents corporels) est particulièrement important dans l'économie globale d'un projet.

Quelles que soient les approches privilégiées, les méthodes n'abordent que de manière succincte le choix détaillé des indicateurs, des données et des mesures pour leur élaboration et encore moins les protocoles pour y accéder. C'est une lacune importante de ces documents.

Enfin, l'emploi de ces méthodes reste limité aux projets qui concernent exclusivement le réseau national. Même si les gestionnaires locaux sont susceptibles de s'en inspirer, il n'y a pas d'outil méthodologique spécifique pour les opérations survenant sur ces réseaux et adapté aux capacités d'intervention de ces gestionnaires.

2.6 – Une démarche pragmatique pour l'axe Yvetot – La Mailleraye

L'absence de documents formalisés et dédiés à l'évaluation des aménagements de sécurité sur les routes départementales et l'exigence de proposer une infrastructure routière la plus sûre possible dans la perspective « route plus sûre – route sans accident », ont conduit les partenaires du projet à mettre en œuvre un cadre d'évaluation pragmatique. Ce cadre de travail s'appuie sur les principaux éléments suivants :

- La volonté pour la direction des routes du Département de Seine-Maritime de contribuer à la professionnalisation de l'ensemble des agents impliqués en sécurité routière, depuis les projeteurs jusqu'aux agents de travaux.
- L'opportunité pour le Cerema / DterNC de s'appuyer sur ce projet pour faire un état des pratiques, proposer des outils et des méthodes et les mettre en œuvre sur des cas concrets.

2.6.1 – L'évaluation : une action à formaliser pour le gestionnaire routier

Le département de Seine-Maritime ne dispose pas de procédure formalisée d'évaluation de ses actions de sécurité. Cependant, les aménagements de sécurité réalisés sur le réseau peuvent faire l'objet de démarches de contrôle et de suivi en distinguant les principales catégories suivantes :

- Les aménagements « courants » pour lesquels on dispose d'un corpus technique (par ex : giratoire) font l'objet d'un contrôle lors de la phase étude/projet, d'une visite de sécurité avant mise en service puis d'un suivi d'accidentalité en

distinguant les accidents corporels des accidents matériels avec dégâts au domaine public. Ainsi pour ces aménagements, les actions entreprises relèvent plus de démarches de contrôle que d'une réelle évaluation. On note aussi qu'à l'échelle d'aménagements isolés et pris unitairement, le suivi des accidents ne permet pas de disposer d'un retour rapide sur l'opportunité et l'efficacité de l'aménagement réalisé.

- Les aménagements qualifiés « innovants » nécessitent une attention particulière (par exemple : carrefour chicane) qui se traduit par une phase projet avec contrôle extérieur, éventuellement une mise en œuvre provisoire (à l'aide de mobilier routier modulable et déplaçable) puis d'une mise en œuvre définitive si les phases précédentes ont donné satisfaction. La phase provisoire peut faire l'objet d'un suivi visuel des dégâts sur le mobilier utilisé traduisant une inadaptation de l'aménagement proposé aux conditions d'utilisation. Lorsque l'aménagement est en service, un suivi est organisé autour des principales actions suivantes : mesures de vitesses, relevé des traces, observation visuelle *in situ* du fonctionnement de l'aménagement, avis et retours notamment de l'agence départementale, des élus, des riverains et des forces de l'ordre.
- Les aménagements par itération tant pour les aménagements courants que pour les innovations. Ce principe d'aménagement vise à graduer les interventions en fonction des résultats des impacts attendus. Par exemple un aménagement d'une intersection est évalué sur son impact sur la vitesse pratiquée. Si l'impact n'est pas suffisant, une limitation de vitesse locale est ajoutée et évaluée. Si l'impact n'est toujours pas suffisant, des bandes rugueuses sont ajoutées et évaluées.

L'ensemble de ces pratiques implique différents services du département de Seine-Maritime et mobilise des technicités variables en particuliers selon les agences.

2.6.2 – Les actions de suivi du Cerema / Dter NC sur Yvetot – La Mailleraye

Outre les aspects de diagnostics et de contrôle extérieur, notamment les avis sur projet, l'implication du Cerema / DterNC dans la requalification de l'axe Yvetot – La Mailleraye a été d'assurer un suivi des aménagements proposés par l'équipe projet du Département, d'être garant de la démarche « route plus sûre – route sans accident », de proposer le cas échéant des aménagements innovants et d'assurer une cohérence d'ensemble des actions à l'échelle de l'itinéraire.

Pour ce faire, des outils originaux d'observations et de mesure ont pu être mis en œuvre afin d'en évaluer la pertinence dans un contexte opérationnel en relation avec les objectifs poursuivis par le département. Plusieurs dispositifs issus de récents projets de recherche ont été utilisés, tels que :

- Le système de détection des situations de conflits de cisaillement en intersection, afin d'évaluer les aménagements réalisés avant/après avec un indicateur alternatif et complémentaire aux accidents.
- La mesure de la V_{85} à l'échelle de l'itinéraire obtenue par fusion de mesures

embarquées et bord de voie. Cette mesure de vitesse a été utilisée pour estimer l'impact de la création des carrefours giratoires.

- L'analyse microscopique du trafic afin d'évaluer l'impact des aménagements sur la circulation et les interactions entre véhicules. Cette analyse a notamment été utilisée pour estimer l'offre réelle de dépassement de l'axe en fonction des caractéristiques géométriques et de la composition réelle du trafic.

En complément des mesures effectuées, des visites de sécurité régulières réalisées conjointement avec les services du Département ont permis de vérifier que des détails de mise en œuvre, susceptibles de dégrader la sécurité des usagers, étaient correctement pris en compte et éradiqués (Cf. illustrations en annexes).

Enfin, dans la perspective d'une évaluation multicritères, la prise en compte des autres impacts que ceux exclusivement liés à la sécurité routière a été abordée de manière plus ou moins approfondie en fonction du déroulement du projet et de la capacité à mobiliser des compétences appropriées. Ainsi les impacts liés à l'écoulement du trafic ont été traités pour le cas des giratoires mais ceux relatifs à l'aménagement des sections courantes n'ont pas été analysés, car ces aménagements sont encore au stade de projet. De même, l'acceptabilité des aménagements par les usagers reste un sujet qui n'est généralement pas abordé dans ce type de travaux. Dans le cas précis, ce travail a notamment été différé à la mise en œuvre effective d'actions de communication engageante. Cependant, un premier cadre méthodologique a été mis en place par les collègues de l'ERA33 du Cerema / Dter Ouest afin notamment de se poser des questions pertinentes pour réaliser de telles évaluations. On notera que l'analyse du comportement des usagers, au sens de la compréhension des actions de sécurisation de l'infrastructure routière, reste une pratique marginale pour les études opérationnelles, à l'exception de la réalisation d'observations ou de mesures (vitesses typiquement).

2.7 – Impacts – Indicateurs – Mesures – Protocoles

Les démarches diagnostics effectuées sur l'axe Yvetot – La Mailleraye ont conduit à privilégier deux principales actions sur l'infrastructure routière pour améliorer la sécurité :

- Aménager les intersections qui concentrent la majeure partie des accidents.
- Maîtriser les vitesses pratiquées sur la section courante et au niveau des intersections.

Conjointement, des spécificités liées à la configuration de l'itinéraire doivent être traitées :

- Le franchissement du Pont de Brotonne.
- Une portion de l'itinéraire à 2x2 voies alors que la majorité est bidirectionnelle.
- Des sections mono déversées caractérisées par des accidents particulièrement graves.

Dans la pratique, en fonction des aménagements prévus, la démarche retenue a consisté à :

- Lister les impacts potentiels de l'aménagement.
- Proposer des indicateurs décrivant l'impact.
- Décrire les mesures et données nécessaires au calcul des indicateurs.
- Identifier les protocoles ou les modes opératoires permettant de réaliser les mesures.

L'application de la méthode s'inscrit plutôt dans une démarche « avant/après » par opposition aux démarches d'évaluation « *a priori/a posteriori* ». En effet, dans la mesure ou l'évaluation avant/après n'intègre pas d'évolution de référence (trafics par exemple), on se situe plutôt dans une démarche « sans/avec » système. Cependant l'application n'est pas aussi manichéenne qu'il puisse paraître et les deux approches peuvent quelques fois être utilisées.

3 – Les impacts des aménagements de sécurité

Dans les paragraphes suivants, l'évaluation de l'impact des aménagements réalisés sur l'axe Yvetot – La Mailleraye va être décrite en essayant de faire plutôt ressortir la démarche et les moyens mise en œuvre que les résultats obtenus. Le projet étant phasé dans le temps et par nature évolutif, ces paragraphes ne concernent que les aménagements réellement effectués ainsi que ceux programmés à court terme et qui ne seront pas remis en cause.

3.1 – Les aménagements des intersections

Les aménagements des intersections font appel à trois familles d'interventions :

- La suppression du carrefour avec rabattement du trafic sur un carrefour de plus grande importance et qui a vocation à être aménagé.
- L'aménagement en place qui consiste à améliorer différentes caractéristiques du carrefour sans le transformer fondamentalement.
- La création d'un carrefour giratoire.
- La création d'un aménagement innovant.

L'objectif principal de ces aménagements est de réduire sensiblement l'accidentalité constatée sur les intersections de l'itinéraire. Le choix des aménagements retenus par le Département est fondé sur le niveau de trafic des sécantes notamment pour la suppression des intersections et sur la possibilité matérielle de créer un carrefour giratoire à un coût acceptable (emprise existante). Lorsque les possibilités de créer un giratoire ne sont pas avérées, avec cependant la nécessité de sécuriser le carrefour, une démarche d'innovation a été entreprise. C'est notamment le cas du carrefour chicane (Cf. §3,1,3).

3.1.1 – L'aménagement en place

Dans le cas d'un aménagement en place, on identifie les principaux impacts suivants sur la sécurité estimés avant / après réalisation de l'aménagement :

- Réduction de l'accidentalité avérée du carrefour.
- Sécurisation des différents mouvements et amélioration la lisibilité et la visibilité.
- Éventuellement, maîtrise voire réduction des vitesses pratiquées sur la voie principale.

Les indicateurs et informations associés à ces impacts sont :

- le nombre d'accidents corporels.
- le nombre d'accidents matériels.
- la mesure des triangles de visibilité.
- les vitesses pratiquées sur la voie principale.

En complément des informations énumérées ci-dessus, un recueil des situations de conflits de cisaillement (figure 6) (Subirats et al, 2010a) a été mené sur différents carrefours en préalable à leur aménagement (CETE NC, 2011a). En effet, l'accidentologie corporelle sur les carrefours reste un phénomène marginal et l'analyse des accidents trouve ici ses limites pour un carrefour pris unitairement. Les situations de conflits de cisaillement constituent alors une donnée alternative d'incidentalité qui permet d'estimer un indicateur de risque propre à chaque intersection. Cet indicateur présente l'avantage de pouvoir comparer des carrefours entre eux, des aménagements avant / après, avec un délais sans comparaison avec l'analyse des accidents qui nécessite un suivi sur plusieurs années. Cette méthode, encore expérimentale, demande à être consolidée par de multiples utilisations sur des carrefours diversifiés.

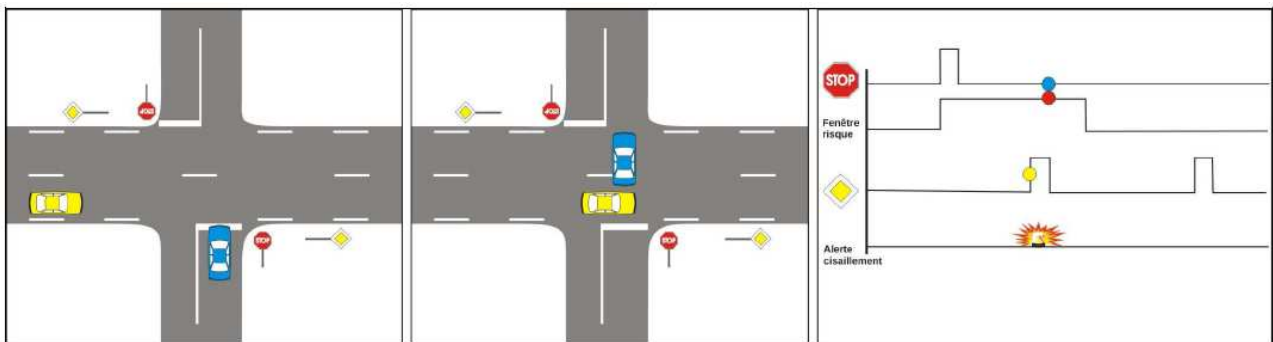


Figure 6: principe de détection d'une situation de cisaillement

L'indice (I_r) est égal au nombre de conflits pondérés (C_i) par la gravité du conflit (G_i), enregistré sur une période donnée et ramenée à une journée (24 heures).

$$I_r = \sum_i G_i(C_i)$$

La pondération des conflits se définit comme suit : la gravité d'un conflit dépend de la vitesse du véhicule et du temps théorique à la collision.

$$G = KV^2 \frac{1}{T}$$

K = coefficient de proportionnalité. La constante K est calculée telle que si l'accident est inévitable alors G soit proche ou supérieur à 1. Avec $K = 3,2 \cdot 10^{-3}$.

V = vitesse de l'utilisateur sur la route prioritaire. G est fonction du carré de la vitesse car la distance de freinage et la gravité d'un choc sont fonction notamment du carré de la vitesse.

T = temps entre les 2 véhicules au point de conflit.

Le tableau ci-dessous illustre les valeurs obtenues avant aménagement pour trois intersections de l'itinéraire. Ces intersections sont détaillées en annexe.

Carrefour	Nbre conflits Ci	Gravité moyenne G	Indice de risque Ir	Accidents Corporels (6 ans)	Vitesse moyenne RP (km/h)	Vitesse moyenne RP (km/h) en cas de conflit
VC8	2,75	0,36	1,00	0	79,5	86,0
RD104	20,00	0,27	4,90	2	67,5	71,0
VC2	20,00	0,35	8,30	2	71,0	84,0

Tableau 7 : Illustration du calcul d'indice de gravité en carrefour

La lecture de ce tableau montre que l'indicateur de risque ainsi défini permet de hiérarchiser les intersections. Appliqué après aménagement, il devrait indiquer si ce qui a été fait varie dans un sens ou dans l'autre. C'est bien de manière relative qu'il convient d'analyser le nombre de conflits observés et l'indice de risque calculé.

Le principe d'aménagement en place retenu par le gestionnaire est d'intervenir de manière itérative sur l'infrastructure. L'idée principale est de graduer les interventions si les résultats escomptés ne sont pas atteints. C'est notamment le cas des intersections pour lesquelles on souhaite faire diminuer les vitesses pratiquées sur la route principale notamment pour réduire les accidents et leur gravité. Pour ce faire, la démarche d'évaluation consiste à réaliser des mesures de vitesse à chaque phase de l'aménagement.

Pour l'intersection RD490 / VC8 :

- le premier aménagement a consisté à bordurer les rives ainsi que les îlots sur les voies secondaires. Les mesures de vitesses effectuées à 30 m du carrefour dans les deux sens de circulation ont constitué la référence.
- Le second aménagement a été la mise en place de bandes rugueuses pour alerter les usagers de la présence imminente de l'intersection et de la nécessité de ralentir. Une seconde campagne de mesure a été réalisée afin d'en évaluer l'impact.

Le tableau ci-dessous décrit les indicateurs de vitesses pratiquées³ avant/après au niveau de cette intersection.

RD490 / VC8 Situation	Vers Yvetot		Vers Rouen	
	V _{moy}	V ₈₅	V _{moy}	V ₈₅
Avant	94	105	89	100
Après	89	102	87	97
Écart	-5	-3	-2	-3

Tableau 8 : Impact des bandes rugueuses sur les vitesses pratiquées

Dans le cas de l'intersection RD913/RD143 (annexe), le même principe a été appliqué (IRIS, 2012):

- Phase 0 : État initial.
- Phase 1 : Bordurage des rives, création de voies d'évitement et de décélération, îlots sur la sécante.
- Phase 2 : Mise en place d'une VLA⁴ à 70 km/h.
- Phase 3 : Mise en place de bandes rugueuses.

Pour ces deux intersections, outre le recensement des éventuels accidents corporels, le suivi mis en place pour l'évaluation consiste en la réalisation de mesures de vitesses. Cependant, il est apparu que ces mesures réalisées soit en régie par les agences départementales, soit par le service dédié du département, soit par un prestataire dans le cadre d'un marché, soit par l'équipe du Cerema / DterNC ne procédaient pas d'un mode opératoire partagé et conduisaient à exprimer des indicateurs sensiblement différents.

D'un point de vue méthodologique, l'établissement d'un mode opératoire commun constitue un enjeu important notamment pour la valorisation et la comparaison de résultats. De même, le recensement des accidents matériels peut être variable selon la sensibilité des agences en charge de ce travail.

Enfin, on notera ici que l'avis des usagers sur la nature de l'aménagement, son fonctionnement et sa pertinence n'est jamais sollicité. En fait, il est souvent considéré qu'une simple mesure de vitesse est représentative du comportement des usagers. Cependant, si une telle mesure permet de répondre à la question : *Comment l'usager adapte-t-il son comportement à l'aménagement de l'infrastructure ?* Elle ne permet pas de répondre à la question : *Pourquoi l'usager adapte-t-il son comportement ?*

3 Les vitesses, exprimées en km/h, sont données pour les véhicules légers « libres ».

4 VLA : Vitesse Limite Autorisée.

3.1.2 – La création de giratoires

Du point de la sécurité, la création de carrefours giratoires constitue un aménagement dont l'impact est reconnu, sans nécessité de l'évaluer dans le détail. S'il respecte les règles de l'art du point de vue de sa conception, s'il est implanté en tenant compte de points de vigilance tels que : lisibilité, visibilité, absence d'obstacles agressifs, c'est le carrefour plan qui présente le meilleur niveau de sécurité (Setra, 1998). Sur l'axe Yvetot – La Mailleraye, l'ensemble du projet prévoit l'implantation de 7 giratoires dont le franchissement successif ne sera pas sans impact, notamment sur l'écoulement du trafic (voir chapitre 4).

Ainsi pour différents cas, le Département a opté pour une phase transitoire d'implantation qui permet de s'assurer d'un bon fonctionnement général du nouvel aménagement. Cette phase permet en outre aux usagers une appropriation progressive du giratoire. Dans ce cas l'évaluation qui en est faite porte principalement sur l'adéquation de la géométrie du giratoire et de son implantation aux conditions de circulation locales. La détection de dégradation du mobilier utilisé ou des traces de freinage en amont peut mettre en évidence des difficultés qui nécessiteront d'ajuster les paramètres dans une configuration définitive.

D'un point de vue méthodologique, il n'existe pas de procédure d'évaluation d'une implantation provisoire d'un tel aménagement.

En phase de fonctionnement nominal, les indicateurs et informations qui sont recueillis pour le suivi sont généralement :

- le nombre d'accidents corporels.
- le nombre d'accidents matériels, qu'il n'est pas toujours possible de recenser de manière exhaustive.

3.1.3 – Un aménagement innovant : le carrefour chicane

Dans le cas du carrefour dit de la Quenellerie (annexe), la volonté de sécuriser l'intersection par une réduction des vitesses pratiquées sur la voie principale et l'impossibilité de créer un giratoire pour des raisons d'emprises, ont conduit le gestionnaire à proposer un aménagement innovant : le carrefour chicane (figure 7). Ce type de carrefour a déjà été mis en œuvre avec succès par le Département qui souhaite ici le reproduire en l'adaptant aux conditions locales. Le principe d'aménagement réside dans la création d'îlots sur la voie principale (et la voie secondaire) avec introduction d'un déport latéral sur la voie principale (effet chicane) pour faire ralentir les usagers. Un soin particulier doit être apporté à la visibilité et la lisibilité de l'aménagement pour éviter un effet de surprise.

D'un point de vue sécurité, l'aménagement étant relativement nouveau, l'évaluation porte sur les principaux éléments suivants :

- Réduire l'accidentalité avérée du carrefour.
- Sécuriser les différents mouvements et améliorer la lisibilité et la visibilité.
- Réduire les vitesses pratiquées sur la voie principale afin de réduire la gravité en cas d'accident.

Les indicateurs et informations associés à ces impacts sont :

- le nombre d'accidents corporels.
- le nombre d'accidents matériels, qu'il n'est pas toujours possible de recenser de manière exhaustive.
- la mesure des triangles de visibilité.
- les vitesses pratiquées sur la voie principale.
- les conflits de cisaillement.

Pour cet aménagement, le principal intérêt de l'évaluation réside dans l'impact de la géométrie sur les vitesses pratiquées afin d'aboutir à une réelle réduction (figure 7). Pour ce faire, des campagnes de mesures de vitesse avant / après ont été réalisées en mettant en œuvre des analyseurs microscopiques de trafic qui permettent de recueillir les informations à chaque passage de véhicule. De plus la zone d'influence du carrefour chicane a été estimée à partir de mesures de vitesses réalisées à l'aide d'un véhicule instrumenté en utilisant la technique du floating car.

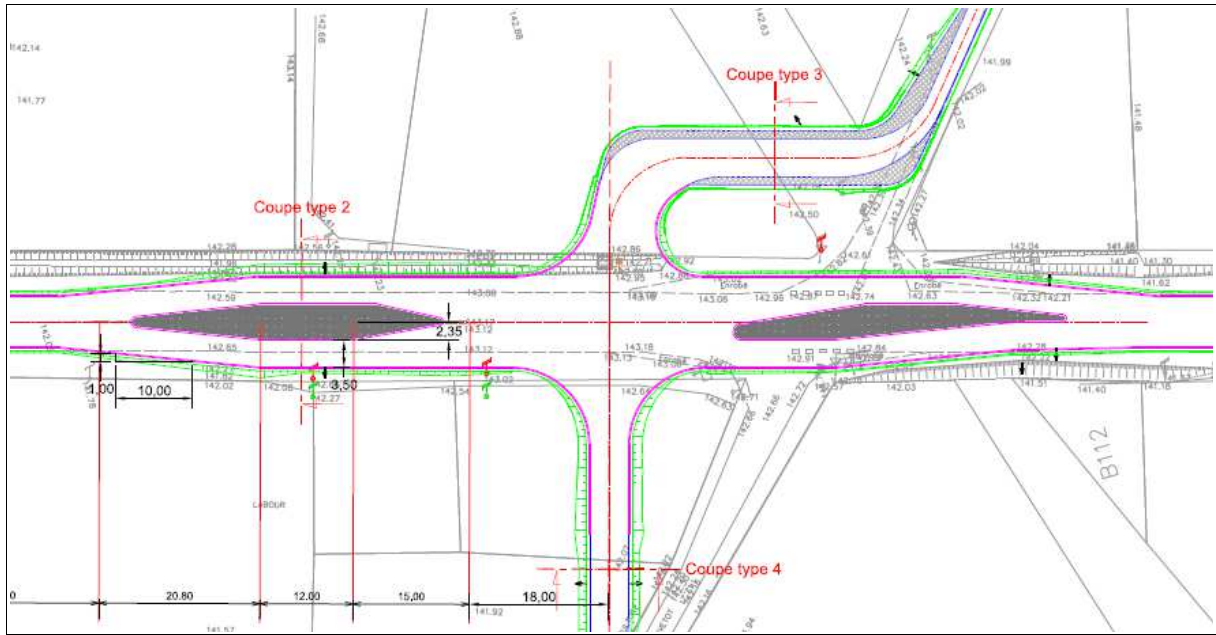


Figure 7 : Schéma de principe du carrefour chicane (source CG76)

D'un point de vue méthodologique, les mesures de vitesse bord de voie ont été réalisées avant/après durant une journée neutre (semaine). Les matériels de mesure ont été implantés 30 m avant le point de conflit de l'intersection. Les mesures ont été recueillies véhicule par véhicule permettant ainsi de pouvoir identifier plusieurs types de population (VL, PL, VL libres, PL libres). A partir de la distribution de ces vitesses, différents indicateurs ont été calculés, notamment V_{moy} , V_{85} et l'écart-type.

Le tableau ci-dessous synthétise les principaux résultats et montre une diminution des vitesses de plus de 20 km/h correspondant à l'impact attendu.

Vitesse Populations (km/h)	Vers Yvetot		Vers Rouen	
	Avant	Après	Avant	Après
V_{moy} Tous véh	81	60	82	60
V_{85} Tous véh	91	69	91	69
V_{moy} VL libres	84	62	86	63
V_{85} VL libres	93	71	95	75

Tableau 9 : Impact du carrefour chicane sur les vitesses pratiquées

Afin de vérifier la zone d'influence de l'aménagement et sa lisibilité dans l'environnement, les mesures de vitesses embarquées ont été réalisées en suivant des échantillons respectifs de 10 VL et de 10 PL. L'objectif est notamment d'analyser que la phase de décélération nécessaire pour franchir l'aménagement ne conduit pas à des valeurs trop élevées (typiquement inférieures à 3 m/s²). Le graphe de la figure 8 ci-dessous illustre pour l'un des sens de circulation le résultat obtenu.

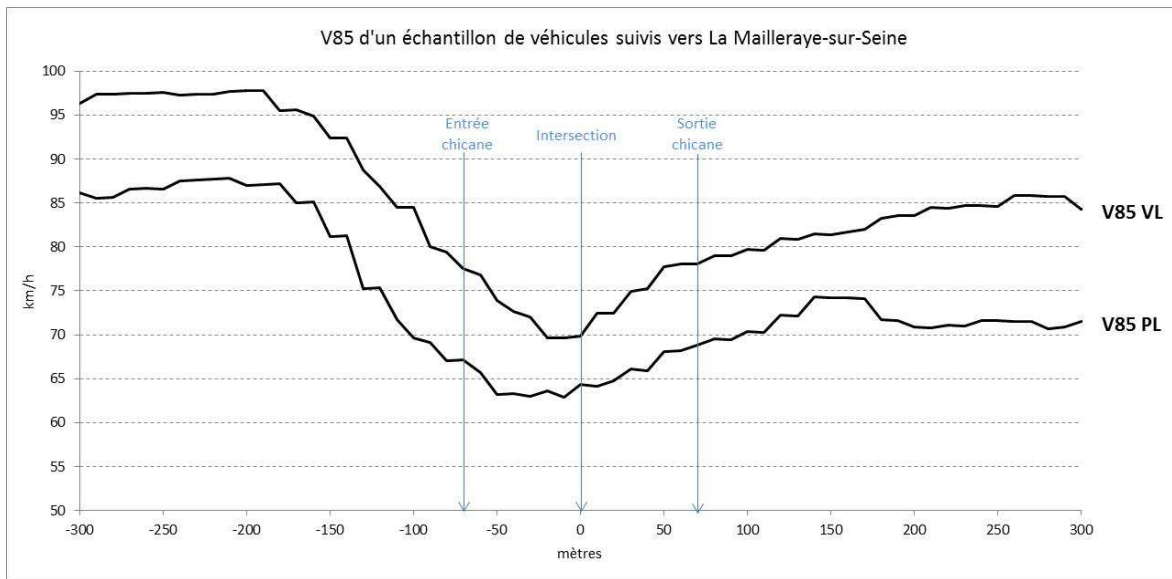


Figure 8 : Zone d'influence du carrefour chicane

On notera qu'il n'a pas été mis en œuvre une procédure formalisée visant à obtenir l'avis des usagers sur ce nouveau type d'aménagement. Cependant, de manière informelle, des informations sont recueillies par le gestionnaire de la part des élus, des forces de l'ordre et des riverains. Il s'agit généralement de messages d'alerte sur les défauts de fonctionnement de l'aménagement.

Enfin, en phase de fonctionnement nominal, les indicateurs et informations retenus pour le suivi sont :

- le nombre d'accidents corporels.
- le nombre d'accidents matériels, qu'il n'est pas toujours possible de recenser de manière exhaustive.

3.1.4 – Synthèse sur l'évaluation des aménagements d'intersections

Les outils et méthodes utilisés pour évaluer les impacts des aménagements d'intersections en termes de sécurité reposent principalement sur les approches suivantes :

- Le suivi de l'accidentologie corporelle obtenue soit à partir du fichier BAAC soit à partir de la lecture des procès-verbaux d'accident.
- Le suivi de l'accidentologie matérielle selon des modes de détection variables et qui permettent de recenser tout ou partie des accidents survenus. Le dégât au domaine public est l'un des principaux critères de détection.

Cependant, l'analyse des accidents pour évaluer la pertinence d'un aménagement s'appuie sur une durée généralement incompatible avec la nécessité d'un retour d'expérience rapide pour le gestionnaire.

Une alternative complémentaire à l'analyse des accidents est celle des incidents. Le recueil expérimental des situations de conflits de cisaillement a permis d'estimer un indicateur de risque qui peut être utilisé de manière relative soit pour comparer des intersections entre elles et ainsi les hiérarchiser, soit pour effectuer des comparaisons avant / après aménagement afin de disposer d'un indicateur qualitatif.

L'impact sur le comportement des usagers est généralement limité à la réalisation de mesures de vitesses pour lesquelles on déplore un défaut :

- de définition tant pour la caractérisation des indicateurs à utiliser (V_{moy} , V_{85} , proportion de véhicules qui dépassent un seuil de vitesse)
- de précision sur les populations pour lesquelles ils sont calculés (tous véhicules, VL, PL, véhicules libres)
- de modes opératoires pour obtenir les mesures (mesures agrégées, mesures microscopiques)
- de traçabilité des interventions afin de procéder à des comparaisons et à la capitalisation des résultats.

De plus on note une multiplicité d'intervenants pour la réalisation effective des mesures, sans que les protocoles à mettre en œuvre soient clairement définis. Réalisées ponctuellement, ces mesures ne permettent pas d'estimer les zones d'influence des aménagements réalisés. Les mesures embarquées, nécessaires pour cela, ne sont pas couramment mises en œuvre bien que les dispositifs nécessaires ont tendance à se démocratiser et permettraient de s'affranchir de véhicules lourdement instrumentés.

Le recueil de l'avis des usagers dans la réalisation d'aménagements de sécurité n'est généralement pas pris en compte. C'est notamment le cas des aménagements qui nous concernent ici. Ainsi la contribution des sciences humaines qui permettrait d'éclairer le rôle des aménageurs sur l'acceptabilité et la compréhension des solutions mises en œuvre n'est pratiquement jamais sollicitée. Ce point constitue une lacune de l'évaluation

multicritère qui devrait replacer l'utilisateur au centre des démarches. Par contre, sans formalisme particulier, l'avis d'autres intervenants tels que les élus, les forces de l'ordre et les riverains peuvent être recueillis. Ce sont généralement des messages d'alerte sur des défauts de fonctionnement de l'aménagement.

3.2 – Le cas particulier du Pont de Brotonne

Le profil en travers du Pont de Brotonne a été modifié afin notamment de prendre en compte à la fois les usagers lents, tels que les engins agricoles, ainsi que les modes doux, en particulier les vélos.

L'idée globale de l'aménagement est de redistribuer le profil en travers existant (2x2 voies) à une seule voie de circulation, couplée à une voie réservée aux engins agricoles et aux vélos. L9 figure 9 ci-dessous illustre le nouveau profil.

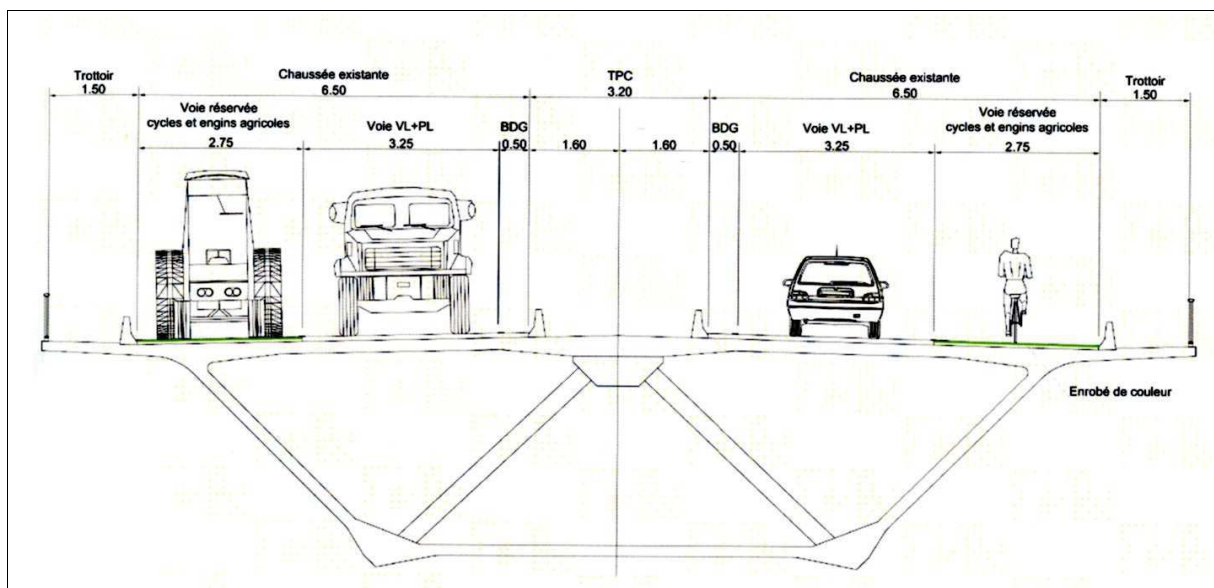


Figure 9 : Nouveau profil en travers du Pont de Brotonne (source : département de Seine-Maritime)

L'impact attendu consiste en la bonne utilisation par les différents usagers respectifs du nouveau profil. L'évaluation (CETE NC, 2010c) a été effectuée après mise en œuvre afin notamment de s'assurer de la bonne compréhension de son fonctionnement par les usagers. Pour ce faire, les images issues des caméras de surveillance de l'ouvrage ont été utilisées. L'exploitation des images a montré :

- Un bon fonctionnement global du nouveau profil, y compris les extrémités de l'ouvrage. Les usagers dédiés (engins agricoles et vélos) l'utilisent. La voie dédiée reste peu utilisée par les autres usagers (VL, PL, motos).
- Peu de manœuvres interdites, exceptés des cas de dépassement par la droite essentiellement imputables aux motos.

D'un point de vue méthodologique, ce sont une fois de plus des méthodes d'observation externes du comportement des usagers qui ont été privilégiées par

rapport à la compréhension réelle du fonctionnement de ce nouveau aménagement. Un retour direct de la part des usagers devrait permettre de s'assurer de la bonne compréhension du fonctionnement de l'aménagement et d'identifier d'éventuelles difficultés afin d'améliorer le dispositif le cas échéant. Enfin, il convient de signaler que l'utilisation de telles images reste soumise à la loi⁵ vidéoprotection⁶ ce qui est le cas de cet ouvrage.

3.3 – Le cas particulier de la section à 2x2 voies (en projet)

Outre la présence du Pont de Brotonne, l'axe Yvetot – La Mailleraye présente la particularité d'une courte section atypique à 2x2 voies alors que la majorité de l'itinéraire est bidirectionnel. Cette section, si elle offre l'avantage de constituer une zone de dépassement privilégiée, conduit à des vitesses pratiquées particulièrement élevées et qui perdurent en aval de cette zone. Cela se traduit par une accidentalité importante sur la partie de l'itinéraire située entre la fin de la zone à 2x2 voies et le Pont de Brotonne.

En conséquence, il est envisagé de traiter cette section avec les principaux objectifs suivants :

- Apaiser les vitesses pratiquées, notamment dans le sens Yvetot vers Rouen.
- Réduire le caractère « autoroutier » de cette zone.
- Conserver la capacité de dépassement du sens Rouen vers Yvetot.

Pour ce faire, il est prévu de transformer le profil actuel à 2x2 voies en section 2+1 voies. Le principe général de l'aménagement est le suivant :

- Dans le sens « montée », transformation des 2 voies de circulation en 1 voie de circulation + 1 voie spécialisée véhicules lents (VSVL).
- Dans le sens « descente », suppression de l'une de voie, maintien d'une seule voie de circulation au profit des 2 bandes dérasées à droite et à gauche.

Les impacts attendus de cet aménagement et les indicateurs associés sont :

- Une réduction de l'accidentalité sur cette zone et ses abords : nombre d'accidents corporels (et matériels), gravité des accidents.
- Une diminution des vitesses pratiquées dans les deux sens de circulation : indicateurs de vitesses pratiquées (VL, PL, véhicules libres) dans les 2 sens de circulation dans la zone et aux abords.
- Un bon fonctionnement de la VSVL : observation de l'utilisation de la VSVL par les véhicules lents et les autres usagers.
- Un maintien des conditions d'écoulement de trafic : analyse microscopique du

5 Loi n°95-73 du 21 janvier 1995 et décret 96-926.

6 Sous réserve des dispositions de la loi n°2011-267 du 14 mars 2011 d'orientation et de programmation pour la performance de la sécurité intérieure, le mot « vidéosurveillance » est remplacé par le mot « vidéoprotection ».

trafic en amont en aval de la zone, notamment les interactions de véhicules entre-eux (TIV, vitesse relative, circulation en peloton, ...).

Les données nécessaires à relever pour l'évaluation de ces impacts sont de différentes natures, parmi lesquelles on peut citer : les accidents corporels et matériels, les images vidéo et la mesure microscopique du trafic. Le protocole à mettre en œuvre peut être du type *avant / après* ou simplement *après*. A noter qu'en l'absence de procédure explicite, il n'est pas envisagé de solliciter l'avis direct des usagers.

3.4 – La prévention des sorties de chaussée (en projet)

L'itinéraire Yvetot – La Mailleraye présente la particularité d'avoir de part et d'autre du Pont de Brotonne des portions de chaussée mono-déversée (par opposition à une chaussée en toit). Ces portions ont une accidentalité élevée avec une gravité importante notamment en raison de choc frontaux. Le récent projet ANR RoadSense a conduit à développer un dispositif de prévention de sortie de chaussée par des lignes d'alerte audio-tactiles (LAA) (Anelli et Violette, 2014).

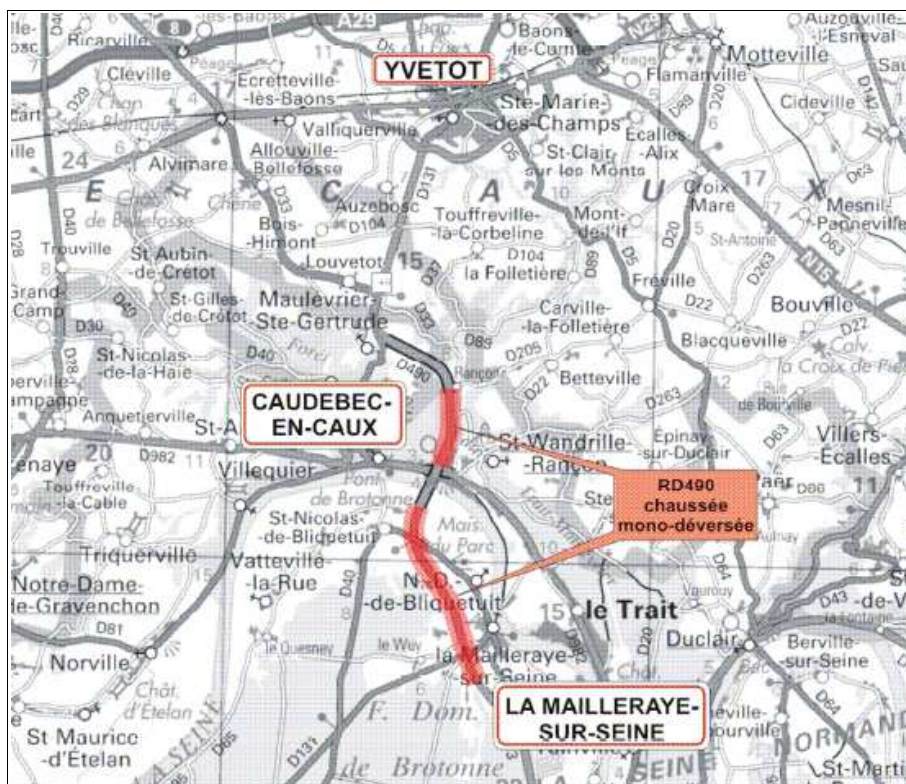


Figure 10 : Localisation des portions de chaussées mono déversées

Une évaluation de l'impact de ce type de profil a été réalisée avant aménagement en abordant l'accidentalité et les comportements des usagers (CETE NC, 2010d). Les accidents ont été analysés à partir des procès verbaux et les comportements ont été décrits par des observations de trajectoires, notamment la position latérale sur la voie. En complément, l'utilisation d'un véhicule instrumenté a permis d'évaluer les actions sur le

volant pour assurer le maintien du véhicule sur la voie de circulation. Enfin, l'utilisation du logiciel PC Crash a permis, à partir du profil de la route (dévers, largeurs de voie), de simuler les trajectoires suite à un lâcher de volant. Ces évaluations ont montré :

- Pour 4 accidents sur 5, le dévers était incliné vers l'axe de la chaussée.
- Le dévers influence la trajectoire des véhicules.
- Un dévers orienté vers l'axe de la chaussée rapproche les usagers de l'axe médian.
- Un lâcher de volant avec un dévers vers l'axe de la chaussée conduit à un déport rapide vers la voie opposée.
- Le paysage influence la position latérale et la vitesse des véhicules.

Afin de réduire les risques de sortie de chaussée tant par la droite que par l'axe médian, il est envisagé de s'appuyer sur les résultats du projet RoadSense en proposant les aménagements suivants :

- Mise en œuvre de lignes d'alerte audio-tactiles (LAA) en rive et en axe.
- Réduction du profil en travers des voies de circulation au profit d'une bande multifonctionnelle ou d'un accotement revêtu (figure 11 ci-dessous).



Figure 11 : Projet RoadSense : Réduction de la largeur de voie et LAA en rive (site RD6015)

L'évaluation envisagée pour cet aménagement s'appuie sur les impacts attendus suivants :

- Une réduction des accidents par sortie de chaussée : nombre d'accidents corporels (et matériels) et typologie, gravité des accidents.

- Une réduction des vitesses pratiquées : indicateurs de vitesses pratiquées (VL, PL, véhicules libres).
- Un maintien des conditions d'écoulement du trafic : analyse microscopique du trafic.
- Un recentrage des trajectoires dans la voie de circulation : observation vidéo des trajectoires.
- Une bonne compréhension des LAA par les usagers : passation de questionnaires auprès des usagers.
- Une absence de manœuvre inappropriée en cas de circulation sur les LAA : observation vidéo des intrusions en dehors de la voie de circulation.

D'un point de vue méthodologique, les observations seront principalement réalisées *après* aménagement, afin notamment de produire de la connaissance pour préciser le domaine d'emploi des LAA. Dans l'approche «route plus sûre / route sans accident», l'évaluation de cet aménagement présente un fort enjeu en fonction de son efficacité et de son efficience. En effet, si tel n'était pas le cas, des solutions plus importantes devraient être envisagées : le profilage en toit des sections mono-déversées ou bien la transformation d'une route bidirectionnelle en route 1+1 par ajout d'un dispositif de retenue en axe.

3.5 – Les dépassements

L'évaluation de la demande et de l'offre de dépassement a été estimée *a priori* sur l'itinéraire en distinguant le linéaire total et le linéaire bidirectionnel. Seuls ont été pris en compte les giratoires qui étaient prévus dès l'origine du projet. L'offre de dépassement a été définie avec le marquage au sol et la demande avec les mesures microscopiques de trafics réalisées dans les deux sens de circulation pour 7 localisations. A partir de ces informations, la capacité réelle de dépassement de l'itinéraire a été estimée avant/après. Le tableau ci-dessous donne les résultats suivants (CETE NC, 2010e).

% de linéaire de dépassement	Avant	Après
Linéaire de dépassement autorisé	41	40
Linéaire de dépassement envisageable ⁷	30	30
Offre ⁸ de dépassement en faible trafic	22	22
Offre de dépassement en fort trafic	15	15

Tableau 9 : Offre de dépassement sur l'itinéraire (sections bidirectionnelles)

On note que la création des giratoires ne modifie pas sensiblement l'offre de dépassement de l'itinéraire qui peut être jugée comme acceptable (>25 % selon le guide Setra, Aménagement des Routes Principales (Setra, 1994)). Ce constat a permis de ne pas envisager de créneau en sortie de giratoire, qui aurait eu pour effet de favoriser la reprise

7 Correspond au linéaire de dépassement autorisé mais réduit pour chaque créneau de 180 m.

8 L'offre est estimée à partir de la gêne occasionnée par les véhicules lents dans le sens de circulation ainsi que par les créneaux dynamiques offerts par les véhicules croiseurs.

des vitesses. Par contre, l'analyse microscopique du trafic a permis de moduler l'offre de dépassement en fonction des conditions réelles d'écoulement du trafic sur cet itinéraire. On note ainsi une réduction sensible des possibilités réelles de dépasser pour les usagers. Cependant, il n'a pas été envisagé dans l'évaluation de solliciter l'avis des usagers sur ce sujet sensible, notamment en raison de la présence d'engins agricoles.

3.6 – Les vitesses pratiquées

Les vitesses pratiquées constituent un enjeu essentiel de la sécurisation de l'itinéraire. En effet, elles interviennent directement ou indirectement dans l'accidentalité avérée sur l'itinéraire et contribuent à la gravité des accidents survenant en intersections. La connaissance précise des vitesses, associée à une image du comportement des usagers, nécessite de mettre en œuvre des outils et méthodes qui permettent de :

- Préciser les vitesses pratiquées par les différentes catégories d'usagers.
- Identifier les zones de l'itinéraire où les vitesses pratiquées sont inadaptées.
- Disposer dans la mesure du possible d'un profil de vitesse sur l'ensemble de l'itinéraire.
- Évaluer l'impact des différents aménagements qui seront déployés tout au long du projet.
- Communiquer auprès des différents acteurs du projet.

La connaissance des vitesses pratiquées s'est appuyée sur deux principales méthodes de mesures :

- L'analyse microscopique du trafic en bord de voie pour déterminer des indicateurs locaux.
- La fusion de mesures embarquées et de mesures bord de voie pour établir un profil de vitesse sur l'ensemble de l'itinéraire.

3.6.1 – L'analyse microscopique de mesures bord de voie

L'analyse microscopique des mesures bord de voie a été effectuée dans le double but, d'une part de fournir des indicateurs localisés des vitesses pratiquées et de la composition du trafic et d'autre part de permettre ultérieurement l'élaboration d'un profil de vitesse sur l'itinéraire. Ainsi, le protocole associé pour la réalisation des mesures s'est fondé sur les principaux éléments suivants :

- L'utilisation d'analyseurs microscopiques permettant le recueil de données véhicule par véhicule.
- Une durée de mesure permettant de disposer d'au moins une semaine complète.
- Une localisation des points de mesures dans des zones éloignées d'éléments susceptibles d'influencer les vitesses et qui ne sont pas situées dans les zones d'influence des futurs aménagements.

- Des matériels qui ne sont pas détectables par les usagers et qui n'affectent par leur comportement.

Ainsi pour décrire l'ensemble de l'itinéraire, ce sont huit points de mesure qui ont été définis (CETE NC, 2010e). La figure 12 précise leur implantation le long de l'itinéraire.

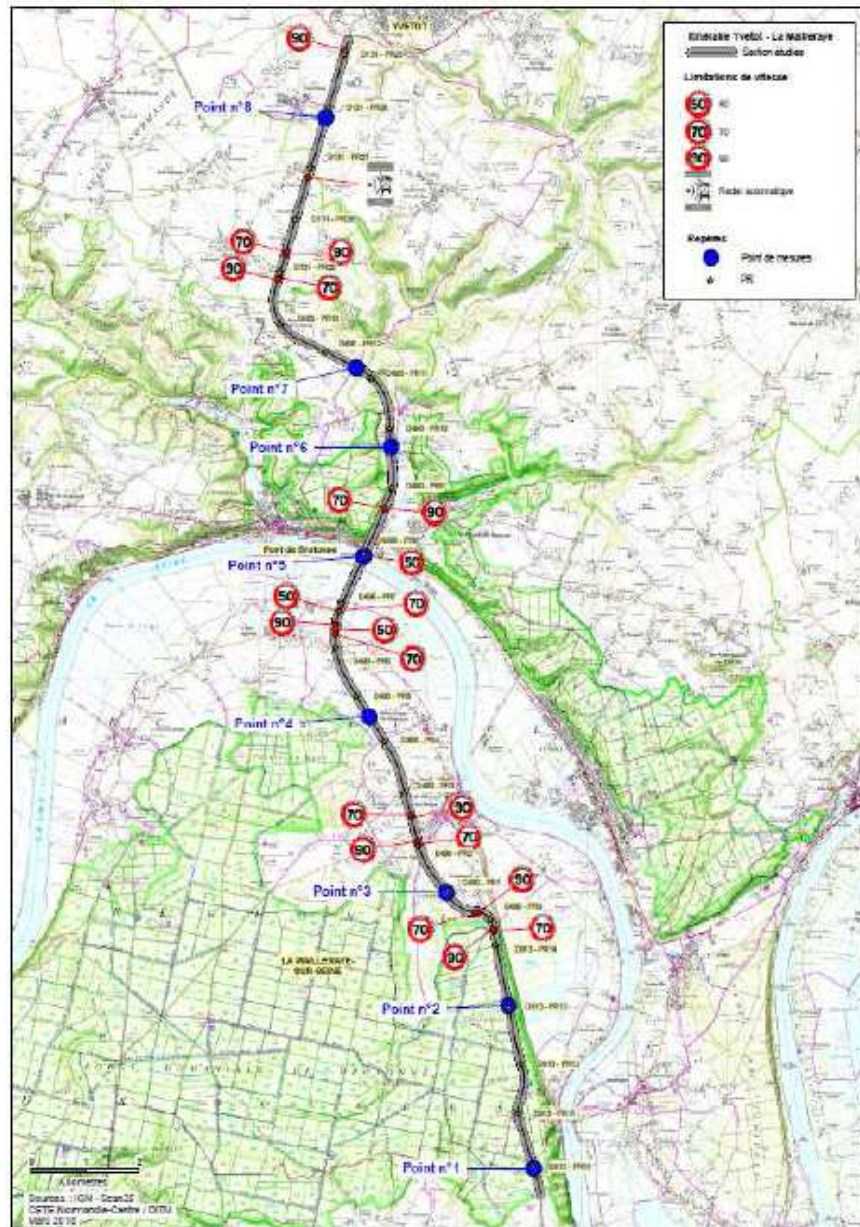


Figure 12 : Localisation des mesures de vitesse sur l'axe Yvetot – La Mailleraye

Les mesures réalisées ont permis de calculer les indicateurs listés ci-après :

- V_{50} , V_{85} , V_{moy} , écart type.
- Proportion d'usagers dépassant certains seuils : VLA, VLA+10 km/h.

Ces indicateurs ont été définis pour différentes populations ; VL, PL et véhicules libres et pour plusieurs modalités de déplacements ; semaine/week-end, jour/nuit, heure creuse/heure de pointe.

Les principaux enseignements de ces mesures sont des vitesses particulièrement élevées caractérisant un itinéraire rapide dont la configuration incite à la vitesse ; pas de traversée d'agglomération et un tracé en plan peu contraignant. De même, une forte population d'habitues contribue aux vitesses élevées qui expliquent le niveau anormalement important de la gravité des accidents sur cet itinéraire par rapport à la moyenne sur des routes équivalentes.

3.6.2 – L'estimation d'un profil V_{85} sur itinéraire

L'estimation du profil V_{85} sur l'itinéraire est une méthode issue de récents travaux de recherche dont l'objectif est d'estimer le profil de vitesse par une fusion de mesures locales issues de dispositifs bord de voie et de mesures spatio-temporelles issues d'un véhicule instrumenté (Subirats et al, 2010b). La figure 13 ci-dessous illustre le principe général de la méthode.

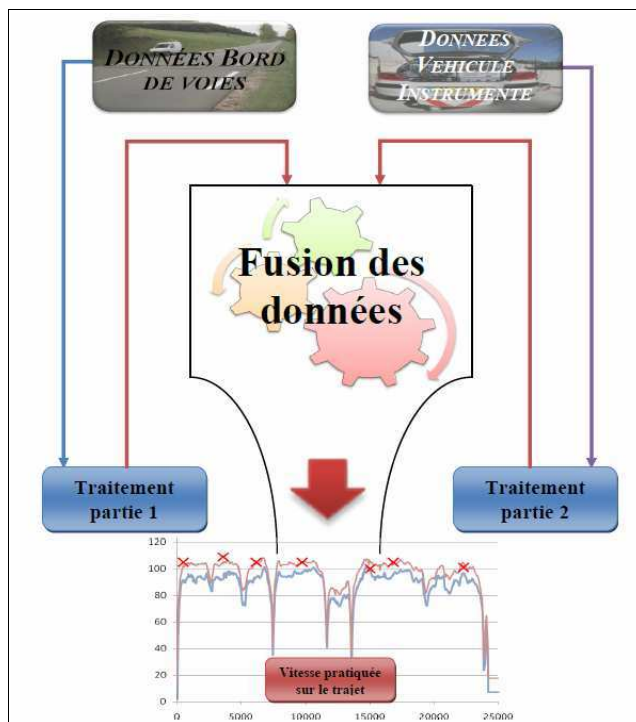


Figure 13 : Principe de fusion des mesures de vitesse pour un profil V_{85} sur itinéraire

L'application de la méthode a montré qu'il était possible de disposer d'un profil de vitesse V_{85} sur l'ensemble de l'itinéraire pour les deux sens de circulation à partir :

- De 4 profils de vitesse issus de passages avec un véhicule qui délivre une mesure géolocalisée à 10hz.
- De 3 points de mesures locaux afin de calculer un V_{85} des VL libres.

Ainsi, un profil V_{85} de référence avant la réalisation des travaux a été déterminé.

3.6.3 – L'application du profil V_{85} à l'impact de l'aménagement des intersections

Le profil de vitesse V_{85} de référence a été utilisé pour effectuer une évaluation *a priori* de l'impact de l'aménagement des intersections prévus dans le projet soit leur suppression soit la création des giratoires (CETE NC, 2011b). A partir du profil V_{85} de référence, une projection des aménagements, notamment les giratoires, a été effectuée en calant un profil de vitesse adapté sur la zone d'influence (CETE NC, 1992). On dispose ainsi de profils de vitesse *avant / après*. La connaissance de la vitesse en tout point de l'itinéraire associée à des niveaux de risques liés à ce facteur pour certaines familles d'accidents permettent son utilisation pour l'évaluation *a priori* des aménagements notamment dans la perspective « Route plus sûre / Route sans accident ». Les principales familles d'accidents concernées sur l'axe sont :

- Les accidents en intersection : chocs latéraux.
- Les accidents de sortie de voie : chocs contre obstacles et chocs frontaux.
- Les accidents de VL contre usagers vulnérables (piéton ou vélo).

Pour ces trois familles nous avons recherché des seuils de gravité qui sont résumés dans le tableau ci-dessous afin d'identifier les zones suivantes :

- *Les zones dangereuses* sont des zones où les conséquences d'une erreur humaine risquent fortement de conduire à un accident grave.
- *Les zones sensibles* sont des zones où les chocs peuvent être graves, si les usagers n'effectuent pas de manœuvre d'urgence.
- *Les zones sûres* sont des sections de route où les erreurs humaines n'auront pas de conséquence grave dans la plupart des cas.

Vitesses en km/h	Seuil de gravité de la vitesse de choc	Seuil de gravité de la vitesse de circulation	Zone sûre	Zone sensible	Zone dangereuse
VL-piéton / VL-vélo	30	50	<30	30<<50	>50
VL choc latéral	50	70	<50	50<<70	>70
VL choc frontal	70	90	<70	70<<90	>90

Tableau 10 : Relation vitesse / gravité pour l'identification de zones à risque

Par exemple, une traversée piétonne ayant lieu dans une section circulée à plus de 50 km/h sera déterminée comme dangereuse, car le choc contre un piéton risque de se produire au-dessus de 30 km/h, vitesse au-dessus de laquelle les conséquences corporelles risquent d'être graves. De même, une intersection sera située dans une zone dangereuse si la vitesse de circulation des usagers de la route principale est supérieure à 70 km/h, car les chocs latéraux sont graves au-dessus de 50 km/h.

L'application de ces seuils à l'ensemble de l'itinéraire, en considérant le profil de vitesse de référence et celui après réalisation des aménagements projetés, donne des enseignements intéressants notamment vis-à-vis de l'objectif poursuivi. Les graphes pages suivantes illustrent le cas d'application pour les chocs latéraux.

L'intérêt de cette évaluation *a priori* vis-à-vis des vitesses réellement pratiquées sur l'axe est de conforter une partie des choix du gestionnaire quant aux aménagements projetés, notamment les suppressions d'intersections et la création des carrefours giratoires. Elle alerte aussi sur ce qu'il convient d'envisager en complément dans la perspective « route plus sûre / route sans accident ». Ainsi, des recommandations de contre mesures ont pu être formulées pour prendre en compte les trois principales familles d'accidents. Elles sont rappelées dans la figure 14 page suivante.

D'un point de vue méthodologique, il est envisagé de mettre en œuvre un suivi des vitesses pratiquées afin d'évaluer *a posteriori* l'impact des aménagements réalisés. Pour ce faire, le profil V_{85} à l'échelle de l'itinéraire constitue une approche originale et riche d'enseignements. On notera en outre qu'au-delà de la sécurisation des intersections, il y a un fort enjeu à l'apaisement des vitesses sur la section courante de l'axe, notamment par l'aménagement de l'infrastructure et par une action volontariste sur le comportement des usagers. Ces points représentent une difficulté récurrente des projets de sécurisation.

Chocs contre obstacle et chocs frontaux :

Diminuer les vitesses :

- *Implanter des radars pédagogiques.*
- *Implanter un radar « vitesse moyenne » à vocation pédagogique.*
- *Réaliser des aires de contrôle de la vitesse.*
- *Réduire l'espace visuel par un aménagement paysager sur la 2x2 voies.*

Limiter la gravité des sorties de chaussée :

- *Traiter les obstacles latéraux en les supprimant, en les déplaçant ou en les isolant.*
- *Fragiliser les supports d'équipements de la route.*

Alerter les usagers sortant de leur voie :

- *Séparer les flux par un dispositif de retenue.*
- *Implanter une alerte sonore en axe et en rive.*
- *Implanter un terre-plein central en peinture.*
- *Reprendre le dévers de la chaussée.*

Chocs en intersection :

Sécuriser les mouvements en intersection :

- *Renforcer la signalisation.*
- *Implanter des radars pédagogiques au droit de l'intersection.*
- *Interdire les mouvements dangereux sur les aires de repos.*
- *Implanter une signalisation dynamique expérimentale avertissant de la présence d'un usager sur la sécante.*

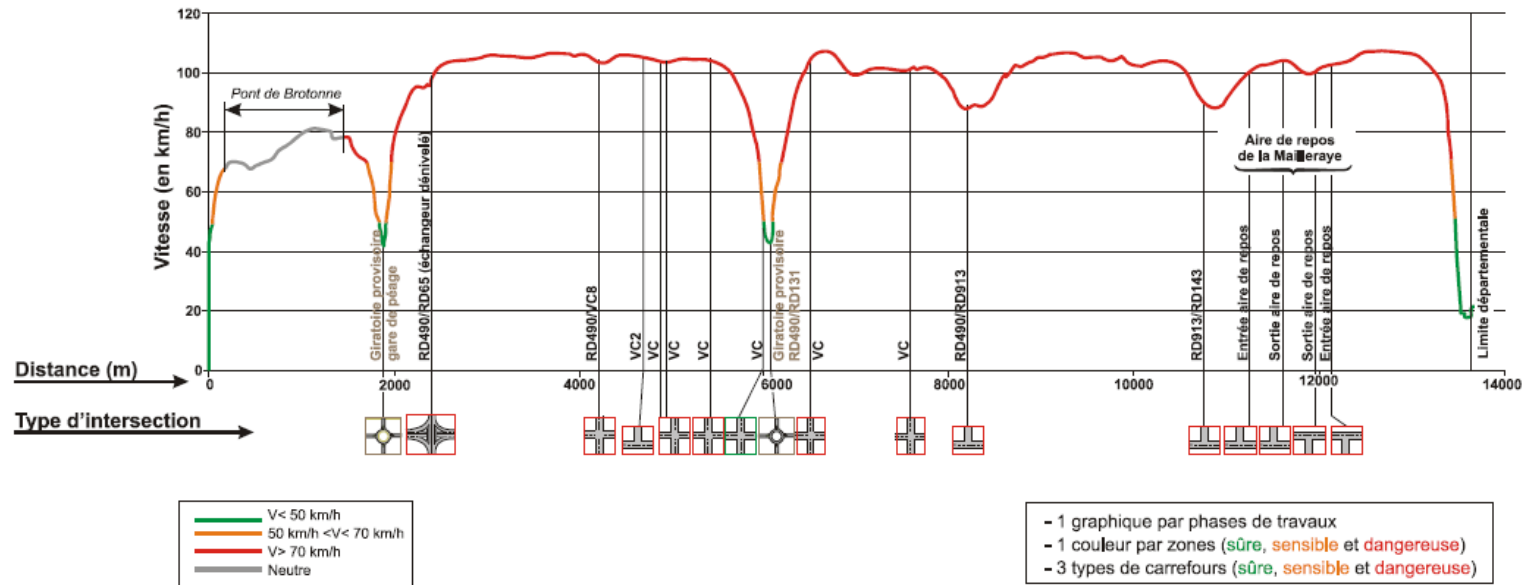
Chocs contre usagers vulnérables :

Sécuriser la circulation des usagers vulnérables :

- *Réaliser une bande multifonctionnelle dans la forêt de Brotonne.*

Figure 14 : Propositions de contre-mesures issues de l'analyse des vitesses pratiquées

Chocs en intersection - Sens Pont de Brotonne - La Mailleraye Avant travaux



Chocs en intersection - Sens Pont de Brotonne - La Mailleraye Après travaux

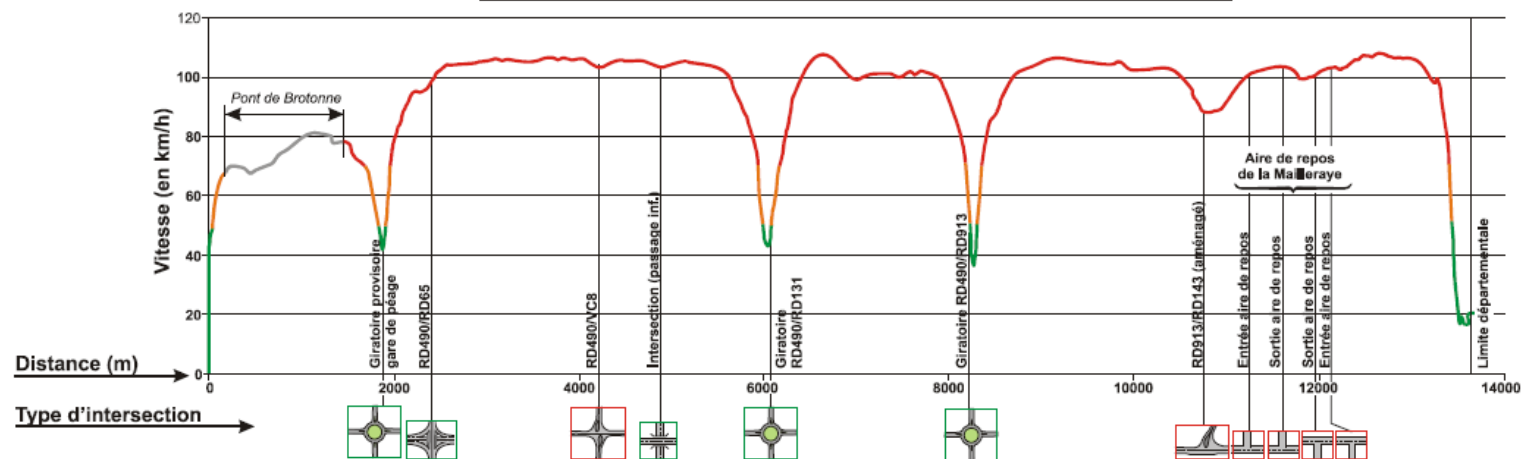
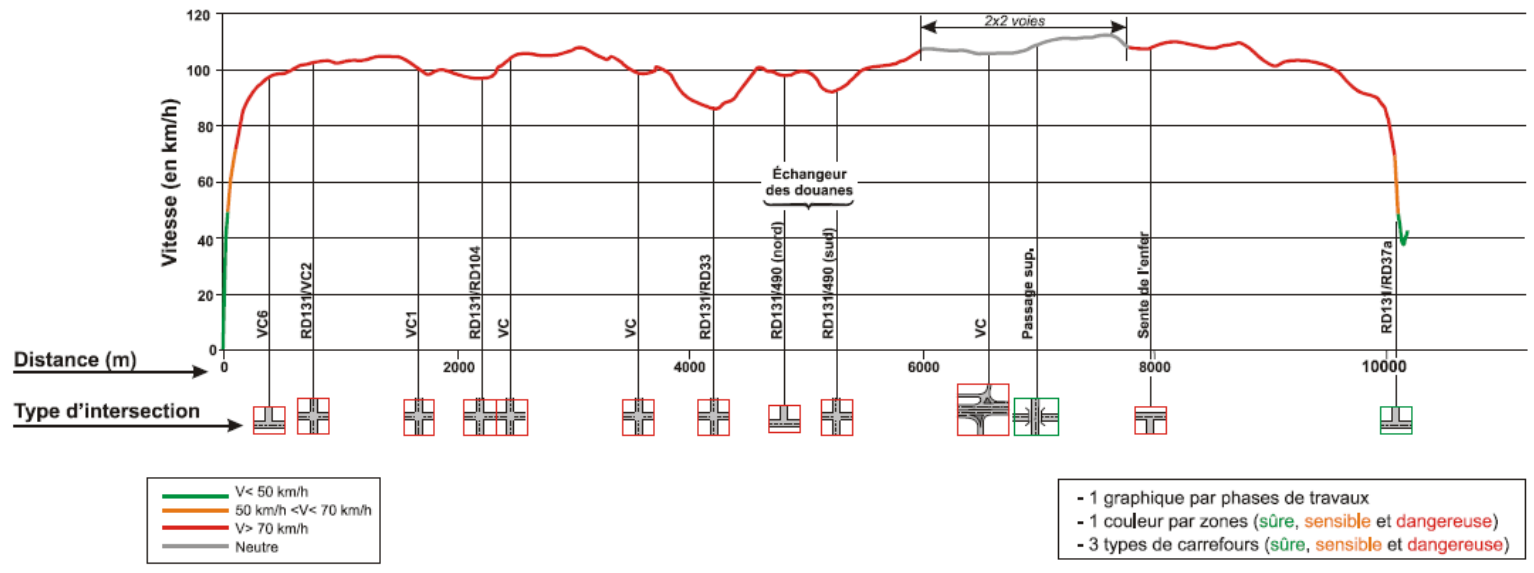


Figure 15 : Estimation des impacts de l'aménagement des intersections (sens 1)

Chocs en intersection - Sens Yvetot - Pont de Brotonne Avant travaux



Chocs en intersection - Sens Yvetot - Pont de Brotonne Après travaux

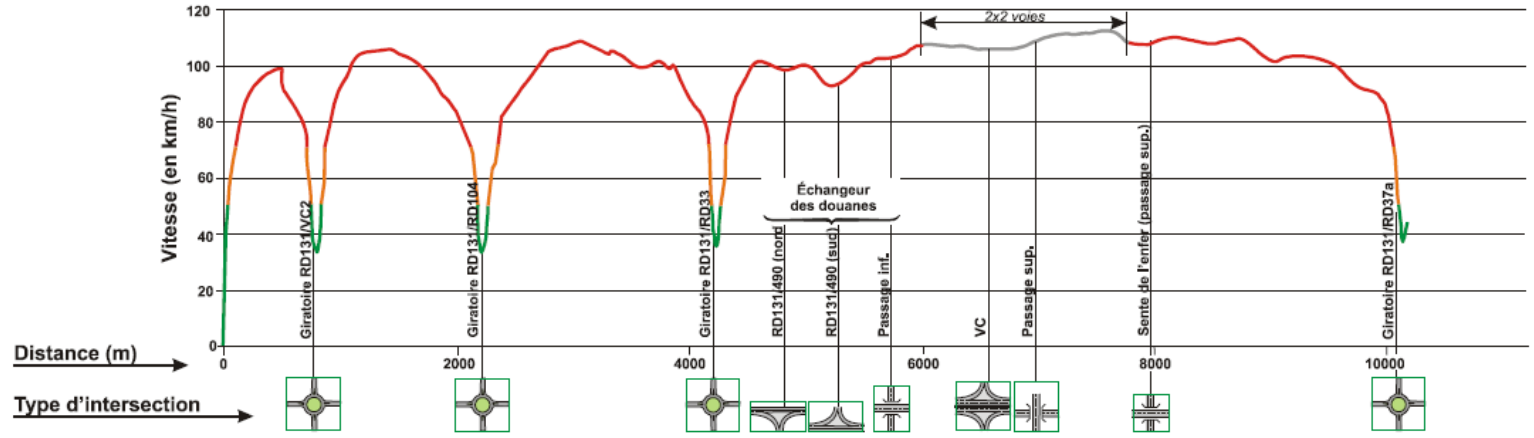


Figure 16 : Estimation des impacts de l'aménagement des intersections (sens 2)

3.7 – Globalité de l'axe et cohérence

L'ensemble des aménagements prévus sur l'axe Yvetot – La Mailleraye pour assurer sa sécurisation nécessite d'assurer globalement une cohérence afin que les usagers adaptent leurs comportements aux évolutions de l'infrastructure. Cet aspect constitue un enjeu essentiel de la gestion du projet qui nécessite la réunion du comité technique en tant que besoin et celle du comité de pilotage (annuellement).

D'un point de vue évaluation et suivi des indicateurs associés, cela aussi représente un enjeu qui doit s'inscrire dans le déroulement précis du projet. Force est de constater que cela n'est pas toujours aisé de conjuguer les besoins opérationnels d'avancement des projets et des travaux qui ne relèvent pas toujours des mêmes services du gestionnaire et ceux de l'organisme qui est en charge d'assurer le suivi de divers indicateurs et d'assurer le recueil des informations nécessaires.

Dans la pratique, ce qui est le plus efficient reste encore le suivi et l'évaluation de l'accidentologie corporelle. Depuis le début du projet, un recensement exhaustif a été mis en œuvre et a montré l'évolution positive des accidents résumée dans le tableau ci-dessous.

Sections de l'itinéraire	Nombre d'accidents avant Période 2002-2010 (9 ans)	Nombre d'accidents après Période 2011-2012 (2 ans)
Déjà aménagées	16	0
Pas encore aménagées	32	4
Ensemble de l'itinéraire	48	4

Tableau 12 : Bilan de l'accidentalité avant / après

La lecture de ce tableau montre que l'on ne déplore pas d'accident corporel de la circulation sur les zones aménagées dans le cadre du projet. En l'absence d'un recul suffisamment long sur la vie de ces nouveaux aménagements (2 ans), cela ne constitue pas un résultat consolidé mais plutôt une tendance positive.

On notera ici que le suivi des accidents matériels est plus aléatoire et que certains ont été l'occasion de détecter des détails qu'il convient de corriger.

L'autre paramètre devant faire l'objet d'un suivi plus formalisé est la vitesse. Si cela a été mis en œuvre, notamment pour évaluer l'impact spécifique de certains aménagements, il conviendra de procéder à l'estimation d'un nouveau profil de vitesse sur l'ensemble de l'itinéraire. A cette occasion, les analyseurs microscopiques de trafic permettront aussi d'estimer l'impact des différents aménagements réalisés sur l'écoulement du trafic, en particulier les interactions de véhicules entre eux.

En l'absence du lancement effectif des actions de communication envisagées dans le projet, le volet relatif à la prise en compte du comportement des usagers n'a pas été abordé, notamment vis-à-vis de la compréhension des aménagements réalisés, de leur acceptabilité et de l'évolution attendue des pratiques de conduite par les usagers. On notera que ce volet spécifique fait appel à des compétences qui sont généralement éloignées de celles que l'on rencontre dans les directions des routes des gestionnaires routiers.

4 – Les impacts en terme d'écoulement du trafic

4.1 – Les giratoires

Il a été identifié trois impacts « écoulement du trafic » liés au domaine de l'exploitation routière dans le cadre de la création d'un giratoire en lieu et place d'un carrefour plan :

- une modification de la **capacité** du carrefour,
- des modifications sur les **temps de parcours** des usagers de la voie principale et des voies secondaires,
- une éventuelle modification de la **composition microscopique de l'écoulement du trafic**, en particulier sur la voie principale.

L'évaluation de ces impacts repose essentiellement sur une comparaison d'indicateurs entre l'état de référence (carrefour plan avant aménagement) et l'état projet (carrefour giratoire après aménagement).

4.1.1 - Capacité

Avant aménagement : analyse de la capacité / fonctionnement du carrefour plan existant

Dans le cadre d'un carrefour avec régime de priorité (stop ou cédez le passage), la limite de capacité est déterminée sur la voie non prioritaire. La valeur de la capacité est relative au créneau critique (temps de traversée de la voie prioritaire) compris entre 6 secondes (voie principale 2 voies) et 8 secondes (voie principale à 4 voies), au trafic gênant de la voie principale (Q_g) et éventuellement au temps d'attente que l'on considérera acceptable jusqu'à 30 secondes.

Deux méthodes de calcul de capacité simplifiées sont proposées dans les documents suivants :

- Méthode « guide réserve de capacité » (Setra, 2002) : utilisation de l'abaque basé sur le trafic gênant ou de la formule $C = 800 - 0,5 Q_g$ en considérant un temps d'attente de 30 s (valeur approchée +/- 150 uvp/h).
- Méthode « carrefour urbain » (Certu, 2009) : Abaque croisant le trafic gênant et le créneau critique.

Le rapport d'étude « La capacité des carrefours sans feux - méthodes et modèles » (Setra, 1986) présente trois approches possibles des problèmes de capacité des carrefours sans feux (statistique, probabiliste et par simulation).

Le « *Highway Capacity Manual* » (HCM) (TRB, 2000) propose également une méthode de calcul complète de la capacité d'un carrefour plan basée sur des paramètres similaires.

$$C_{p,x} = V_{c,x} \frac{e^{-V_{c,x}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-V_{c,x}t_{f,x}/3600}} \quad (17-3)$$

where

- $C_{p,x}$ = potential capacity of minor movement x (veh/h),
- $V_{c,x}$ = conflicting flow rate for movement x (veh/h),
- $t_{c,x}$ = critical gap (i.e., the minimum time that allows intersection entry for one minor-stream vehicle) for minor movement x (s), and
- $t_{f,x}$ = follow-up time (i.e., the time between the departure of one vehicle from the minor street and the departure of the next under a continuous queue condition) for minor movement x (s).

Équation 1 : Équation générale pour la définition de la capacité

Nota : Une vérification des mouvements traversants issus de la voie principale (tourne-à-gauche) peut être à mener suivant l'importance de ces flux. Le guide « réserve de capacité » du Setra (Setra, 1986) propose une méthodologie pour calculer la capacité dans le cas d'un tourne-à-gauche.

Données minimum nécessaires :

- La géométrie du carrefour : nombre de voies de la voie principale.
- Le créneau critique en fonction du point précédent.
- Une matrice origines/déplacements de l'ensemble des mouvements sur le carrefour.
- Les trafics horaires gênants de la voie principale par sens avec différenciation VL/PL.
- Les trafics horaires entrants issus de la voie secondaire en précisant leurs mouvements avec différenciation VL/PL.

Après aménagement : analyse de la capacité et du fonctionnement du futur giratoire

Il est couramment évoqué, notamment dans le guide « Aménagement des carrefours interurbains » (Setra, 1998) que la nécessité d'une étude de capacité d'un carrefour giratoire est fonction de la somme des trafics horaires entrants sur le giratoire (QTE) :

- QTE < 1500 véh/h : étude non nécessaire – capacité *a priori* suffisante.
- 1500 < QTE < 2000 véh/h : examen de la répartition des trafics ; si la somme des trafics entrant et tournant au droit d'une branche est > 1000 véh/h, un test de capacité est recommandé.
- QTE > 2000 véh/h : étude de capacité.

De nombreuses études de calcul de capacité des giratoires sont disponibles dans la bibliographie. Il est à citer :

- Le rapport d'étude « La capacité des carrefours giratoires » du Setra (Setra, 1984) qui présente une bibliographie des différentes méthodes appliquées dans le monde à cette date, ainsi que des propositions de modalité d'études.
- Le guide américain « *Roundabouts : an informational guide – second edition* » (TRB, 2010).
- Le guide « *Roundabouts design guidelines* » de l'état du Maryland (DOT, 1995).

- Le logiciel « Girabase – calcul de capacité de carrefour giratoire » (Setra-Certu, 2011).

Une méthode simplifiée du calcul de capacité est présentée dans le guide « Aménagements des carrefours interurbains sur les routes principales » (Setra, 1994) basée sur les connaissances :

- Des trafics horaires entrants, sortants et tournants au droit de chaque bretelle.
- De la largeur de l'îlot séparateur de la bretelle.
- De la largeur de l'anneau.
- De la largeur de la voie d'entrée de la bretelle.

Données minimums nécessaires :

- Matrice origines / destinations du fonctionnement du giratoire – évolution journalière.
- Trafics horaires entrant, sortant et tournant au droit de chaque bretelle, y.c différenciation VL/PL.
- Caractéristiques géométriques du giratoire.

4.1.2 Temps de parcours

L'objectif est de comparer, avant et après aménagement, les temps de franchissement des carrefours (zone d'influence comprise) par les usagers provenant de la voie principale ou des voies secondaires. Les calculs porteront sur le délai de franchissement de la plus grande des zones d'influences des carrefours avant et après aménagement. Dans la majorité des cas, la zone d'influence considérée sera celle du giratoire.

4.1.2.1 Usagers de la voie principale

Avant aménagement : indicateur temps de parcours avant aménagement – voies principales

On peut considérer raisonnablement que le temps de franchissement de la zone d'influence d'un carrefour pour un usager de la voie principale est lié directement à sa vitesse. Deux références de vitesse sont à retenir : la vitesse réglementée et la vitesse d'usage (V_{85} , vitesse horaire moyenne, panel de véhicules traceurs...). Une différenciation VL/PL est à faire.

Nota : les guides de conception relatifs aux carrefours sans feux (Setra, 1986) évoquent l'influence de pertes de capacité et d'augmentation de temps de franchissement d'un carrefour plan suivant la configuration de celui-ci : débits, présence de voies de décélération ou accélération, ... Une analyse de ce point pourra devenir nécessaire suivant l'importance du carrefour à étudier. Des valeurs forfaitaires de pertes de temps pour ces mouvements sont connues (voir tableau 12, § 4.1.2.2).

Données minimums nécessaires :

- Vitesses moyennes ou profils de vitesse par classe de véhicule – analyse des variations hebdomadaires et journalières pour prise en compte éventuelle de situations particulières.
- Débits par classe de véhicule (VL, PL, autres suivant les spécificités du site).

Après aménagement : indicateur temps de parcours après aménagement – voie principale

Méthodes d'estimation *a priori* du temps perdu au franchissement d'un giratoire

La perte de temps sur le courant principal est un cumul (i) du temps d'attente au giratoire (file d'attente et attente d'un créneau d'insertion) et de (ii) la perte de temps liée à la géométrie (phases de ralentissement et d'accélération, allongement du parcours, mouvement des véhicules).

(i) : le temps d'attente est souvent calculé à partir des capacités du giratoire (bretelles, anneau) et des trafics induits (entrants et tournants) en suivant des méthodes plus ou moins complexes. Cependant, ces modèles ont été conçus pour répondre à des problématiques de giratoires dont les niveaux de trafic impliquent des temps d'attente > 5 s et des remontées de files le long des bretelles. L'objectif final en est d'optimiser la conception des giratoires : nombre de voies des bretelles et de l'anneau, longueur des bretelles, signalisation ...

L'ensemble des documents évoqués au paragraphe 4.1.1 propose des démarches de calcul du temps d'attente ou « *Control delay* » dans le HCM⁹ (TRB, 2000) ou le guide « *Roundabout: an informational guide* » (TRB, 2010).

(ii) : plusieurs méthodes de calcul des pertes de temps liées à la géométrie sont abordées dans les mêmes guides ou rapports d'étude. On peut en souligner les points suivants :

- Estimation moyenne de la perte de temps comprise entre 10 et 20 s selon la vitesse pratiquée sur la route et la configuration du giratoire (déport éventuel, distance entre les bretelles majoritairement circulées) (CETE NC, 1992).
- La formule simplifiée de McDonald et Noon énoncée dans le rapport d'étude du Setra « La capacité des carrefours giratoires » (Setra, 1984) proposant une relation linéaire entre la perte de temps W (s) et la vitesse d'approche V (km/h) (valable de 45 à 90 km/h) : $W = 0,26 V - 9,3$.

La cinématique des PL n'est cependant pas évoquée dans ces documents.

Mesures *a posteriori* du temps perdu au franchissement d'un giratoire

Deux approches sont envisageables pour mesurer les temps de parcours :

- A partir d'une analyse de mesures continues spatio-temporelles effectuées avec des véhicules instrumentés.
- A partir de mesures directes de temps de parcours effectuées avec des technologies de type Bluetooth ou LAPI (Lecture Automatique de Plaques d'Immatriculation). Actuellement, cette seconde technologie permet d'obtenir les meilleurs résultats en terme de taux de détection.

Ces mesures sont à mener pour les différentes classes de véhicules à étudier (VL, PL et éventuellement d'autres classes de véhicules en fonction des spécificités du site).

Données minimums nécessaires :

- Géométrie du giratoire.
- Matrice origines/destinations du fonctionnement du giratoire – évolution journalière.
- Trafics horaires entrant, sortant et tournant au droit de chaque bretelle, identification PL/VL, analyse des variations hebdomadaires et journalières pour prise en compte

éventuelle de situations particulières.

- Connaissance de la cinématique spatio-temporelle du passage des différentes classes de véhicules (VL et PL au minimum) ou mesures *in situ* de temps de parcours.

4.1.2.2 Usagers des voies secondaires

Le temps de franchissement du carrefour d'un usager venant des voies secondaires peut évoluer, suivant la manœuvre à effectuer (traversée, tourne-à-gauche, tourne-à-droite), soit en augmentant (allongement de la distance à parcourir) soit en diminuant (facilitation de l'insertion des véhicules dans le flux principal).

Avant aménagement : indicateur temps de parcours avant aménagement – voies secondaires

Dans le cas d'un carrefour plan, le temps de passage d'un usager issu d'une voie secondaire se décompose en (i) un temps de passage tenant compte des phases de décélération / accélération pour le retour à une vitesse nominale et du temps d'arrêt (véhicule non gêné par le passage d'un véhicule sur la voie principale) et (ii) un temps d'attente au droit du carrefour lié à une constitution de queue puis à l'attente d'un créneau acceptable de passage par rapport au flux de la voie prioritaire.

(i) : il est possible de faire référence à l'étude « Cinématique sur carrefours plans » (CETE NC, 1994) dans laquelle figure des temps perdus en traversées de carrefours plan (régime non prioritaire) en comparaison d'une estimation de traversée sans carrefour. En fonction de la vitesse d'approche et de la géométrie de la route secondaire en approche du carrefour (alignement droit, présence de courbes), le temps perdu lié au franchissement du carrefour (traversée) est de l'ordre de 10 à 20 secondes.

Il existe également des hypothèses générales dans le guide « Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales – carrefours plans » (Setra, 1998) relatives au retard géométrique en carrefour synthétisés dans le tableau suivant :

	Mouvement :	Direct	Tourne-à-gauche	Tourne-à-droite
Carrefour plan ordinaire	route principale	—	12 s	7 s
	route secondaire	15 s		11 s
Carrefour giratoire	12 s (en moyenne)			

Tableau 13 : Retard géométrique en carrefours (Setra, 1998)

Il est précisé également que ces retards sont à majorer de **75 %** pour les PL.

Il est nécessaire de vérifier globalement l'ensemble des aménagements prévus dans le cadre de la création du carrefour giratoire. En effet, la création d'une telle infrastructure implique parfois une modification des cheminements des usagers des voies secondaires : fermeture de carrefours plans existants voisins avec des reports sur les giratoires. Il sera alors nécessaire de connaître le temps de parcours avant aménagement à partir du futur point de modification de ces cheminements.

Une autre solution est de mesurer les temps de parcours avant aménagement soit avec des mesures spatio-temporelles soit avec des mesures de temps de parcours en bord de voie.

(ii) : comme pour les carrefours giratoires, le temps d'attente est souvent calculé dans le prolongement des études de capacité. Les documents évoqués au paragraphe 4.1.1

proposent également des méthodes de calcul de ce temps d'attente en fonction des spécificités du carrefour étudié. Il est à noter l'existence de méthodes simplifiées pour calculer le temps d'attente :

- Le guide « Carrefours urbains » (Certu, 2009) : $T = 3600 / (C \times S)$ avec capacité C en véh/h et S, trafic entrant de la voie secondaire en uvp/h.
- L'Ictarn (MEL, 1970) proposait une méthodologie d'estimation des « temps d'attente moyens à un carrefour plan de rase campagne sur une route traversière dotée de signaux stop à la traversée d'une route prioritaire ». Des abaques permettent de définir ce temps d'attente moyen en fonction du trafic horaire de la voie principale en uvp/h et du trafic horaire en uvp/h de la voie secondaire pour 2 largeurs de carrefours (7 m et 14 m).

Données minimums nécessaires :

- Géométrie du carrefour plan.
- Matrice origines/destinations du fonctionnement du carrefour – évolution journalière.
- Trafics horaires entrant, sortant et tournant au droit de chaque bretelle, identification PL/VL, analyse des variations hebdomadaires et journalières pour prise en compte éventuelle de situations particulières.
- Modification éventuelle des accès sur la voie principale (changement de tracé, fermeture d'axes secondaires).

Après aménagement : indicateur temps de parcours après aménagement – voie secondaire

La démarche du calcul du temps de passage du giratoire pour un véhicule venant des voies secondaires sera similaire à celle de la voie principale : mesures d'estimation *a priori* ou mesures *in situ a posteriori*.

4.1.2.3 Temps perdus et temps gagnés

Il semble probable que les usagers de la voie principale perdront du temps alors que les usagers des voies secondaires gagneront du temps (insertion ou traversée plus facile sur un giratoire que sur un carrefour plan). A l'issue de la définition des paramètres ci-dessus, nous serons en capacité de calculer les temps perdus ou gagnés par chaque catégorie d'usagers.

4.1.3 Composition microscopique de l'écoulement du trafic

La création d'aménagements, en particulier des giratoires, implique une modification de la cinématique des véhicules se traduisant le plus souvent par une augmentation du temps de parcours. Cet impact est d'autant plus marqué pour les PL dont les capacités d'accélération et de freinage sont bien inférieures à celles d'un VL. De plus, ces aménagements dont l'objectif premier est une amélioration de la sécurité routière, sont rarement accompagnés d'une augmentation de l'offre de dépassement.

En conséquence, il est légitime d'estimer qu'au regard des cinématiques différentes de franchissement des giratoires entre les VL et les PL et d'une probable absence d'augmentation d'offre de dépassement, la création d'un giratoire impacte l'écoulement du trafic avec une mise en pelotons des véhicules et une augmentation du nombre de

véhicules gênés.

Rappel : pour le cas des autoroutes on fait l'hypothèse qu'un véhicule est gêné s'il roule à la vitesse d'un PL (Setra, 2009).

Cette augmentation du nombre de véhicules gênés pourrait être un indicateur quantitatif traduisant en partie l'acceptabilité des usagers vis-à-vis d'un aménagement.

Pour caractériser la composition microscopique du trafic, deux approches peuvent être envisagées.

La modélisation numérique – approche *a priori*

La simulation dynamique est envisageable à la condition de disposer de données permettant de caractériser le comportement des usagers lors du passage du carrefour. A défaut de cette connaissance, le modèle de simulation dynamique risque d'être imprécis, voir non représentatif de la situation.

En réponse à cette interrogation, il est nécessaire d'évoquer les travaux de la thèse d'Estelle Chevallier « Modélisation dynamique du trafic et du bruit au niveau des carrefours giratoires » (Chevallier, 2008), en particulier le « Rapport expérimental sur l'étude conjointe du trafic et du bruit au niveau des giratoires – partie 1 : Résultats cinématiques d'écoulement » (INRETS, 2006). Il ressort de ces travaux que la période d'agrégation des données trafic est importante pour modéliser au mieux les phénomènes cinématiques dus à l'interaction des véhicules circulant sur l'anneau et des gênes à l'insertion des véhicules pénétrant sur l'anneau. Une période d'agrégation de l'ordre de la minute est évoquée. Un phénomène de « forçage de priorité » a également été mis en avant dans des situations proches de la saturation du carrefour. La gêne à l'insertion peut même provoquer des files d'attente même si la demande est inférieure à la capacité du giratoire. Des modèles de simulation macroscopique et microscopique ont été validés dans le cadre de cette thèse pour le cas d'un giratoire à une voie sur l'anneau et les branches d'entrée.

Données minimums nécessaires :

- Caractéristiques géométriques des différents éléments du giratoire : largeur, longueur des voies.
- Matrice origines/destinations du fonctionnement du carrefour – évolution journalière permettant d'identifier d'éventuelles situations spécifiques (heures de pointe du matin ou du soir ...).
- Trafics agrégés à la minute pour chaque branche avec une différenciation PL/VL.
- Autres.

Les mesures *in situ* – évaluation avant et après aménagement

La composition microscopique du trafic et le regroupement en peloton peuvent être caractérisés à partir de mesures microscopiques du trafic (données individuelles véhicule par véhicule), en particulier à partir d'une analyse des temps inter-véhiculaires (TIV). Les mesures sont à réaliser en des points identiques en aval du futur giratoire, avant et après aménagement. Une différenciation VL/PL est utile pour caractériser le véhicule en tête de peloton.

Cependant, il n'existe pas actuellement de protocole opératoire permettant de caractériser cet indicateur. La localisation des points de mesure est à optimiser en fonction de la géométrie de la voie étudiée, des capacités de dépassement et de la composition des flux de trafic.

Données à acquérir :

- Mesures microscopiques du trafic (vitesse, horodatage, classe de véhicule) en aval du giratoire sur les branches principales avant et après aménagement.

4.1.4 – Étude de cas : le giratoire RD 490 / RD 913

Il est retenu d'étudier le cas du giratoire RD 490 / RD 913 sur l'axe Yvetot / La Mailleraye pour lequel nous disposons de mesures microscopiques de trafic avant et après aménagement (2009 et 2012) et de données de comptage sur les trois branches principales du giratoire : RD 490 à l'est, RD 913 Nord et RD 913 Sud.

4.1.4.1 Présentation de l'ouvrage

Géométrie avant travaux :



Figure 17 : vue aérienne du site avant aménagement (source : google maps)

Géométrie après travaux :



Figure 18 : vue aérienne du site après aménagement (source : google maps)

4.1.4.2 Calcul des indicateurs qualifiant les impacts attendus

L'évaluation des impacts de l'aménagement relatifs aux critères trafic du domaine de l'exploitation de la route repose essentiellement sur une comparaison entre l'état de référence (carrefour plan avant aménagement) et l'état projet (carrefour giratoire après aménagement).

En règle générale, les méthodes de calcul présentées au chapitre précédent permettent de concevoir le giratoire en vérifiant son fonctionnement dans les conditions les plus défavorables (heures de pointe le plus couramment). L'objectif de notre étude étant d'évaluer l'impact de la création d'un giratoire en comparant les situations avant et après aménagement, il est retenu d'établir les indicateurs couvrant des périodes plus larges, soit à partir des données trafics équivalents uvp horaires maximums mesurées lors des jours ouvrés (lundi au vendredi). Le détail des calculs des différents indicateurs est présenté en annexe 4.

A) Impact sur la capacité du carrefour

En règle générale, en l'absence de mouvements importants de la voie principale vers les voies secondaires, la capacité d'un carrefour plan est liée à la capacité du courant non prioritaire au regard du trafic gênant de la voie principale. Dans le cas présent, le flux non prioritaire gêné est compris entre 1 à 59 uvp/h suivant les plages horaires pour une capacité (formule simplifiée du guide « Réserve de capacité d'un itinéraire ») estimée de l'ordre de 400 à 800 uvp/h suivant les débits horaires de la voie principale, soit une capacité de l'ordre de **15 %** du niveau de saturation.

Dans le cas du giratoire, la capacité est égale à la capacité de la bretelle la plus faible. Pour ce giratoire, la capacité a été définie en application de la méthode simplifiée du guide « Réserve de capacité d'un itinéraire ». La capacité atteinte varie suivant les bretelles et les plages horaires entre **0 % et 40 %** du niveau de saturation. Pour mémoire, on considère que la limite de fonctionnement d'un giratoire se situe autour d'un seuil de 85 % du niveau de saturation.

Les niveaux de trafic rencontrés pour ce cas d'étude font que la capacité n'est pas un critère déterminant.

B) Impact sur les temps de parcours du franchissement du carrefour

Situation de référence : carrefour plan avant aménagement

Pour les usagers de la voie principale, la vitesse étant limitée sur la section étudiée à 70 km/h, le temps de franchissement a été estimé à partir des passages de véhicules traceurs utilisés lors de la définition du profil V_{85} (CETE NC, 2011b). Le temps de franchissement moyen est de l'ordre de 11,8 s dans les deux sens de circulation.

Pour les usagers de la voie secondaire (RD913 nord), le temps perdu est la somme du temps de franchissement non gêné (ou retard géométrique) et du temps d'attente au stop pour une insertion sur la voie principale. Sur la base des éléments exposés au chapitre précédent, le temps de franchissement a été fixé à 12 secondes. Le temps d'attente a été estimé à partir des abaques de l'ICTARN et varie entre 12 et 26 secondes.

En situation de référence, le temps perdu global est de l'ordre de **36,7 h** pour un jour ouvré.

Situation projet : carrefour giratoire après aménagement

Le temps perdu est calculé pour les usagers provenant de chaque branche du giratoire par plage horaire. Il est composé du retard géométrique calculé à partir de la formule simplifiée de Mac Donald et Noon avec une vitesse de 70 km/h, soit 8,9 s cumulé au temps de franchissement de la zone sans giratoire (11,8 s) et du délai d'insertion dans le giratoire (*Control Delay*) calculé selon la méthode du « *Roundabouts : an informational guide* » (TRB, 2010) variant entre 2,6 et 4,9 s suivant la bretelle considérée et la plage horaire.

En situation de projet, le temps perdu global est de l'ordre de **75,6 h** pour un jour ouvré.

Bilan

Rapporté sur une année, la perte de temps total en jours ouvrés est de l'ordre de **9825 h**, **soit un coût annuel pour la société évalué à environ 75¹⁰ k€ (euro 2000)**.

On peut considérer que cet impact est relativement négligeable au regard des coûts pour la société d'un accident corporel grave (143 k€, valeur 2012), d'un accident mortel (1342 k€, valeur 2012). (ONISR, 2013)

C) Impact sur la recomposition microscopique de l'écoulement du trafic

Dans le cadre de l'étude de définition du profil V_{85} , des recueils de données trafic et vitesse en bord de voie ont été effectués en particulier sur deux sites (points n°2 et n°3 de la figure 19) de part et d'autre du giratoire en 2009 (avant aménagement) et en 2012 (après aménagement). La position des analyseurs de trafic était choisie dans des zones non impactées par les aménagements projetés. Le point n°2 est situé à environ 1100 m au sud du carrefour et le point n°3 à environ 800 m au nord.

Dans les deux sens de circulation, les usagers avaient des possibilités de dépassement avant les points de mesure.

10 Coût moyen horaire d'un déplacement = 7,6 € - Rapport Chapulut « Évaluation socio-économique des systèmes d'exploitation de la route en milieu urbain » - août 2004



Figure 19 : Schéma d'implantation des points de mesure de vitesse

Sachant que l'objectif est de comparer deux situations et afin de simplifier le traitement des données, il a été retenu de traiter un échantillonnage représentatif de la composition des flux de trafic sur une période d'une heure, d'une journée représentative, d'un jour ouvré.

Les résultats sont présentés pour chaque sens dans les tableaux 14 et 15 :

	Avant création du giratoire	Après création du giratoire
Nombre de véhicules	384	376
Taux de PL	16 %	19 %
Vitesse moyenne	86 km/h	88 km/h
Vitesse moyenne VL libres	93 km/h	99 km/h
Véhicules en peloton	58 %	53 %
Véhicules en tête	18 %	20 %
PL en tête	35 %	26 %
Véhicules en peloton <= 90 km/h	22 %	18 %
Véhicules en peloton <= 80 km/h	46 %	40 %

Tableau 14 : Sens Yvetot – Rouen (RD 490 vers RD 913 sud) – 1 heure de pointe du matin

	Avant création du giratoire	Après création du giratoire
Nombre de véhicules	333	318
Taux de PL	13 %	20 %
Vitesse moyenne	90 km/h	91 km/h
Vitesse moyenne VL libres	93 km/h	95 km/h
Véhicules en peloton	53 %	51 %
Véhicules en tête	23 %	22 %
PL en tête	22 %	35 %
Véhicules en peloton <= 90 km/h	6 %	7 %
Véhicules en peloton <= 80 km/h	33 %	30 %

Tableau 15 : Sens Rouen – Yvetot (RD 913 sud vers RD 490) – 1 heure de pointe du soir

Pour les deux sens, on ne note pas d'évolution significative de la composition du trafic entre les deux situations. Les taux de véhicules circulant en pelotons sont semblables, sans accentuation du nombre de pelotons avec un PL en tête.

L'absence d'évolution de la recomposition microscopique du flux de trafic s'explique en partie par une absence de modifications des capacités de dépassement en aval du giratoire, dans les deux sens de circulation (CETE NC, 2010f).

4.1.5 Conclusions

4.1.5.1 Les limites d'une démarche d'évaluation « exploitation – fonctionnement de l'aménagement »

Il ressort en premier lieu que les indicateurs traditionnels d'évaluation des performances d'un giratoire (capacité, temps perdu lors du franchissement, bilan socio-économique) sont relativement peu adaptés au présent cas d'étude du fait des niveaux de trafic faibles et d'un fonctionnement du carrefour plan actuel correct, présentant une réserve de capacité encore disponible. Il est constaté également que l'usage des différentes méthodes disponibles pour qualifier ces indicateurs est peu adapté au cas présent car souvent proches des valeurs minimales calculables. Enfin, l'intérêt des indicateurs capacités et temps perdus souffre d'une forte disproportion dans le bilan global face aux gains possibles en sécurité routière.

Ces méthodes sont conçues pour répondre aux besoins du concepteur du projet dans une démarche *a priori* afin d'affiner et d'optimiser les caractéristiques géométriques et fonctionnelles du giratoire. En règle générale, elles sont bien adaptées aux réseaux structurants soumis à des fortes contraintes de trafics et sont appliquées dans les situations les plus défavorables pour vérifier le fonctionnement du giratoire aux conditions limites (heures de pointe).

Dans cet exercice, ces méthodes ont été adaptées pour répondre non pas à une problématique de conception de l'ouvrage mais à une logique d'évaluation, soit de comparaison entre deux situations avant et après travaux. Il est alors nécessaire de s'appuyer sur les méthodes d'évaluation des systèmes mis en œuvre dans les projets de gestion de trafic (Setra, 2013 ; Certu, 2013) pour définir une démarche d'évaluation, puis d'utiliser les règles de conception adéquates, en particulier celles relatives à la vérification du fonctionnement de l'ouvrage, pour produire les indicateurs d'évaluation. En l'absence de cadre méthodologique, la difficulté est alors de choisir les modalités de définition des indicateurs : choix d'une méthode appropriée au contexte, choix et caractéristiques des données à recueillir, ...

4.1.5.2 La proposition d'un nouvel indicateur explicatif de l'acceptabilité des usagers

A l'instar du bilan socio-économique exclusivement influencé par les indicateurs sécurité routière, on peut considérer pour le cas d'étude qu'une évaluation s'appuyant uniquement sur les indicateurs traditionnels évoqués ci-dessus ne présente qu'un intérêt limité. Il a donc été recherché un indicateur complémentaire, qualifiant un éventuel impact d'un aménagement sur la composition microscopique du trafic se traduisant par une augmentation du nombre de véhicules circulant en peloton. Cet indicateur permettrait éventuellement d'expliquer l'acceptabilité de l'aménagement par les usagers si celle-ci était mesurée. L'intérêt d'un tel indicateur prend toute son importance suivant la volonté du maître d'ouvrage d'intégrer cette notion d'acceptabilité dans la définition des objectifs relatifs à l'aménagement, au même titre que l'amélioration de la sécurité routière.

Cet indicateur pourrait répondre également à certains questionnements des gestionnaires quant à la nécessité d'augmenter ou de compenser l'offre de dépassement. Nous pouvons illustrer cette réflexion avec la question récurrente des gestionnaires sur la nécessité de prévoir un créneau de dépassement immédiatement en sortie de giratoire.

De fait, la mise en œuvre d'un tel indicateur pourrait remettre en cause la définition de la zone d'influence d'un giratoire. Dans les études de cinématique de franchissement de giratoire, la zone d'influence est définie à partir de profils de vitesse mesurés par des véhicules instrumentés, du début de la décélération en approche du giratoire jusqu'à la fin de l'accélération pour retrouver la vitesse nominale sur l'itinéraire. Cette définition répond aux besoins d'une détermination des impacts directs de la création de l'aménagement. La réflexion portant sur la définition d'une zone d'influence impactant d'autres indicateurs comme la recomposition du trafic et indirectement l'acceptabilité des usagers implique donc une nouvelle approche de qualification de la zone d'influence de l'ouvrage.

Dans cet exercice, les résultats montrent que l'impact de ce giratoire dans son contexte n'a pas d'influence sur la recomposition microscopique du trafic à des distances relativement proches de l'ouvrage. Cependant, ces résultats sont à largement relativiser. En effet, l'existence d'un cadre méthodologique permettant de caractériser cet indicateur fait défaut. Plusieurs interrogations (liste non exhaustive) liées entre-autres à la position des analyseurs de trafic, à la définition de l'échantillonnage d'étude, aux modes de détermination des limites de la zone d'influence ont déjà été identifiées et nécessiteraient d'autres expérimentations pour des configurations différentes de giratoire et d'autres niveaux de trafic.

4.1.5.3 Les modalités d'évaluation d'un itinéraire sur le volet « exploitation – écoulement du trafic »

La présente réflexion a été centrée sur les impacts de la réalisation d'un giratoire qui n'est qu'une action de l'ensemble des aménagements ou actions prévus sur l'itinéraire Yvetot – La Mailleraye. Une évaluation globale du projet à partir des indicateurs retenus dans cette expérience pourrait être envisagée comme un cumul d'évaluations successives des différents aménagements programmés ou à l'étude : autres giratoires, reprise du profil en travers de la 2x2 voies en 2+1 voies, carrefour chicane, réalisation de bandes multifonctionnelles, ... L'exercice deviendrait alors d'autant plus compliqué du fait :

- De la difficulté d'évaluation de certains aménagements (carrefours chicanes, bandes multifonctionnelles, ...) en l'absence de méthodologie et d'indicateurs existants.
- De la difficile prise en compte de cumuls d'effets ou d'interactions entre les

aménagements.

- D'une mise en service nécessairement échelonnée dans le temps des aménagements.

Une réflexion spécifique est donc à mener pour trouver de nouvelles méthodologies et outils d'évaluation pour répondre à cette problématique d'évaluation d'aménagement d'itinéraire.

4.2 – Les profils de vitesses pratiquées

Dans le cadre de l'évaluation d'un aménagement global d'itinéraire tel que celui d'Yvetot - La Mailleraye, la définition et l'exploitation des profils de vitesses pratiquées apportent des éléments intéressants à l'établissement d'indicateurs tels que les temps de parcours pour les situations avant et après aménagements.

Des profils de vitesse ont été réalisés en 2009 et en 2012 sur une partie de l'itinéraire avec des véhicules instrumentés dans le cadre de la définition de profils V_{85} . Il est alors possible d'établir des profils spatio-temporels sur l'ensemble de l'itinéraire des différents passages réalisés, permettant ainsi de calculer des temps de parcours globaux ou sectorisés et d'évaluer un aménagement particulier. Il est alors aisé de calculer des temps de parcours individuels ou agrégés à partir de ces données.

Cependant, ces profils ont été réalisés dans l'objectif de caractériser des profils de vitesses de véhicules libres, soit hors peloton et véhicules non gênés. Ils sont donc assimilables à des temps de parcours de type « libres » et ne sont pas représentatifs des temps de parcours réels subis par les usagers, en particulier lors des périodes de pointe.

Les indicateurs « temps de parcours » doivent donc être établis à partir de méthodologies spécifiques utilisées dans le domaine de l'exploitation routière. Ces méthodologies de calcul de temps de parcours se distinguent selon 3 approches :

- La conversion de mesures de trafic disponibles sur les tronçons étudiés en calculant la vitesse moyenne du flot de véhicules : l'objectif de cette présente réflexion étant de trouver un cadre d'évaluation d'un itinéraire contenant une ou plusieurs discontinuités dans l'écoulement du trafic, cette méthode ne semble pas adaptée.
- La mesure directe de temps de parcours par capteurs points à points (technologies LAPI ou Bluetooth) : les limites de cette solution sont d'ordre matériel car dépendantes d'un éventuel tronçonnement du calcul du temps de parcours pour caractériser des aménagements. En effet, un capteur supplémentaire est nécessaire en limite de chaque tronçon.
- La mesure de temps de parcours par traceurs continus : cette méthode ne nécessitant pas la mise en œuvre de matériels *in situ*, il est très aisé de définir un tronçonnement adéquat à la définition des indicateurs de temps de parcours attendus. Les limites de cette méthodologie résident dans la disponibilité quantitative de véhicules traceurs sur les périodes analysées.

Plusieurs réflexions sont en cours sur la thématique du calcul des temps de parcours (IFSTTAR – groupe capteurs du RST) et devraient permettre de disposer dès la fin de l'année 2014 d'éléments méthodologiques pour disposer d'indicateurs adaptés. Il est à noter que les méthodologies évoquées répondent à une caractérisation des temps de parcours en situation état 0 et en situation projet *a posteriori* mais pas à une estimation *a priori* des impacts d'aménagements. Pour répondre à cette estimation *a priori*, le recours à une modélisation numérique dynamique microscopique semble être la solution adaptée.

5 – Les impacts sur le comportement des usagers

Comme cela a déjà été signalé dans les chapitres précédents, les impacts sur le comportement des usagers n'ont été abordé que de manière indirecte. De ce point de vue, des mesures de vitesses ou des observations de trajectoires sont considérées comme des manifestations mesurables et observables du comportement des usagers. Ainsi, elles se suffisent à elles-mêmes. Ce sont les méthodes qui ont été mises en œuvre pour l'évaluation des aménagements de l'axe Yvetot – La Mailleraye :

- Des mesures de vitesses pour les aménagements ayant un objectif de réduction de la vitesse pratiquée : intersections, sections courantes (en projet).
- Des observations de trajectoires pour les modifications d'intersections et les aménagements innovants : intersections (conflits de cisaillement), nouveau profil en travers du Pont de Brotonne (usages adaptés et inadaptés).

Ces approches classiques sont toutefois limitées quant aux enseignements que l'on peut en tirer d'un point de vue de la capitalisation, de l'amélioration des aménagements proposés et de la production de doctrine. Elles relèvent plutôt de l'évaluation *a posteriori* de l'usage plus ou moins adapté de l'aménagement proposé. Elles ne sont en outre qu'une manifestation du comportement qui dépend de l'outil utilisé pour l'appréhender. Par exemple, l'absence de variation des vitesses pratiquées sur un site aménagé ne révèle pas une éventuelle perception accrue des lieux ou encore une mise en alerte qui ne pourront être détectés et identifiés que par d'autres méthodes de recueil d'information.

En complément, le recueil de l'avis des usagers sur l'opportunité, le fonctionnement, le principe, l'adéquation, les caractéristiques d'un aménagement ne constitue pas une démarche formalisée qui pourrait s'intégrer dans la conduite d'un tel projet. On note que l'on se situe ici plutôt dans l'éventuelle expression spontanée de l'avis des usagers sur les modifications apportées à l'infrastructure routière.

Il faut souligner ici que c'est le principe de la démarche d'évaluation adoptée qui limite les processus à mobiliser. En effet, l'approche objectifs / impacts / indicateurs / données ne constitue qu'une entrée du problème. Les chapitres « synthèses et perspective » du présent rapport proposent une vision plus élargie de la prise en compte du comportement des usagers pour de telles études.

6 – Les impacts environnementaux

Les impacts environnementaux d'un aménagement routier sont nombreux et s'articulent autour de différentes thématiques : eau, milieux naturels, bruit, émissions de polluants dans l'air, consommation énergétique, consommation des ressources naturelles, pollutions particulières (dépôts tels que usure des pneumatiques, métaux lourds des sels de déneigement).

La recherche d'indicateurs pertinents à un projet doit tenir compte également de l'environnement du projet : caractéristiques du bâti, sensibilité du milieu naturel, présence éventuelle d'installations particulières (ouvrages publics, production agricole...).

Dans le cadre d'un aménagement sur place d'une infrastructure routière sans modification majeure de son emprise, deux thématiques majeures sont généralement analysées : l'évolution des nuisances sonores pour les milieux urbain ou péri-urbain, les émissions de polluants, particulièrement dans l'air et la consommation de carburants.

Nota : l'objet des paragraphes suivants est de tenir compte dans ce rapport de la problématique d'estimation des impacts environnementaux d'un aménagement routier ou d'un projet de gestion de trafic. Cette problématique fait l'objet de nombreuses productions, pour certaines encore en cours, dont il sera nécessaire de tenir compte dans le cadre d'une évaluation multicritère.

6.1 – Estimation des nuisances sonores

Plusieurs études ont été menées par le LICIT¹¹ dans les années 2000 pour aboutir en 2009 à la conception d'outils d'estimation dynamique du bruit routier. Ces outils, principalement développés pour le domaine urbain, couplent des modèles de trafic dynamique à des lois d'émission permettant d'estimer les niveaux de bruit.

La thèse d'Estelle Chevallier (Chevalier, 2008) traite spécifiquement de cette modélisation dynamique du bruit au niveau des carrefours giratoires.

L'utilisation de ces outils nécessite cependant la mise à disposition de données trafic agrégées a minima sur une période de 2 heures, croisées avec une qualification des vitesses et accélérations (mesurées ou modélisées).

Il est cependant à souligner la nécessité de réfléchir à la pertinence et l'enjeu dans la définition d'un tel indicateur pour une étude en rase campagne en fonction de la typologie du trafic (nombre de poids-lourds) et de la densité d'habitations au voisinage de l'aménagement

6.2 – Estimation des émissions de polluants dans l'air et de consommation énergétique avec modèles

Le rapport « Estimation des consommations énergétiques et des polluants émis par le trafic routier, revue bibliographique des modèles existants » (LICIT, 2009) faisant un état des lieux en 2009 des modèles disponibles d'estimation des consommations énergétiques et des polluants émis par le trafic routier en mettant l'accent sur les nombreuses difficultés de définition de ces estimations. D'une part, l'émission des différents polluants n'intervient pas aux mêmes étapes de fonctionnement d'un moteur et d'autre part, plusieurs autres facteurs doivent être pris en compte : les paramètres liés au parc de véhicules (âge, poids, type de carburant, ...), la cinématique de passage (accélération, freinage, ...), le temps passé préalablement par le moteur au repos en fonction de sa température de

¹¹ LICIT : Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transport, Ifsttar

fonctionnement normal, les caractéristiques géométriques de la voie considérée, voire le climat.

Les indicateurs portent sur la quantité des différents polluants émis (monoxyde de carbone CO, dioxyde de carbone CO₂, oxydes d'azote NO), particules fines, composés d'hydrocarbures HC, composés organiques volatiles COV) et la consommation énergétique des véhicules.

Plusieurs types de modèles d'émission existent et se différencient en fonction de l'échelle du périmètre d'étude (du périmètre local d'un aménagement à un périmètre régional) et de la finesse des données, en particulier trafic, pour l'alimenter. Pour exemple, un modèle à l'échelle régionale se contente de données vitesses moyennes alors qu'un modèle à l'échelle locale nécessite des données de cinématique des véhicules. Le rapport du LICIT présente une classification des usages de ces différents modèles (figure 20).

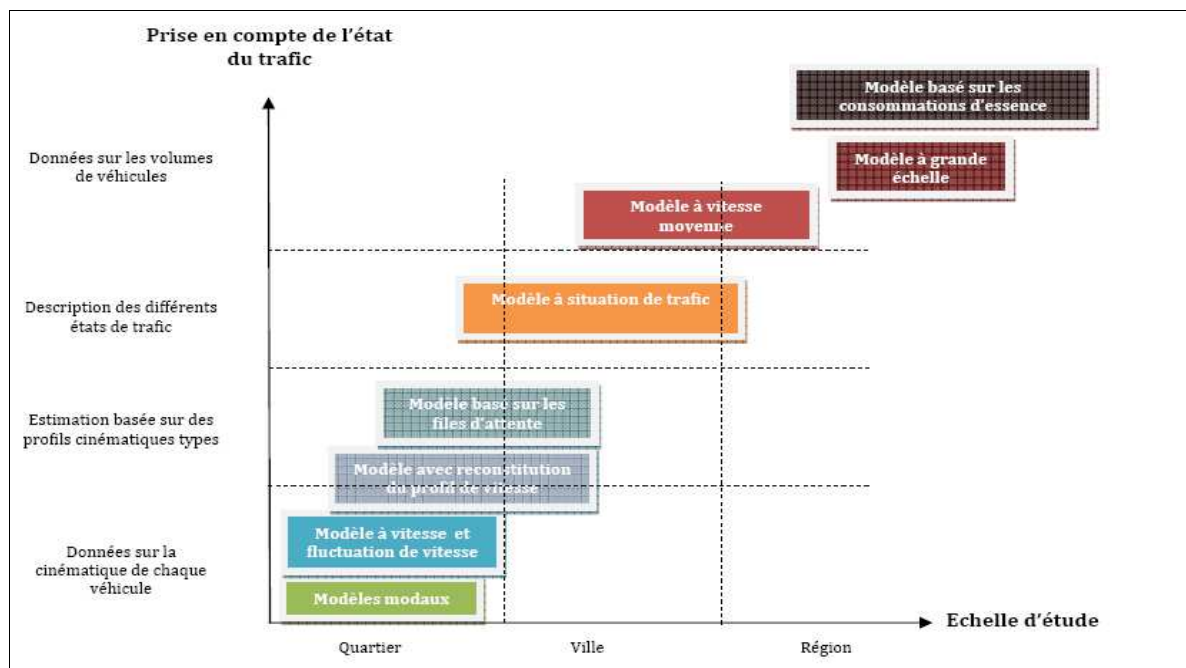


Figure 20 : classification des types de modèles existants (source rapport LICIT)

Les projets d'aménagement à évaluer impliquent principalement une modification de la cinématique des véhicules. En conséquence, les modèles prenant en compte la dynamique de l'écoulement du trafic semblent les plus adaptés à la définition d'indicateurs d'émissions de polluants. Ce constat est d'ailleurs identique à celui du rapport du LICIT qui préconise ce type de modèles pour l'évaluation de stratégies de régulation de trafics, soit les modèles à fluctuation de vitesse et les modèles modaux.

Les modèles à fluctuation de vitesse s'appuient sur des profils vitesse / temps mesurés ou estimés avec un modèle de simulation de trafic. Une réserve est émise quant à la sensibilité de ces modèles pour l'estimation de certains polluants (Nox et PM) nécessitant une description précise de la cinématique des véhicules.

Les modèles modaux semblent particulièrement adaptés à notre problématique puisqu'ils estiment une consommation énergétique et des quantités de polluants émis toutes les secondes avec une caractérisation fine de la cinématique des véhicules lors de phases d'accélération ou de décélération. Cependant, les modèles de trafic fournissent difficilement ou de manière imprécise les données de cinématique lors de ces phases de transition. De plus, il est à noter une forte sensibilité des résultats aux paramètres renseignés dans les modèles de trafic, lors d'une modélisation dynamique microscopique.

Ces imprécisions du modèle trafic risquent alors de fausser les estimations du modèle d'émissions. La solution d'une agrégation de données évoquée dans le rapport du LICIT permettrait peut-être de limiter ces phénomènes tout en prenant garde de rester à un niveau de précision suffisant attendu pour le modèle d'émissions associé.

En 2009, le principal verrou scientifique concernait alors la définition du niveau de finesse ou d'agrégation des données liée à la cinématique d'écoulement du trafic fournie par le modèle trafic.

Au regard de l'usage de ces outils, il est nécessaire de s'interroger sur les modalités de recueil de données permettant d'alimenter le modèle trafic qui servira de support au modèle d'émission. En effet, il faut disposer de données permettant de décrire l'offre, soit l'infrastructure étudiée (capacités, distances de visibilité aux carrefours, caractéristiques géométriques, ...), et caractériser la demande, soit l'écoulement du trafic (vitesse d'usage, débits, caractéristiques de la composition du trafic, ...).

6.3 – Estimation des consommations énergétiques à partir de mesures sur véhicules

Dans le cadre des opérations de recherche SERRES et PREVER, S. Romon (2012) a défini et analysé des profils de consommation de carburants selon trois approches : globale sur un itinéraire, mésoscopique sur un type d'infrastructure (milieu urbain, autoroute, montée, descente...) et microscopique au droit d'une infrastructure localisée (péage, carrefour à feux, giratoire). Ces profils de consommation sont issus de données recueillies dans des véhicules pour le projet GERICO¹².

La ZELT a complété cette analyse en 2013 en traitant de nouvelles données (trajectoires) issues du projet LAVIA afin d'estimer plus précisément l'impact des intersections de type giratoires ou carrefours à feux sur les consommations instantanées et cumulées des véhicules. Les profils de vitesse et de consommations ont été modélisés à partir des trajectoires en centrant l'analyse 200 m avant et après l'intersection. Les axes étudiés sont dans un périmètre urbain ou péri-urbain avec des vitesses réglementaires de 50 ou 70 km/h.

Il est estimé dans le rapport de 2012 que l'impact d'un giratoire en terme de consommation de carburant est de l'ordre de 20 ml par véhicule. Une analyse succincte des graphiques de 2013 des consommations cumulées pour les traversées de carrefours nous fournit les informations suivantes :

	Traversée d'un carrefour à feux sans arrêt du véhicule	Traversée d'un carrefour à feux avec 1 arrêt du véhicule	Traversée d'un carrefour giratoire sans arrêt du véhicule	Traversée d'un carrefour giratoire avec 1 arrêt du véhicule
Consommation estimée (ml)	50	75	60	70

Tableau 16 : Estimation des consommations de carburant lors du franchissement d'un carrefour (Romon, 2012)

En prenant l'hypothèse simplificatrice que la consommation d'un véhicule lors de la traversée d'un carrefour plan est similaire à celle de la traversée d'un carrefour à feux sans arrêt, on peut estimer grossièrement les surconsommations de carburant suivantes dans une démarche d'évaluation :

- Carrefour plan sans arrêt / giratoire sans arrêt : + 10 ml
- Carrefour plan sans arrêt / giratoire avec arrêt : + 20 ml

12 GERICO : Gestion globale de l'EneRgie véhicule et Interface pour une Conduite citoyenne

- Carrefour plan avec arrêt / giratoire sans arrêt : - 15 ml
- Carrefour plan avec arrêt / giratoire avec arrêt : - 5 ml

Sur ces bases, un calcul sommaire des gains ou pertes de consommations des VL a été effectué pour le cas d'étude du giratoire RD 490 / RD 913 dont le détail est présenté en annexe. La surconsommation totale des VL est estimée à 48,2 l par jour ouvrable, soit 12 185 l pour l'ensemble des jours ouvrables d'une année.

Ces surconsommations individuelles ou collectives sont estimées sur la base d'hypothèses très simplificatrices. Elles sont cependant à remettre dans leur contexte, à savoir l'axe Yvetot – La Mailleraye, un itinéraire d'environ 20 km. Individuellement, sur la base d'une consommation moyenne de 8 l/100, un VL consomme grossièrement 1,6 l sur l'itinéraire et subit une surconsommation pour 6 giratoires de 120 ml (cas défavorable d'un franchissement avec 1 arrêt), soit 10 % de consommation en plus.

6.4 – le recueil de données nécessaire

Au regard de l'usage de ces outils, il est nécessaire de s'interroger sur les modalités de recueil de données permettant d'alimenter le modèle trafic qui servira de support au modèle d'émission. En effet, il faut disposer de données permettant de décrire l'offre, soit l'infrastructure étudiée (capacités, distances de visibilité aux carrefours, caractéristiques géométriques, ...) et caractériser la demande, soit l'écoulement du trafic (vitesse d'usage, débits, caractéristiques de la composition du trafic...).

En conclusion, la définition d'indicateurs « environnementaux » dans l'évaluation de projets d'aménagements de voies existantes s'appuiera certainement sur une modélisation microscopique des émissions basée sur un modèle de trafic microscopique dynamique caractérisant l'écoulement du trafic. Ces méthodologies devront s'appuyer sur les travaux en cours tout en réfléchissant au recueil de données à prévoir pour alimenter ces modèles. Concernant les données trafic, il est probable qu'un recueil de données microscopiques permettra d'affiner les paramètres du modèle trafic.

7 – Synthèse

7.1 – L'évaluation appliquée au cas d'Yvetot – La Mailleraye

Les travaux d'évaluation réalisés dans le cadre de la sécurisation et de la modernisation de l'axe Yvetot – La Mailleraye menée par le Département de Seine-Maritime avec l'appui du Cerema / DterNC se sont focalisés sur :

- Une approche pragmatique et opportuniste s'appuyant sur la conduite du projet pour mettre en œuvre un suivi qui permette de tirer des enseignements tant organisationnels que méthodologiques destinés à évaluer les impacts des aménagements proposés sur la sécurité des usagers.
- Une extension de ce suivi et de cette évaluation à des domaines connexes impactés par les mesures prises, notamment l'écoulement du trafic pouvant être affecté par la création de carrefours giratoires et les mesures de modération de la vitesse pratiquée. Un focus plus particulier sur les giratoires à d'ailleurs été réalisé.
- Une réflexion sur l'approche multicritère de l'évaluation d'une telle action en étendant la réflexion aux aspects environnementaux (aménagements qui modifient l'écoulement du trafic) et au comportement des usagers (la mixité d'aménagements courants et innovants) dans la mesure du possible.

Il ressort de ce travail des enseignements qui relèvent d'une part d'un aspect organisationnel de la prise en compte de l'évaluation dans la conduite d'un tel projet et d'autre part d'aspects plus méthodologiques quand il s'agit de définir des indicateurs, des mesures et des modes opératoires pour évaluer des impacts.

Concernant les aspects organisationnels, il ressort les principaux éléments suivants :

- Pour les gestionnaires, notamment de réseaux routiers départementaux, il n'existe pas de cadre formalisé pour l'évaluation, même s'ils s'inspirent des démarches applicables au réseau national. L'évaluation et les outils associés, notamment le suivi, ne sont généralement pas pris en compte dès le début des réflexions. En fait, l'évaluation vise principalement à vérifier (au sens du contrôle extérieur) que les aménagements proposés respectent les recommandations en vigueur. Dans le cas d'aménagements qui dérogent aux recommandations, une attention particulière est portée et une évaluation des impacts peut être envisagée.
- L'absence de définition d'une procédure d'évaluation conduit généralement à l'absence de constitution de situation de référence et à la formalisation d'actions de suivi. Les services soumis aux contraintes opérationnelles ne planifient pas ce type de démarche dans le déroulement des différentes phases du projet.
- Ainsi, c'est bien dès le diagnostic et les études préalables, qu'une réflexion sur l'évaluation devrait être conduite. De plus, les services étant soumis à de fortes contraintes opérationnelles, il serait souhaitable que cette évaluation soit réalisée indépendamment des services directement impliqués dans les études/travaux.

7.2 – Des indicateurs directs et indirects pour la sécurité routière

Les indicateurs communément utilisés pour évaluer les impacts de sécurité routière sont la variation du nombre et de la gravité des accidents corporels de la circulation. Cependant même à l'échelle d'un itinéraire, en raison du faible nombre de ces événements rares, leur analyse reste perfectible et surtout elle nécessite un recul de plusieurs années

incompatible avec les besoins opérationnels des gestionnaires. Le recueil des accidents matériels pose la difficulté de l'exhaustivité et, généralement seuls ceux qui ont provoqué des dégâts au domaine public sont recensés. En complément, les informations recueillies par les patrouilleurs (traces, débris, ...) sont une source d'information complémentaire. Si les accidents corporels peuvent être utilisés pour une évaluation avant/après, c'est plus difficilement le cas pour les autres informations (accidents matériels, informations des patrouilleurs) qui ne peuvent être analysées que lors de la phase après, essentiellement en tant que signal d'alerte sur les défauts de fonctionnement d'un nouvel aménagement ou d'une modification de l'infrastructure.

Des indicateurs alternatifs peuvent être définis et utilisés, c'est notamment le cas des conflits de cisaillement en intersection qui ont permis d'une part de hiérarchiser des niveaux de risque selon les intersections et d'autre part de réaliser une comparaison avant/après avec un délai acceptable pour le gestionnaire. Cette méthode demande à être consolidée avant d'envisager de la généraliser.

De même, d'autres indicateurs indirects tels que ceux qui utilisent les mesures de vitesse ou des observations de trajectoires sont généralement retenus ; une baisse des vitesses pratiquées étant interprétée comme une amélioration de la sécurité entre deux phases avant/après. Pour les trajectoires, c'est plus souvent celles observées après aménagement qui sont recueillies afin de détecter des difficultés ou des incompréhensions.

Enfin, dans le principe de l'évaluation d'un impact de sécurité routière, ce sont bien les indicateurs issus d'informations ou de mesures réalisées avant/après qu'il faut prioriser. Celles recueillies exclusivement après venant en complément.

7.3 – Des indicateurs à formaliser pour l'exploitation et l'environnement

Pour le cas d'étude, l'évaluation du point de vue de l'écoulement du trafic et de l'environnement a mis en évidence les limites des outils et méthodes issus spécifiquement de ces domaines d'application. Leur utilisation à une opération plutôt sécurité routière dans un environnement rase campagne s'est avérée limitée, notamment en l'absence de perturbation de trafic sur un tel itinéraire. De fait, la majorité des indicateurs habituellement retenus ne trouvent ici aucun fondement pratique à l'exception des temps perdus et des temps de parcours. Cependant, l'utilisation de mesures microscopiques de trafic a permis des analyses approfondies pour évaluer l'impact des aménagements sur l'écoulement local du trafic d'une part et à l'échelle de l'itinéraire d'autre part. Une difficulté résiduelle reste la synthèse des indicateurs à produire afin de pouvoir être appropriés par les gestionnaires tant pour ses propres besoins que pour des besoins de communication externe. On notera ici que les évolutions technologiques et applicatives en cours notamment dans le domaine des véhicules traceurs constituent un réel enjeu dans la production et la valorisation des informations recueillies.

7.4 – Des indicateurs et des méthodologies à définir pour les usagers

Si les indicateurs et les méthodologies pour évaluer les impacts sur le comportement des usagers ont pu être investigués dans le cadre de l'étude de cas, à l'exception des mesures et observations usuelles telles les vitesses pratiquées et l'observation des trajectoires, il est d'ores et déjà envisageable de formuler des propositions susceptibles de pouvoir être mises en œuvre dans la suite du projet. C'est le sens des chapitres suivants qui suggèrent un cadre théorique transposable au contexte des aménagements de sécurité routière.

7.4.1 - Invention versus innovation

Face aux innovations en termes de sécurité routière ou en termes d'exploitation, il est possible de prendre **deux positions radicalement différentes**. La **première** repose sur l'idée de règle, de code : la conduite automobile fait l'objet d'un apprentissage, le code de la route doit être connu et les usagers se doivent de le respecter. Dans le cas contraire, ils encourent des sanctions et doivent, en cas d'accident, porter la responsabilité de leurs comportements. Dès lors que l'on se situe dans cette logique, la signalisation routière, par exemple, apparaît comme intangible (« Article 2. Fondement et intangibilité de la signalisation routière » de l'IISR¹³) et « Les usagers doivent respecter en toutes circonstances les indications résultant de cette signalisation » (Article R411-25 du Code de la route).

La **seconde position** repose sur l'idée qu'une signalisation, un aménagement, un dispositif doit **être respectable pour être respecté**, ou dans le même ordre d'idée, qu'une signalisation, un aménagement ou un dispositif **doit être acceptable pour être accepté**. Cette idée est étayée par la distinction réalisée entre **invention et innovation**. Pour Schumpeter (1911), la réalisation d'une invention et la mise en pratique de l'innovation correspondante sont, économiquement et sociologiquement, deux choses entièrement différentes. Ainsi, l'invention représente la création d'une nouveauté technique ou organisationnelle, concernant des biens, des services ou des dispositifs alors que l'innovation représente l'ensemble du processus social et économique amenant l'invention à être finalement utilisée, ou pas (Alter, 2002). Si l'invention est une potentialité, un élément mis à disposition, l'innovation consiste en l'implantation effective et durable d'inventions dans un milieu social donné. Or, 95 % des nouveautés mises sur le marché échouent (Andreani, 2001). En effet, « une innovation, aussi optimale soit-elle d'un point de vue technologique, ne peut être aussi efficace que supposée, si elle ne fait pas l'objet d'une acceptabilité (notamment sociale) des usagers » (Bordel et al., sous presse).

On pourrait considérer que dans le cadre d'aménagements routiers (tels ceux de l'axe Yvetot – La Mailleraye) la question de l'acceptabilité ne se pose pas puisque les usagers n'ont, *a priori*, pas le choix d'utiliser, ou non, les aménagements : ceux-ci s'imposent à eux, ils sont sur leur itinéraire. Pour autant, rien ne prouve, bien au contraire, que les usages qui sont réalisés de ces aménagements soient conformes à ceux imaginés par les concepteurs de ces aménagements. En effet, on a pu voir dans le projet SARI qu'il ne suffit pas d'informer les usagers d'un danger pour que ceux-ci se conforment à la prescription délivrée. Autrement dit, un aménagement peut être dévoyé ou plus simplement mal utilisé. Il est donc important, pour ne pas dire essentiel, de prendre en compte les usagers, et ce, dès le stade de la conception, en d'autres termes de prendre en compte l'acceptabilité.

7.4.2 - L'acceptabilité

L'acceptabilité¹⁴ est une **notion générique** qui renvoie à différentes dimensions et concepts (acceptabilité *a priori*, acceptation, appropriation, utilisabilité, efficacité, etc.). Elle peut être comprise comme le rapport qu'entretient l'individu avec l'objet (l'objet étant entendu au sens d'innovation, qu'il s'agisse d'une innovation technologique, organisationnelle...) (Désiré & Bordel, 2013). Si l'on se réfère au modèle de Nielsen (1993), l'acceptabilité se divise en deux dimensions : l'acceptabilité sociale et

13 IISR : Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière.

14 Les éléments ci-dessous sont issus du rapport suivant : Désiré, L., et Bordel, S. (2013). *Analyse longitudinale de l'acceptabilité de la voie réversible du pont de Saint-Nazaire. Analyse des comportements objectifs et subjectifs des usagers*. (Rapport de l'ORSI SERRES) (p. 156). Saint-Brieuc, France: CETE Ouest, Laboratoire de Saint-Brieuc, ERA33.

l'acceptabilité individuelle (dite également acceptabilité pratique ou opératoire). **L'acceptabilité individuelle** (pratique) est déterminée, pour partie, par l'utilité pratique, elle-même déterminée par l'utilité théorique (capacité du système à aider l'utilisateur à effectuer une série de tâches) et par l'utilisabilité (définie comme la capacité d'un système à être facilement et naturellement utilisable) (figure 21 ci-dessous. Le modèle de Nielsen d'après Pasquier, 2012).

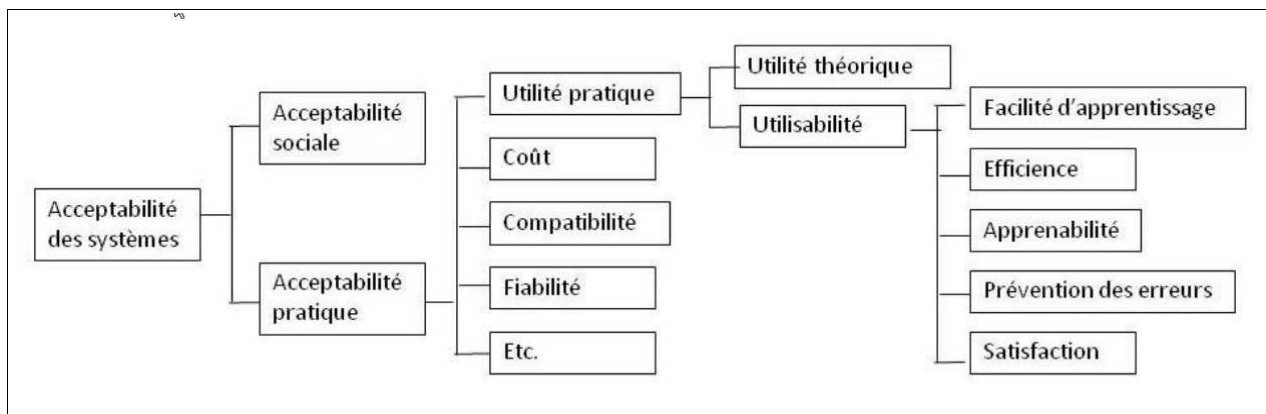


Figure 21 : Le modèle de Nielsen (d'après Pasquier, 2012).

L'acceptabilité sociale est définie par Lefeuvre, Bordel, Guingouain, Pichot, Somat, et Testé comme « la valeur que l'individu accorde à ces objets ou à ces utilisateurs en fonction du rapport spécifique qu'il entretient avec eux » (2008, p.101). Autrement dit, un objet doit s'insérer dans le mode de fonctionnement et dans le mode de penser de l'usager¹⁵.

Différents modèles tentent de rendre compte de l'acceptabilité sociale des systèmes : TAM1, TPB2, UTAUT3... Le modèle UTAUT (*Unified Theory of Acceptation and Use of Technology* ; Venkatesh, Morris, Davis & Davis, 2003) est considéré comme le plus abouti en ce qui concerne l'élaboration d'une vision unificatrice de l'acceptation et de l'utilisation des technologies. On notera que le terme « acceptation » est utilisé par les auteurs de ce modèle comme un terme générique. Par ailleurs, au-delà des résultats convaincants obtenus par ce modèle dans un certain nombre d'études (Venkatesh et al., 2003 ; voir également Lheureux, 2009), celui-ci a l'intérêt d'être parcimonieux, de combiner huit autres modèles déjà élaborés dans ce champ et de contenir les éléments principaux du modèle TAM (modèle ayant capté le plus d'attention dans le domaine durant ces vingt dernières années).

Le modèle UTAUT est composé de quatre principaux déterminants de l'intention d'usage et de l'usage effectif : la performance attendue, l'effort attendu, l'influence sociale et les conditions facilitatrices. La performance attendue correspond au degré avec lequel un individu croit qu'utiliser un système l'aidera à augmenter sa performance. Cet élément renvoie au fait de savoir si le futur utilisateur perçoit le système comme utile, s'il considère qu'il lui permettra de l'aider dans son activité, d'être plus efficace, plus productif ou d'améliorer la qualité de son travail. L'effort attendu correspond au degré de facilité associée à l'utilisation d'un système. Cet élément renvoie au fait de savoir si le futur

¹⁵ On distinguera l'utilisation qui s'attache « aux pratiques objectives ou objectivables et mobilise donc des méthodes d'évaluation souvent quantitatives ou fondées sur l'observation » (Benedetto-Meyer & Chevallet, 2008, p.12, cité par Bobillier Chaumon, 2013, p.29), de l'usage qui se définit au regard de l'interaction « entre l'objet technique et un contexte social en vue d'atteindre un objectif » (Bobillier Chaumon, 2013, p.29). De fait, l'utilisation renvoie à une vision très descriptive de la manière dont les individus utilisent un objet alors que l'usage explicite les conditions d'utilisation dans un contexte particulier, et c'est bien à ce titre que l'on parlera d'usagers et non d'utilisateurs.

utilisateur perçoit le système comme facile à utiliser, facilement compréhensible ou utilisable sans trop d'efforts. L'influence sociale correspond au degré avec lequel un individu perçoit que les personnes qui lui sont importantes croient qu'il devrait utiliser le nouveau système. Ainsi, le but est de savoir par cette variable si les futurs utilisateurs peuvent être influencés directement (conseils, encouragements...) ou indirectement (image positive ou négative...) par leur entourage (amis, collègues...) ou leur hiérarchie, en ce qui concerne le fait d'utiliser ou non le système. Les conditions facilitatrices correspondent au degré avec lequel un individu croit qu'une structure organisationnelle et technique existe en vue de supporter l'usage du système. La mesure consiste donc à évaluer la perception qu'ont les futurs utilisateurs des ressources internes (connaissances, compétences...) et externes (formation, aide, personne relais...) dont ils pourraient disposer. Le modèle UTAUT comprend également quatre autres variables (genre, âge, volontariat, expérience) qui modèrent l'effet des déterminants sur l'intention comportementale et l'utilisation effective.

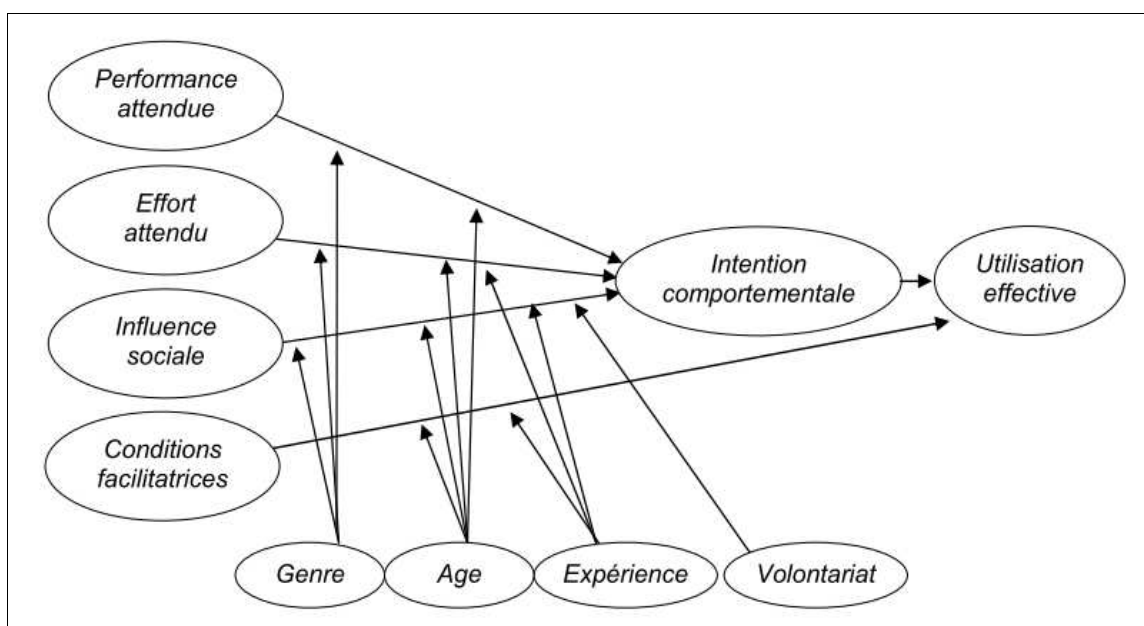


Figure 22 : Le modèle UTAUT, adapté de Venkatesh, Morris, Davis et Davis (2003)
(Extrait de Lheureux, 2009).

Par ailleurs, l'acceptabilité (au sens large) doit être analysée dans une perspective dynamique où l'on distingue l'acceptabilité *a priori*, l'acceptation et l'appropriation (Terrade, Pasquier, Boulanger-Reerink, Guingouain, & Somat, 2009). L'acceptabilité *a priori* renvoie au rapport que l'individu entretient avec l'objet avant que son utilisation effective n'ait été réalisée. Autrement dit, elle renvoie à la représentation subjective que se fait une personne d'un objet. Il s'agit de la première phase d'acceptabilité. La seconde phase, l'acceptation, correspond à la phase des premières expériences avec l'objet. Enfin, la troisième phase, l'appropriation, renvoie à l'usage ordinaire de l'objet.

La prise en compte de l'acceptabilité (au sens large) permet de prédire l'usage d'un objet. Elle doit être envisagée comme un processus dynamique qui accompagne l'innovation. De ce point de vue, elle n'est pas extérieure à l'objet, elle n'est pas un « couperet final » ou une sanction, bien au contraire, elle participe de la construction de l'objet, elle est en capacité de le faire évoluer pour le rendre plus acceptable (« plus respectable ») ou de proposer des mesures extérieures d'accompagnement qui faciliteront l'acceptabilité de l'objet et au final son usage.

Certes, cette façon d'appréhender les choses n'est pas familière au monde des

ingénieurs, pourtant un nombre conséquent de projets de recherche se sont inscrits dans cette logique (le projet LAVIA, le projet ANR-PREDIT SARI, le projet ANR ROADSENSE, les ORSI SERRES, PREVER...) produisant **de nouvelles connaissances et de nouvelles méthodologies qu'il conviendra, dans un avenir proche de valoriser d'un point de vue appliqué en vue de développer et de favoriser la prise en compte des usagers.**

7.5 – Des mesures et des modes opératoires à mutualiser dans une approche multicritère

Les évaluations réalisées dans le cadre de l'axe Yvetot – La Mailleraye ont montré tout l'intérêt qu'il peut y avoir à mutualiser les recueils de données réalisés sur le terrain au bénéfice de plusieurs applications dans une approche multicritère. Ainsi pour les différentes approches, il apparaît clairement que le recueil de données de trafic à chaque passage de véhicule pour une analyse microscopique devrait être promu et généralisé. En effet, de telles mesures présentent l'avantage indéniable d'être valorisées selon les domaines. Les exemples ci-dessous illustrent ce propos :

- **En sécurité / comportement** : les mesures de vitesses individuelles permettent de définir les populations pour lesquelles les indicateurs sont exprimés et notamment les véhicules libres.
- **En exploitation** : les mesures microscopiques de trafic permettent l'analyse des interactions de véhicules entre eux.
- **En environnement** : les mesures microscopiques de trafic autorisent ultérieurement différentes possibilités d'agrégations qui pourront être utilisées dans les outils de modélisation en fonction de la nature de l'information nécessaire.

La mutualisation des recueils de données nécessite cependant une coordination préalable, une identification des besoins multiples et une définition précise des mesures à réaliser. Ce travail effectué en amont minimise les coûts effectifs de réalisation des mesures, augmente la possibilité d'obtenir des résultats d'évaluation conclusifs et autorise des valorisations bien au-delà du périmètre du projet pour lequel elles sont réalisées.

De même, des procédures visant à qualifier la qualité des mesures et données recueillies sont à promouvoir auprès de l'ensemble des acteurs et services qui utilisent ces données. Ce point ne constitue pas une démarche courante actuellement.

8 – Perspectives

Les perspectives formulées dans les chapitres ci-après ont pour principal objet de reformuler la démarche d'évaluation par un questionnement préalable qui devrait être réalisé parallèlement aux phases d'avant projet, afin que l'évaluation soit parfaitement intégrée dans l'exécution du projet.

8.1 – *Éléments généraux sur l'évaluation*

De manière générale, l'évaluation est la démarche qui vise à **mesurer, quantifier, analyser** un dispositif, une situation, un organisme, une performance, une personne... L'Évaluation (avec un grand « É ») n'existe pas en tant que telle, il existe **DES évaluations** : évaluation des politiques publiques, évaluation scolaire, évaluation psychologique... Et de la même manière qu'il existe DES évaluations, il existe également **DES cadres paradigmatiques différents**, autrement dit des manières différentes d'appréhender l'évaluation. De ce point de vue, on distinguera ce que Ketele (1993) appelle le paradigme de l'intuition pragmatique des paradigmes scientifiques qui reposent, comme leur nom l'indique, sur une démarche scientifique (par « démarche scientifique » on fait référence à l'ensemble des méthodes formalisées par les scientifiques (observations, enquêtes, expériences...) pour produire les connaissances scientifiques). Dans le paradigme de l'intuition pragmatique, l'évaluation est une évaluation intuitive réalisée par des experts qui, en tant qu'experts, apparaissent comme « les personnes les mieux placées » pour réaliser l'évaluation. Ketele considère qu'il s'agit d'une évaluation intuitive dans la mesure où ni les objectifs, ni l'univers de référence, ni les critères, ni la façon de synthétiser les informations, ni la façon de les interpréter, ni la façon d'utiliser les résultats ne sont précisés. Ce type de pratiques a été fortement dénoncé, notamment dans le domaine scolaire. Il y a également une demande sociétale (passée au politique) croissante d'objectiver les évaluations.

Pour aborder la question de l'évaluation dans le cadre de paradigmes scientifiques, plusieurs « entrées » sont possibles. On peut s'intéresser à la fonction de l'évaluation, aux temps d'analyse ou de mesure, aux méthodologies... Autrement dit, s'intéresser à la question de l'évaluation revient à répondre aux questions suivantes :

- à partir de quelles connaissances évaluer ?
- pourquoi évaluer ?
- pour qui évaluer ?
- comment évaluer ?
- à quel moment évaluer ?

Répondre à l'une de ces questions implique de répondre aux autres, mais pour les besoins de l'analyse, il est utile de différencier ces différentes problématiques.

8.2 – *Évaluer à partir de quelles connaissances ?*

Il existe, à n'en pas douter, autant d'évaluations qu'il existe de domaines d'évaluation. Ainsi, chaque domaine de la vie sociale est générateur d'évaluations (domaine médical, domaine scolaire, domaine social...) et le domaine des transports ne fait pas exception. Par ailleurs, chaque discipline scientifique produit des cadres théoriques qui servent de support aux évaluations (économie, sociologie, psychologie...). De ce point de vue, il est possible de considérer différents niveaux d'analyse :

les **sciences pour l'ingénieur** (informatique, génie civil, etc.) proposent un **cadre technique** d'évaluation, il s'agit de vérifier d'une part, le respect des règles de l'art et, d'autre part, la mise en œuvre et le fonctionnement optimal ;

l'**économie** s'intéresse au **rapport coût/bénéfice** dans une logique de politique publique et de gestion de fonds publics, de manière plus pragmatique, elle peut aussi produire des éléments de connaissances utiles aux gestionnaires en termes d'investissements et de maintenance ; on parle d'**acceptabilité économique** (voir Bordel & Somat, 2010) ;

l'**analyse juridique**, notamment dans le cadre d'innovations, fournit des éléments d'analyse utiles pour les décideurs, on parlera également d'acceptabilité – **acceptabilité juridique** (voir également Bordel & Somat, 2010) – ainsi, face notamment aux Systèmes de Transport Intelligent (ITS) ou de déploiements d'aménagements innovants non encadrés réglementairement, le gestionnaire peut s'interroger et s'inquiéter des responsabilités supplémentaires qui lui incomberaient dans le cadre de déploiements de tels systèmes ou aménagements ;

la **psychologie** et ses différentes sous-disciplines (**psychologie cognitive, psychologie sociale, psychologie du développement...**) ainsi que les disciplines connexes (**ergonomie, communication...**) apportent un cadre conceptuel pertinent pour l'analyse du point de vue des usagers : perception, traitement de l'information, représentation, attitudes, normes, ... ; on fera référence utilement aux notions d'**acceptabilités individuelle et sociale** (voir toujours Bordel & Somat, 2010) ;

enfin, la **question environnementale**, qui connaît un essor depuis quelques années, invite également à prendre en compte ce facteur, tant en termes de pollution (y compris sonore [e.g., ligne d'alerte audiotactile, voir le projet ANR ROADSENSE (Anelli et al., 2013)]) qu'en termes d'économie d'énergie (cas par exemple de panneaux à message variable (PMV) nécessitant une alimentation électrique).

8.3 – Pourquoi évaluer ?

8.3.1 - Évaluer pour mesurer l'efficacité

Une façon d'évaluer est de mesurer l'efficacité, autrement dit de mettre en **rapport les buts avec les résultats**. Cela suppose de déterminer, dès le départ, les objectifs qui sont visés, puis de mesurer l'écart entre les objectifs visés et les objectifs atteints. Dans ce cadre, que l'on retrouve dans l'approche tylerienne (Tyler, 1942) en pédagogie, l'évaluation sert non seulement à évaluer si les objectifs d'apprentissage ont été atteints (autrement dit à évaluer l'élève), mais également à évaluer la formation, dans une **logique de rétro-action**.

8.3.2 - Évaluer pour mesurer les effets

Outre les résultats attendus, il est également possible d'évaluer les effets. Par « effets », on peut entendre les **résultats attendus** mais également les **effets non attendus**. Par ailleurs, les effets englobent les **réalisations** (effets immédiats ou « *output* »), les **résultats** (effets à moyen terme ou « *outcome* ») et les **impacts** (effets à long terme) (Galdemar et al., 2012).

8.3.3 - Évaluer pour mesure l'efficacité

Si l'efficacité renvoie au rapport entre les objectifs et les résultats obtenus, l'efficacité renvoie au **rapport entre les moyens mis en œuvre et les résultats obtenus**. Ainsi, un aménagement ou dispositif pourrait être très efficace mais peu efficace au regard de son

coût ou de sa difficulté de mise en œuvre. La notion d'efficacité renvoie par conséquent à l'évaluation multicritères ou à l'**interacceptabilité** (Crevits & Pacaux, 2010).

8.3.4 - Évaluer pour mesurer la performance

Selon Galdemar et al. (2012) évaluer la performance revient à évaluer les effets, l'efficacité, l'efficacité et l'effectivité (c'est-à-dire dans quelle mesure les réalisations prévues ont-elles été mises en œuvre ?).

8.3.5 - Évaluer pour décider

Le modèle « *Context, Input, Processus, Product* » (CIPP) de Stufflebeam (1993) a été développé dans le domaine de l'éducation. Ce modèle envisage l'évaluation en ce qu'elle permet de prendre une **décision**. Il distingue **quatre types d'évaluations** : celle du contexte, celle des « *inputs* », celle du processus et celle du produit. L'évaluation du contexte permet de définir les besoins et partant de là, de définir les objectifs. L'évaluation des inputs consiste à vérifier quelles ressources et moyens sont nécessaires à la mise en œuvre. L'analyse des processus consiste à suivre la mise en œuvre du projet (on pourra noter qu'à ce stade l'adhésion du groupe cible est vérifiée). Enfin, l'évaluation du produit permet de vérifier si les objectifs attendus sont atteints, mais les objectifs non attendus sont également pris en compte dans l'appréciation globale.

8.3.6 - Évaluer pour concevoir

Lorsque l'on parle d'efficacité ou de performance, on se situe dans une logique de gestion financière : comment, au regard des moyens, avoir la performance la meilleure ? On retrouve cette logique également dans l'évaluation comme aide à la décision : évaluer c'est permettre de choisir entre plusieurs solutions. Mais finalement, dans ces cadres, l'évaluation apparaît comme une évaluation finale, comme ce qui va déterminer la « sanction » (e.g., arrêt d'un programme social, mise au placard d'une innovation...), ce qui explique d'ailleurs les réticences et la « résistance instinctive » (OMS, 1981, p.12) face à l'évaluation et à ses résultats. Or, une autre façon de concevoir l'évaluation est de la considérer comme un **outil de conception**, comme participant pleinement à la co-construction (voir Bordel et al., 2014).

8.3.7 - Évaluer pour produire de la connaissance : la recherche

Si l'on prend en compte le continuum qui va de la recherche dite fondamentale à la recherche appliquée, on peut considérer que les disciplines scientifiques produisent une certaine forme d'évaluation, même si leur objectif premier n'est pas d'évaluer des objets mais de produire des connaissances. De fait, elles produisent des **éléments** (facteurs, variables) ou des **méthodologies** qui peuvent être utilisés dans un contexte évaluatif. Ainsi, le projet ANR-PREDIT « Surveillance Automatisée des Routes pour l'Information des conducteurs et des gestionnaires » (SARI) et plus spécifiquement le thème « Acceptabilités Juridique, Individuelle, Sociale et Economique » (AJISE) a produit des connaissances en termes d'acceptabilités et parallèlement, des méthodologies pertinentes pour l'évaluation de nouvelles signalisations.

8.4 – Pour qui évaluer ?

Là aussi, on peut considérer qu'il existe différents niveaux. Le **premier niveau** est celui de l'utilisateur. Cela peut apparaître comme un truisme, pourtant la prise en compte du facteur humain est récente (Quiguer, 2013).

Le **deuxième niveau** est celui des **gestionnaire** qui peuvent avoir à cœur les intérêts des usagers mais également des intérêts propres comme l'exploitation routière.

Le **troisième niveau** est celui des **décideurs** (notamment politiques).

Enfin, le **quatrième niveau** est celui très général de la **société**. Ainsi, on peut considérer que l'objectif premier d'un aménagement ou d'un dispositif est la sécurité routière et par conséquent appréhender la sécurité comme un bien général qu'il appartient de favoriser. Mais on pourrait tout autant considérer la sécurité routière comme un des éléments du système de transport et appréhender la sécurité à travers le prisme du transport comme vecteur économique, ou comme pratique de mobilité.

On pourra noter que les intérêts des uns ne sont pas forcément ceux des autres. Par exemple, mettre en place un giratoire pour « casser » les vitesses peut être efficace du point de vue de la sécurité routière, mais pas du point de vue des riverains, qui peuvent être gênés par le bruit engendré par les décélérations et les accélérations. De la même manière, il pourrait être considéré, d'un point de vue environnemental, que les accélérations et décélérations sont néfastes en termes de production de CO₂.

8.5 – Comment évaluer ?

Sans rentrer dans le détail des méthodologies, on distingue les **évaluations sommatives** qui, pour faire simple, considèrent l'évaluation comme la somme des différentes évaluations réalisées, des **évaluations intégratives** qui vont, au contraire, considérer que « le tout n'est pas la somme des parties » (psychologie de la forme ou gestaltisme). De ce point de vue, on peut se référer à la thèse de L. Duquesne (2009) qui propose une approche d'aide multicritères à la décision pour l'acceptation d'une signalisation routière dynamique. On soulignera que ce type de démarche, bien que fondamentalement pertinente, reste marginale, la catégorisation des sciences en disciplines n'étant pas favorable au travail pluridisciplinaire et encore moins transdisciplinaire.

On oppose également parfois les évaluations **quantitatives** (on retrouve ici la notion de performance et d'efficacité) aux évaluations **qualitatives** (on parlera alors plus volontiers de « qualité de service », de « confort », d'information, etc.).

On peut, enfin, distinguer les **mesures objectives** (observables, mesurables, quantifiables d'un point de vue extérieur) des **mesures subjectives** (c'est-à-dire auto-rapportées par les individus). De ce point de vue, on notera la position de Désiré & Bordel (2013) qui considèrent que ces variables sont complémentaires et doivent être croisées pour approcher l'acceptabilité d'un dispositif : ce n'est qu'en croisant ce que font les gens avec ce qu'ils disent qu'ils font, ce qu'ils disent de pourquoi ils le font, et le contexte dans lequel ils le font et le disent, que l'on peut appréhender le comportement de manière globale.

8.6 – À quel moment évaluer ?

Très souvent, l'évaluation est ressentie comme un jugement final qui viendrait valider une formation, une innovation, un fonctionnement... Or, il est possible et même souhaitable (voir point §8.1.2.6) d'envisager l'évaluation comme un **processus longitudinal** qui répondrait à différents objectifs. En pédagogie, on distingue l'**évaluation diagnostique** (l'évaluation pré-formation), l'**évaluation formative** (l'évaluation pendant la formation) et l'**évaluation certificative** (l'évaluation post-formation) (Ketele, 1993).

Dans le domaine de l'innovation, on distingue l'**acceptation a priori**, l'**acceptation et l'appropriation** (Quiguer, 2013 ; Terrade, Pasquier, Reerinck-Boulanger, Guingouain, & Somat, 2010 ; Bordel et al., 2014) dans une perspective dynamique et temporelle (Dubois &

Bobiller-Chaumont, 2010). On parle « d'acceptabilité *a priori* » lorsque la mesure est réalisée à un moment où les futurs utilisateurs n'ont pas encore eu la possibilité de manipuler la technologie (ils n'ont alors qu'une représentation fictive de l'usage de la technologie). Le terme « acceptation » définit l'étude de l'usage dès lors que l'individu a eu l'occasion de manipuler au moins une première fois la technologie. On parle de l'appropriation de la technologie lorsque l'outil est déjà intégré dans le fonctionnement ordinaire et dans l'activité de l'utilisateur.

8.7 – Synthèse

L'évaluation peut s'appliquer dans de nombreux domaines, à d'innombrables objets, de multiples façons avec différents objectifs. Dès lors, l'évaluation apparaît comme une **notion définitivement plurielle** qu'il convient de définir pour mieux l'appréhender. Parler d'évaluation, c'est prendre en compte l'ensemble des questions évoquées. C'est notamment définir l'objet de l'évaluation et poser explicitement la question de l'objectif ou des objectifs. Évaluer un aménagement, ou plutôt des aménagements tels que ceux de l'axe Yvetot – La Mailleraye, c'est prendre en compte différentes dimensions : sécurité routière, exploitation, usagers, environnement.

8.8 – Propositions d'action

Au-delà des réflexions conceptuelles présentées dans les précédents paragraphes et, en s'appuyant sur un corpus technique et méthodologique déjà existant, mais à faire évoluer et à adapter, l'évaluation multicritère pourrait être au centre des travaux de la future ORSI Optimisation, Lisibilité et Acceptabilité du Système routier (OLAS) en cours d'élaboration. De même parmi les cadres d'application de tels travaux, la sécurisation et la modernisation de l'axe Yvetot – La Mailleraye reste un terrain privilégié, notamment pour l'achèvement des aménagements en cours et prévus ainsi que pour l'analyse globale de l'itinéraire. En complément, il convient aussi de citer la sécurisation et la modernisation de la RD6015 en Seine-Maritime qui est en projet et qui s'appuie sur les deux principales actions complémentaires suivantes :

- Une sécurisation de l'axe par des aménagements de l'infrastructure routière actuellement constituée d'une route bidirectionnelle à 3 voies avec créneaux de dépassement.
- Une sécurisation de l'axe par une limitation de la capacité (réduction à 2 voies bidirectionnelles) et une incitation pour le trafic de transit à se reporter sur l'autoroute A29 en parallèle.

La nature même des mesures envisagées par le gestionnaire justifie ainsi pleinement de mettre en œuvre une évaluation multicritère.

Références

- Alter, N. (2002). *Les logiques de l'innovation*. Paris, France, La Découverte.
- Andreani, J. (2001). Marketing du produit nouveau : 95 % des produits nouveaux échouent. *Revue Française du Marketing*, 182, 5-11.
- Anelli, P., Ledon, C., Violette, E. (2013). Prévention des sorties involontaires de voies par lignes audio-tactiles, *Revue Générale des Routes et Aérodrômes*, n°912, 51-56.
- Anelli, P., Violette, E. (2014). *Roadsense project : final seminar and perspectives*, *Revue Générale des Routes et Aérodrômes*, Special TRA2014 Road Safety, 97-101, spring 2014.
- Bakry, MR. (2011). Opération SERRES action 3, méthodologies d'évaluation, Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud-Ouest, février 2011.
- Bordel, S., Somat, A. (2010). AJISE. Bilan, rapport de synthèse et recommandations (No. L2.14.1 bis) (p. 60). Saint-Brieuc, France: Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest, LR de Saint-Brieuc, ERA33.
- Bordel, S., Somat, A., Barbeau, H., Anceaux, F., Greffeuille, C., Menguy, G., ... Gallenne, M.-L. (2014). *From technological acceptability to appropriation by users: Methodological steps for device assessment in road safety*. *Accident Analysis & Prevention*, 67, 159-165.
- Certu. (2009). Guide Carrefours urbains, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 2009.
- Certu. (2013). Projet de guide méthodologique « Évaluation des projets de gestion de trafics et d'information des usagers » v0.4, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, avril 2013.
- CETE Normandie-Centre. (1992). Cinématique sur les carrefours giratoires, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, 1992.
- CETE Normandie-Centre. (1994). Cinématique sur carrefours plans, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, avril 1994.
- CETE Normandie-Centre. (2009). Expérimentation des supports d'équipements routiers à sécurité passive, Document 1 : cahier des charges et fiche de suivi. Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, novembre 2009.
- CETE Normandie-Centre. (2010a). Vitesses pratiquées sur l'axe Yvetot – La Mailleraye, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, avril 2010.
- CETE Normandie-Centre. (2010b). Bilan accidentologique et visite de sécurité dans la perspective d'un itinéraire sans accident : Synthèse, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, février 2010.
- CETE Normandie-Centre. (2010c). Modernisation de l'axe Yvetot – La Mailleraye : Observation des trafics et des comportements sur le Pont de Brotonne, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, novembre 2010.
- CETE Normandie-Centre. (2010d). Axe Yvetot – La Mailleraye : influence d'une chaussée mono-déversée sur l'accidentologie et le comportement des usagers, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, mai 2010.
- CETE Normandie-Centre. (2010e). Vitesses pratiquées sur l'axe Yvetot – La Mailleraye, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, avril

2010.

CETE Normandie-Centre. (2010f). Modernisation et sécurisation de l'axe Yvetot - La Mailleraye-sur-Seine, Estimation de la demande et de l'offre de dépassement avant et après aménagement de l'axe, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, novembre 2010.

CETE Normandie-Centre. (2011a). Modernisation de l'axe Yvetot – La Mailleraye : Analyse du risque en carrefours, études de cas, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, juin 2011.

CETE Normandie-Centre. (2011b). Modernisation de l'axe Yvetot – La Mailleraye : Application du profil V_{85} pour l'étude des zones à risque de l'axe, rapport d'études, Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre, février 2011.

Chevalier, E. (2008). Modélisation dynamique du trafic et du bruit au niveau des carrefours giratoires, thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2008.

Crévits, I., & Pacaux-Lemoine, M.-P. (2010). Interacceptabilité dans SARI. PRAC2010 : Prévention des Risques et Aides à la Conduite, Paris, France, mai.

Désiré, L., & Bordel, S. (2013). Analyse longitudinale de l'acceptabilité de la voie réversible du pont de Saint-Nazaire. Analyse des comportements objectifs et subjectifs des usagers. (Rapport de l'ORSI SERRES) (p. 156), Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest, Laboratoire de Saint-Brieuc, ERA33.

DOT. (1995). *Roundabout Design Guidelines, State of Maryland, Department of Transportation, State Highway Administration*, 1995.

Dubois, M., & Bobillier-Chaumon, M.-É. (2010). L'acceptabilité des technologies : bilans et nouvelles perspectives. *Le travail humain*, Vol. 72(4), 305-310.

Duquesne, L. (2009). Une approche d'aide multicritère à la décision pour l'acceptation d'une signalisation routière dynamique (Thèse de doctorat). Laboratoire d'automatique, de mécanique et d'informatique industrielles et humaines, Valenciennes, Nord, France.

Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures, second edition*, 2009.

Galdemar, V., Gilles, L., & Simon, M.-O. (2012). *Performance, efficacité, efficience : les critères d'évaluation des politiques sociales sont-ils pertinents ?* (Rapport de recherche No. 299) (p. 80). Paris, France: CREDOC. Consulté à l'adresse <http://www.credoc.fr/pdf/Rech/C299.pdf>.

Girandola, F., Joule, R.V. (2008). La communication engageante, *Revue électronique de Psychologie Sociale*, n°2, 41-51.

INRETS. (2006). Rapport expérimental sur l'étude conjointe du trafic et du bruit au niveau des giratoires, Partie 1 : résultats cinématiques et d'écoulement, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, École Nationale des Travaux Publics de l'État, novembre 2006.

IRIS Conseil. (2012). La Mailleraye sur Seine RD913 : comptages automatiques avec analyse des vitesses, décembre 2012.

Ketele, J.-M. de. (1993). L'évaluation conjuguée en paradigmes. *Revue française de pédagogie*, 103(1), 59-80. doi: 10.3406/rfp.1993.1298

Lefevre, R., Bordel, S., Guigouain, G., Pichot, N., Somat, A., & Testé, B. (2008). Sentiment de contrôle et acceptabilité sociale *a priori* des aides à la conduite. *Le travail humain*, 71(2), 97-135.

- Lheureux, F. (2009). Innovation technologique et sécurité routière: modélisation et optimisation de l'acceptation des systèmes d'aide à la conduite automobile. Thèse de doctorat (document non publié) Université de Provence.
- LICIT. (2009). Estimation des consommations énergétiques et des polluants émis par le trafic routier, revue bibliographique des modèles existants, Laboratoire d'Ingénierie Circulation Transports, juillet 2009.
- MEL. (1970). Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales, Ministère de l'Équipement et du Logement, 1970.
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston: Academic Press
- OMS. (1981). L'évaluation des programmes de santé. Principes directeurs pour son application dans le processus gestionnaire pour le développement sanitaire national. Genève, Switzerland: OMS. Consulté à l'adresse : <http://whqlibdoc.who.int/publications/9242800066.pdf>
- ONISR. (2011). La sécurité routière en France : bilan de l'année 2010. Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière, *La Documentation Française*, Paris, France.
- ONISR. (2013). La sécurité routière en France : bilan de l'année 2012. Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière, *La Documentation Française*, Paris, France.
- Pasquier, H. (2012). Définir l'acceptabilité sociale dans les modèles d'usage : vers l'introduction de la valeur sociale dans la prédiction du comportement d'utilisation. (Thèse non publiée). Université de Rennes 2, Rennes (France).
- Quiguer, S. (2013, janvier). Acceptabilité, acceptation et appropriation des Systèmes de Transport Intelligents: Elaboration d'un canevas de co-conception multidimensionnelle orientée par l'activité (Thèse). Université de Rennes 2, Rennes, France. Consulté à l'adresse : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/79/03/92/PDF/2013theseQuiguerSR.pdf>.
- Romon, S. (2012). ORSI SERRES et PREVER : Consommation des véhicules en fonction de l'infrastructure, Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud-Ouest / ZELT, juillet 2012.
- Schumpeter, J. A. (1911). *Théorie de l'évolution économique*. Paris, France: Dalloz. Consulté à l'adresse http://classiques.uqac.ca/classiques/Schumpeter_joseph/theorie_evolution/theorie_evolution.html.
- Setra. (1984). La capacité des carrefours giratoires : étude bibliographique et propositions, rapport d'étude, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, 1984.
- Setra. (1986). La capacité des carrefours sans feux : Méthodes et modèles, Rapport d'étude, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, octobre 1986.
- Setra. (1994). Aménagement des Routes Principales (ARP) - Guide technique, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, août 1994.
- Setra. (1998). Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans, guide technique, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, décembre 1998.
- Setra. (2002). Réserve de capacité d'un itinéraire : Méthode de calcul, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, mai 2002.
- Setra. (2003). Contrôle de Sécurité des Projets Routiers (CSPR) : Réalisation des bilans de sécurité après mise en service. Guide méthodologique, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, juillet 2003.

- Setra. (2005a) <http://www.sure.equipement.gouv.fr/accueil-r50.html>
- Setra. (2005b). Contrôle de Sécurité des Projets Routiers (CSPR) : éléments de démarche qualité pour une meilleure prise en compte de la sécurité. Guide technique, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, mars 2005.
- Setra. (2006a). Démarche SURE : Présentation et management. Collection les Outils, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, mars 2006.
- Setra. (2008). Démarche ISRI : Guide méthodologique. Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, 2008.
- Setra. (2009). Note d'information SETRA : Approche de la congestion routière – méthode de calcul du temps gêné, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, juillet 2009.
- Setra, Certu. (2011). Girabase : calcul de capacité de carrefour giratoire, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements - Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 2011.
- Setra. (2012). Audits de sécurité routière. Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, août 2012.
- Setra. (2013). Projet de guide technique : « projets de gestion de trafic v2,1 – volumes 1 à 3 », Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, juin 2013.
- Stufflebeam, D. L. (1983). *The CIPP Model for Program Evaluation*. In *Evaluation Models* (p. 117-141). Springer Netherlands. Consulté à l'adresse : http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-6669-7_7.
- Subirats, P., Dupuis, Y., Violette, E., Doucet, D., Dupré, G. (2010a) *A new tool to evaluate safety of crossroad*, 4th International Symposium on Highway Geometric Design, Valence, 2-5 juin 2010, <http://www.4ishgd.valencia.upv.es/>
- Subirats, P., Louah, G., Violette, E., Le Lez, C., Doucet, D., Hublart, A. (2010b). Estimation de la vitesse pratiquée sur un itinéraire par fusion de mesures embarquées et bord de voie, Séminaire DIVAS, Nantes, 19-20 octobre 2010
- Swedish Road Administration. (2006). *Safe Traffic : vision zero on the move*. Mars 2006.
- Terrade, F., Pasquier, H, Reerink-Boulanger, J, Guingouain, G. & Somat, A. (2009). L'acceptabilité sociale : la prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de l'acceptabilité des systèmes technologiques. *Le Travail Humain*, 72 (4), 383-395.
- TRB. (2000). *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board, 2000.
- TRB. (2010). *NCHRP, Report 672, Roundabouts : an informational guide, second edition*,– Transportation Research Board, 2010.
- Tyler, R. W. (1942). *General statement on evaluation*. *Journal of Educational Research*, 35, 492–501
- Venkatesh, V., Morris, M., Davis, G., & Davis, F. D. (2003). *User acceptance of information technology: toward a unified view*. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.

Annexes

Annexe 1 – Le carrefour RD490 / RD143



Figure A1-1 : Avant aménagement



Figure A1-2 : Après aménagement : Îlots et voies sur la route principale



Figures A1-3 : Après aménagement : Bandes rugueuses et limitation de vitesse

Annexe 2 – Le carrefour de la Quenellerie



Figure A2-1 : Le diable se cache dans les détails ; masque à la visibilité introduit à la fin des travaux



Figure A2-2 : Seule la visibilité sur les PL est acceptable



Figure A2-3 : Suppression du masque après mise en situation des personnels de terrain

Annexe 3 – Aménagement des giratoires et obstacles



Figure A3-1 : D42 implanté derrière dispositif de retenue



Figure A3-2 : Suppression des obstacles ;D42 sur support fusible



Figures A2-3 : Le diable se cache dans les détails ; D42 sur support fusible et création d'un obstacle pour la communication sur les travaux en cours

Annexe 4 – Calcul des indicateurs « écoulement du trafic » et « consommations énergétiques » pour l'étude de cas du giratoire RD490/RD913

Les indicateurs ont été établis à partir de données de comptage suivants transmis par le Département de Seine-Maritime :

- RD 490 : débits horaires classifiés par longueur du 03/05/2001 au 18/05/2011 et du 06/12/2011 au 19/12/2011
- RD 913 sud – PR 12 : débits horaires classifiés par longueur du 03/05/2001 au 15/05/2011 et du 06/12/2011 au 19/12/2011
- RD 913 Nord – PR 16+900 : débits horaires classifiés par longueur du 14/09/2009 au 20/09/2009

Ces données ont ensuite été traduites en uvp/h sur la base d'un PL équivalent à 2,5 uvp pour tenir compte du caractère contraignant de la cinématique des PL dans le franchissement du giratoire. Il a été retenu la valeur moyenne et la valeur maximum du débit horaire par tranche horaire des jours ouvrés (lundi à vendredi). L'ensemble des données trafic est précisé dans le tableau 1.

Des matrices origines / destinations du fonctionnement du carrefour aux heures de pointe du matin et du soir ont été estimées sur les bases de ces débits mesurés.

Heure de pointe du matin :

	RD 490		RD 913 Nord		RD913 sud		entrants	
RD490	X	-	0	0.0%	480	53.0%	480	53.0%
RD913N	67	7.4%	X	-	21	2.3%	88	9.7%
RD913S	262	28.9%	76	8.4%	X	-	338	37.3%
sortants	329	36.3%	76	8.4%	501	55.3%	906	100.0%

Heure de pointe du soir :

	RD 490		RD 913 Nord		RD913 sud		entrants	
RD490	X	-	80	8.4%	286	29.9%	366	38.3%
RD913N	20	2.1%	X	-	67	7.0%	87	9.1%
RD913S	470	49.2%	32	3.4%	X	-	502	52.6%
sortants	490	51.3%	112	11.7%	353	37.0%	955	100.0%

Trafic JO en uvp/h		0-1h	1-2h	2-3h	3-4h	4-5h	5-6h	6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	18-19h	19-20h	20-21h	21-22h	22-23h	23-24h
RD 490 sens 1	uvp moy	16	7	7	12	27	39	103	265	293	215	175	179	168	175	202	200	289	378	298	182	91	58	50	36
	max uvp	40	22	24	21	45	58	128	328	343	250	227	242	224	245	328	294	418	47	356	260	157	128	105	87
Ajuster les colonnes du tableau																									
RD 490 sens 2 entrant	uvp moy	12	10	11	30	74	99	240	386	305	218	187	182	164	168	196	216	266	296	216	128	61	37	24	20
	max uvp	20	16	28	55	145	184	311	480	376	279	243	221	240	226	265	292	323	366	290	193	76	71	47	37
RD 913 sud sens 1 entrant	uvp moy	16	10	8	12	27	41	111	261	298	220	189	189	178	187	215	215	315	418	322	207	105	66	55	38
	max uvp	39	26	23	22	42	60	150	315	363	253	245	255	247	248	317	304	449	502	387	279	169	137	112	91
RD 913 sud sens 2 sortant	uvp moy	12	11	12	28	76	101	247	405	337	225	193	184	168	173	200	219	268	290	214	122	64	35	23	20
	max uvp	20	19	28	54	147	183	312	501	416	281	241	231	226	245	277	292	316	353	290	204	91	64	45	39
RD 913 nord sens 1	uvp moy	3	1	2	0	7	10	31	66	105	55	55	66	51	68	60	64	98	102	90	47	28	0	9	7
	max uvp	4	2	4	1	10	12	40	76	129	68	64	93	68	77	78	91	121	112	107	58	44	14	13	15
RD 913 nord sens 2 entrant	uvp moy	4	1	1	1	4	8	28	71	65	68	57	77	71	61	53	61	83	105	103	65	33	17	11	7
	max uvp	7	3	3	4	5	11	37	88	71	82	76	95	87	76	62	77	106	130	118	86	47	25	15	16

Tableau 1

Capacité du carrefour

Carrefour plan : la capacité du carrefour plan est liée directement à la capacité du courant non prioritaire entrant sur l'axe prioritaire. La capacité est calculée selon la formule du guide de réserve de capacité : $C = 800 - 0,5 \times Q_g$, Q_g étant le trafic gênant.

Dans le cas du carrefour RD490/RD913, le flux gênant est la somme des flux RD 913 sud vers RD 490 et RD 490 vers RD 913 sud. Le flux gêné est celui issu de la RD 913 Nord se dirigeant vers la RD 913 Sud. En effet, le flux RD913 Nord vers RD 490 bénéficie d'une voie d'insertion.

Carrefour giratoire : La méthode retenue est celle du guide réserve de capacité avec une largeur d'îlot = 5 m , une largeur de l'anneau du giratoire = 7 m et une largeur de la bretelle d'entrée = 4 m.

Le détail des calculs est présenté par plage horaire dans le tableau 2 pour la capacité du carrefour plan et dans le tableau 3 pour la capacité du giratoire.

Capacité et temps perdus sur le carrefour plan avant travaux

	0-1h	1-2h	2-3h	3-4h	4-5h	5-6h	6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	18-19h	19-20h	20-21h	21-22h	22-23h	23-24h		
Capacité																										
trafic gênant (uwp) (RD490 entrant + 85 % RD 913S entrant)	53	38	47	73	180	235	438	748	684	494	450	437	450	436	534	549	704	792	618	430	219	187	142	113		
trafic gêné (uwp) (45 % RD913N entrant)	3	1	1	2	2	5	17	40	32	37	34	43	39	34	28	35	48	59	53	39	21	11	7	7		
Capacité (uwp)	774	781	776	764	710	683	581	426	458	553	575	582	575	582	533	525	448	404	491	585	691	707	729	743		
taux saturation % (trafic gêné / capacité)		0	0	0	0	0	1	3	9	7	7	6	7	7	6	5	7	11	14	11	7	3	2	1		
Temps perdus usagers voie principale (s)																										
sens RD913S vers RD490	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8		
sens RD490 vers RD913S	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8		
temps perdu total																								Total (s)	Total (h)	
sens RD913S vers RD490	460	301	271	254	490	708	1764	3717	4278	2985	2885	3003	2915	2926	3735	3581	5292	5924	4561	3286	1988	1617	1316	1068	59325	16,5
sens RD490 vers RD913S	230	189	325	643	1711	2171	3670	5664	4437	3292	2862	2602	2832	2661	3127	3440	3806	4313	3416	2277	891	832	555	431	56375	15,7
32,1 h																										

Temps perdus usagers voie secondaire (s)

retard unitaire du à l'attente estimée	0	0	0	0	0	0	0	23	23	12	12	12	12	12	12	12	26	26	26	12	12	0	0	0		
retard géométrique estimé 12 s	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
total temps perdu unitaire	12	12	12	12	12	12	12	35	35	24	24	24	24	24	24	24	38	38	38	24	24	12	12	12		
total temps perdu	38	16	14	19	27	59	200	1386	1118	886	821	1026	940	821	670	832	1813	2223	2018	929	508	135	81	86	16663 s	4,6 h

Tableau 2

Capacité giratoire

	0-1h	1-2h	2-3h	3-4h	4-5h	5-6h	6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	18-19h	19-20h	20-21h	21-22h	22-23h	23-24h	
Trafic gênant tournants à chaque bretelle (uwp)																									
débit gênant RD 490 (Trafic sortant RD913N)	4	2	4	1	10	12	40	76	129	68	64	93	68	77	78	91	121	112	107	58	44	14	13	15	
débit gênant RD 913 N (85 % trafic entrant RD913S)	33	22	20	18	35	51	127	268	308	215	208	216	210	211	269	258	381	427	329	237	143	116	95	77	
débit gênant RD 913 S (7% du trafic entrant RD490)	1	1	2	4	10	13	22	34	26	20	17	15	17	16	19	20	23	26	20	14	5	5	3	3	
Trafic sortant équivalent bretelle concernée (uwp) - Qs																									
RD 490		27	15	16	14	30	39	86	219	229	167	152	161	150	163	219	196	279	314	237	174	105	86	70	58
RD913 N		3	1	3	1	7	8	27	51	86	45	43	62	45	51	52	61	81	75	71	39	29	9	9	10
RD 913 S		13	13	18	36	98	122	208	334	277	187	161	154	150	163	184	194	211	235	193	136	60	42	30	26
Trafic gênant total (uwp) - Qg																									
RD 490		24	13	16	11	33	41	105	241	305	194	179	218	182	202	243	241	333	348	288	189	124	77	65	58
RD913 N		38	24	23	20	43	61	157	327	397	266	256	280	261	266	330	324	472	517	408	285	177	133	109	91
RD 913 S		11	10	15	30	82	102	174	278	229	157	135	128	127	135	153	163	177	198	162	113	49	36	25	21
Capacité bretelle (uwp)																									
RD 490		1379	1387	1385	1388	1372	1366	1319	1219	1172	1254	1265	1237	1263	1248	1218	1220	1152	1140	1185	1258	1306	1340	1349	1354
RD913 N		1369	1379	1379	1382	1365	1352	1281	1156	1105	1201	1208	1191	1205	1201	1154	1159	1050	1017	1097	1187	1267	1299	1316	1330
RD 913 S		1388	1389	1385	1374	1336	1322	1269	1192	1228	1281	1298	1302	1303	1297	1284	1277	1266	1251	1278	1314	1360	1370	1378	1381
Taux de saturation % : trafic entrant / capacité																									
RD 490		1	1	2	4	11	13	24	39	32	22	19	18	19	18	22	24	28	32	24	15	6	5	3	3
RD913 N		1	0	0	0	0	1	3	8	6	7	6	8	7	6	5	7	10	13	11	7	4	2	1	1
RD 913 S		3	2	2	2	3	5	12	26	30	20	19	20	19	19	25	24	35	40	30	21	12	10	8	7

Tableau 3

Temps de parcours

Avant aménagement :

Sur la voie principale, le temps perdu sur la zone concernée par le futur giratoire a été estimée à partir de passages de véhicules traceurs. Il est de l'ordre de 11,8 s.

Sur la voie secondaire, le temps perdu est la somme du temps de franchissement non gêné (ou retard géométrique) et du temps d'attente au stop pour une insertion sur la voie principale. Sur la base des éléments exposés au chapitre précédent, le temps de franchissement a été fixé à 12 secondes. Le temps d'attente a été estimé à partir des abaques de l'ICTARN et varie entre 12 et 26 secondes.

Le détail des calculs est présenté par plage horaire dans le tableau 2. **Le temps perdu total sur une journée ouvrée est estimée à 36,7 h.**

Après aménagement :

Le temps de franchissement ou temps perdu est calculé pour les usagers provenant de chaque branche du giratoire par plage horaire. Il est composé du retard géométrique du au giratoire calculé à partir de la formule simplifiée de Mac Donald et Noon avec une vitesse de 70 km/h, soit 8,9 s cumulé au temps de franchissement de la zone sans giratoire (11,8 s) et du délai d'insertion dans le giratoire (Control Delay) calculé selon la méthode du « Roundabouts : an informational guide ».

Le détail du calcul des temps perdus est présenté dans le tableau 4. **Le temps perdu total sur une journée ouvrée est estimée à 75,6 h.**

Temps perdus sur giratoire

	0-1h	1-2h	2-3h	3-4h	4-5h	5-6h	6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	18-19h	19-20h	20-21h	21-22h	22-23h	23-24h			
<i>Control Delay (s)</i>																											
RD 490	2.6	2.6	2.7	2.7	2.9	3.0	3.6	4.9	4.5	3.7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.8	3.9	4.3	4.6	4.0	3.4	2.9	2.8	2.8	2.7			
RD913 N	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.9	3.4	3.5	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.8	4.1	3.7	3.3	3.0	2.8	2.8	2.7			
RD 913 S	2.7	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	3.2	4.1	4.2	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.7	3.7	4.4	4.8	4.0	3.5	3.0	2.9	2.8	2.8			
<i>Retard total unitaire (s)</i>																											
RD 490	23.3	23.3	23.4	23.4	23.6	23.7	24.3	25.6	25.2	24.4	24.2	24.2	24.2	24.5	24.6	25.0	25.3	24.7	24.1	23.6	23.5	23.5	23.4				
RD913 N	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.4	23.6	24.1	24.2	23.9	23.9	24.0	23.9	23.9	24.0	24.0	24.5	24.8	24.4	24.0	23.7	23.5	23.5	23.4			
RD 913 S	23.4	23.3	23.3	23.4	23.5	23.6	23.9	24.8	24.9	24.2	24.1	24.1	24.1	24.4	24.4	25.1	25.5	24.7	24.2	23.7	23.6	23.5	23.5				
<i>temps perdu total (s)</i>																								Total (s)	Total (h)		
RD 490	455	373	642	1275	3427	4369	7548	12271	9483	6806	5874	5346	5813	5462	6486	7164	8075	9263	7156	4648	1784	1659	1103	855	117338	33	
RD913 N	163	70	58	82	117	257	873	2118	1717	1961	1815	2279	2081	1816	1488	1850	2599	3219	2877	2061	1112	588	352	375	31928	9	
RD 913 S	911	595	537	502	974	1413	3576	7813	9011	6123	5897	6142	5955	5984	7729	7405	11257	12802	9562	6733	3997	3236	2625	2126	122906	34	
																									75,6 h		

Tableau 4

En retenant l'hypothèse de 253 jours ouvrés par an, le temps perdu total des usagers avec l'aménagement du giratoire est estimé à **9 825 h**.

Consommations énergétiques

Le calcul des gains ou pertes de consommation entre la situation carrefour plan et la situation carrefour giratoire porte sur les VL uniquement.

Il a été retenu les hypothèses suivantes de surconsommation entre la situation d'un carrefour plan et la situation d'un carrefour giratoire :

- carrefour plan sans arrêt / giratoire sans arrêt : 10 ml
- carrefour plan sans arrêt / giratoire avec arrêt : 20 ml
- carrefour plan avec arrêt / giratoire sans arrêt : - 15 ml
- carrefour plan avec arrêt / giratoire avec arrêt : - 5 ml

Un taux de 30 % (RD913S ou RD490) ou 70 % (RD913 N) de véhicules marquant un arrêt sur giratoire a été retenu pour les plages horaires où le temps d'attente (control delay) a été estimée à plus de 4 s.

Le détail des évolutions de consommations entre les deux situations est présenté dans le tableau 5. Pour un jour ouvré, la surconsommation des VL due à l'aménagement du giratoire est estimée à 48,2 l, soit pour 253 jours ouvrés un volume de **12 185 l**.

Evolution des consommations des VL entre la situation carrefour plan et la situation carrefour giratoire

	0-1h	1-2h	2-3h	3-4h	4-5h	5-6h	6-7h	7-8h	8-9h	9-10h	10-11h	11-12h	12-13h	13-14h	14-15h	15-16h	16-17h	17-18h	18-19h	19-20h	20-21h	21-22h	22-23h	23-24h	Total (L)
RD 490 (passage sans arrêt à giratoire)	0.07	0.04	0.05	0.11	0.30	0.52	1.62	3.61	2.75	1.28	1.09	1.03	0.99	1.06	1.17	1.31	2.29	2.87	2.26	1.09	0.52	0.33	0.21	0.16	26.73
RD 913 S (passage sans arrêt à giratoire)	0.14	0.07	0.05	0.04	0.13	0.15	0.56	2.09	2.43	1.15	1.03	1.10	1.10	1.17	1.34	1.40	2.87	4.17	3.47	1.76	0.90	0.57	0.46	0.33	28.49
RD 913 N (passage arrêt à giratoire)	-0.06	-0.02	-0.02	-0.02	-0.06	-0.06	-0.38	-0.40	-0.36	-0.33	-0.33	-0.44	-0.43	-0.32	-0.32	-0.35	-0.50	-0.66	-0.64	-0.43	-0.45	-0.24	-0.17	-0.09	-7.05
																									48,2 l

Tableau 5

Étude réalisée à la demande et pour le compte de

ORSI SERRES dans le cadre de l'action 3 relative à l'évaluation multicritère.

Résumé de l'étude

Les travaux présentés dans ce rapport concerne l'évaluation multicritère de opération de sécurisation et de modernisation de l'axe Yvetot – La Mailleraye en Seine-Maritime. Il s'appuie sur une démarche pragmatique qui traite des volets sécurité, exploitation (écoulement du trafic), comportement des usagers et environnement. Ce travail montre la nécessité de définir un cadre méthodologique pour de telles évaluations et qui prenne en compte la diversité et la complémentarité des approches à mobiliser tout en favorisant l'aspect opérationnel de leur mise en œuvre.