

Rapport

CETE
Méditerranée

Déc. 2012

SERRES

Solutions pour une Exploitation de la Route Respectueuse de l'Environnement et de la Sécurité
Opération de recherche Cerema / Ifsttar

Action 4.1.

Nouvelles solutions pour une conception innovante des voiries

Enjeux et gisements

Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**



SERRES (11S111)

Solutions pour une exploitation routière respectueuse de l'environnement et de la sécurité

Action 4

Conception et optimisation du système routier grâce à des innovations afin d'améliorer le trafic

Sujet 4.1 : Nouvelles solutions pour une conception innovante des voiries

date : déc. 2012

auteur : Lionel Patte, CETE méditerranée / DCEDI

responsable de l'étude : *dito*

participants :

sous-traitants : Néant

résumé de l'étude :

Ce rapport élaboré dans le cadre de l'opération de recherche SERRES vise à apporter des éclairages sur les problématiques qui méritent et peuvent être traitées dans le suite de l'axe 4 de l'opération, traitant des nouvelles solutions pour une conception innovante des voiries. Il constitue un document intermédiaire et exploratoire. Pour cela, la démarche consiste à qualifier et préciser les enjeux, identifier des gisements puis les hiérarchiser. Les enjeux associés à la question de la qualité de l'air d'une part et aux émissions de gaz à effet de serre sont plus particulièrement approfondis.

zone géographique : sans objet

nombre de pages : 63

maître d'ouvrage : IFSTTAR (ML Gallenne)

référence : 11S111 (ex - 11KEP2)

Table des matières

1	Introduction.....	7
1.1	Contexte.....	7
1.2	Cadrage général.....	8
1.3	Méthode et démarche.....	11
1.4	Présentation des entretiens.....	12
2	Travaux exploratoires / recherche en matière de conception et d'aménagement des infrastructures routières.....	13
2.1	Profils intermédiaires : nouvel objet routier, route à 2x1 voie et versions dérivées.....	13
2.2	Self-Explaining Road.....	15
2.3	De la route apaisée à la route autrement.....	16
2.4	La route intelligente.....	18
2.5	La route de cinquième génération (R5G).....	20
2.6	La route automatisée.....	21
2.7	UVT, une voirie pour tous.....	21
2.8	Aménagements multimodaux sur VRU/A.....	21
2.9	Autres démarches et concepts.....	23
2.10	Conclusions.....	25
3	Recommandations en matière de conception : regards sur la situation actuelle....	26
3.1	De l'importance de la typologie routière.....	26
3.2	Description sommaire du corpus technique.....	27
3.3	Principes de définition/détermination des règles de conception.....	27
3.4	Enseignements et éléments de réflexion (conclusions).....	29
4	Le système de transport routier : perspectives et rétrospectives.....	31
4.1	Considérations préliminaires sur le système routier.....	32
4.2	Regards sur le passé : quelques grandes évolutions.....	36
4.3	Conclusions.....	37
5	Les enjeux.....	38
5.1	Préambule et éléments de méthode.....	38
5.2	Synthèse de l'analyse des enjeux liés à l'utilisation des infrastructures routières	39
5.3	L'air – La pollution atmosphérique.....	42
5.4	Les émissions de gaz à effets de serre (ou la lutte contre le réchauffement climatique).....	46
6	Gisements.....	50
6.1	Présentation.....	50
6.2	Type d'aménagement et circonstances.....	50
6.3	Analyse des facteurs. Cas des enjeux de pollution atmosphérique.....	51
7	Perspectives.....	59
8	Annexe 1 – Entretiens.....	63

Glossaire et abréviations

ABV	Automatisation des véhicules à Basse Vitesse
ACC	Autonomous Cruise Control
ACI	Aménagement des Carrefours Interurbains (Guide du Sétra) [43]
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ARP	Aménagement des routes principales (Guide du Sétra) [42]
ASP	Aménagement Sur Place
BHNS	Bus à Haut Niveau de Service
CAFE	Clean Air For Europe (programme de la Commission européenne)
CEMT	Conférence Européenne des Ministres des Transports
Certu	Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions
CH4	Méthane
CHNS	Car à haut niveau de service
CIORMU	Conception intégrée des opération routière en milieu urbain
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
CO	Monoxyde de carbone
CO2	Dioxyde de carbone
COPERT	Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport[59]
COV	Composé Organiques Volatils
COVNM	Composé Organiques Volatils Non Méthaniques
CSA	Contrôle sanction automatisé
CUD	Chaussée urbaine démontable
FAP	Filtre à particule
GDV&T	Gestion dynamique des voies et des trafics
GES	Gaz à effet de Serre
GNV	Gaz Naturel pour véhicules
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCB	HexaChloroBenzène
HCF	HexaChloroFluoroCarbures
HQE	Haute Qualité Environnementale
ICTAAL	Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison [44]
I2V	Impact des informations visuelles sur la conduite
ITS	Intelligent Transportation Systems (Systèmes de transport intelligents)
NOR	Nouvel objet routier
NOx	Oxydes d'azote (NO +NO2)
NR2C	New Road Construction Concepts
PCET	Plan Climat-Energie territorial

PDU	Plan de Déplacements Urbains
PL	Poids Lourd
PM/PM₁₀/PM_{2,5}	Matière sous forme particulaire / Particules de diamètre inférieur à 10 µm / à 2,5 µm
PNSE	Plan national Santé Environnement
PPA	Plan de Protection de l'Atmosphère
PREVER	PRévention et Évaluation dEs Risques
PRG	Potentiel de Réchauffement Global
PRQA	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
R5G	Route de 5ème génération
RCD	Route à chaussée divisée
SECTEN	SECTeur économiques et Energie
SERRES	Solutions pour une exploitation routière respectueuse de l'environnement et de la sécurité
SNB	Stratégie Nationale pour la Biodiversité
SNIT	Schéma National des Infrastructures de Transport
SO2	Dioxyde de soufre
TCSP	Transport en Commun en Site Propre
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TVB	Trame verte et bleue
UVT	Une Voirie pour Tous
VL	Véhicule léger
VP	Véhicules particuliers (ou voitures particulières)
VR	Voie réservée
VRI	Voie rapide interurbaine
VRU	Voie rapide urbaine
VU	Véhicules utilitaires

Index lexical

aides à la conduite.....	8
aires multimodales.....	22
aménagements multimodaux.....	22
bilan carbone©.....	57
capacité.....	8
catégorie de route.....	29
empreinte environnementale.....	10
gaz à effet de serre.....	8
indice ATMO.....	44
LAVIA.....	20
route automatisée.....	7
route de cinquième génération.....	7
route intelligente).....	7
statut.....	13
systèmes de transport intelligents.....	18
type de route.....	27
typologie routière.....	16
vitesse de référence.....	29
voies réservées.....	22

Index des illustrations

Figure 1: route à 2x1 voie intégrable (RN4, déviation de St Dizier).....	13
Figure 2: Aménagement d'un bande médiane équipée sur la déviation de Libourne.....	14
Figure 3: guide du Sétra sur les routes à 2x1 voies.....	14
Figure 4: Application du concept de route apaisée à la desserte de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes (illustration du profil en travers envisagé.....	17
Figure 5: Présentation schématique des ITS en fonction du service fourni à l'utilisateur (Sétra).....	18
Figure 6: Les principes de la R5G (IFSTTAR).....	21
Figure 7: État de l'art sur les aménagements multimodaux.....	22
Figure 8: Élargissement de l'A57 (Toulon) à 2x3 voies. Variante "élargissement avec circulation facilitée des cars" proposée en concertation (2009).....	23
Figure 9: Chronaménagement et autoroute autrement.....	24
Figure 10: Évolution des moyennes annuelles des polluants ATMO pour les sites urbains et périurbains (ADEME).....	44
Figure 11: Part des véhicules dépassant la vitesse limite autorisée (source : ONISR).....	45
Figure 12: Évolution de la consommation moyenne (cycle MVEG) pondérée des véhicules neuf vendus (Figure extraite de [ADEME ; 2011] [2].....	49
Figure 13: Émissions de NOx des VL, en fonction de la vitesse (Sétra).....	53
Figure 14: Courbe de consommation en fonction de la vitesse et du rapport de boîte.....	53
Figure 15: Variation de la concentration pour divers polluants routiers en fonction de l'éloignement à l'infrastructure. Cas d'une voie située en périurbain avec un trafic de 50 000 v/j.....	56

1 Introduction

Ce rapport a pour vocation première d'apporter des éclairages sur les problématiques qui méritent et peuvent être traitées dans la suite de l'opération de recherche SERRES. Pour cela, la démarche consiste à identifier des gisements puis les hiérarchiser.

1.1 Contexte

Cette section rappelle les principaux éléments de contexte, politiques, sociétaux, scientifiques et techniques dans lesquels s'inscrivent les travaux de cette action ; éléments qui seront repris et développés plus loin dans le document.

Cette réflexion s'inscrit évidemment dans le contexte d'une évolution politique et sociétale majeure, ponctuée notamment par le Grenelle de l'environnement (Lois dites Grenelle I [65] et Grenelle II [64]¹).

Alors que l'UE et la France se sont fixés des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre (réduction de 20 % des gaz à effet de serre (GES) émis par les transports d'ici à 2020 afin de les ramener à cette date au niveau qu'elles avaient atteint en 1990 et division par un facteur 4 à horizon 2050 des émissions nationales en matière de GES), le mode routier contribue de façon importante à ces émissions (28% des GES). Bien au-delà des questions sur le dérèglement climatique, il faut évoquer plus globalement « l'empreinte environnementale » des infrastructures routières.

Le Schéma national des infrastructures de transport (SNIT) [27] élaboré dans le cadre du Grenelle a pour souci principal d'optimiser les infrastructures existantes, afin d'en réduire leurs nuisances, leurs implications économiques négatives, et surtout de limiter le besoin de nouvelles infrastructures de transport.

Malgré ses inconvénients, le mode routier (motorisé) restera encore longtemps le mode majoritaire pour les déplacements intérieurs (fret et voyageurs) et l'un des symboles de la société moderne que nous avons construit; Aujourd'hui, apparaît le besoin de nouveaux regards sur les objets communs que sont la route et la rue. D'autres professionnels de l'aménagement (que les ingénieurs) s'approprient l'objet avec leur sensibilité, comme les architectes, les urbanistes, les paysagiste...

En parallèle, les nouvelles technologies ouvrent des perspectives nouvelles pour concevoir un système de transport (cf. la route intelligente), des systèmes d'aide à la conduite jusqu'aux réflexions a priori plus futuristes sur la route automatisée [25]. Néanmoins, pour ce qui concerne l'infrastructure, les innovations récentes concernent davantage le champ de l'exploitation (GDV&T, transports en commun sur BAU...) que la conception routière.

Aussi, le domaine de la route voit-t-il apparaître des nouveaux concepts et des travaux prospectifs en grand nombre : la route autrement pour une conduite apaisée (Sétra), l'autoroute (urbaine) autrement [54], la route de cinquième génération (R5G), etc. Le sentiment que la route se situe à un tournant de son histoire semble répandu au sein de la communauté technique (cf. la littérature technique et professionnelle). On évoque souvent la nécessité d'un nouveau modèle (pour le système de transport). Que la R5G soit un projet structurant de l'action de la recherche (IFSTTAR) dans le domaine des infrastructures et de la mobilité est à cet égard révélateur.

¹ <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022470434&dateTexte=&categorieLien=id>

² <http://www.legrenelle-environnement.fr/IMG/pdf/SyntheseG2.pdf>

1.2 Cadrage général

Cette section rappelle le cadrage de l'opération et de l'axe 4 en particulier et en explique les diverses implications sur l'objet des travaux à réaliser dans la partie 4.1. Nouvelles solutions pour une conception innovante des voiries. Ce développement paraît fondamental pour établir les travaux sur de bases saines et partagées.

L'objectif de l'opération SERRES

L'opération SERRES a pour ambition de produire des recommandations et des solutions permettant de limiter l'empreinte environnementale de la circulation routière à travers 3 axes : l'exploitation des trafics par la gestion dynamique de l'espace routier (action 2), le comportement collectif par l'optimisation de la conception du système routier (action 4) et le comportement individuel par le développement de systèmes d'aide à la conduite écologique (action 5).

En parallèle et en support, elle a par ailleurs pour ambition d'améliorer les méthodes de mesure de la mobilité routière et des nuisances qui y sont associées (action 1), et de faire progresser les méthodologies d'analyse et d'évaluation des effets des projets d'aménagements routiers ou d'exploitation du trafic sur les impacts sociaux (sécurité et acceptabilité) et environnementaux de la circulation routière (action 3).

L'objectif de l'action 4

Le but de l'action 4 est spécifiquement d'identifier des solutions d'optimisation de la conception du système routier de façon à contribuer à la réduction des consommations d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à l'utilisation future (et non à la conception même) de ce système. Il pourra ainsi s'agir d'imaginer des solutions de conception permettant de réduire l'empreinte environnementale liée à l'utilisation des voiries, y compris par l'utilisation d'aides à la conduite, mais également d'améliorer les conditions de circulation pour les différentes catégories d'usagers sans pour autant augmenter significativement la capacité globale pour la circulation automobile, ou encore de favoriser le report modal ou d'améliorer la compétitivité d'autres modes utilisant la route.

Les aides à la conduite seront ici appréhendées dans leur dimension (et implication) collective et non individuelle. Il s'agira donc d'appréhender la possibilité et l'intérêt d'interaction entre l'infrastructure et ces systèmes d'assistance, en s'inscrivant dans une logique de « route automatisée », ou du moins de « circulation pilotée ».

Chacun des termes de la formulation synthétique de l'objectif de l'action 4 est conséquent sur le cadrage de l'action et méritent que l'on s'y arrête.

Optimisation du système routier : la nécessité d'une approche systémique

La référence [31] explique que la route – comme mode de transport, comprenant véhicules, conducteurs, infrastructures, règles d'usage des infrastructures, système d'exploitation, services aux usagers – apparaît comme un objet éminemment complexe, pas seulement eu égard à la nature ou au nombre important des éléments qui la constitue, mais aussi à la multiplicité des interactions entre ces éléments³. L'optimisation du système routier implique non seulement qu'on améliore chaque (ou du moins certains) éléments du système, mais aussi qu'on travaille sur les relations entre ces éléments. La méthode systémique fournit un cadre pour appréhender et tenter de maîtriser cette complexité. Néanmoins, méthode analytique et méthode systémique

³ Le système routier, qui peut paraître techniquement le plus simple, est aussi celui qui, pris dans sa globalité, est le plus complexe des systèmes de transport. En effet, chaque véhicule y dispose d'une autonomie importante, à laquelle s'ajoute la difficulté d'agir sur les comportements d'usagers dont la grande majorité ne sont pas des professionnels de la conduite. Cette complexité est sensiblement atténuée pour les autoroutes, compte tenu de la réduction des degrés de liberté.

se complètent plus qu'elles ne s'opposent. Les systèmes socio-techniques⁴ nécessitent une approche pluridisciplinaire.

« Une règle élémentaire en théorie du contrôle : règle selon laquelle « un système de variété V ne peut être totalement contrôlé par un autre système que si la variété de ce dernier est au moins égale à V ». Autrement dit, dans le domaine du transport, activité par nature où les systèmes sont largement ouverts sur leur environnement, le contrôle implique à la fois sophistication technique et réduction importante de la variété du système contrôlé. En particulier, l'automatisation, qui est la forme la plus aboutie du contrôle, implique, tout au moins avec les technologies actuellement disponibles, une réduction significative de la variété du système initial. C'est de ce fait pour les systèmes les moins complexes et dont les relations avec l'environnement ont déjà été simplifiées au maximum, en l'occurrence les métros, que l'automatisation sera la plus facile à mettre en œuvre. On peut donc dire que, dans une certaine mesure, complexité du système de transport et sophistication technique varient en sens inverse. »[31]

Produire des solutions et recommandations

La définition de solutions et recommandations de conception suggère d'une part qu'il faudra savoir dépasser l'identification d'objectifs généraux et la formulation de concepts ou de principes. Il ne s'agit pas non plus de se contenter d'une revue des pratiques actuelles, même si c'est sans doute un passage obligé. Il n'est d'ailleurs pas envisagé une évaluation précise des pratiques actuelles.

Il s'agira donc bien plus d'imaginer, définir, décrire des solutions qui répondent à des problèmes ou enjeux, que de voir en quoi telle ou telle solution répond ou non aux enjeux identifiés.

Il paraît néanmoins possible, sinon inévitable de s'appuyer sur des solutions existante ou émergentes, voire des techniques usuelles, mais dont l'assemblage dans le cadre du système de transport routier ne sont pas optimales sur la base de certains objectifs.

Inversement, il ne s'agit pas de définir de nouvelles démarches de conception (démarche qualité), de travailler sur les processus d'élaboration des projets d'aménagement (telle que la démarche *Conception intégrée des opérations routière en milieu urbain*, dite CIORMU), les processus, méthode ou outil d'évaluation de la qualité environnementale (HQE)...

Optimisation de la conception

La notion d'optimisation de la conception est à prendre dans l'acception du SNIT. Quant au terme de conception, il est à prendre dans un sens large, portant sur la conception générale de l'infrastructure comme sur celle de certaine de ces composantes, pouvant concerner de nouvelles infrastructures mais aussi, et sans doute surtout, la modification plus ou moins significative d'infrastructures existantes (requalification, modernisation, aménagement sur place...).

Utilisation future de la voie

L'objet de l'optimisation porte **l'utilisation de la voie**, autrement dit la circulation des différents modes : motorisés ou non, transport routier de voyageurs ou de marchandises, véhicules particuliers ou transports collectifs. Sont exclus les transports guidés (tramways...), sauf dans leur interface éventuelle avec la voirie. Sont en revanche a priori inclus les TCSP non guidés (bus...).

⁴ « Les systèmes de transport, sont à la fois des systèmes techniques -qui présentent la particularité de se déployer généralement sur de vastes territoires) et des systèmes sociaux (ils sont conçus et mis en œuvre par les sociétés humaines, et supposent toujours pour leur actionnement et pour leur usage l'intervention effective d'êtres humains organisés...). Nous utiliserons parfois pour les désigner le qualificatif de systèmes socio-techniques, en conservant à l'esprit leur complexité intrinsèque qui tient à leur nature : si ces systèmes apparaissent d'abord comme des systèmes techniques, leur dimension sociale voire sociétale ne doit jamais être perdue de vue, sous peine d'oublier à la fois leurs contraintes, leurs règles de fonctionnement, et leurs finalités ».

Inversement, l'objet n'est pas d'optimiser la phase de construction (aménagement neuf ou réaménagement) ou les tâches d'exploitation, d'entretien ou de maintenance des infrastructures, même si l'on ne saurait négliger les contraintes et les enjeux afférents.

Il convient néanmoins d'intégrer les interactions entre conception et utilisation. Si l'utilisation de la voie est la conséquence directe (entre autre) de la conception de la voie et plus globalement du système de transport, il convient de ne pas négliger les contraintes fortes qu'exercent les utilisations de la voie – qu'elle soient souhaitées ou non – sur la façon de concevoir et aménager les infrastructures routières aujourd'hui, en particulier pour ce qui est de la prise en compte de la sécurité routière. Par exemple, les vitesses excessives ou certains comportements dits déviants, sont dans une certaine mesure, prises en compte dans certaines règles de conception.

La réduction des GES : l'une des principales finalités

Contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) constitue un objectif important de SERRES, voire le principal. Mais, dans son énoncé, SERRES a une vocation plus large de réduire **l'empreinte environnementale**. La réduction des autres impacts environnementaux (aspects sanitaires de la pollution atmosphérique, nuisances sonores, écologie, paysage, ressource en eau...) doit être également prise en compte.

La plupart des impacts environnementaux semblent largement traités par ailleurs que ce soit dans le cadre de programmes de recherche (cf. les programmes de l'IFSTTAR, du CEMAGREF..., mais aussi les appels à projet de recherche tels que ITTECOP⁵...) ou dans le cadre de travaux méthodologiques ou didactiques (SETRA, CERTU...).

De même, s'il ne s'agit pas d'identifier des solutions qui visent spécifiquement à améliorer la sécurité (traitées dans d'autres opérations de recherche du programme S de l'IFSTTAR tels que I2V ou PREVER), les solutions proposées devront nécessairement prendre en compte cet enjeu et dans la mesure du possible y contribuer. En tout état de cause, elles ne sauraient dégrader le niveau de sécurité.

Améliorer les conditions de circulation

Les solutions doivent par ailleurs (ou également) améliorer les conditions de circulation pour les différentes catégories d'usagers utilisant la voirie routière. L'hypothèse sous-jacente est que les impacts environnementaux (GES, pollution notamment) et les problématiques de congestion sont en partie corrélés, ou du moins qu'elles peuvent (doivent?) trouver des solutions communes, conjointes et compatibles.

Cela suppose qu'il n'y ait pas d'augmentation significative de la capacité globale pour la circulation automobile. Il conviendrait d'éclaircir la notion de capacité globale issue du SNIT (comment se définit-elle?), et apprécier ce qu'implique un *statu quo* ou quasi sur cette capacité globale.

Favoriser le report modal ou d'améliorer la compétitivité d'autres modes utilisant la route

Cet enjeu est l'un des éléments essentiels de la politique de transport de l'Etat (cf. SNIT) comme de la majorité des collectivités ; elle est largement liée au précédent pour ce qui concerne les transports et commun et les modes doux, sans être pour autant équivalente. Les objectifs sous-jacents sont d'améliorer l'attractivité, la sécurité ou la performance des modes doux et des transports en commun, accompagner ou rendre possible la mise en place de nouveaux services de transport.

Elle nécessite d'inscrire la démarche dans une approche multimodale et intermodale.

Cet enjeu est assurément l'un de ceux qui aujourd'hui génère le plus de projets innovants [21] et conduisent à faire évoluer le plus significativement les recommandations en matière de conception routière (cf. refonte de l'ICTAVRU [17]).

⁵ Le programme ITTECOP est un programme incitatif de recherche conduit par le MEDDTL, en coordination avec l'ADEME.
<http://www.ittecop.fr/>

1.3 Méthode et démarche

Cette section présente les démarches utilisées dans le cadre de cette phase préalable afin de répondre aux objectifs identifiés supra. La démarche couple analyses bibliographiques, une série d'entretiens avec spécialistes du domaine routier et accessoirement les connaissances de l'auteur.

Les difficultés de la démarche

Malgré le cadrage de la réflexion établi *supra* qui a le mérite de lever certaines ambiguïtés, nous sommes confrontés à deux difficultés principales pour avancer dans le cadre de l'axe 4.1 « Nouvelles solutions pour une conception innovante des voiries ».

D'abord, le champ de la réflexion reste, malgré tout, particulièrement large que ce soit en termes de dysfonctionnements qui peuvent être générés (nuisances, GES, insécurité, congestion...) que des composantes des infrastructures (géométrie, chaussées, assainissement, aménagements paysagers, écrans et équipements...). Le corollaire est qu'il faudrait *a priori* pouvoir mobiliser des compétences (spécialistes) et des informations sur ces différents aspects.

L'autre difficulté est l'absence initiale de proposition concrète prometteuse (rentrant dans le cadrage initial de l'axe) dans des aspects qui font l'objet d'assez peu de travaux de recherche. Nous y reviendrons plus loin dans le document.

Démarche

Un travail préalable est nécessaire pour identifier précisément les problématiques scientifiques, identifier les domaines/sujets les plus prometteurs, définir une méthode d'étude ad hoc, et les compétences (et personnes) requises.

Afin de cerner au mieux la problématique de façon pragmatique, avec des moyens restreints, il est proposé de coupler :

- une analyse bibliographique, en s'appuyant sur des documents méthodologiques, documents de synthèse, en tenant compte des revues spécialisées, et de certains travaux de recherche ;
- une série d'entretiens en vis-à-vis avec un panel de spécialistes, experts ou chercheurs dans des disciplines ou domaines représentant différentes composantes du système routier. Selon les résultats de ces entretiens, les champs effectivement couverts, les pistes identifiées, etc., une seconde série d'entretiens pourra éventuellement s'avérer nécessaire. Cette démarche est présentée plus en détail au § 1.4.

Notion de gisements

La notion de gisements est ici prise dans la même acception que celle utilisée dans le rapport Guyot [29] pour ce qui concerne la sécurité routière. : « *Mais qu'est-ce qu'un gisement de sécurité routière ? C'est le croisement d'enjeux illustrés par des circonstances, avec des actions spécifiques à mener pour améliorer la sécurité routière.* »

Il y a d'ailleurs des similitudes entre la démarche adoptée pour établir ce rapport et celle proposée ici. Mais, il convient de souligner que notre ambition est moindre pour trois raisons principales : (i) les thématiques sont plus larges touchant à la fois à l'environnement, l'ingénierie du trafic, la sécurité, (ii) certaines problématiques sont plus récentes que la sécurité routière, (iii) les moyens de l'axe 4.1. sont nettement plus modestes que ceux dont a pu bénéficier le Préfet Guyot.

Le travail préalable avait en particulier pour objectif d'organiser une reconnaissance large des gisements.

<i>Opération/Action</i>	<i>Auteur</i>	<i>Version</i>	<i>Statut</i>	<i>Date</i>	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	11/63

1.4 Présentation des entretiens

Ces entretiens en vis-à-vis ont plusieurs objectifs, liés les uns aux autres :

- identifier et qualifier (nature, criticité...) les enjeux ou problèmes auxquels le système routier est confronté, en particulier ceux ayant un lien direct ou indirect avec l'utilisation de la voirie ;
- identifier les facteurs afférents ;
- cerner les moyens d'action disponibles ? Leurs contraintes ? limites ?
- dégager une vision prospective sur le système routier (ce qui peut conduire à modifier le regard porté sur certains enjeux), en tenant compte, par exemple, des aspects réglementaires, comportementaux, sociétaux ou démographiques (vieillesse de la population)...
- identifier/cerner les opportunités (et besoins ?) offertes par de nouvelles connaissances, techniques ou par des technologies innovantes (en particulier, les possibilités traitées dans le cadre de travaux de recherche récentes ou en cours...)

Évidemment, tout ne peut pas être détaillé lors des entretiens. L'objectif pour l'auteur est également d'identifier voire recueillir des références ou publications susceptibles d'apporter des informations utiles pour la démarche.

Compte-tenu de la nature de la réflexion, les personnes/profils seront recherchés au sein du réseau scientifique et technique (CETE, services techniques centraux, instituts de recherche...). En pratique une quinzaine de personnes ayant des compétences diversifiées en matière de sécurité, congestion, conception, environnement ont été identifiées.

Le déroulement des entretiens est décrit en annexe.

2 Travaux exploratoires / recherche en matière de conception et d'aménagement des infrastructures routières

Cette partie présente la synthèse de plusieurs travaux exploratoires du RST au cours de la dernière décennie en matière d'infrastructures routière, en vue de définir de nouveaux concepts de voie ou de nouvelles approches.

2.1 Profils intermédiaires : nouvel objet routier, route à 2x1 voie et versions dérivées

Vers un nouvel objet routier

Initiées à partir de la fin des années 90, plusieurs réflexions répondant à des objectifs sensiblement distincts ont conduit à imaginer un nouveau type de route avec une configuration de profil en travers intermédiaire entre profil routier ordinaire et profil autoroutier, comprendre : un profil comportant deux chaussées séparées physiquement, mais ne comportant qu'une voie de circulation par sens, et éventuellement une proportion plus ou moins importante de créneaux de dépassement. Il s'agissait d'abord avec le NOR (nouvel objet routier) de concevoir un type de route concédable – compatible avec le statut autoroutier – adapté à des trafics modérés, et nettement moins coûteux qu'une autoroute à 2x2 voies. Une réflexion prospective (analyse de la valeur) menée par le Sétra n'avait pas véritablement aboutie, mais elle avait servi de base au projet ICTAVRI – instruction sur les conditions techniques d'aménagement des VRI – voies rapides interurbaines [45]. La philosophie était similaire à celle du NOR : si une VRI n'était pas forcément concédable, elle devait être intégrable à une autoroute à terme.



Figure 1: route à 2x1 voie intégrable (RN4, déviation de St Dizier)

La route à chaussée divisée (RCD) : une « version pragmatique » de la VRI

Parallèlement, les problèmes rencontrés sur les routes dites express [37] (type 2 du catalogue des types de routes) [28], ont conduit la DGR à imaginer leur retraitement [46]. La réflexion menée identifiait un ensemble de solutions possibles, plus ou moins classiques, dont parmi les plus radicales et efficaces, la séparation physique des sens de circulation (route à chaussée divisée), configuration qui sera mise en œuvre temporairement ou définitivement sur quelques sections (RN338...). Elle correspond en fait à la politique menée en Suède à grande échelle depuis la fin des années 90, avec la transformation des routes bidirectionnelles larges en routes à 2+1 voies [6], [7].

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	13/63

La bande médiane équipée (BME), version bas-coût de la RCD. Parallèlement, la difficulté de réaliser une séparation physique et la nécessité de traiter un grand nombre de sections, parfois avec un caractère d'urgence, conduit aussi à identifier la notion de bande médiane équipée (BME) – bande de plus ou moins un mètre de large, bordée de deux lignes continues, dotée de dispositif d'alerte sonore, éventuellement soulignée d'une coloration et/ou de balises (J11). Ce traitement principalement visuel, que d'aucuns pouvait *a priori* qualifier de cosmétique, s'est avéré présenter une efficacité inespérée bien que restant à consolider compte tenu du trop faible nombre de cas (ex. RN60, RN113...) [46].



Figure 2: Aménagement d'un bande médiane équipée sur la déviation de Libourne

Dans le contexte large de recherche de nouvelles solutions routières pour une route autrement (*cf. infra*), le RST sous l'égide du Séttra reprendra la réflexion pour formaliser un guide sur les routes à 2x1 voies[49], dans une configuration non intégrable à une autoroute.

La route à 2x1 voie se révélera en pratique la principale nouveauté dans le domaine de la conception des routes en milieu interurbain en France. Le nombre de sections aménagées dans cette configuration reste encore très modéré (avec un linéaire de quelques dizaines de kilomètres), mais l'État et plusieurs conseils généraux prévoient d'autres aménagements. Dans d'autres pays, et notamment en Suède, le linéaire de telles routes est beaucoup plus significatif (plusieurs centaines de kilomètres).



Figure 3: guide du Séttra sur les routes à 2x1 voies

La route à 2x1 voie est désormais bien une solution existante, bénéficiant de recommandations formalisées, mais la place de ce nouveau type de routes reste encore à préciser et par ailleurs, les modalités ou des adaptations pour la transformation de routes ordinaires existantes doivent être établies.

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	14/63

2.2 Self-Explaining Road

Le concept de *Self Explaining Road* est très régulièrement évoqué dans la littérature en lien avec la gestion de la vitesse. Le terme anglais de *Self Explaining Road* correspond en fait au terme français de lisibilité, qui est l'un des critères d'appréciation de la sécurité routière. La note du Cete Normandie-Centre [34] rappelle que le concept est aussi connu sous le nom de *Self-enforcing Road* ou de *Self-organising Road* (ex : FHWA).

Le projet SPACE (*Speed Adaptation Control by Self-Explaining Roads*) établit une revue de cette notion [58]. Le terme est apparu pour la première fois aux Pays-Bas, comme la traduction la plus proche d'une expression néerlandaise [56]. Le concept s'est répandu à travers le monde ainsi et est désormais clairement ancré dans le vocabulaire de la sécurité routière. La notion se base sur la psychologie cognitive et est associé à deux processus : la catégorisation (mentale) et les attentes développées. Le rapport SPACE rappelle que ces concepts ont été identifiés à la fin des années 80 en France, dans le cadre de divers travaux de chercheurs de l'INRETS [32] qui avait proposé le terme de lisibilité.⁶

Le rapport explique que le concept de *Self explaining road* lie les deux processus (catégorisation et attentes) dans un cadre théorique plausible. La référence Martens et al. (1997, p11), citée par [58], explicite ce cadre de cette manière « *The traffic environment should provoke the right expectations concerning the presence and behaviour of other road users as well as the demands with regard to their own behaviour. In order to reach this goal, clearly distinct road categories must be used, each requiring their own specific driving behaviour* », et précise qu'il **peut être comparé à la définition de lisibilité** donnée en 1992 dans le document (français) Sécurité des routes et des rues [52].⁷

Si la notion n'est guère nouvelle, elle mérite d'être évoquée ici car elle sert de cadre à de nombreux travaux de recherche et fait l'objet de nombreuses publications à travers le monde portant soit sur des aménagements de l'infrastructure (y compris des équipements) innovants, soit de démarches d'aménagement ou d'évaluation des infrastructures, comme RACA (cf. infra). Le concept semble retrouver un regain d'intérêt – pour autant qu'il l'ait perdu – en relation avec les préoccupations croissantes de modération des vitesses, qui croisent les enjeux non seulement de sécurité routière, mais aussi d'environnement (pollution, bruit, GES), de partage de la voirie ou de cadre de vie.

Le concept de Self-Explaining Road peut donc être considéré comme l'équivalent de celui de **lisibilité**, cité et défini plusieurs années avant, et repose sur les mêmes bases théoriques et les mêmes travaux de recherche. A ce titre, il convient de privilégier le terme français dans les publications en langue française.

Le concept de Self-Explaining Road très cité à travers la communauté technique et scientifique mondial a connu quelques déformations ou des extensions. Par exemple pour Kennedy et al. (2005), in [58], les routes SER sont celles pour lesquelles les conducteurs adoptent « naturellement » une vitesse adaptée – en lien avec la notion de mesure de modération de vitesse non physiques.

⁶ « *Their original meaning related to the degree to which roads were 'understandable' through the process of categorisation by the road user. It was suggested that safe design could elicit safe behaviour, as clear and consistent road categories would allow road users to have appropriate expectations of how they should behave. This approach has synergy with earlier work on 'road readability' (Mazet et al., 1987; Mazet and Dubois, 1988) and the role of expectancy in determining driver behaviour (Näätänen and Summala, 1976; Malaterre, 1990).* » (in SPACE)

⁷ Dans le document français, la lisibilité est ainsi définie : « La lisibilité est la propriété d'une voie et de son environnement, de donner à tout usager,, par l'ensemble de leurs éléments constitutifs (géométrie de la voie et de ses abords, équipement et "habillage" de la voie, configuration et aspect du bâti environnant, mobilier urbain, etc.) une image juste, facilement et rapidement compréhensible, de la nature de la voie et de son environnement, de ses utilisations, des mouvements probables ou possibles des autres usagers, et du comportement que l'on attend de lui (vitesse, trajectoire, perte de priorité,...) »

2.3 De la route apaisée à la route autrement

La route autrement pour une conduite apaisée (RACA)

D'abord intitulée « route apaisée » au milieu des années 2000, lorsque la sécurité était l'une des toutes premières priorités nationales, le concept a ensuite été rebaptisé « route autrement » [cf. le colloque DGR du 9 mars 2006] [53], puis « route autrement pour une conduite apaisée » (RACA) par le Sétra.⁸

Pour Patrick Parisé (directeur général des routes en 2006), la notion de la route autrement/route apaisée est **de réviser, dans une certaine mesure, les principes mêmes de conception et de réaménagement des routes** (hors autoroutes et assimilées). Il s'agit de repenser l'approche technique de l'objet routier basée sur la facilitation de la vitesse. Sans renier ni mésestimer pour autant l'héritage technique, il convient de mieux appréhender les facteurs humains afin d'offrir aux usagers une route incitant au contraire à une conduite apaisée, sûre et sereine, correspondant aux exigences émergentes de la société. Le directeur constate que cette évolution semble déjà admise collectivement dans certains pays européens.

La difficulté est résumée dans la question suivante : « sait-on construire des routes qui incitent à rouler moins vite [ou avoir une conduite apaisée], sans pour autant réduire le niveau de confort et de sécurité ? ». Le Sétra et de nombreux acteurs du réseau scientifique et technique du ministère ont l'intuition que la réponse est affirmative – mais peut-être pas sans réduire le niveau de confort. Il semble néanmoins qu'il convienne de garder le mode interrogatif. La réflexion semble encore aujourd'hui rester « un vrai challenge » (comme le disait P. Parisé).

Ce concept a aussi la volonté de s'inscrire dans une « démarche durable », considérant que « les routes qui permettent d'aller vite sont coûteuses: consommation d'espace (géométrie plus ample), vitesses élevées générant plus de nuisances (bruit, émissions gazeuses) et induisant une plus forte consommation d'énergie ».

Pour le Sétra, le concept repose sur les idées suivantes :

- si les comportements évoluent favorablement (cf. le contrôle automatisé), cette amélioration peut être fragile et « doit être soutenue par des mesures susceptibles de produire des effets durables, en dehors de toute contrainte ». En tout état de cause, l'objet routier doit également aussi contribuer à la maîtrise des vitesses, aider les usagers à respecter les vitesses ;
- « pour être respectée, une règle doit être respectable » (accompagnement du volet réglementaire)⁹ ;
- une meilleure compréhension des liens entre infrastructure et comportement ouvre¹⁰ des pistes pour aménager et concevoir autrement les infrastructures et leur environnement de manière à inciter les usagers à conduire naturellement à une vitesse adaptée.

L'objet de RACA est d'une part de développer les connaissances et la compréhension des « automatismes » influençant le comportement des conducteurs, et d'autre part d'expérimenter des aménagements innovants. Pour le volet développement de connaissance, il existe un lien fort avec l'opération de recherche de l'IFSTTAR intitulée I2V.

Plusieurs pistes de réflexion ont émergé dès 2006 et semblent plus que jamais d'actualité: l'acceptabilité des règles, la pertinence de la typologie routière et du bon usage des règles de conception, ainsi que la prise en compte du comportement de l'utilisateur par une approche pluridisciplinaire dès la conception des projets.

Par ailleurs, sous le label « RACA », divers types d'aménagements ont fait l'objet de publications (fiches) par le Sétra [35]: mini-giratoires à terre-plein franchissable, giratoire « cacahouète », routes à 2x1 voies (cf. *supra*).

⁸ <http://www.setra.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/ADSTD-panneaux-web-10.pdf>

⁹ Ce précepte largement consensuel reste simpliste et renvoie directement aux questions d'acceptabilité qui nous ne développerons pas ici.

¹⁰ ndlr : il semble qu'il faille plutôt lire le conditionnel « ouvrirait ».

RACA apparaît plus comme un concept fédérateur encore balbutiant que comme une démarche ; il ne bénéficie pas actuellement d'un cadre méthodologique ou d'un référentiel (un rapport du groupe de travail sur le sujet est néanmoins attendu en 2013). Au-delà des concepts, les solutions techniques ou concrètes proposées peuvent sembler limitées. Les sujets ayant fait l'objet de fiches bénéficiaient déjà souvent d'expérience et de retour d'expérience que ce soit les routes à chaussées séparées, les mini-rond-points ruraux (expérimentés depuis les années 90 par le Conseil général de Seine-Maritime), même si RACA a pu leur donner un écho plus large. Ces aspects attestent notamment d'une capacité réduite à assurer des retours d'expérience.

Au delà de types d'aménagement, il convient d'évoquer une démarche plus globale sur le cas particulier de la desserte de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes, étudiée et valorisée par le Cete de l'Ouest. [19]

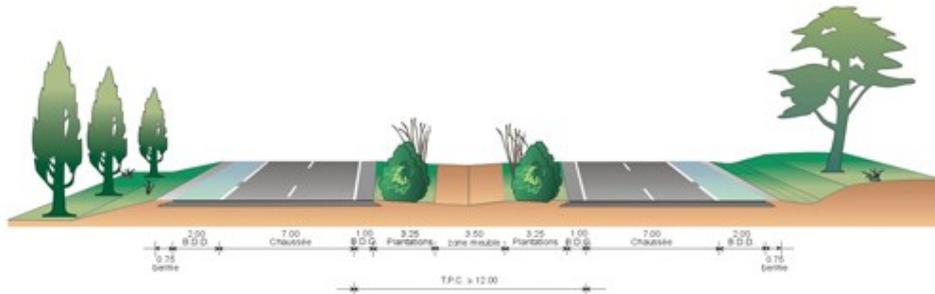


Figure 4: Application du concept de route apaisée à la desserte de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes (illustration du profil en travers envisagé).

La meilleure connaissance et compréhension des comportements des usagers (notamment en lien avec l'aménagement des infrastructures) doit encore faire beaucoup de progrès, il s'agit d'ailleurs de projet de projets de recherche en cours (I2V).

On constate d'ailleurs qu'en termes de connaissances sur les liens vitesses / aménagement les connaissances ont assez peu évolué depuis une décennie (hormis le cas de la signalisation dynamique : cf. SARI). Si le sujet est fréquemment évoqué, il l'est souvent sur la base d'affirmations comportant une part de subjectivité, faute d'évaluation. Ce sujet reste même parfois polémique. Des analyses bibliographiques en cours dans le cadre de l'opération I2V pourrait conduire à nuancer ce propos.

A plusieurs titres, le concept de route autrement/apaisée rejoint les orientations de l'axe 4.1. de SERRES, que ce soit dans les bénéfices attendus (en matière de nuisances et de sécurité notamment) et dans le domaine concerné (la conception des voiries).

Les interrogations initiales (2006) sur la capacité à modérer les vitesses sur les routes à partir de l'aménagement de la voie semble garder toute son actualité, faute d'avancée très significative sur les connaissances en la matière.

Les réflexions menées dans le cadre de RACA fournissent plusieurs pistes de travail possibles, comme la typologie routière, les principes et l'usage des règles de conception, les aménagements « modérateurs de vitesse », mais aussi l'intégration de savoir faire pluridisciplinaires

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	17/63

2.4 La route intelligente

La notion de route intelligente paraît au premier abord un peu floue ou du moins plurielle, à l'instar de la définition de l'adjectif intelligent. Elle recouvre en effet des notions assez disparates.

a) Il s'agit en premier lieu **du concept des systèmes de transport intelligents (STI) appliqué au cas du système routier**.¹¹

Les STI qui sont aussi connus avec le sigle anglais ITS pour *Intelligent Transportation Systems*, désignent les applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication au domaine des transports¹². Ces systèmes sont qualifiés d'"intelligents" parce que leur développement repose sur des fonctions généralement associées à l'intelligence : capacités sensorielles, mémoire, communication, traitement de l'information et comportement adaptatif (Wikipédia).

Les STI se fixent entre autres buts : la sécurité, les gains économiques, la diminution de pertes d'heures productives, et de façon croissante le respect de l'environnement [63], toutes problématiques clairement au cœur de l'opération SERRES. D'une façon plus générale, les perspectives du *concept de la route intelligente* sont présentés comme les objectifs que la route de demain doit remplir.

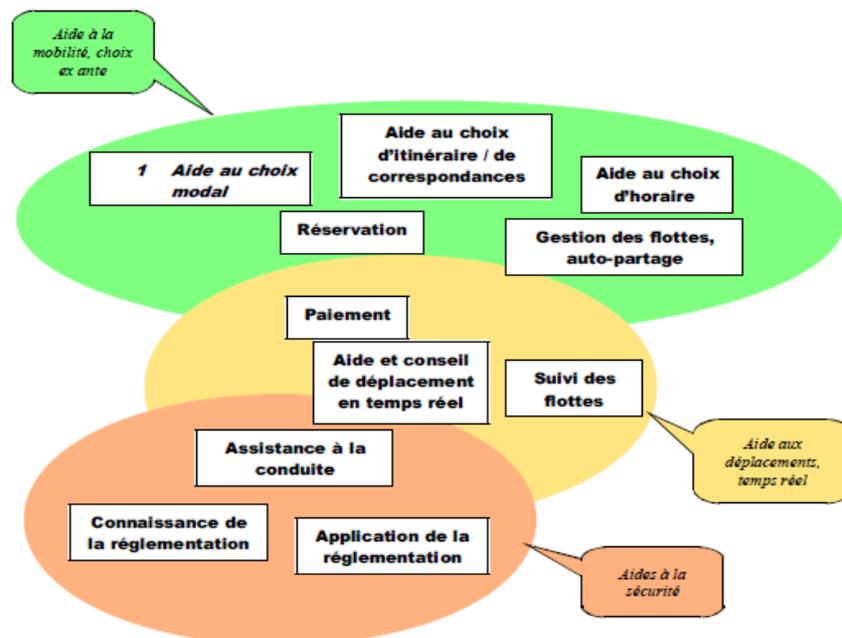


Figure 5: Présentation schématique des ITS en fonction du service fourni à l'utilisateur (Sétra)

La route est un champ particulier et très important d'application des STI. Une idée sous-jacente importante est qu'il est plus rentable économiquement d'investir dans des applications télématiques (au cœur des STI) pour lutter contre la congestion (optimiser la circulation), que dans de nouvelles infrastructures (ou leur réaménagement lourd). Plus particulièrement en matière de sécurité routière, il s'agit d'éliminer les risques causés par les défaillances humaines.

Dans l'acception donnée *supra*, la route intelligente renvoie au système routier pris dans son ensemble. Elle inclut en particulier les aspects liés aux véhicules dits intelligents (qui inclut notamment la notion de véhicule communicant).[41]

¹¹ <http://www.transport-intelligent.net/sti-en-france/>

¹² Les systèmes de transport intelligents résultent de l'application des technologies de l'information et de la communication aux transports. [CE, 2008]?

Le concept de route intelligente et de voiture intelligente sont généralement associés et parfois confondus. Les perspectives données dans certains colloques et les médias concernent en premier lieu le concept de la voiture intelligente [63] : le limiteurs s'adaptant à la vitesse autorisée (LAVIA¹³), les alertes de franchissement involontaire de marquages horizontaux, des systèmes de détection d'alcool ou de fatigue au volant... Le développement de systèmes embarqués posent la question des effets induits, notamment la désresponsabilisation du conducteur, ou l'augmentation de certains risques des véhicules non-équipés.

La dimension systémique est d'autant plus présente avec les STI que les acteurs concernés sont multiples : les pouvoirs publics, les usagers de la route, privés, professionnels, les constructeurs de véhicules, les équipementiers, les opérateurs routiers, les assureurs...

b) Il s'agit parfois, de façon plus restrictive, **des aspects liés directement à l'infrastructure routière** dans le champ des STI, sous un angle technique ou technologique, et sous un angle juridique [55]. Ce cas se différencie peu du précédent sinon qu'il adopte schématiquement le point de vue du gestionnaire / exploitant / maître d'ouvrage de l'infrastructure.

c) Mais il apparaît parfois une notion dérivée, celle de la « route explicite », une traduction possible du concept anglo-saxon de *self explaining road*. Cette association est un peu abusive, car il s'agit alors plus d'une route *intelligible* que d'une route *intelligente*. En tout état de cause, le concept de *self explaining road* semble connaître un regain d'intérêt, mais n'est en rien nouveau. Il est ainsi déjà très présent dans le référentiel français depuis 20 ans à travers le concept de lisibilité [51], et *a fortiori* européen. Ce concept conduit notamment à deux principes. D'abord, la catégorisation des voies : un nombre limité de catégories de routes possédant des caractéristiques bien distinctes, voire le choix de signaux discriminants (tels que le revêtement, la largeur des voies, la présence ou non de pistes cyclables, la largeur des trottoirs, etc.). Ensuite l'adaptation des voies à leur environnement. On retrouve ainsi deux des critères utilisés en France [51] : la lisibilité d'une part, et la cohérence de tous les éléments de la voie et de l'environnement d'autre part.

Les objectifs de la route intelligente conduisent logiquement certains projets à considérer les vitesses pratiquées et rechercher leur modération, leur mise en cohérence avec les prescriptions ou les risques effectifs, etc. Ainsi, dans le cadre du projet MASTER (*Managing Speeds of Traffic on European Roads*)¹⁴ ont été étudiés de nombreux moyens mis en œuvre dans l'UE pour modérer ou adapter la vitesse. Il semble qu'aucun ne constitue la panacée et il est préconiser une gamme de solutions variant d'un type d'environnement routier à l'autre et pouvant faire appel – mais pas systématiquement – aux derniers développements technologiques dans le domaine de l'information et de la communication.

Curieusement, la route intelligente est rarement utilisée pour qualifier le résultat concret du travail de l'intelligence (d'une personne ou d'un groupe de personne) qui ont contribué à sa conception et réalisation.

¹³ Limiteur s'adaptant à la vitesse autorisée, développé par l'IFSTTAR. Grâce à une base de données intégrée dans le véhicule, le conducteur peut choisir de laisser le système régler son limiteur de vitesse, l'empêchant de dépasser la vitesse maximale autorisée.

¹⁴ <http://ec.europa.eu/research/success/fr/tra/0344f.html>

2.5 La route de cinquième génération (R5G)

La route de cinquième génération (R5G), projet phare, fédérateur et transversal de l'IFSTTAR est présentée dans les médias¹⁵ comme un avatar de la « route intelligente » et en reprend les principes (innovation technologique) et les objectifs (environnement, sécurité...). La R5G se définit d'abord par référence aux quatre générations précédentes, successivement : le chemin mulotier, la route romaine, le macadam et l'autoroute. Elle est présentée comme :

- i. une route efficiente et sûre, intelligente, communicante, sobre en ressources et en énergie et adaptable (aux usagers, à l'environnement, à l'ensemble des modes) ;
- ii. une réponse aux problèmes du changement climatique et à la demande croissante de mobilité ;
- iii. réalisable grâce aux nouvelles technologies;
- iv. une solution européenne à long terme.

Ce concept sophistiqué apparaît d'emblée comme particulièrement ambitieux. Il s'agit de prendre en compte tous les besoins futurs et l'intégration des recherches sur les infrastructures routières.

- la route adaptable (volet infrastructure) – *Adaptable Road*. Ex: comportant des éléments amovibles (capteurs, réservoir de drainage...), de stockage (grille de transfert thermique et stockage de la chaleur...)...
- la route autogérée (volet exploitation) – *Automated Road*. Ex: capteurs et infrastructure de communication pour le guidage et les systèmes coopératifs I/V, système de surveillance des conditions climatiques et communication au système de gestion de la route...
- la route à contribution environnementale positive (volet « environnemental ») – *Climate change resilient Road*. Ex: collecte et stockage de l'énergie solaire pour alimenter l'infrastructure et adoucir la température de la chaussée, éclairage optimisé, revêtement poreux, revêtement silencieux, surface réfléchissant la lumière, plantations pour capturer le CO₂¹⁶, chaussées à faible teneur en carbone, avec matériaux recyclés, économes en énergie et dépolluants, etc.

Il s'agit aussi d'adapter la route aux futures demandes de déplacement, en particulier d'être toujours opérationnelle¹⁷ (cf. déclinaison européenne du projet « *Forever open Road* »)

Le projet R5G a une vocation particulière : l'IFSTTAR vise à élaborer un ou des démonstrateurs grandeur nature où pourront être testées les technologies de la route de demain. Il s'agit d'apprécier les conditions d'utilisation à grande échelle et de mettre au point des technologies existantes ou en voie d'être maîtrisées. En parallèle le projet comporte une partie d'identification des besoins de recherche pour les développements à moyen ou long terme.

A titre indicatif, on peut citer quelques exemples de technologies existantes qui ont vocation à intégrer la R5G : chaussées urbaines démontables (CUD) – nouveau concept de chaussée urbaine permettant un accès facilité aux réseaux –, détection des conditions météo par vidéosurveillance, automatisation des véhicules à basse vitesse (ABV), rechargement des batteries par induction électrique, capteurs piézoélectriques (route récupératrice d'énergie), système I/V (capteurs et émetteurs placés le long de la chaussée) transmettant des recommandations au véhicule sur la vitesse adaptée, des informations sur l'état de la route, notamment en cas de pluie ou de brouillard (cf. DIVAS). Mais l'un des projets phares qui pourrait être intégré à la R5G est le LAVIA.

¹⁵ Exemple : http://lexpansion.lexpress.fr/high-tech/a-quoi-ressemblera-la-route-intelligente-de-demain_201606.html

¹⁶ Cette question est plus complexe qu'il n'y paraît (cf. journées Polen 7-8 novembre 2011, Aix-en-Provence). Les travaux du Cete Nord Picardie en cours sur le sujet du patrimoine arboré des infrastructures et le stockage de carbone devrait éclairer la problématique.

¹⁷ NdR : les documents analysés ne permettent pas néanmoins de cerner en quoi s'agit il plus d'un besoin futur que d'un besoin actuel.

2.6 La route automatisée

Les travaux sur la route automatisée (menés il y a déjà une dizaine d'année [9]) n'ont pas pu être exploités dans le cadre ce travail. C'est un champ à part entière et complexe. En tout état de cause, il n'apporte pas de perspective à court ou moyen terme, mais plutôt à un horizon d'au moins 20 ans. En outre, il ne saurait concerner que certaines sections de voies rapides urbaines.

2.7 UVT, une voirie pour tous

La démarche d'étude et de promotion du partage de l'espace public demandée en 2003 par le CNT (Conseil National des Transports) s'est traduite par des analyses et des propositions rassemblées en 2005 sous l'appellation « Une Voirie pour Tous - UVT ». Le CNT a adopté ce document à l'unanimité et a demandé au Secrétaire Général du Ministère de le faire sien et de le mettre en œuvre.

Le projet « Une voirie pour tous » développe dans l'aménagement des voiries urbaines, de nouvelles pratiques prenant en compte tous les usagers, et notamment les plus vulnérables (piétons, personnes à mobilité réduite) ou défavorisés (personnes dépendantes des transports en commun...). Le Certu sous-titre dans une publication la démarche par « Sécurité et cohabitation sur la voie publique au-delà des conflits d'usage ».

Ce projet comporte deux volets : l'animation des milieux professionnels, et notamment des services des collectivités territoriales ; la production et la diffusion d'ouvrages, guides, fiches de cas ou de synthèse. Un des points forts est l'organisation de forums d'échanges au niveau régional ou inter-régional.

2.8 Aménagements multimodaux sur VRU/A

Ce n'est pas vraiment une démarche spécifique ni un concept, mais plutôt une famille d'aménagements répondant à un ensemble d'objectifs précis en matière de développement de modes alternatifs à la voiture « solo » : transports en commun, covoiturage...

Parmi les aménagements multimodaux on distingue notamment les voies réservées, les aires multimodales, la GDV&T. Cette dernière n'est pas forcément un aménagement multimodal.

Il s'agit à la base d'un projet d'exploitation, notamment dans les cas de voiries existantes. Mais la modification de nombreux paramètres de l'infrastructure (signalisation statique et dynamique, modification de la largeur des voies, séparations physiques éventuelles, coloration éventuelle de la chaussée ou marques...) peuvent conduire à assimiler ces projets à des re-conception de la voie . Lorsque l'aménagement multimodal est envisagé dans le cadre d'un projet d'investissement (e. g. : élargissement à 2x3 voies de l'A57 à Toulon, L2 à Marseille, Nouvelle route du littoral à la Réunion pour ne parler que des projets dans la zone de compétence du Cete Méditerranée), cette fonctionnalité conduit à modifier très sensiblement la conception du projet.

Nous ne développerons pas ce sujet qui fait l'objet d'une publication *ad hoc* récente du Certu [21]. L'actualité que présente ce sujet et son inscription en cohérence avec les objectifs et éléments de cadrage de l'axe 4.1 de SERRES justifient néanmoins d'en rappeler quelques points forts :



Figure 6: État de l'art sur les aménagements multimodaux

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	21/63

- pour les voies réservées, il existe une large gamme de configurations possibles, en fonction de la position de la VR, des types véhicules autorisés, du caractère permanent ou non (statique /dynamique), du maintien ou non d'une bande d'arrêt d'urgence pour les VR à droite de la chaussée, de la suppression ou non d'une voie de circulation, et notamment du franchissement des points d'échange. Cette thématique bénéficie de nombreuses réflexions (projets avec des études plus ou moins avancées : A7...) mais encore d'un petit nombre d'expérimentations (A48 Grenoble, A1 (93)...)
- les voies réservées pour les transports en commun sont souvent utilisées en association avec le concept de BHNS, de CHNS ou de car express... mais ce n'est pas équivalent ;
- les accès, fréquents sur VRU, constituent l'une des difficultés et des contraintes majeures pour les voies réservées ;
- les évaluations menées conduisent à des résultats contrastés selon l'objectif et le critère, et le type d'aménagement (création d'une voie réservée avec ou sans suppression de voie courante / banalisée) ;
- l'aménagement de voies réservées conduit à des coûts d'exploitation souvent significativement plus élevés ;
- ces aménagements innovants se sont globalement adaptés aux mode de conception actuels et surtout aux voiries existantes ;¹⁸
- ces configurations nouvelles génèrent de nouveaux problèmes (ou du moins des questions) en matière de sécurité, avec la difficulté d'évaluation habituelle dans le domaine des risques routiers, accru par le petit nombre d'expérimentations ;
- ces projets ont bénéficié d'une réflexion spécifique (formalisée par le « rapport Pollet » [23]) définissant des recommandations et des conditions d'emploi. La rapide évolution des connaissances conduit le Certu à prévoir l'actualisation de ces recommandations, en vue notamment d'une intégration dans le projet de refonte de l'Ictavru (pour 2013) ;
- l'utilisation des voies réservées pose question. Peut-on envisager une transposition aux véhicules « verts » : véhicules électriques ou dont les émissions de CO2 restent en deçà d'une seuil (ou d'un seuil par occupant) ? La problématique des deux-roues motorisés, très présents sur les VRU des grandes agglomérations, se pose aussi.



Figure 7: Élargissement de l'A57 (Toulon) à 2x3 voies. Variante "élargissement avec circulation facilitée des cars" proposée en concertation (2009).

¹⁸ Les différents projets recensés en France concernent des aménagements sur place plus ou moins significatif d'une voirie existante.

2.9 Autres démarches et concepts

Paysage et Lisibilité

Les travaux engagés sous l'appellation RIPL (Requalification d'Itinéraires Paysage et Lisibilité) sont issus d'un groupe de travail mis en place et piloté par le SETRA depuis 1999 [47]. Ce groupe se proposait d'établir une démarche méthodologique associant le paysage et la lisibilité (et d'une façon ou d'une autre la sécurité routière).

Le rapport [47] s'appuie notamment sur des études expérimentales de requalification de deux routes nationales existantes. La méthode d'analyse et de diagnostic d'itinéraire proposée s'applique essentiellement sur les routes principales bidirectionnelles. Il s'agit dans une certaine mesure de la transposition en interurbain des concepts appliqués en urbain dans le cadre de la démarche « Ville plus sûre – Quartiers sans accidents ».

La démarche vise conjointement à l'amélioration de la sécurité routière et une meilleure prise en compte de l'aménagement du territoire dans les projets routiers. Son élément central et nouveau consiste en une caractérisation du rythme d'un itinéraire avec l'identification de séquences dites de "contrainte" et de "confort", dans le cadre d'une analyse de la tâche de conduite du point de vue du conducteur.

Séduisante en première approche, la démarche semble néanmoins assez confuse – sans doute est-elle desservie par des documents manquant de clarté. Elle établit un lien assez direct entre « l'impression que peut ressentir l'usager en parcourant les différentes séquences de l'itinéraire » et « le comportement du conducteur dans sa stratégie de conduite ». Le comportement dont il est question est un comportement présumé. Par ailleurs, elle se veut complémentaire aussi bien d'études de sécurité routière classiques (comprendre diagnostics de sécurité) que d'études de planification en matière d'aménagement du territoire, sans vraiment expliciter ces liens et les synergies éventuelles.

Parmi les actions mises en place, le suivi du projet routier de la desserte de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes à Nantes a fait l'objet d'un rapport d'études par le CETE de l'Ouest. Le document n'a pas été publié faute semble-t-il de validation de la Direction des infrastructures de transport.

Si la démarche paysage et lisibilité n'est pas vraiment suffisante, du moins seule (il n'est pas montré qu'elle réponde aux différents critères énoncés *supra*), ni forcément « pratique » ; elle s'inscrit néanmoins dans le droit fil d'une logique de route apaisée (cf. RACA, § 2.2.) et ne saurait être négligée.

L'autoroute autrement (chronoaménagement)

Le concept d'autoroute autrement est essentiellement issu d'une démarche locale (agglomération grenobloise) et formalisé par un livre publié par le Certu [54]. Il correspond au souci selon ses auteurs de « redonner aux distances et aux temps leurs vraies valeurs. » Il est directement associé à la notion de chronoaménagement du territoire dont le défi « est de parvenir à un aménagement où désir et raison s'entendent pour limiter l'étalement urbain, s'accorder avec le Grenelle de l'environnement et fabriquer 'le territoire que nous voulons'. Pour ce faire, la vitesse doit être redécouverte au travers du prisme des distances-temps et des autoroutes apaisées à haut niveau de service. Et, si un pôle urbain se définit par ses habitants et leurs déplacements, l'aire urbaine entière doit alors être multipolaire et équilibrée. »



Figure 8: Chronoaménagement et autoroute autrement

Malgré son intitulé, la démarche ne s'intéresse pas spécialement à l'objet « autoroute » – elle pourrait concerner d'autres types de voirie structurante de l'agglomération. Les qualificatifs « autrement » et « apaisé » font écho au concept en développement au sein du Ministère, mais le concept d'autoroute autrement développé dans le document évoqué *supra* ne se présente pas comme une déclinaison de RACA. Elle s'en distingue en particulier par la dimension territoriale mise en exergue.

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	23/63

La route HQE

Le Conseil général du Nord a été le précurseur en France de l'idée de construire des routes HQE, c'est-à-dire en fonction des normes de haute qualité environnementale; dans le but de réduire les nuisances et pollutions générées par les routes. La démarche a été initiée en 2006. Comme une démarche qualité, elle porte essentiellement sur les processus et les pratiques, que directement sur l'objet routier lui-même. L'innovation réside dans le caractère systématique, l'application d'un référentiel d'évaluation en rapport avec les objectifs poursuivis ; et pas nécessairement sur l'innovation technique (des techniques employées).

Patrick Gandil, alors Secrétaire général du MEDAD, évoque ce concept dans un éditorial de la revue TEC [62] en 2007 « La route, les véhicules et les conducteurs doivent prendre une part significative à [la réduction des émissions de gaz à effet de serre]. La route à haute qualité environnementale, des véhicules propres, des technologies de l'information et de la communication au service de la qualité et de l'optimisation des modes de transport, des comportements de conduite adaptés sont autant de pistes prometteuses et complémentaires. » Cette notion est restée sans suite pour l'Etat, même si d'autres concepts (R5G...) présentent des similitudes.

Compte tenu des remarques formulées supra sur l'objet du concept, la route HQE ne relève pas de l'objet de notre activité, mais elle témoigne évidemment du souci de trouver des solutions pour atteindre certains objectifs communs.

Les mêmes considérations pourraient être formulées au sujet de démarches telles que la Route durable du Conseil général de l'Hérault, et d'autres démarches similaires qui ne seront pas évoquées ici.

Le projet « **NR2C** », ou « **la rue du futur** » a également été identifié mais n'a pas pu être analysé ici. Il se rapporte à la voirie urbaine.

2.10 Conclusions

Divers concepts ou approches innovants et récents sont identifiés et décrits dans leurs grandes lignes dans cette partie.

On identifie un nouvel objet routier (routes à 2x1 voies), des modes d'aménagements innovants (dans le cadre de la démarche RACA, aménagements multimodaux...). Les innovations qui rentrent dans le cadre de la route dite intelligente relèvent globalement davantage des mesures d'exploitation que de la conception ou de l'aménagement. C'est d'ailleurs aussi souvent le cas pour les voies réservées, même si ce type de disposition conduit souvent à re-concevoir – au moins intellectuellement – la voie structurante concernée.

Certains concepts sont plutôt des projets fédérateurs de solutions (plus ou moins homogènes) pouvant répondre soit à des objectifs communs tels que la réduction des impacts environnementaux, l'amélioration de la sécurité, etc. ; ou encore des démarches d'étude, de qualité ou de promotion d'approche nouvelle des infrastructures routières et leur exploitation.

Les travaux sur la route automatisée (menés il y a déjà une dizaine d'année) n'ont pas pu être exploitées dans le cadre ce travail. C'est un champ à part entière et complexe. En tout état de cause, il n'apporte pas de perspective à court ou moyen terme, mais plutôt à un horizon d'au moins 20 ans. En outre, il ne saurait concerner que certaines sections de voies rapides urbaines.

3 Recommandations en matière de conception : regards sur la situation actuelle

L'objectif final de l'axe 4.1. étant de produire de nouvelles recommandations en matière de conception, il est utile de rappeler les principes actuels, explicites ou non, adoptés pour les fixer. C'est l'objet de cette partie. Il ne s'agit pas de présenter les différentes et très nombreuses règles mais d'en cerner les éléments communs... Quelques enseignements sont tirés in fine.

3.1 De l'importance de la typologie routière

Les documents de conception générale et géométrique, l'ARP [42], l'ICTAAL [44], l'ICTAVRU [17], guides sur les carrefours, accès ou échangeurs, etc., traitent d'un type de route¹⁹ donné, parfois de plusieurs conjointement. C'est aussi le cas de guides sur la sécurité, des grilles CSPR, des divers volumes de l'ERI (Guide Équipement des routes interurbaines), etc. D'une façon générale, le type de route est souvent le paramètre d'entrée ou d'utilisation du corpus technique. Cela confère une importance considérable à la typologie routière.²⁰

La pertinence d'une typologie peut s'apprécier à sa complétude : une très grande majorité des routes d'un réseau (voire la totalité), doivent pouvoir être reliée à un type de route. Inversement, tous les types de routes devraient comporter un nombre de routes significatif.

Les principes sous-jacents à la définition de types : elle constitue un enjeu essentiel en matière de sécurité routière, étant directement associée à deux critères essentiels de sécurité, issus autant des approches cognitives que des retours d'expérience [51] [3] [4] :

- d'abord la lisibilité de la voie, qui vise à faciliter l'interprétation de la voie, dans son environnement et avec ses usages, de façon à obtenir les comportements les mieux adaptés ; la lisibilité est réputée être d'autant meilleure que la voie est « typique » ;
- au-delà, une préoccupation plus générale de cohérence de tous les éléments de la voie, en particulier en recherchant la meilleure cohérence entre ses conditions d'exploitation, sa géométrie et son équipement.

Ces considérations induisent le souci de typer les voies, ce qui suppose au préalable de définir des types de voies, a priori en nombre assez restreint et répondant au principe de cohérence. Il convient d'identifier également deux notions qui sont implicites ci-dessus [4] :

- l'homogénéité, qui renvoie à la cohérence spatiale, avec pour implication de typer les voies à l'échelle de sections* suffisamment longues – a priori des axes ou des itinéraires* pour ce qui concerne le réseau structurant ;
- la « fonctionnalité », qui renvoie à la cohérence entre usages, principes de gestion des trafics et caractéristiques techniques. En suivant le principe de hiérarchisation voire de discrimination des trafics (transit, échange, local...), elle conduit à la hiérarchisation fonctionnelle des voies.

¹⁹ Rappelons la définition du type de route : ensemble de caractéristiques organisé en un tout permettant de distinguer des familles de routes qui ont vocation à privilégier des fonctions similaires. Un type se distingue essentiellement par le milieu environnant, la nature des systèmes d'échange et le nombre de chaussées [28], [42]. On peut dire plus simplement qu'un type définit un objet routier. Ce terme est défini du point de vue technique de la conception, mais il a une importance dans divers domaines de gestion et d'exploitation du réseau, en particulier dans la gestion de la sécurité. Le type bénéficie normalement d'une appellation. Ex : autoroute, route express, artère interurbaine, route multifonctionnelle, route secondaire.

²⁰ Une typologie (routière) se définit comme un ensemble de types de routes constituant un tout cohérent. Cette classification est purement technique, même si elle peut prendre en compte des notions définies réglementairement (ex : les autoroutes). Par exemple, l'instruction [28] définit une typologie routière pour le réseau routier national français.

Au delà des aspects liés à la sécurité routière, la typologie routière permet (ou facilite) la définition de niveaux de service etc.

3.2 Description sommaire du corpus technique

Le corpus technique peut être catégorisé de plusieurs manière.

- **Par rapport à sa portée technique.** On peut schématiquement distinguer :
 - les documents de conception générale et géométrique, tels que l'ARP, l'ICTAAL, l'ICTAVRU, etc., ou sur des aspects plus ciblés, notamment sur la conception des points d'échange (guides sur les carrefours, les échangeurs...);
 - des documents sur des thèmes d'aménagements de l'infrastructure tels que les documents pour la prise en compte de la sécurité (ex les obstacles latéraux), la prise en compte des motocyclistes, les aménagements en faveur des cyclistes...
 - ou pour une bonne insertion environnementale : aménagements paysagers, protection de la ressource en eau, etc.
 - des documents sur des composantes d'aménagement : chaussées, terrassements, assainissement, équipements, ouvrages d'art et ponts, etc.

Certains documents peuvent appartenir à plusieurs catégories.

- **Par rapport à son statut.**

On distingue principalement : les instructions (associées à une circulaire ministérielle), les guides techniques, des fiches thématiques et notes d'information (publiées par les STC). En matière de conception routière, il existe très peu de documents de portée juridique tels que les accords internationaux, les lois, les décrets, les arrêtés, les normes. Bien sûr, les procédures et les contraintes réglementaires auxquels sont soumis les projets d'infrastructures routières sont particulièrement nombreuses et prégnantes mais ne déterminent pas directement leurs caractéristiques techniques. On pourrait dire trivialement que ce que l'on appelle couramment les normes routières sont peu... normatives ! Il existe néanmoins l'accord AGR [10] mais qui s'avère en pratique assez peu contraignant : il s'applique au réseau RTE-T (essentiellement des infrastructures du réseau routier national de caractéristiques autoroutières). Il porte sur quelques caractéristiques géométriques. Quant aux normes (NF), la seule norme identifiée en matière de conception routière (équipements mis à part) porte sur les ralentisseurs (surélévation, pentes, longueur...).

- **Par rapport au type de route** (incluant l'environnement) concerné : autoroutes, routes principales, VRU, rues...

3.3 Principes de définition/détermination des règles de conception

La définition des règles (ou recommandations en matière) respecte en général certains principes et contraintes qui sont explicites ou non :

- la prise en compte conjointe des différents enjeux : sécurité, niveau de service/confort, contraintes d'entretien et d'exploitation, insertion environnementale et paysagère, économie... et ce d'autant plus qu'ils sont soulignés lors de la commande (généralement par la DGITM / ex-DGR / ex-DR) ;
- le respect des contraintes réglementaires ou techniques en matière de signalisation/équipements, d'assainissement de la plate-forme, etc., ou d'une façon plus générale la prise en compte des documents (recommandations ou règlements) existants par ailleurs ;

<i>Opération/Action</i>	<i>Auteur</i>	<i>Version</i>	<i>Statut</i>	<i>Date</i>	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	27/63

- le souci d'un minimum de continuité avec les règles préexistantes, le cas échéant, qui peut parfois être assimilé à un certain conservatisme du système. Il correspond surtout au souci d'un minimum de cohérence et d'homogénéité des réseaux routiers. Cet aspect n'est pas sans poser des questions dans un cadre d'innovation ;
- la prise en compte des documents de nature similaire d'autres pays (de l'UE, USA...) ;
- la prise en compte des connaissances établies (accessibles, validées...) au moment de l'élaboration du document et des cas bénéficiant d'un retour d'expérience sinon d'une évaluation ;
- la mise en œuvre d'études *ad hoc* pour éclairer une ou certaines problématiques (ex : la distribution des hauteurs de feux arrière dans le parc, les vitesses pratiquées sur autoroute, la typologie des accidents en carrefour...) ;
- la priorité donnée aux enjeux de sécurité routière. De fait, une majorité de règles sont principalement motivées par des aspects ayant trait à la sécurité. Les recommandations élaborées depuis 15 ans tiennent notamment compte des connaissances et des principes du document Sécurité des routes et des rues [51] ;²¹
- la relative simplicité et un caractère opérationnel. Les règles de conception seront certes utilisées par des professionnels, avec un profil de généraliste de domaine, ayant à maîtriser des techniques et savoir faire très large, mais n'ayant pas forcément un profil de spécialiste. Cela conduit souvent à simplifier les règles (cas des longueurs de clothoïdes). A noter que la standardisation des aménagements qui peut en résulter est *a priori* bénéfique pour la sécurité des usagers en contribuant à la lisibilité ;
- un corollaire du point précédent est l'utilisation de valeurs conventionnelles ; c'est à dire de valeurs calculées à partir de formules simplifiées et d'hypothèses sur les paramètres rentrant en ligne de compte. La distance d'arrêt étroitement associée à certaines règles de visibilité ou de perception en est sans doute l'exemple le plus connu et le plus représentatif. La formule donnant la distance d'arrêt suggère une simplification des éléments physiques et psychologiques sous-jacents, en particulier pour le processus de freinage. Par ailleurs, pour les paramètres de calcul
- la prise en compte de marges de sécurité, implicite dans les règles. Elle est liée aux calculs conventionnels évoqué ci-dessus. Le souci de garantir un niveau de sécurité élevé conduit à retenir pour chaque paramètre de calcul (exemple pour la visibilité: temps de perception-réaction, coefficient de frottement, usure des pneumatiques...) des valeurs plausibles, mais souvent pessimistes ou correspondant à des situations plus ou moins dégradées. La marge de sécurité résulte du cumul de marges de sécurité particulières. Il en résulte une difficulté à cerner le niveau de risque admis et la cohérence des niveaux de risques adoptés pour les différents aspects de la conception (tracé, visibilité, profil en travers...). Des travaux prospectifs menés sur la visibilité en France [40] et aux États-Unis [38] éclairent la question.
- la notion de catégorie de route renvoyant à la vitesse de référence, garantissant une certaine homogénéité de traitement du tracé sur une section et offrant un niveau de confort minimal.

²¹ Ce document propose d'apprécier la sécurité d'une infrastructure à partir de 7 critères de sécurité dont : la visibilité, la lisibilité, l'adéquation aux contraintes de dynamique des véhicules, les possibilités de récupération, la gravité limitée des chocs, la cohérence de tous les éléments de la voie et de l'environnement, la gestion des flux en relation avec les aménagements dans un objectif de sécurité. On notera d'ailleurs que les recommandations techniques (ARP et ACI en tête), sont très largement cohérentes non seulement avec les principes de SRR, mais également avec les préconisations formulées par ce document en matière d'aménagement des infrastructures.

3.4 Enseignements et éléments de réflexion (conclusions)

Un corpus technique globalement cohérent, homogène.

D'une façon générale, les documents composant le corpus technique en matière de conception sont complémentaires, cohérents²², et sont en grande majorité d'actualité (des documents tels que des fiches ou des notes d'informations pouvant au besoin servir d'actualisation ciblée). Cette relative cohérence d'ensemble peut constituer une réelle difficulté dans un contexte où l'on souhaite innover.

Les règles de l'art en matière de conception géométrique sont en majorité associées à des préoccupations de sécurité routière.

Modifier de telles règles est de nature à soulever des difficultés et des réticences – on imagine difficilement remettre en cause cet objectif (*a fortiori* dans le cadre de SERRES). Aussi, faudrait-il être capable de montrer que les modifications soit vont dans le sens d'un renforcement de la sécurité ou du moins ne sont pas de nature à la dégrader, soit sont accompagnées de mesures compensatoires ou palliatives réellement adaptées et suffisantes.

En outre, les principaux documents de doctrine actuellement en vigueur sont basés sur une analyse approfondie des connaissances de l'époque (formalisée pour l'essentiel dans le document Sécurité des routes et des rues [51] pour ce qui concerne l'ARP par exemple). Proposer des recommandations en la matière suppose d'établir un état des connaissances actualisés et rigoureux, ou de modifier l'interprétation des résultats des études antérieures.

Les limites de la typologie routière.

La typologie routière actuelle permet a priori (ou du moins favorise) la réalisation d'objets routiers homogènes et cohérents. Mais elle ne constitue pas un support privilégié d'échange entre techniciens et décideurs, entre décideurs et acteurs du territoire. Elle n'est d'ailleurs pas forcément bien connue et comprise au sein de la communauté technique routière.²³

Un système conservateur par nature.

Les remarques formulées supra induisent un certain conservatisme structurel. L'inertie du corpus technique est renforcée par la durée d'actualisation souvent longue de chacun des documents qui le compose. Cela peut aussi constituer un frein à l'innovation.

La justification des règles de l'art dans le domaine de l'aménagement des infrastructures routières est une question récurrente et importante.

Ce questionnement atteste de l'interpellation croissante des règles, des spécialistes du sujet et de l'insuffisance de partage des information. Les règles de conception sont souvent (et légitimement) critiquées ; parfois caricaturées fautes d'être vraiment connues ou maîtrisées (d'ailleurs, c'est parfois davantage leur application qui est critiquée que la règle elle-même). Le questionnement renvoie également à la difficulté grandissante de trouver des compromis satisfaisants entre les multiples contraintes auxquelles sont confrontés les aménageurs. Ils témoignent aussi de l'absence de démarche d'évaluation des mesures proposées et mises en œuvre.

Des cas ou situations non ou mal traités.

Si le référentiel technique est plutôt complet pour certains objets routiers, d'autres sont largement ignorés. C'est notamment le cas des routes secondaires. Par ailleurs, les voies situées en zones périurbaines ne bénéficient pas d'un référentiel spécifique. Ceux applicables par défaut sont soit les référentiels pour les routes

²² Même si l'application conjointe de recommandations provenant de différents documents, voire du même, peut s'avérer difficile pour le concepteur.

²³ Une enquête sur le sujet aurait sans doute des résultats surprenants.

rurales (dites interurbaines) soit les référentiels pour les voies urbaines. Ils se révèlent souvent, l'un comme l'autre, inadaptés ou inapplicables.

Le corpus technique n'est évidemment pas parfait et comporte des marges d'amélioration significatives. Ces marges ne relèvent pas en général de l'innovation, mais plus du retour d'expérience associée à l'évaluation, l'appropriation, la formalisation...

Les règles de conception sont établies non pas indépendamment de principes d'exploitation, mais sur la base de mode d'exploitation standard (ou classique) et globalement statique.

Elles ne sont donc pas forcément adaptées ou du moins optimisées pour des modes d'exploitation particuliers des infrastructures (transports en commun sur BAU, gestion dynamique des voies ou des vitesses...). Sans préjudice des démarches de conception intégrées mises en œuvre dans le cadre de l'élaboration des projets.

Des méthodes et des cadres différents pour définir les principes et les règles de conception.

Pour modifier les règles de conception – élément de contrainte mais aussi de support des pratiques d'aménagement – si tel est le besoin, il paraît nécessaire d'introduire au-delà des concepts mêmes (route autrement, route durable...), des méthodes différentes, sans renier pour autant les connaissances et les savoir faire acquis qui ont fait leur preuve:

- interroger et vraisemblablement modifier le cadre général constitué d'une part de la typologie routière (les types de routes), et d'autre part de la notion de catégorie intimement lié à la notion de vitesse de référence (vitesse de base...);
- actualiser les connaissances (notamment sur les interactions entre aménagement et comportements) est une autre piste – sans doute incontournable –, mais elle ne paraît pas suffisante à elle seule pour introduire une rupture : il est assez peu probable qu'elle modifie en profondeur ou remettent en cause fondamentalement les connaissances antérieures, parce que les nouvelles connaissances sont sectorielles et viennent s'ajouter à un ensemble déjà vaste (les réflexions menées dans le cadre de la refonte de l'Ictavru; ou dans le cadre d'une opération de recherche telle que I2V attestent de cette situation ;
- modifier la manière de fixer des règles à partir des connaissances, en remettant par exemple en question la notion de valeurs conventionnelles (...).
- explorer la notion de valeur maximale. La notion de maximum est souvent évoquée [53] comme une lacune des règles de conception géométrique. Les règles de conception routière sont un ensemble de contraintes (ou du moins sont perçues comme telles) fixant des limites à ne pas dépasser en matière de sécurité ou de confort (rayons du tracé en plan ou du profil en long, distances de visibilité, largeur des composantes du profil en travers...). Bien entendu, un examen plus approfondi révèle que plusieurs règles renvoient à un maximum²⁴. Mais la question concerne en fait implicitement le tracé et témoigne de la volonté d'éviter les situations de confort excessif sur des périodes trop longues, de nature à accroître les vitesses (c'est à dire écrêter le niveau de confort) Il s'agirait alors sinon de s'opposer, du moins de compléter la notion de catégorie qui garantit un confort minimum pour une vitesse de référence donnée (80 km/h pour la catégorie R80 par exemple).

²⁴ Ex: outre le cas évident des pentes longitudinales, les dévers, la longueur d'alignement droit maximal avant une courbe, rayon des giratoires, déport transversal des îlots de carrefours, longueur de stockage...

4 Le système de transport routier : perspectives et rétrospectives

Ce chapitre se propose de brosser un tableau plausible du système routier à court, moyen et long terme, à partir de données aussi objectives que possibles. Néanmoins cette ambition initiale, démesurée dans le cadre de l'action 4.1., nécessiterait à elle seule un projet à part entière. Elle nécessiterait aussi une approche pluridisciplinaire afin d'appréhender un système de transport dans ces différentes dimensions. Il ne s'agira donc, plus modestement et raisonnablement, que d'une esquisse en abordant les aspects a priori les plus importants en relation avec l'action 4. Certains aspects les plus dynamiques pourront être explorés et précisés ultérieurement.

Pour cela, les caractéristiques des principales composantes du système « route » – véhicules, conducteurs, infrastructures, règles d'usage des infrastructures, système d'exploitation, services aux usagers – sont identifiées. Parallèlement, nous essayons de tirer quelques enseignements des solutions (invention ou déploiement) de conception qui ont eu un impact important sur le système routier et en particulier les pratiques de conception. Il ne s'agit pas de retracer l'histoire de la route, mais de cerner les évolutions qui ont provoqué une évolution majeure.

Un tel travail prospectif est forcément délicat et par nature incertain, mais il paraît utile sinon nécessaire pour cerner les enjeux d'une optimisation des modes de conception, mais aussi les leviers et les difficultés liés à certaines évolutions. Il s'agit en quelque sorte d'essayer de décrire une situation de référence plausible à moyen terme (disons 10-15 ans) au moment de la mise en œuvre des nouvelles solutions issues de la recherche, en tenant compte non seulement de la durée de maturation de telles solutions mais aussi de la durée d'élaboration d'un projet. D'une façon caricaturale, il n'y aurait plus d'enjeu à réduire les émissions de GES en jouant sur l'infrastructure si l'essentiel du parc de véhicules devait bénéficier à moyen terme d'une motorisation électrique.

Au préalable, il est toujours instructif de relire les réflexions qui animaient nos prédécesseurs lorsque ceux-ci étaient confrontés à l'adaptation de la route à la circulation et aux éventuelles modifications des conditions d'aménagement du réseau routier. Ainsi, dans un article paru à l'occasion du centenaire de l'AIPCR dans la RGRA, J. Berthier [66] rappelait des éléments de débat du début du XX^e siècle, à l'aube de l'ère de l'automobile, relative au réseau routier et plus particulièrement à la route future :

« L'organisation (...) du premier congrès international de la route en 1908, apparaît comme une première expression nette d'intérêt de l'administration pour ouvrir une réflexion sur l'adaptation de la route à l'automobile, [Inspecteur général Henry Lethier :] « on a été ainsi conduit à demander s'il ne devait pas résulter de cette transformation des véhicules une modification profonde des conditions techniques d'établissement, non seulement des grandes routes, mais encore des voies secondaires. Tel est l'objet de la quatrième question posée au congrès : la route future ». Au vu de la situation et d'autres enjeux, Renardier nuancait ces propos : « il nous est donc permis de conclure, avec quelque apparence de probabilité, que ce réseau, répond aux attentes aux nécessités de circulation moderne ; que le type en service de route actuelle, avec quelques améliorations de détails, répondra encore [longtemps] aux nécessités de cette circulation et que (...) la route de l'avenir ne doit s'appliquer qu'à un cas particulier, susceptible d'une certaine extension, mais dont la généralisation ne paraît pas encore proche. »

On pourrait croire cet échange extrait d'une table ronde lors d'un colloque du siècle suivant... Ce propos met en exergue deux questions : celle de l'opportunité de modification du réseau routier en rapport avec les évolutions de la circulation (caractéristiques et performances des véhicules qui la compose) d'une part, celle du type de réseau à traiter. Enfin, elle introduit aussi une dimension temporelle, et suggère déjà que l'évolution globale du réseau routier s'inscrit dans un temps long.

4.1 Considérations préliminaires sur le système routier

Le système routier se caractérise par une forte inertie notamment au niveau de l'infrastructure :

- Les tracés d'une route (tracé en plan ou profil en long) peuvent difficilement évoluer, sauf à la marge : rectifications de tracé, reprofilage... Les déviations pourraient être l'exception, mais elles sont considérées comme de nouvelles voies, du moins une nouvelle section.
- Si certaines composantes comportent des taux de renouvellement de quelques années (marquages), il est plutôt de l'ordre (au minimum) de la décennie (couche de roulement, équipements...). Il croît globalement de façon inverse à l'importance des routes. Il est plus faible pour les réseaux secondaires, de loin les plus étendus.
- Les modifications généralement partielles des infrastructures – une section d'un réseau, un tronçon au sein d'un itinéraire, une composante de la route – doivent rester compatibles avec des principes d'homogénéité et de cohérence. Cela rend forcément difficiles, et en tout état de cause très progressives les évolutions du réseau routier pris dans son ensemble.

Les interactions nombreuses entre les composantes du système (infrastructure, véhicule, usagers, réglementation...) doivent globalement générer une forte inertie. Ainsi n'importe quel modèle de véhicule datant de plusieurs décennies peut circuler de façon normale sur le réseau routier actuel – aussi bien sinon mieux qu'au moment de sa sortie... Inversement, tous les véhicules actuels auraient pu circuler sur le réseau routier français d'il y a 40 ans – aussi bien et sans doute beaucoup mieux que ne le faisait les véhicules de l'époque.

L'inertie est aussi largement liée aux aspects économiques et en particulier au coût de modification du réseau routier. La valeur du réseau routier est estimée à 2000 milliards d'euros dont 250 pour le réseau routier national [26] et les gestionnaires pris dans leur ensemble peinent déjà à entretenir leurs réseaux. Et cette contrainte économique n'est pas conjoncturelle, elle était déjà prégnante tout au long du XX^e siècle, et elle le demeurera vraisemblablement au XXI^e siècle.

Les véhicules

Une relative inertie du parc. Les évolutions à court ou moyen termes (10-15 ans) sont assez prévisibles compte tenu du taux de renouvellement du parc (qui connaît néanmoins ces deux dernières décennies une augmentation sensible²⁵), mais surtout de l'inertie liée aux équipements industriels (avec en outre une certaine aversion au risque), voire de la mise au point des technologies innovantes. Les difficultés économiques rencontrées par de nombreux constructeurs²⁶ n'est pas un élément favorable. L'inertie est aussi liée au consommateur – conducteur, avec des questions sur l'acceptabilité de certains systèmes d'aide à la conduite. Les questions économiques (avec des surcoûts parfois significatifs des nouveaux systèmes et services, et évidemment des nouvelles motorisations) ne peuvent pas non plus être négligées.

Néanmoins, le parc de véhicule, composé principalement de véhicules individuels et indépendants, ne peut être considéré comme un ensemble homogène. Le parc subit non pas une tendance globale mais un ensemble de tendances : segmentation du marché, avènement du low-cost, multiplication des équipements, effet de la perte du caractère statutaire de l'automobile au profit d'un caractère identitaire qu'identifient les sociologues.

L'avènement prochain du véhicule électrique ?

Un certain consensus semble se dégager dans la presse spécialisée. Le véhicule électrique devrait avoir une part de marché significative mais encore très minoritaire dans une décennie. Des études de marché et des constructeurs (ex: Renault-Nissan) anticipent une part de marché de l'électrique qui atteint 10% en 2020 ; d'autres constructeurs sont plus modestes (3%). Évidemment, une part de marché de 10% ne signifie pas un parc à 10 % électrique au même horizon. Les freins aux développements sont nombreux et assez significatifs

²⁵ Impact du contrôle technique des véhicules dans les années 90. Aujourd'hui : incitations fiscales et contraintes réglementaires...

²⁶ En 2010, 2011, 2012.

pour que l'on puisse parler de défis à relever (prix des batteries élevé²⁷, autonomie limitée²⁸, durée de vie, infrastructure de recharge...).[57]

Fabien Leurent (LVMT) évoque par ailleurs l'inertie de nos pratiques, de nos modes de consommation de l'automobile – une affaire d'une génération – mais constate une évolution (progressive) du statut de l'automobile.

Au-delà des défis technologiques, les défis économiques seront sans doute cruciaux. Pour faciliter l'introduction sur le marché du véhicule électrique de nature à permettre l'amortissement des importants investissements industriels nécessaires, l'appui des pouvoirs publics sera sans doute déterminant, que ce soit sous forme d'incitation fiscale, ou comme client / gestionnaire de flottes (cf. appel d'offre autolib' à Paris en 2011, ou celui de l'UGAP). La sollicitation des finances publiques risque de rencontrer des limites, au fur et à mesure que les produits rencontreront un succès.

Cette partie écrite sur la base d'une revue réalisée pour l'essentiel en 2010, période plutôt favorable au niveau politique et médiatique, devrait sans doute être davantage nuancée aujourd'hui (2012) sur la base des bilans des premières années de commercialisation des nouveaux modèles de véhicules électriques²⁹. La croissance de la part de l'électrique est nette mais avec une part de marché de 0,5 %³⁰ il est encore difficile de parler de décollage.

Vers un fort développement de « l'Hybride » ou des « hybrides »

Les grands constructeurs automobiles multiplient les modèles hybrides. L'association des motorisations thermique et électrique vise à profiter des avantages de chacune (et à limiter leurs inconvénients respectifs). Elle pose cependant des questions : couplage des motorisations, gestion optimale entre les deux sources... tandis que le stockage et la gestion de l'énergie restent au cœur de la problématique. L'économie de CO2 en utilisation est indiscutable (plus ou moins forte selon le système d'hybridation et les conditions d'usage), mais le surcoût à l'achat, dû à l'hybridation, reste difficilement amortissable dans l'équation économique actuelle [57].

Les nouvelles motorisations plus ou moins décarbonnées sont favorisées par un engouement médiatique pour la nouveauté technologique, les valeurs et les images associées, mais aussi les contraintes auxquelles sont soumis les constructeurs (la législation impose de réduire les émissions moyennes de CO2 progressivement). Pour abaisser leur moyenne, les constructeurs ont intérêt à introduire dans leur gamme des modèles à faible émission (et modifier la structure de leurs ventes vers des véhicules « plus petits »).

La voiture roulant à l'hydrogène : une utopie ?

Si cette piste mobilise des efforts importants de recherche, il y a un consensus sur le fait qu'il ne peut s'agir que d'une solution de long terme pour réduire les émissions de GES.

Des véhicules plus propres

- Le pot catalytique. Rendu obligatoire en 1993, il présente une très forte efficacité, mais seulement après 40 secondes d'utilisation. Les pots catalytiques diesel présentent des limites actuellement pour la réduction des NOx. Des évolutions technologiques importantes seront nécessaires (et sont déjà expérimentées) pour respecter les normes EURO 6 (2014).
- Les enjeux économiques rejoignent les enjeux écologiques, largement aidés en cela par les incitations fiscales et le contexte politique. Depuis quelques années, les constructeurs automobiles proposent des modèles consommant globalement moins, avec une réduction des émissions de CO2 en proportion.
- Les constructeurs sont fortement motivés par les pouvoirs publics, grâce à des normes de pollution de plus en plus exigeantes. A titre d'exemple, les véhicules respectant la norme Euro 4 émettent cinq fois moins de HC et de NO que la génération précédente EURO 3.

²⁷ De l'ordre de 10 000 €.

²⁸ Environ 130 km en cycle officiel.

²⁹ Les premiers modèles des grands constructeurs ont été mis sur le marché fin 2010 et début 2011.

³⁰ Au premier semestre 2012 (Source : Avem).

- Les consommations moyennes ont commencé à baisser (depuis quelques années), que ce soit en diesel ou en essence, et parallèlement les émissions de CO₂. Un effet largement amplifié par le bonus/malus écologique mis en place le 1er janvier 2008). Ce dispositif a déjà évolué depuis sa mise en place pour tenir compte de l'évolution de la structure des ventes et tendre vers une neutralité fiscale. D'autres évolutions sont attendues sur la période 2011/2012.

Les technologies embarquées

Le parc des voitures particulières : vers la voiture intelligente,

L'amélioration des véhicules (VP, PL...) existants procède schématiquement de deux démarches :

- rendre l'usage des véhicules plus « intelligents » au sens du développement durable : notion de logistique intelligente pour les poids lourds, mais l'éco-conduite relève aussi de ce registre ;
- développer des véhicules intrinsèquement plus performants.

Ces deux objectifs se base notamment sur l'utilisation des technologies de l'information et de la communication, associée aux progrès de la mécanique et de l'électronique. Il s'agit de développer l'offre de véhicules intégrant les technologies pertinentes pour favoriser l'économie de carburant fossile, tout en préparant l'arrivée des énergies alternatives, pour les camions (...).

Le développement des aides à la conduite se poursuit depuis une vingtaine d'année, qu'elles soient embarquées ou au niveau de infrastructure (bord de voie). Le sujet n'est pas nouveau ; Déjà P.Y. Texier écrivait en 1999 :

Une tendance mondiale, lourde et irréversible se dessine. Les conducteurs sont de plus en plus aidés (dans leurs efforts et dans leur tâche de conduite) et le droit change. L'information se diversifie, se structure et se personnalise. Cette tendance conduit à des évolutions. Aujourd'hui, le gestionnaire de la route la charge de donner aux conducteurs les informations (visuelles, kinesthésiques et parfois sonores) nécessaires à la conduite. Demain ces informations et les caractéristiques géométriques et physiques de la chaussée seront transmises par de nouveaux médias. Les conducteurs plus ou moins aidés en déduiront leur domaine de contrôlabilité. Les vitesses consigne, la répétition des feux et panneaux à l'intérieur des véhicules, les distances d'arrêt, les conditions de circulation des différents Itinéraires sont autant d'informations qu'attendent les conducteurs. Et ils ne comprendraient pas que l'infrastructure ne pas soit en mesure de leur donner. La notion de service devient prégnante et la justice, de plus en plus présente. Leur action conjuguée contribuera à inciter voire à obliger les gestionnaires à accompagner leur capacité à faire par une obligation de le faire et d'informer. L'article situe les enjeux et la nécessité d'une approche conceptuelle globale pour que l'infrastructure soit partie prenante des systèmes de transport intelligent et propose une ligne directrice pour y parvenir s'appuyant sur le concept de trajectoire. Il est une invitation à ouvrir le champ des applications du traitement du signal pour mieux cerner, définir et faire communiquer entre eux les sous-systèmes du transport qui, à n'en pas douter deviendra de plus en plus « intelligent ».[55]

Les humains – conducteurs, usagers des transports, citoyens, riverains...

La démographie (vieillesse de la population)

Le vieillissement de la population est parfois présenté comme une donnée importante à prendre en compte dans l'aménagement ou la gestion des réseaux. Si le phénomène démographique est indiscutable (allongement de la durée de vie, stabilité de la natalité, papy-boom...), il est difficile de cerner de quelle manière cela influencera de façon significative les conditions de circulation ou les besoins : les différentes classes d'âge sont déjà fortement représentées sur la route et le resteront, certes avec des proportions sensiblement différentes.

D'ailleurs, les études en matière de comportements et surtout d'aptitudes peinent souvent à établir des différences sensibles entre groupes de population (exemple temps de perception-réaction). Les différences plus nettes apparaissent entre des groupes débutant / expérimentés que jeunes / personnes âgées ou homme/femme.

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	34/63

En outre, la classe dite des jeunes pose davantage de difficulté aux gestionnaires (avec un fort surrisque, pour diverses raisons sociologiques ou psychologiques) que les personnes âgées.

D'autres éléments auraient mérités d'être approfondis comme :

- les carburants et la dépendance énergétique ;
- les règles d'usage des infrastructures ;
- l'exploitation des infrastructures (cf. action 2 de SERRES) ;
- etc.

Mais il n'était pas envisageable de faire le tour de toutes les questions conjointement.

Quelques conclusions sur les perspectives

Les véhicules (VL, PL, moto...) continuent d'évoluer plus rapidement et plus systématiquement que les infrastructures que ce soit en matière de technologie, de réglementation ou de performances... Ils bénéficient par ailleurs d'un renouvellement plus rapide (durée de vie plus courte). Cela conduit à penser que les véhicules s'adaptent par la force des choses aux infrastructures plus que le contraire... En fait les véhicules s'adaptent surtout aux consommateurs (privés ou publics).

Les deux prochaines décennies vont connaître une cohabitation de motorisations différentes (thermique, hybride, électrique). Cela peut rendre le système plus difficile à optimiser d'un point de vue collectif (fonctionnement n'est pas optimum à la même vitesse pour les divers véhicules). Par ailleurs, cette situation peut aussi générer de nouvelles questions pour la sécurité routière, notamment pour les modes doux sur les voiries urbaines ou périurbaines multifonctionnelles (cf. le faible niveau de bruit des VP)

4.2 Regards sur le passé : quelques grandes évolutions

Les autoroutes

La modernisation du réseau routier à longterm était associée au développement du réseau autoroutier.

J. Berthier revenait, à l'occasion du centenaire de l'AIPCR (in RGRA [8]), sur les principales évolutions du réseau routier français au XX^e siècle. Il considère que si la première moitié du XX^e siècle a connu peu d'évolutions des techniques routières, la seconde moitié du siècle a connu « *une évolution considérable des techniques, et doté notre pays d'une solide armature autoroutière (...), et d'un ensemble de voies principales bien adaptées au trafic moderne.* »

Les giratoires

Le carrefour à sens giratoire, dit carrefour giratoire ou simplement giratoire, a connu en France mais aussi dans plusieurs pays européens un développement très rapide dans les années 80-90 ; il continue d'ailleurs de se développer : peu de giratoires sont supprimés, alors que de nouveaux giratoires sont aménagés presque quotidiennement. Comme toute évolution, elle a connu un fort engouement, sinon un effet de mode, et peut être dans certains cas des excès, avec ses fans et ses détracteurs... Le débat ne semble plus exister.

Il a indéniablement eu un impact majeur sur le système routier et les réseaux routiers eu égard (i) au nombre de carrefours ainsi aménagés (plusieurs dizaines de milliers) et donc l'occurrence moyenne de franchissement par un usager, (ii) son caractère novateur (priorité à l'anneau et donc à gauche !), (iii) son effet sur la performance du réseau que ce soit en matière de sécurité (surtout hors agglomération), de congestion... (iv) mais aussi son effet sur l'organisation du réseau, la perception et l'image de la voie, etc.

Le contrôle automatisé « vitesse »

Il s'agit davantage d'une mesure d'exploitation *lato sensu* que de conception, bien que le système s'appuie pour partie sur un composant de l'infrastructure. Il est néanmoins difficile de ne pas l'évoquer, tant il a modifié les comportements des automobilistes, mais aussi capté la majorité de l'attention des médias relative à la route. Il y a plusieurs types de contrôle automatisé (vitesse, feu rouge...) et des évolutions à venir (vitesse moyenne) néanmoins c'est bien la composante vitesse (« les radars ») qui a eu un impact majeur en raison de leur grand nombre (plusieurs milliers). La vitesse a fortement baissé : baisse de la vitesse moyenne des véhicules légers de 90 km/h en 2002 à 80 km/h en 2010 (tous réseaux confondus). [Source : ONISR [36]]. La part des excès de vitesse supérieurs à 10 km/h a baissé de 30% à 10% entre 2002 et 2010. Quant aux grands excès de vitesse (+30, +40 ou + 50 km/h), ils ont baissé d'un facteur compris entre 8 et 10 sur cette période (tous véhicules, tous réseaux). Aussi, la DSCR attribue l'essentiel du gain en matière de victimes à la baisse des vitesses consécutives au déploiements du contrôle automatisé depuis 2002 [36] [22].

Autres évolutions

On peut par ailleurs citer deux exemples de modification de sous ensembles larges du système routier en milieu urbain :

- les zones 30. Ce concept maintenant très répandu dans les agglomérations, combine un mode d'exploitation et un mode d'aménagement des infrastructures (avec sa boîte à outils plus des règles);
- les TCSP routiers³¹. Dans certaines villes, parfois en moins d'une décennie (ex : « couloirs bus » parisiens), les aménagements de voirie pour créer des TCSP dans le cadre d'une politique des transports visant le report modal, ont modifié fortement la configuration, le fonctionnement et l'image du réseau structurant.

³¹ Les TCSP non routiers et notamment guidés (tramways) sont en dehors de notre sujet, mais ils peuvent avoir des interfaces fortes avec le système routier.

Ce choix est en partie subjectif, et d'autres évolutions significatives auraient pu être mis en exergue et développés.

Les autres évolutions majeures du système (hors infrastructure) :

- le développement de l'usage du deux-roues motorisé, notamment en région parisienne
- les nouveaux services à la mobilité : vélo en libre service (type vélib'), etc.
- la décentralisation (à partir de 1982)
- la concession.

La route à 2x1 voie reste encore confidentielle en France, mais ce n'est pas le cas en Suède où elle constitue une bonne partie du réseau structurant non autoroutier. En tout état de cause, il s'agit de l'une des rares nouveautés significatives en matière de conception routière de la décennie passée (cf. chap. 2.1.).

4.3 Conclusions

Les évolutions majeures en matière de conception sont moins liés à des innovations technologiques (ou des ruptures technologiques) qu'à la volonté de mettre en oeuvre des techniques éprouvées à grande échelle (réseau autoroutier, contrôle automatisé, modération de vitesse à grande échelle, aménagements réservés ou adaptés à grande échelle...), et relève donc de la politique, avec éventuellement des dimensions économiques et juridiques conjointes.

Dans certains cas, la possibilité d'une mise en oeuvre est liée à une évolution réglementaire de l'ordre de la rupture (cas de la priorité à l'anneau pour les giratoires).

5 Les enjeux

5.1 Préambule et éléments de méthode

Une étape préalable et incontournable de l'identification des gisements en matière d'utilisation des infrastructures routières consiste à cerner et préciser les enjeux associés. Ces enjeux, qu'ils soient sociaux, économiques ou environnementaux, sont globalement identifiés et décrits dans la littérature, mais il convient de les rappeler ici, en essayant d'offrir une analyse sur la base de critères homogènes.

S'il s'agit *a priori* principalement de considérer les dysfonctionnements du système routier (congestion, nuisances, accidents...) dans la perspective de les réduire, il peut également s'agir d'améliorer ou de valoriser des effets considérés comme plutôt positifs. La notion d'impact ou d'effet couvre les deux aspects.

Nous adoptons pour cette étape une approche analytique et thématique (il n'a pas été possible ici de la compléter par une approche systémique). Cette approche thématique ne préjuge pas des composantes du système qui sont concernées et *a fortiori* des mesures qui pourraient être mises en œuvre pour réduire les dysfonctionnements.

Dans la littérature, la catégorisation des effets possibles du système routier varie mais elle porte globalement sur les mêmes effets. Si l'on distingue classiquement les effets socio-économiques et les effets environnementaux – voire les effets sociaux, économiques et environnementaux – les frontières entre ces différentes catégories d'effets sont floues et controversées [AIPCR].³² Par ailleurs, notamment dans le domaine environnemental, on peut aussi distinguer les types d'effets : effets directs ou indirects, effets induits, effet irréversible, cumulatif, de synergie, temporaire, effets réductibles ou non.

La hiérarchisation des impacts du système routier, et partant les enjeux afférents, est délicate *a priori* car ces impacts renvoient à des thématiques (sécurité routière, nuisances environnementales...) qui ne sont pas vraiment comparables, malgré les approches de monétarisation des effets.

Dans le présent rapport, **ces enjeux sont d'abord hiérarchisés en relation avec l'objet de l'opération SERRES**, et en particulier de l'axe 4, à savoir l'optimisation du système dans sa phase exploitation. Ainsi les enjeux liés à la phase de conception – emprunt de matériaux par exemple – semblent globalement hors sujet. Si une liste assez complète, à défaut d'être exhaustive, est fournie, seuls les effets jugés les plus importants dans le cadre de SERRES sont développés par la suite.

En revanche, il n'est pas tenu compte du fait que le système routier (infrastructure et transport) constitue ou non la principale source de l'effet (vs autres systèmes de transport, l'urbanisation, l'industrie...). Il reste, en général, l'un des principaux contributeurs (fragmentation, pollution atmosphérique...), et est soumis à des contraintes réglementaires ou des objectifs spécifiques et sectoriels. (e. g. « facteur 4 »).

Les enjeux actuels sont également nuancés en tenant compte des scénarios prévisibles d'évolutions futures ; par exemple, certaines émissions polluantes ont vocation à être très fortement réduites compte tenu de l'évolution des carburants ou des systèmes de traitement anti-pollution qui équiperont à plus ou moins court terme l'essentiel du parc roulant.

La possibilité d'agir sur ces enjeux au niveau de la conception (objet de l'axe 4.1) sera identifiée dans un second temps, et relève de l'identification des gisements.

³² Le rapport AIPCR : « Par impacts sociaux, nous visons les conséquences sur les populations humaines de toute action publique ou privée qui altère la façon dont les gens vivent, travaillent, ont des rapports entre elles, s'organisent pour satisfaire leurs besoins et en général agissent en tant que membres de la société. Le terme inclut de même les impacts culturels qui comportent des changements des normes, des valeurs, des croyances qui guident et raisonnent leur connaissance d'elles-mêmes et de leur société. » A partir de la référence suivante : Impact Assessment and Project Appraisal, volume 21, numéro 3, Septembre 2003, pages 231–250, Beech Tree Publishing, 10 Watford Close, Guildford, Surrey GU1 2EP, UK.

5.2 Synthèse de l'analyse des enjeux liés à l'utilisation des infrastructures routières

Le tableau ci-après présente la synthèse de l'analyse réalisée. Ce sujet très documenté ne fait pas l'objet d'une présentation détaillée systématique dans le cadre de SERRES. Néanmoins, dans les § 5.3 et sq. nous donnons des précisions pour certaines thématiques visant à caractériser les effets liés au système routier.

NB : Nous avons choisi de développer les deux thèmes de la qualité de l'air et des émissions de gaz à effet de serre (plutôt que les questions relatives aux nuisances sonores, à la qualité paysagère, aux milieux naturels, la sécurité routière etc. Ce choix – nécessaire dans le cadre de ce travail – pourra paraître arbitraire, mais découle pour une part des enjeux identifiés et des préoccupations principales de l'opération SERRES.

Légende

- ✕ Pas de lien notable avec l'utilisation de la route
- ➡ Baisse sensible des enjeux
- Lien modéré avec l'utilisation de la route
- ➔ Maintien de l'enjeu
- Lien fort avec l'utilisation de la route
- ↗ Accroissement sensible des enjeux

Exemple : les enjeux liés à la thématique « air-santé » sont en lien fort avec l'utilisation qui est fait de la route, bien que les émissions unitaires ou globales s'inscrivent en nette baisse.

Thème	Principaux impacts et effets	Relation avec l'utilisation de la route (vs construction ou maintenance)	Tendance
Enjeux environnementaux			
Air et santé	- Pollution atmosphérique - Nuisances olfactives - Poussières et saletés	■ Forte. L'essentiel de la pollution provient de la circulation. ³³	➡
Climat	- Contribution à l'effet de serre	■ Forte. Largement majoritaire, même pour des grandes infrastructures. ³⁴	➡
Bruit / vibrations	- Nuisances acoustiques - Vibrations ressenties	■ Forte. L'essentiel des nuisances liée au trafic. ³⁵	↗
Cadre de vie	- Cf. Bruit, vibrations, odeurs, émissions lumineuses - Utilisation des modes doux.	■	➡
Qualité des sols	- Pollution des sols	■ Forte. Pollution chronique ou accidentelle.	?
Qualité des eaux	- Pollution de l'eau (de surface ou souterraine)	■ Forte. Pollution chronique ou accidentelle.	➡
Risque hydrologique	- Aggravation des risques ou des conséquences d'inondation ³⁶	✕ Non. Dépendant des caractéristiques de la voie et éventuellement de sa maintenance.	↗
Biodiversité	- Fragmentation du territoire – création de discontinuités écologiques - Consommation d'espaces naturels - Destruction d'espèces - Mortalité liée aux collisions.	■ Modérée. La plupart des impacts sont liés à la construction de la voie et à son existence physique. Les collisions avec la faune sont néanmoins liées à son utilisation. Voir aussi effets liés à la pollution	↗

³³ Sans négliger les pollutions liées au chantier (notamment poussières...).

³⁴ Ex: bilan carbone de l'A54 – contournement autoroutier d'Arles.

³⁵ Vs le bruit des chantiers

³⁶ Transparence hydraulique non assurée

	- Voir aussi pollution(s)		(eau, végétaux, air) et au bruit.		
Agriculture	- Fragmentation, consommation d'espace, pollution des sols et végétaux	×	Faible. Sinon liée à la pollution (eau, sols, air) ³⁷		↘
Paysage	- Valorisation du patrimoine et des sites - Pollution visuelle	■	Forte pour la perception du paysage par les utilisateurs de l'infrastructure		→
Patrimoine culturel	- Destruction du patrimoine, dégradation (cf. pollution atmosphérique)	×	Faible, sinon effets liés à la pollution atmosphérique	-	↘
Matériaux et déchets	- Emprunt de matériaux - Production de déchets ou de matériaux excédentaires non valorisables à mettre en dépôt.	×	Faible	-	↗
Ressources énergétiques	- Utilisation des ressources énergétiques	■	Forte. Très lié à l'enjeu du réchauffement climatique		↘
Enjeux socio-économiques					
Niveau de service³⁸	Fiabilité, réduction du temps de congestion	■	Forte (par définition)		↗
Accessibilité³⁹ Mobilité	Accessibilité des biens ou service Restriction de mobilité ⁴⁰	■	Modérée, et le cas échéant, liée à la congestion		→
Accessibilité PMR		×	Faible. Essentiellement liée aux caractéristiques d'aménagement.	-	→
Développement économique	Effets sur l'économie : sur le tourisme, l'évolution du PIB, le développement local, l'usage des sols...	■	Modéré. Idem accessibilité	*	↗
Prix, coût du transport	Coût direct (péage) ou indirect.	×	Faible (sinon impact sur la consommation de la congestion).		→
Confort / pénibilité	Confort des usagers (dynamique, psychologique, visuel) Pénibilité du temps passé dans les transports ⁴¹	■	Forte. En lien avec la congestion, la fiabilité, le niveau de sécurité perçue, mais aussi avec la perception du paysage.		→

³⁷ Les enjeux concernent en premier lieu la construction des infrastructures (effets d'emprise et de coupures, dévalorisation, effets indirects liés aux remembrement ou induits en relation avec les mutations, effets indirects liés aux perturbations hydrologiques), que son utilisation proprement dite. Dans ce registre, les problèmes concernent principalement la pollution (sols et végétaux) d'origine chronique ou accidentelle.

³⁸ Avec une acception restreinte.

³⁹ Il convient de distinguer deux définitions de l'accessibilité : celle qui caractérise les performances du système de transport à relier des lieux entre eux, et celle qui détermine des biens ou services accessibles grâce à un mode ou une combinaison des modes de transport. (AIPCR) C'est cette dernière qui est retenue en France.

⁴⁰ Lorsque les conditions de transport imposent aux demandeurs de supprimer certains désirs de déplacement

⁴¹ Selon la situation et la position physique de l'individu, notamment dans les transports en commun.

Sécurité routière	Accidents et victimes ⁴² , en distinguant l'insécurité globale, le risque individuel, les situations particulières inacceptables (surrisques moto...), les risques majeurs (accidents en tunnel, TMD...), la sécurité des agents d'exploitation ⁴³ ...	■ ■	Forte, par nature.	➔
Maintenance	Usure, dégradations	■	Modérée. Impact de l'intensité et de la nature du trafic, plus que des conditions de circulation	➔
Risques technologiques		✗	Parfois en lien avec la congestion.	➔
Réseaux et servitudes		✗	Faible. Hormis certains accidents.	➔
Autres effets sociaux	Emploi, cohésion sociale	✗	Faible.	?

⁴² Le sentiment d'insécurité qui n'est pas forcément corrélé à l'insécurité objective, relève plutôt du confort (inconfort) pour les usagers, et du cadre de vie pour les riverains.

⁴³ Cf. SNIT, fiche ROU1.

5.3 L'air – La pollution atmosphérique

Présentation générale de l'enjeu

La pollution de l'air, un enjeu de société

La pollution atmosphérique et surtout les effets sanitaires afférents constituent aujourd'hui l'une des préoccupations majeures de la société, comme en témoigne entre autre les divers articles dans la presse professionnelle (ex : [60]) comme dans la presse grand public. On en trouve une traduction dans l'affirmation du droit de chacun à respirer un air qui ne nuise pas à la santé, par la LAURE [61] (1996). Elle est illustrée par la pression induite sur les secteurs émetteurs, le transport en particulier. La route, l'automobile et les camions ont à ce titre acquis un caractère symbolique.

Des effets indiscutables sur la santé

L'action globale de la pollution atmosphérique sur la santé est clairement démontrée, par différentes études, même si les effets sur la santé sont difficiles à évaluer. Il n'est pas du ressort de ce document de développer ce sujet complexe et largement documenté [5] [50]. On peut néanmoins en évoquer quelques éléments caractéristiques :

- le nombre de personnes concernées, en particulier dans ou dans les régions comportant de grandes agglomérations ou à proximité immédiate des grandes infrastructures de transport;
- effets à court terme (difficultés respiratoires accrues chez certaines catégories de personnes...) et effets à long terme (risques accrus de cancer par exemple) ;
- l'effet mal connu de la synergie négative résultant de l'exposition à plusieurs composés présents simultanément ;
- les particules fines (PM_{2,5}), même à faibles concentrations, présentent des risques et elles concourent à la baisse d'espérance de vie évaluée à 9,6 mois en Europe [1] ;
- cas de l'ozone, un oxydant puissant ;
- les risques liés à l'exposition à des pics de pollution ou risques liés à une exposition régulière : les deux, mais variable selon le polluant concerné.

Différents types de pollution

Au delà des effets sur la santé, on distingue différents types de pollution et de nuisances : sensible (odeurs, fumées, salissures...), photochimiques (ozone...), pluies acides, effets de serre (voir § suivant). Il existe par ailleurs des liens forts entre pollution atmosphérique et pollution des sols et végétaux.

En outre, il existe **différentes échelles spatiales** caractérisant les problèmes de pollution : de proximité ou locale, régionale (O₃...), planétaire (GES). Cette dernière catégorie de pollution est traitée par ailleurs.

L'échelle locale caractérise les problèmes de pollution que l'on rencontre au voisinage des sources de rejets tels que les grands axes de circulation... Les sources sont à l'origine de nuisances olfactives, voire de pollutions primaires présentant des risques pour la santé humaine. Parmi ces polluants primaires, on peut citer : le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrûlés (HC), les oxydes d'azote (NO_x), les particules en suspension (PM), le dioxyde de soufre (SO₂), les composés organiques volatils (COV), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), divers métaux lourds. [33]

Les polluants secondaires comme le NO₂ et l'ozone. L'ozone, oxydant puissant, résulte d'une série de transformations chimiques complexes influencées par les conditions atmosphériques, l'ensoleillement notamment. Les précurseurs de ce polluant secondaire sont les NO_x, CO, HC.

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	42/63

Il convient aussi de prendre en compte des émissions hors échappement : usure des pneumatiques, des pièces mécaniques ou des freins des véhicules, liées au revêtement de la chaussée.

Dynamique de l'enjeu

La situation actuelle : une amélioration globale, mais pas homogène

Depuis 20 ans, la qualité de l'air s'est globalement et progressivement améliorée en France. Cette amélioration est en partie liée à la baisse globale de la contribution – importante voire prépondérante – imputable aux transports routiers. Certains polluants ont ainsi connu des baisses spectaculaires, comme: le SO₂⁴⁴, le CO⁴⁵, les COV⁴⁶ et le plomb qui a disparu de la composition de l'essence⁴⁷. Les objectifs de qualité pour certains polluants sont même atteints. D'autres polluants ont connu sur la même période (1990 – 2008) des baisses significatives, mais plus modérées au niveau des émissions liées au transport routier : NO_x (-42%), PM_{2,5} (-33%).

Mais certains polluants connaissent une stagnation voire une augmentation : les HAP (+ 88%, lié à la diésélisation du parc et au pots), le cuivre lié à l'usure des plaquettes de frein (+30%).

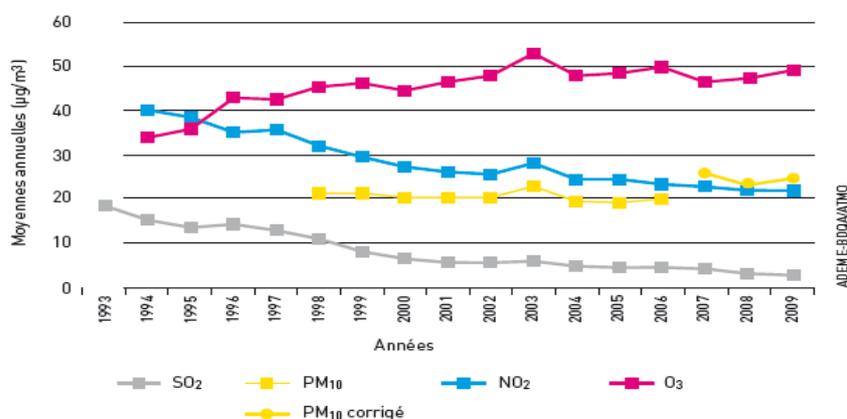


Figure 9: Évolution des moyennes annuelles des polluants ATMO pour les sites urbains et périurbains (ADEME)

La qualité de l'air dans les agglomérations, évaluée via l'indice ATMO⁴⁸ est apparue en 2009 globalement bonne, pour près de 74 % des jours de l'année sur la majorité des agglomérations. Elle est considérée comme « mauvaise » à « très mauvaise » 0,7 % des jours de l'année. Les poussières en suspension (PM10), puis l'ozone (surtout dans le sud du pays et en été) sont les principaux polluants responsables des indices. Les oxydes d'azote ont une part moins importante en termes de déterminant de la qualité de l'air et d'indice ATMO, mais ils demeurent prépondérants notamment en hiver ou sur de grandes métropoles fortement influencées par le trafic automobile.

La situation dans la plupart des villes ne saurait donc être considérée comme satisfaisante

Certaines zones demeurent confrontées à des pointes localisées de pollution et au dépassement des seuils sanitaires préconisés. La situation reste notamment préoccupante pour NO_x et O₃. Des dépassements des valeurs réglementaires sont constatés sur plusieurs agglomérations à proximité du trafic.

Un contexte réglementaire contraignant pour les motoristes, les pétroliers et les aménageurs. L'amélioration des connaissances des impacts sanitaires liés à la pollution, des moyens de surveillance et de contrôle ont

⁴⁴ En 2008, les émissions du trafic routier représente le tiers du total transport et sont réduites de 97% par rapport à 1990 (liée à la baisse de la teneur en soufre des carburants)

⁴⁵ Baisse de 85% en 2008 par rapport à 1990 - Source : CITEPA. [24]

⁴⁶ Baisse de 85% en 2008 par rapport à 1990 - Source : CITEPA. [24]

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ L'indice ATMO est élaboré à partir des concentrations journalières de 4 polluants typiques des phénomènes de pollution atmosphérique : SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀.

amené les pouvoirs publics à prévoir des dispositions préventives et de précaution pour éviter ou limiter les risques sur la santé. La réglementation concerne notamment :

- les concentrations de polluants locaux dans l'air (pour la protection de la santé), avec la définition de valeurs limites et d'objectifs de qualité depuis 1996 à respecter à l'horizon 2010 (en général) au niveau européen [directive européenne du 21 mai 2008] ;
- la mise en place de normes sur les gaz d'échappement au niveau européen à partir de 1992, pour limiter l'impact des véhicules sur la pollution atmosphérique : les normes « Euro »⁴⁹ ;
- la prise en compte des impacts sanitaires dans la conception des infrastructures de transport (entre autres), à travers les études d'impact.⁵⁰

Les facteurs de progrès

Les progrès très sensibles enregistrés en matière de pollution atmosphérique est principalement due à la baisse des émissions unitaires. Cette baisse résulte quant à elle de la conjonction du renforcement des réglementations relatives aux émissions des véhicules routiers (normes Euro), aux progrès techniques réalisés pour les véhicules et au renouvellement progressif du parc (qui permet la mise en circulation de véhicules neufs soumis aux normes les plus récentes). Les progrès techniques concernent notamment l'amélioration des carburants⁵¹, les motorisations (meilleurs rendements...) et l'échappement, avec le pot catalytique⁵² et le filtre à particules (FAP)⁵³.

En outre, la baisse très significative des vitesses pratiquées par les véhicules motorisés depuis 2002⁵⁴, notamment sur les axes routiers et autoroutiers, a forcément contribué à la baisse des émissions.

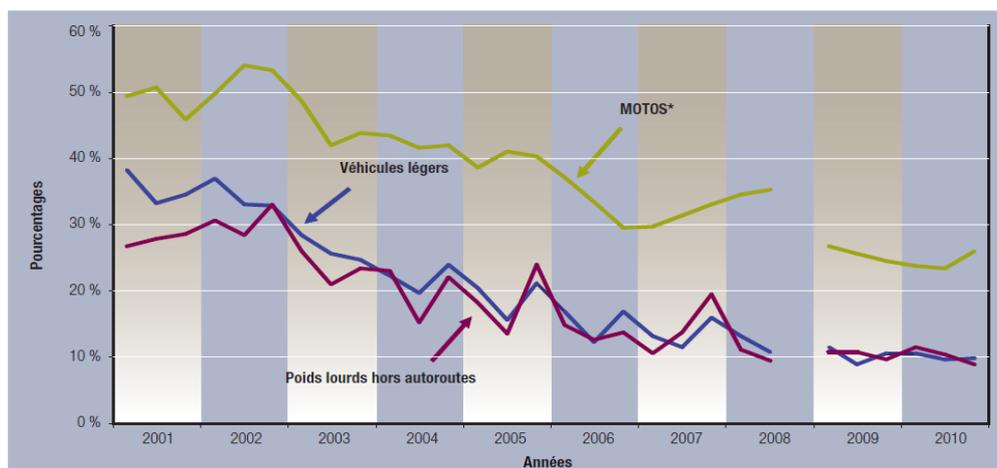


Figure 10: Part des véhicules dépassant la vitesse limite autorisée (source : ONISR)

Projections et perspectives

⁴⁹ Elles constituent un ensemble de normes de plus en plus strictes s'appliquant aux véhicules neufs vendus dans l'UE et qui fixent les limites maximales des rejets de certains polluants pour tous les types de véhicules roulants (VP, VUL, PL, deux-roues). Les dernières normes adoptées sont les normes euro V (en vigueur depuis le 1er septembre 2009) et euro VI pour les VL [14] et les normes euro VI pour les poids lourds[[12].

⁵⁰ Ex : Circulaire MATE n°98/36 du 17/02/98 relative à l'application de l'article 19 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, complétant les études d'impact des projets d'aménagement.

Circulaire DGS n°185/2001 du 11/04/2001 relative à l'analyse des effets sur la santé des études d'impact

⁵¹ Ex: diminution de la teneur en soufre dans le gazole, interdiction du Plomb

⁵² Le pot catalytique réduit fortement les émissions de CO, les hydrocarbures imbrûlés (HC), NOx des véhicules essence. La version spécifique équipant, depuis 1997, les véhicules Diesel n'agit que sur le CO et les HC.

⁵³ Le FAP supprime la grande majorité des rejets de composés polluants solides des motorisations Diesel. L'utilisation de ces filtres se généralise avec l'entrée en vigueur de la norme Euro 5 en 2009.

⁵⁴ Baisse de la vitesse moyenne des véhicules légers de 90 km/h en 2002 à 80 km/h en 2010 (tous réseaux confondus). [Source : ONISR[36]]. La part des excès de vitesse supérieurs à 10 km/h ont baissé de 30% à 10% entre 2002 et 2010. Quant aux grands excès de vitesse (+30, +40 ou + 50 km/h), ils ont baissé d'un facteur compris entre 8 et 10 sur cette période (tous véhicules, tous réseaux).

Une projection réalisée par modélisation avec COPERT (INRETS/LTE ; 2004 [30]) permet de cerner l'évolution des émissions unitaires moyennes en tenant compte de l'état du parc à différents horizons (in Sétra ; 2009 [48]). Globalement, ces émissions unitaires (hors CO2) diminuent fortement et rapidement :

- les émissions NOx seront réduites; par rapport à 2007; d'environ 25% en 2015, 50% en 2020 et 65% en 2025 pour les VL sous l'effet des améliorations technologiques et notamment la généralisation des pots catalytiques. Le gain est encore plus fort pour les PL (émissions divisées par 4 en 2020 et par 8 en 2025 environ⁵⁵).
- les émissions de particules seront réduites d'un facteur 2 en 2015, 4 en 2020, 8 en 2025 pour les VL. Pour les PL la baisse est encore supérieure en relation avec la généralisation des FAP ;
- pour les autres polluants (CO, COV...) on a globalement les mêmes tendances.

Les projections évoquées ci-dessus pour les émissions unitaires moyennes se basent sur l'évolution du parc en tenant compte du respect des normes EURO, du taux de renouvellement, des avancées technologiques connues au moment de l'étude. D'autres éléments peuvent influencer : les nouveaux carburants, les nouvelles motorisations des véhicules, l'évolution des comportements, en distinguant comportements de déplacements (choix modal), comportements et aptitudes de conduite (cf. développement de l'éco-conduite), voire comportement de consommation (choix du type de véhicule, taille, puissance...). Ces facteurs peuvent être significatifs et semblent aller globalement dans le sens de la baisse (facteurs sociétaux, économiques...), mais ne sont sans doute pas de nature à modifier l'ordre de grandeur induit pas les émissions moyennes.

Au delà des émissions moyennes, il faut tenir compte de l'effet volume (lié au trafic). Ainsi, la stagnation de la mobilité dans les grandes agglomérations et la baisse certes lente de la part modale des véhicules particuliers enregistrée ces dernières années sont également des éléments significatifs.

Le renforcement de la gouvernance en matière de lutte contre la pollution consécutive au Grenelle de l'environnement (cf. PCET, PPA, SRAEC...) devrait aussi être bénéfique.

Conclusions

La contribution du transport routier à la pollution atmosphérique constitue un enjeu fort, consensuel et à plusieurs niveaux (sanitaire, réglementaire...). La contribution aux émissions est très significative, avec néanmoins une part variable selon le polluant considéré.

Toutefois, les principales émissions polluantes du secteur routier devraient (continuer de) baisser assez fortement sous l'effet notamment des contraintes réglementaires, ce qui devrait réduire d'autant la contribution du secteur à la pollution atmosphérique (on anticipe – au pire – une stagnation de la circulation routière, notamment dans les agglomérations). Il convient de noter l'effet conjoint, mais plus marginal, de la baisse prévisible des consommations normalisées, y compris de l'apparition d'une part croissante de véhicules électriques.

Cette baisse corrélée au renouvellement du parc de véhicules motorisés sera relativement rapide en comparaison des décisions et actions qui peuvent être prises et déployées sur le réseau routier. Ses baisses peuvent être de l'ordre de 3 à 10 d'ici une quinzaine d'année selon les polluants et les situations (urbaines, grands axes...).

Mais ces effets ne seront pas homogènes et l'évaluation reste plus délicate pour ce qui concerne les polluants secondaires tel que l'Ozone.

⁵⁵ Valeurs approximatives lues sur les graphiques de la Note d'info (voir au niveau des sources).

5.4 Les émissions de gaz à effets de serre (ou la lutte contre le réchauffement climatique)

Contexte global

Sans vouloir dresser un portrait exhaustif de ce sujet d'actualité et de société très largement documenté et commenté, il convient d'évoquer quelques éléments de repères en ciblant notamment ceux qui concernent le transport routier.

Au niveau international

Protocole de Kyoto (1997, entré en application en 2005) : l'UE s'est engagée à réduire ses GES (exprimé en PRG) de 8% sur la période 2008-2012 par rapport à 1990. Pour la France, cela se traduit par un engagement de stabilisation sur cette période. Suite à l'accord de Copenhague (2009), l'UE s'est engagée sur une réduction des émissions de GES de 30% (sous certaines conditions).

Au niveau européen

Paquet législatif Climat-énergies renouvelable (23/04/2009) : un ensemble de mesures prises pour atteindre les engagements de l'UE à l'horizon 2020 – réduction d'au moins 20% des GES par rapport à 1990 (-14% par rapport à 2005), voire 30% selon la position des autres pays développés hors UE ou en développement – qui concerne le domaine des transports à plusieurs titres :

- une part d'au moins 10% de biocarburants dans la consommation ;
- la directive 2009/30/CE, concernant aux spécifications relatives aux carburants avec l'introduction d'un mécanisme permettant de surveiller et de réduire les émissions de GES ;
- la limitation du niveau moyen d'émission de CO₂ par chaque constructeur suite à l'adoption en avril 2009 du règlement 443/2009/CE [13] : 120 g de CO₂/km en 2015, alors que la moyenne des émissions des véhicules neufs vendus en Europe s'élevait à 147 g en 2009. Le compromis introduit un second objectif de 95 g de CO₂/km d'ici à 2020.

Et au niveau national

Le plan climat (2004, actualisé en 2006 et 2010) décrit les actions envisagées pour réduire les émissions de GES en France : développement des biocarburants, mise en place du système bonus-malus CO₂ lors de l'achat de véhicules particuliers neufs...

Par ailleurs, comme suite au Grenelle de l'environnement (lois dites Grenelle 1 et Grenelle 2) on peut signaler en particulier :

- la confirmation de l'objectif du facteur 4 (division par 4 des émissions de GES en 2050 par rapport à 1990), soit un objectif de réduction de 3% par an ;
- une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 20 % d'ici 2020, dans le secteur des transports;
- l'instauration du système bonus/malus, qui a fortement contribué au renouvellement du parc et à l'achat de modèles moins émetteurs de CO₂. Ainsi, la France a pu déjà atteindre l'émission moyenne de 133 g en 2009 ;
- la définition du SNIT, dont le *leitmotiv* est le report modal.

Les facteurs d'émission de GES du transport routier

CO₂ et consommation

Opération/Action	Auteur	Version	Statut	Date	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	46/63

La quantité de CO₂ dégagée par un moteur thermique est proportionnelle à la consommation du carburant⁵⁶ qu'il utilise, et ce quelle que soit la motorisation.⁵⁷ Pour les véhicules hybrides, la complexité de l'évaluation des émissions est liée à celle de la consommation. Pour un véhicule électrique, les émissions de CO₂ sont théoriquement nulles lors de l'utilisation. Plus généralement, les émissions de CO₂ s'accroissent avec l'énergie produite.

Impact de la climatisation

La climatisation qui équipe désormais la grande majorité des véhicules neufs, intervient à deux niveaux dans les émissions de GES. D'une part, son usage génère une surconsommation (1 à 7 % de CO₂ émis en plus par an). D'autre part, elle induit un rejet d'une partie du fluide frigorigène (HFC-134a) : fuites, opérations de maintenance, entretien, accident, non-récupération en fin de vie du véhicule... Or, ce gaz fluoré est un GES puissant – 1 300 à 1400 fois plus que le CO₂.

Aussi, pour un véhicule de gamme moyenne, l'ADEME estime que la climatisation est responsable d'une augmentation d'au moins 7 à 13 % des émissions de GES.

Autres facteurs d'émissions de GES liés au transport routier

Il convient d'évoquer d'autres facteurs d'émissions de GES liés au transport routier, au delà de la circulation *stricto sensu* : la fabrication, le transport et la distribution du carburant (y compris les biocarburants), la fabrication des véhicules (VL, PL, deux-roues...) et *in fine* leur recyclage, la construction, l'entretien et l'exploitation des réseaux routiers.

Répartition des enjeux

Une part de 18% de la consommation et des émissions⁵⁸ de CO₂ est réalisé en milieu urbain (aires urbaines de plus de 50 000 hab)⁵⁹, 39% sur le réseau routier national (autoroutes comprises). Les autres réseaux (ruraux) représentent 43% de la consommation [18].

Ces valeurs sont fortement corrélées au kilométrage (somme des parcours) réalisé par type de réseau. Il convient de souligner que les autoroutes supportent 21% du trafic mais 36% du trafic de poids lourds (avec une tendance à l'augmentation). Par ailleurs, 38% des kilomètres sont effectués sur seulement 4% du réseau (structurant). Le quart (26%) des parcours sont réalisés en agglomération (> 5000 hab.).

La structure des émissions reste similaire entre 2000 et 2010 [18], les évolutions des émissions unitaires n'étant pas fondamentalement différentes (en relatif).

La répartition n'est pas fondamentalement différente pour les principaux polluants, sauf pour les COV compte tenu de l'influence des surémissions à froid (40% en milieu urbain).

L'évolution des émissions

L'évolution des émissions unitaires

La moyenne des émissions de CO₂ unitaires des véhicules neufs vendus en France a atteint 133 g de CO₂/km en 2009 (147 g dans l'UE).

Pour les véhicules particuliers, la moyenne des émissions de l'ensemble du parc automobile français en circulation était en 2010 de 169 g de CO₂/km. L'objectif est d'atteindre un niveau de 130 g à l'horizon 2020. Si les émissions unitaires de GES s'inscrivent globalement en baisse depuis plusieurs années, cette baisse est moins sensible et rapide que pour la plupart des polluants.

⁵⁶ On considère en moyenne que 1kg de CO₂ correspond à 0.4 l de fuel.

⁵⁷ Dans le cas d'utilisation de biocarburant, on peut défalquer la part carbone d'énergie renouvelable introduite dans le réservoir, liée à l'absorption du CO₂ lors de la croissance des plantes (biomasse). Voir CITEPA.

⁵⁸ Les pourcentages donnés dans la référence pour la consommation et les émissions ne sont pas identiques mais restent très proches.

⁵⁹ En 2010, sur la base d'une estimation réalisée en 2006.

Les émissions de CO₂ du transport routier s'établissent à 118,5 Mt en 2008, dont 31,7 (27%) pour les PL et 1 Mt pour les deux-roues. Cela représente une baisse de 8% par rapport au pic de 2002-2004, mais un niveau 9% supérieur à celui de 1990. (Source CITEPA).

Les transports en commun contribuent également aux émissions de CO₂, mais pour une part mineure (en milieu urbain : 3% des émissions pour 11% des km-voyageurs en 2000). De nombreuses villes investissent quoi qu'il en soit dans des véhicules écologiques (bus au GNV, avec FAP).

Les émissions de HFC, nulles en 1990, sont en très forte croissance depuis 1993, en lien avec la substitution des CFC (interdit) par le HFC-134a dans les systèmes de climatisation, et la généralisation de la climatisation dans les véhicules.

Le transport routier prédomine largement en termes de PRG, représentant 93% du PRG des transports (hors émissions aériennes et maritimes internationales).

En parallèle avec les émissions de CO₂, la consommation moyenne (sur cycle MVEG) des véhicules neufs vendus, pondérée par les immatriculations, décroît régulièrement depuis 1997. Mais la baisse est beaucoup plus sensible depuis 2008 : le gain est de près d'un litre entre 2007 et 2010 (4 ans) pour les véhicules essence et de 0,7 l pour les véhicules Diesel.[2]

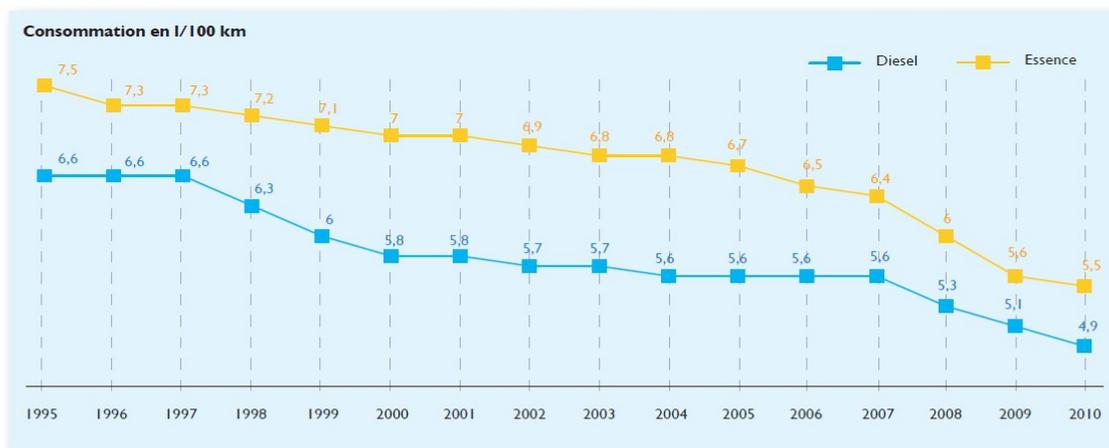


Figure 11: Évolution de la consommation moyenne (cycle MVEG) pondérée des véhicules neufs vendus (Figure extraite de [ADEME ; 2011] [2])

Les facteurs d'évolution

Au cours de ces dernières années (la décennie?), l'amélioration du rendement énergétique des moteurs, l'évolution de l'aérodynamique et l'utilisation de matériaux plus légers, ont permis de gagner de 15 à 20 % en consommation. Parallèlement, l'intégration de systèmes de sécurité complexes et d'équipements de confort a alourdi les véhicules. Pour compenser ces suppléments de poids, des motorisations plus puissantes ont été adoptées. C'est ainsi que le bénéfice des progrès réalisés peut, dans certains cas, être minoré.

- Évolution de la puissance moyenne (kW): depuis 2008, la puissance installée sur les véhicules connaît un renversement de tendance. Alors qu'entre 1984 et 2007, l'accroissement de la puissance moyenne avait été très sensible (+57%), elle est désormais en nette baisse (ex: -3 kW en moyenne en 2009). D'ailleurs, la puissance des véhicules est sans doute le paramètre qui a le plus évolué ces dernières années.

- Évolution de la masse moyenne (kg). En 2009, la baisse de la masse moyenne continue et ce quel que soit le type de motorisation. L'instauration du bonus/malus a engendré un report des ventes sur des véhicules moins émetteurs de CO₂ et plus légers qui explique cette baisse.
- Évolution de la puissance massique moyenne (kW/t). La puissance massique s'inscrit également en baisse, attestant que la baisse de la moyenne de la puissance installée est plus forte que la baisse de la moyenne de la masse.

Conclusions

Les émissions de GES liées au transport routier s'inscrivent depuis plusieurs années dans une tendance nettement baissière, grâce principalement à la baisse des émissions unitaires des véhicules introduits sur le marché, tandis que le trafic routier est globalement stable. Cette baisse est néanmoins contrariée par l'impact de la climatisation.

L'impact prépondérant viendra de la baisse des émissions unitaires moyennes, sous l'effet combiné des contraintes réglementaires (cf. supra) – notamment des objectifs de performance imposés aux constructeurs –, des progrès technologiques, des incitations fiscales (bonus-malus), de l'évolution des mentalités (image de l'automobile).

... et perspectives (avis personnel)

Néanmoins, ces facteurs de réduction des émissions ne vont pas forcément se cumuler : le développement (largement appuyé par les pouvoirs publics) des véhicules électriques et, surtout dans un premier temps, des véhicules hybrides, fera baisser structurellement la moyenne des émissions unitaires qui rendra d'autant moins difficile l'atteinte des objectifs par les constructeurs et donc les efforts à réaliser sur les véhicules motorisés.

Comme pour les polluants locaux, on peut supposer que le rythme de baisse des émissions unitaires sera progressif, mais assez régulier et très sensible, lié d'une part à la baisse moyenne des émissions au niveau des véhicules neufs et au taux de renouvellement du parc ; celui-ci ne devrait pas fondamentalement changer, contrainte économique et budgétaire oblige.

Il est donc vraisemblable que l'ensemble des efforts permettent d'atteindre, des émissions unitaires de 95 g de CO₂/km à l'horizon 2020 pour les véhicules mis en circulation. Si l'on tient compte du taux de renouvellement du parc, les émissions unitaires du parc roulant de VP devraient (pourraient) donc baisser de 45% environ à l'horizon 2025 par rapport à 2010.

Ces émissions unitaires restent des émissions théoriques même si elles ont un rôle fondamental sur les tendances. On peut aussi espérer une évolution des facteurs de surémissions. Les comportements de conduite devraient évoluer dans le bon sens avec le développement progressif de l'écoconduite, mais aussi le renchérissement probable (annoncé) du coût du carburant. Mais d'autres éléments peuvent conduire à nuancer cet avis optimiste : la consommation des équipements et la généralisation de la climatisation, la saturation des réseaux (les ralentissements induits par la circulation)...

Un autre effet possible – souhaité et encouragé par les pouvoirs publics – est une baisse de la circulation (report modal). Là aussi, les efforts collectifs devraient contribuer à réduire les émissions globales liées au transport, néanmoins aucun élément tangible ne permet d'affirmer que l'évolution favorable mais lente observée ces dernières années devrait être nettement plus rapide à court ou moyen terme, notamment si l'on prend en compte la durée de genèse d'un projet d'infrastructure de transport.

6 Gisements

6.1 Présentation

La notion de gisements est ici prise dans la même acception que celle utilisée dans le « rapport Guyot » pour ce qui concerne la sécurité routière : « *Mais qu'est-ce qu'un gisement de sécurité routière ? C'est le croisement d'enjeux illustrés par des circonstances, avec des actions spécifiques à mener pour améliorer la sécurité routière.* »

L'analogie n'est néanmoins pas tout à fait exacte. Dans le rapport Guyot, l'identification des gisements renvoie en particulier à des actions *a priori* connues, souvent éprouvées, ou du moins cernées. Néanmoins, le rapport Guyot identifie aussi des pistes ou besoins de recherche. Évidemment, une différence notable tient aux domaines techniques concernés. Le seul domaine de la sécurité routière, certes déjà vaste pour le rapport Guyot ; des domaines techniques beaucoup plus larges dans SERRES (émissions de polluants, bruit, exploitation, mais aussi sécurité routière, etc.). Inversement, le rapport Guyot intègre des gisements aussi bien au niveau des connaissances (et pistes de recherche), que de l'organisation administrative, l'évolution réglementaire, l'organisation d'un système de contrôle-sanction... Notre propos n'a pas cette ambition (cf. chap. 1).

Concrètement, **la détermination des gisements implique notamment, pour chaque enjeu d'en identifier les facteurs et d'en cerner les marges.**

La dimension temporelle peut être prise en compte, à travers la capacité ou non à exploiter rapidement les gisements identifiés. Dans le cadre d'une opération de recherche telle que SERRES, si la dimension temporelle peut être un critère utile, elle n'est pas forcément un objectif à part entière.

6.2 Type d'aménagement et circonstances

Un point consensuel émerge des analyses et des entretiens : l'aménagement des réseaux routiers, de toute importance, de toute domanialité, dans tout environnement concerne, et concernera, bien davantage les routes existantes que la conception de nouvelles infrastructures, eu égard aux éléments suivants :

- un réseau structurant considéré comme mature ;
- un réseau routier français déjà très maillé ;
- le contexte général de la politique des transports (post-Grenelle, SNIT puis Commission Mobilité 21...) ;
- des contraintes réglementaires fortes et un contexte sociétal peut favorable ;
- un contexte économique et des contraintes budgétaires croissantes pour l'État comme pour les collectivités territoriales limitant durablement les capacités d'investissement lourd ;
- le besoin de requalification environnementale et de modernisation du réseau routier existant.

Le SNIT (en cours de révision) et les PDMI comportent néanmoins des opérations significatives en tracé neuf. Le SNIT n'exclue pas la réalisation d'infrastructures routières neuves sous certaines conditions.

La notion d'aménagement dit sur place (ASP) couvre en fait des types d'aménagements très différents : élargissement et doublement, mises aux normes (autoroutières...), requalification environnementale et paysagère, mise en sécurité ; la notion de modernisation est plus floue et plus large pouvant englober les catégories précédentes, mais aussi des mesures d'exploitation nécessitant des équipements spécifiques.

<i>Opération/Action</i>	<i>Auteur</i>	<i>Version</i>	<i>Statut</i>	<i>Date</i>	
11S111 – SERRES / 4	L. Patte	1.1	Document final	31/12/2012	50/63

Une différence néanmoins importante entre « ASP » et infrastructure nouvelle concerne les marges de manœuvre dont peut disposer l'aménageur, plus importante dans le second cas que dans le premier.

Les voiries justifiant des aménagements, modernisation (sans même évoquer les travaux de gros entretien) sont globalement bien plus nombreuses que le besoin certes réel mais localisé et limité de nouvelles infrastructures.

6.3 Analyse des facteurs. Cas des enjeux de pollution atmosphérique

Les thématiques pollution-santé et émissions de GES présentent de nombreuses similitudes concernant les facteurs relatifs à l'utilisation de la voirie. Les mécanismes d'émission de polluants en lien avec des enjeux sanitaires apparaissent néanmoins plus complexes que les émissions de GES, et partant l'appréciation des gisements afférents.

1. Les facteurs d'influence

D'une façon générale, on distingue les facteurs d'émission (des polluants) des facteurs de dispersion. La question de la dispersion n'a guère de sens pour les GES.

Une large revue bibliographique menée par le LICIT [11] met en avant la complexité du processus d'émission des polluants. Les émissions d'un véhicule à un instant donné dépendent de sa cinématique à l'instant considéré, mais également de son historique à court terme. Les conditions de fonctionnement d'un moteur influent fortement sur les émissions (quantités et type de polluants). Les conditions opératoires (pente de la route, humidité environnante, etc.) ont également une influence importante.

Les modèles macroscopiques tels que COPERT donnent par ailleurs des indications sur les variables qui influent sur ces émissions. Pour ce qui relève de la dispersion, il faut utiliser une autre famille d'outils (ex: ADMS).

(a) La vitesse

La vitesse de circulation a un effet très sensible sur les émissions (et la consommation). Elles sont nettement plus importantes pour les basses et les hautes vitesses. Ainsi, les courbes représentant les émissions en fonction de la vitesse présentent une allure parabolique convexe.⁶⁰ Pour l'interprétation de telles courbes données par un logiciel de modélisation macroscopique tel que COPERT, il convient d'être vigilant à la définition de la vitesse utilisée. En particulier, la vitesse moyenne optimale ne correspond pas forcément à la vitesse d'exploitation optimale, même s'il existe forcément un lien.

⁶⁰ Par exemple: les émissions de NOx doublent entre 130 et 70 km/h. et quasiment du simple au double entre 70 et les très basses vitesses (10-20 km/h) représentatives des situations de congestion. PM Effet hautes vitesses plus fort que basses vitesses (avec un rapport de 1/3 entre 70 / 130).

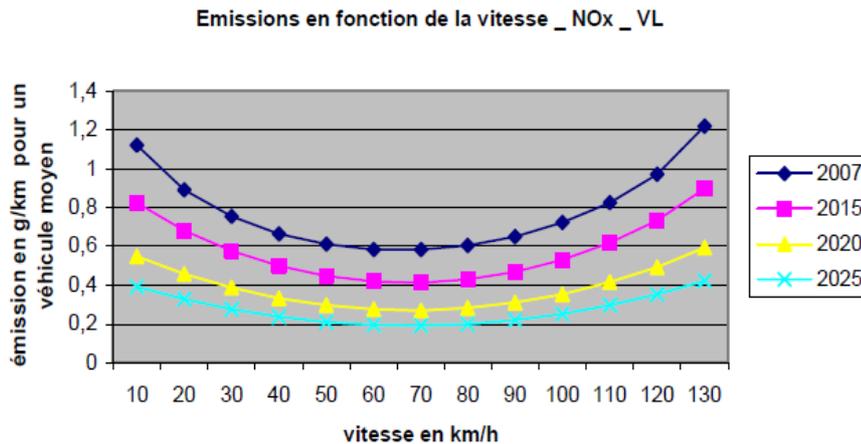


Figure 12: Émissions de NOx des VL, en fonction de la vitesse (Sétra)

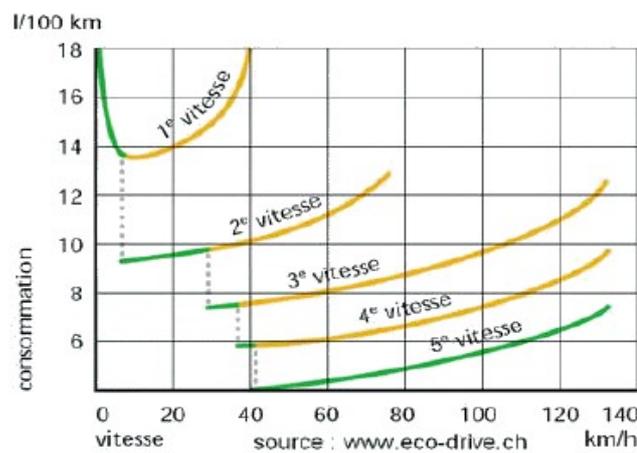


Figure 13: Courbe de consommation en fonction de la vitesse et du rapport de boîte

Dans le cadre d'une analyse plus microscopique, les émissions d'un véhicule dépendent non seulement **de l'état cinématique de ce véhicule**, mais aussi de l'historique de fonctionnement du moteur à court et moyen terme et du comportement de conduite.

A partir de ce constat, tous les paramètres de la conception et d'exploitation qui sont de nature à influencer sur les vitesses et les comportements (voire sur les attentes et les représentations mentales) des conducteurs des véhicules motorisés, sont de nature à influencer sur les émissions.

(b) Les variations de vitesse

Nous distinguons un peu artificiellement la vitesse (§ a) et les variations de vitesse, qui ne sont que des descripteurs de la cinématique. Il conviendrait aussi de distinguer les effets à l'échelle d'un véhicule ou pour l'ensemble d'un flot.

▣ Les variations de vitesse liées à la conduite (au style de conduite)

Les consommations (et donc les émissions de CO₂) sont données pour un circuit normalisé, avec un comportement « optimisé ». Il existe un écart entre consommations réelles et consommations conventionnelles. Dans la réalité, des différences apparaissent entre les valeurs conventionnelles données par les constructeurs et les valeurs réelles de consommation. Ces écarts sont liés à de nombreux facteurs comme le

style de conduite et les conditions effectives de circulation. Nous traiterons dans cette section des facteurs liés à ce que l'on appelle couramment le « style de conduite ».

- une conduite dite « agressive » caractérisée par des accélérations superflues, des vitesses excessives, des freinages brutaux ou intempestifs (l'ADEME mentionne une surconsommation de 20 % sur route et de 40% en ville) ;
 - l'utilisation non optimale des rapports de boîte et régimes moteurs: l'ADEME indique une surconsommation d'environ 30 %.
- *Sur l'écoconduite*

Il existe suffisamment d'informations sur les effets à court terme (< 1 an) des mesures de formation. La consommation de carburant peut être réduite de 15 à 25 % en moyenne selon certaines évaluations. Il convient de nuancer quelque peu ces valeurs car elles correspondent à des comportements (ou stratégie de conduite) qui, si elles ne sont pas caricaturales, sont loin d'être systématiques ou représentatives. A long terme, les mesures de formation permettent de réduire la consommation de carburant de 4,7 à 8 %. Les effets à long terme (> 1 an) sont moins marqués que ceux à court terme car les anciennes habitudes des conducteurs expérimentés tendent à ressurgir.

Néanmoins, les tendances sont là et l'éco-conduite constitue clairement un gisement sur lequel existe un large consensus.

Par ailleurs, les émissions de polluants dépendant fortement du niveau d'accélération, les styles de conduite influençant largement les quantités de polluants émis. La revue bibliographique du LICIT indique qu'une conduite dite agressive (fortes accélérations, changements fréquents de vitesses, conduite aux hauts régimes moteurs...) peut générer jusqu'à 8 fois plus de polluants qu'une conduite normale (cf. [De Vlieger et al, 2000]).

Facteurs du trafic influençant les émissions à l'échelle du flux de véhicules

Les conditions de circulation (nombre d'arrêts, du temps passé à l'accélération, etc.) influent fortement les émissions des véhicules qui composent le flot, avec des sensibilités diverses selon le polluant considéré [11].⁶¹ [NdR : ce constat formulé pour un flot de trafic résulte largement des résultats de l'influence des variations de vitesse obtenus à l'échelle d'un véhicule]. Cette sensibilité a vocation à croître car il est souligné que les véhicules modernes, utilisant des systèmes électroniques pour réguler le fonctionnement du moteur, sont bien plus sensibles aux conditions d'écoulement du trafic que les véhicules ne possédant pas cette électronique. Cette variabilité est relative, globalement les émissions de polluants devraient baisser très sensiblement.

(c) la pente longitudinale (notamment pour les poids lourds)

L'effet de la pente sur les émissions de CO₂, NO_x et particules microscopiques des poids lourds est clair. Ainsi, dans une montée de 6%, les émissions sont multipliées par environ 2,8 (à 30 km/h) pour les NO_x, et par 1,8 pour les particules; et pour le CO₂, elles sont 2 à 3 fois plus élevées, suivant la vitesse [COPERT]. Il convient de nuancer quelque peu ses valeurs élevées.

D'abord, si l'on suppose que pentes et rampes s'équilibrent sur le réseau (circulation dans les deux sens de circulation avec des niveaux de trafic similaires) le facteur effectif de surémission est nettement plus faible. Par exemple, pour un PL à demi-charge, le facteur est de 1,4 environ pour une déclivité à 4% (vs 0%) et inférieur à 1,1 pour une déclivité de 2%.

En outre, il paraît difficilement imaginable de disposer de marges de manœuvre significatives au niveau des pentes des routes à aménager, pour diverses raisons :

⁶¹ La conduite en milieu urbain génère beaucoup de CO₂, HC et CO pour les véhicules diesels ; les fortes vitesses sur autoroutes vont surtout générer du CO₂ ; enfin les variations de vitesses occasionnent de fortes émissions de NO_x et CO [André et Rapone, 2009]. in [11]

- les règles de conception prescrivent des pentes maximales et non minimales⁶², ces règles ne sont donc pas des contraintes pour l'adoption de valeurs optimales pour les enjeux de nuisances ou de consommation...
- les pentes du profil en long d'un projet d'infrastructures résultent en général de contraintes d'ordre environnementale *lato sensu* et économique ;
- une pente maximale plus faible implique souvent des terrassements (beaucoup) plus conséquents⁶³;
- imposer une pente maximale plus faible conduit en théorie à un tracé plus long, avec les conséquences que cela implique sur les émissions et la consommation ;
- la pente longitudinale d'une voirie existante n'est en général pas modifiable, sauf très ponctuellement.

(d) La résistance au roulement⁶⁴ – caractéristiques de chaussée

Un état de l'art récent [39] sur le thème de l'influence des caractéristiques de surface sur la résistance au roulement et la consommation des véhicules conclut en substance que pour limiter la résistance au roulement d'une chaussée, **la qualité de l'uni en petites ondes** semble à privilégier par rapport à des considérations plus douteuses sur la nature ou la raideur des matériaux constitutifs. L'effet peut aller jusqu'à 10%. D'autres caractéristiques (macrotecture) peuvent influencer dans certaines conditions mais les gains sont moins probants.

On notera d'abord que l'intérêt d'un bon uni dans les ondes courtes ne se limite pas aux aspects énergétiques mais présente un intérêt avéré en matière de sécurité[51]. En tout état de cause, les intérêts ne sont pas divergents.

Le taux de renouvellement des revêtements des chaussées des voiries les plus circulées laisse entrevoir un gisement par l'effet volume *a priori* important. Il convient d'être plus nuancé car le gisement (pour une route donnée) n'est pas défini comme le produit du gain et de la fréquence de renouvellement. Il conviendrait de comparer la performance de stratégies de modification des caractéristiques à l'échelle d'un réseau, à budget d'entretien équivalent. Si le gisement en matière d'émissions de GES associé au gain sur la consommation obtenu par de meilleures qualités de surface ne saurait être négligé, il est sans doute considérablement plus faible que ce que laisse présager le gain brut.

En tout état de cause, ces sujets ont vocation à être traités dans le cadre de l'opération ECOSURF.

(e) Facteurs sur la dispersion des polluants

Au delà des facteurs d'émissions, il convient d'évoquer les facteurs qui influent sur les concentrations. Ces facteurs sont multiples (notamment liés aux conditions météorologiques [16]), mais assez peu sont liés à la route elle même.

■ La distance

Le premier d'entre eux est néanmoins **la position (distance)** de l'infrastructure par rapport aux zones à enjeux (secteurs d'habitations, d'activités, de culture, les zones naturelles sensibles...).[20]

⁶² Hors cas particulier et marginal des problématiques d'assainissement de plate-forme

⁶³ Dans les secteurs contraints, les volumes de terrassement sont très sensibles à la pente maximale admissible. En effet, la section correspond à la plate-forme à une surface qui varie avec le carré de la hauteur/profondeur des terrassements...

⁶⁴ Résultante de plusieurs phénomènes dissipatifs.

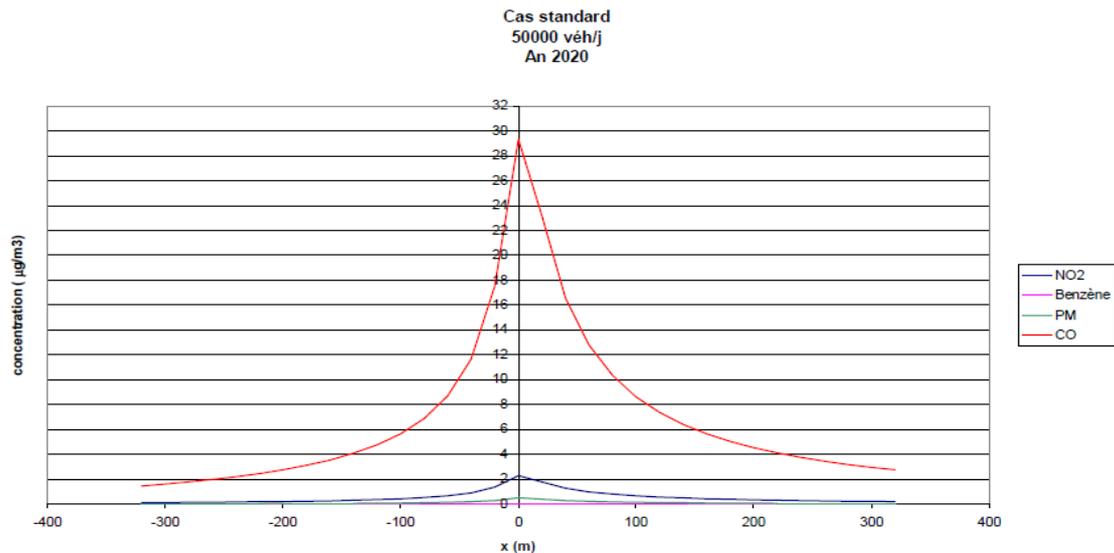


Figure 14: Variation de la concentration pour divers polluants routiers en fonction de l'éloignement à l'infrastructure. Cas d'une voie située en périurbain avec un trafic de 50 000 v/j

La concentration diminue avec la distance à l'axe (dispersion latérale). Le gradient dépend de paramètres comme la rugosité de surface, la topographie, les conditions climatiques... Pour les NO_x, la concentration à 100 m représente selon les cas en général de 20 à 30% de la concentration maximale (sur l'axe de la route). On retrouve les mêmes ordres de grandeur pour le benzène, CO et, PM).

La concentration est maximale au droit de l'infrastructure, et donc dans l'habitacle des véhicules, alors que l'exposition reste forte (parfois plusieurs heures par jour) pour une part importante des usagers de la route.

■ Les écrans

Si, contrairement aux ondes sonores la pollution gazeuse ne peut pas être éliminée par un obstacle physique, certaines configurations ou dispositifs peuvent limiter les situations à risques en facilitant la dilution ou la déviation du panache de polluants.

La diffusion de la pollution particulaire peut toutefois être piégée par des écrans physiques et végétaux, de plusieurs façons :

- au niveau du tracé en adaptant le profil en long ou en modulant le profil en travers de la route (route en déblai) ;
- par l'utilisation d'enrobés drainants pour piéger des particules, mais le sujet reste en débat ;
- par l'insertion d'obstacles physiques, faisant office de piège à poussières : écrans végétaux larges (le profondeur préconisée d'au moins 10 mètres est conséquente) avec des essences adéquates ; ou bien des écrans physiques (murs anti-bruits, merlon...) suffisamment hauts.

Bien d'autres facteurs ont un rôle sensible sur les émissions, : le taux de démarrage à froid (donc indirectement le type et la longueur du trajet), la charge et le chargement du véhicule, des conditions d'opération (température, humidité...). Ils sont globalement indépendants de l'aménagement de la voie et des conditions d'utilisation, aussi nous les développerons pas ici.

2. Les solutions actuelles en matière de réduction des émissions de CO2

Remarques liminaires : Nous n'aborderons pas ici les moyens de compensation carbone (quotas, stockage...) car étant indépendantes des conditions de conception et d'utilisation de la voie. Néanmoins, le marché des quotas permet sans doute d'apprécier l'ordre de grandeur de la pertinence économique de mise en œuvre d'une mesure de réduction.

Le CEMT[15] formulent diverses recommandations⁶⁵ relatives au système de transport en tenant compte des volumes associés mais aussi (et surtout) du critère d'efficacité économique. Les mesures recommandées concernent en premier lieu la fiscalité⁶⁶, les règles relatives aux composants des véhicules⁶⁷, l'optimisation de la logistique du transport de marchandise et l'octroi par les pouvoirs publics d'aides à la conduite écologique. Le rapport cite une évaluation *ex post* de la politique néerlandaise⁶⁸ (de lutte contre le changement climatique) montrant que les campagnes d'incitation à l'amélioration du style de conduite affichent un bon rapport coût/efficacité.

Des mesures axées sur la mobilité peuvent également contribuer à faire baisser les émissions de CO2. Le rapport préconise de donner une priorité aux mesures qui produisent des effets bénéfiques conjoints, sans pour autant négliger leur rapport coût-efficacité. En matière de report modal, les mesures multiples procèdent d'une recherche simultanée d'effets bénéfiques sur plusieurs plans (réduction de la congestion, cohésion sociale, accessibilité...). Le rapport explique que ce type de mesure sont généralement peu productives en termes de réduction de GES ; elles peuvent néanmoins être efficaces quand elles sont bien ciblées.

Enfin, un principe économique est rappelé : les coûts sont réduits à **leur niveau minimal quand le coût marginal de la réduction des émissions de CO2 est similaire pour toute les mesures dans tous les secteurs**. Aucun élément dans la littérature ne semble suggérer que c'est le cas actuellement, surtout en l'absence d'évaluation des politiques et mesures de réduction des émissions.

En termes d'aménagement urbain, il peut être utile de préconiser des types d'aménagements limitant les accélérations fortes, et défavorisant les hauts régimes moteurs [Ericsson, 2001]. Des études ont par exemple montré l'intérêt de proposer des régulations dynamiques de vitesse visant à lisser les comportements de conduite [Barth et al., 2009], ou de mettre en place des dispositifs pour apaiser les comportements de conduite [Litman, 1999].

Les réflexions et travaux de recherche ou méthodologiques en matière de réduction des émissions de GES concernent principalement soit la phase construction⁶⁹ (recyclage, amélioration du bilan énergétique du poste chaussée, modalité de transport des matériaux, techniques d'ouvrage d'art, etc.)⁷⁰, soit les méthodes d'évaluation (éco-comparateurs, bilan carbone...). Elles concernent moins la phase utilisation de l'infrastructure. Ainsi, les propositions formulées dans le cadre des bilans carbone des grands projets d'infrastructure afin d'améliorer le bilan du projet restent limitées pour cette dernière, pourtant la plus conséquente. Schématiquement, elles concernent surtout la réduction des vitesses limite autorisée⁷¹. Les propositions sur la conception pour le poste « utilisation » sont limitées et parfois jugées peu réalistes (ex : réduire les pentes).⁷²

En matière de GES, il est aussi possible d'améliorer le bilan des infrastructures de transport à travers **la capture ou le stockage du carbone (plantation, séquestration...)**. C'est d'ailleurs l'un des volets de la R5G. Quoiqu'il en soit, la question du stockage du carbone – quelle que soit son importance – paraît indépendante des émissions

⁶⁵ Il s'appuie sur une base de données (à partir des communications nationales diffusées dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et plusieurs autres publications récentes) comportant plus de 400 mesures de réduction des émissions de CO2 qui ont été mises en œuvre ou sont envisagées.

⁶⁶ Ex : les taxes sur la carbone et les carburants, l'amélioration des incitations fiscales à l'utilisation des véhicules efficaces.

⁶⁷ Ex : les pneumatiques, la climatisation, l'éclairage...

⁶⁸ Réalisée par la C.E. [Debruyne, 2005]

⁶⁹ Par référence aux trois principales phases identifiées dans le bilan carbone[®], selon la méthode et la terminologie de l'ADEME.

⁷⁰ On pourrait aussi considérer que les réflexions (et mesures) menées sur la réduction des coûts dans le passé, notamment dans les années 90, s'approchent de cette logique ou de cet objectif. En effet, il s'agissait essentiellement de réduire les coûts par réduction des quantités (longueur ou surface d'ouvrage, volumes des terrassements et des chaussées, etc.), ce qui va globalement dans le même sens que la réduction des émissions de GES, lors de la phase de construction.

⁷¹ Sans forcément garantir une réduction du même ordre au niveau des vitesses pratiquées.

⁷² Point à approfondir néanmoins.

et donc de l'utilisation de l'infrastructure et sort donc du champs de ce rapport. Une telle mesure peut être assimilée à une forme de compensation. Il conviendrait de s'assurer qu'elle vérifie les principes mentionnés ci-dessus, à savoir de conduire à des bénéfices conjoints, et à un coût marginal réduit.

3. Les solutions actuelles en matière de réduction des émissions de polluants

Les perspectives au niveau des infrastructures, relèvent essentiellement pour les mesures actuelles, expérimentales ou prévisibles à court terme (en application du Grenelle par ex.) de la régulation et de l'exploitation :

- Une réduction des vitesses (permanentes) : choix pour le contournement de Montpellier, les voies à caractéristiques autoroutière de l'aire métropolitaine Aix-Marseille, éventuellement en rapport avec des enjeux de sécurité (cas des Alpes-Maritimes).
- Les mesures d'exploitation : Régulation des vitesses (en relation avec la congestion) : cas de A7 (ASF), VRU de Toulouse (cf. ZELT...). La revue bibliographique du LICIT [11] met en évidence une convergence des études sur le bénéfice au niveau de la pollution atmosphérique des stratégies de régulation du trafic limitant les fortes accélérations et les redémarrages.⁷³
- mesures de gestion de la circulation : stationnement, guidage des véhicules...
- de la modulation du péage autoroutier (directive eurovignette, grenelle 2), en fonction de la classe EURO, jusqu'à un écart du simple ou double entre les catégories les moins et les plus polluantes.
- Les mesures permettant de réduire la congestion. En termes de consommation d'énergie (et émissions de GES) et de pollution, les embouteillages constituent la situation la plus pénalisante. Cf. les liens entre écoulement du trafic et pollution.
- Etc.

Au niveau de l'aménagement : elle concerne l'amélioration de l'offre de service de transport en commun (TCSP, BHNS...), la facilitation des modes actifs, l'accessibilité (aménagements cyclables, services associés...) : les rendre plus attractifs, plus sûrs, plus rapides, notamment en milieu urbain, en améliorant leur environnement.

Nota : Si l'on peut éventuellement se lancer dans une estimation d'un gain en matière d'émission de polluants, il est bien plus délicat de faire des projections sur le bénéfice au niveau sanitaire. En effet, compte tenu des interactions entre polluants, la baisse de certains polluants dans l'air n'est pas proportionnelle à la baisse des émissions. En outre, le niveau de pollution local ne dépend pas que des émissions et évidemment pas que des émissions liés aux transports. La météo a une importance forte (réaction chimique, dispersion...). Des évaluations réalisées (e. g. cas de Toulouse) ont même montré des résultats paradoxaux avec des baisses d'émissions de certains polluants pouvant se traduire dans certains cas par un accroissement de la concentration d'un autre polluant (en l'occurrence l'ozone).

4. La vitesse

La vitesse est au centre de toutes les réflexions, même si ce terme peut recouvrir des notions diverses. La vitesse caractérise à la fois certains impacts environnementaux telles que la pollution et le bruit (cf. mesures adoptées pour lutter contre la pollution atmosphérique...), la performance de la voirie et le niveau de service (vitesse moyenne, fiabilité du temps de parcours...). Elle renvoie également à la sécurité, aux conditions d'aménagement (à travers la vitesse de conception), aux possibilités de mixité des usages... Par ailleurs, il semble plus que jamais possible et souhaitable de la maîtriser, non seulement par le déploiement du contrôle automatisé (de 1ère, 2nde... génération), par la mise en œuvre de régulation dynamique de vitesse, éventuellement modulée (longitudinalement, transversalement, temporellement), par l'émergence des

⁷³ La référence pointe néanmoins une des limites rencontrées lors de l'étude de l'impact des stratégies de régulation, liée à la prise en compte difficile de la quantité de déplacements induits.

systèmes d'aide à la conduite⁷⁴ (ex : projets LAVIA, BALI, CAUSAL...). Les réflexions sur les éléments « modérateurs de vitesse » est aussi un aspect important de l'aménagement des voiries, surtout sur les voiries urbaines, moins sur les voiries rurales ou les infrastructures à caractère autoroutier.

⁷⁴ Il apparaît manifestement plus facile « d'intervenir » sur la vitesse du véhicule que sur la direction.

7 Perspectives

Le présent document rassemble des informations nombreuses sur un sujet vaste, qu'il explore de manière forcément inégal. La nature exploratoire et préalable de la réflexion ne permet de pas de tirer des conclusions précises et définitives sur des nouvelles solutions pour une conception innovante des voiries, permettant de réduire les conséquences de l'usage de la route. Des conclusions sont néanmoins données sur les sujets évoqués au cours des chapitres.

Les principales pistes que ce travail a permis de faire émerger ont été formalisées dans une note spécifique « Cadrage des pistes de travail » (2011) élaboré conjointement. Sans reprendre tout le contenu de cette note on peut souligner que les pistes de travail privilégient des approches globales ou transversales, plutôt que des thèmes très ciblés – associés à une composante de l'infrastructure ou à un enjeu particulier. En effet, au-delà des gisements dans différents domaines, apparaissent des verrous d'exploitation transversaux. Ces verrous renvoient notamment à deux aspects de nature différente :

- à la structure et aux principes associés à l'élaboration des recommandations techniques en matière de conception routière. Il paraît en effet délicat de modifier substantiellement les pratiques en matière d'aménagement sans revenir sur certains des principes à l'origine des règles de l'art, compte tenu de la cohérence intrinsèque du corpus actuel et au conservatisme que cela induit ou fait apparaître.
- à la difficulté de maîtriser sur les voies non urbaines, autrement que par un contrôle systématique (CSA...), les vitesses pratiquées par l'utilisateur, et plus précisément d'homogénéiser les vitesses entre les usagers et sur une section. Cela implique de limiter en fréquence et en ampleur les phases d'accélération et donc de décélération. Si multiplier les phases d'arrêt ou de ralentissement fort sur la voie permet de rythmer le parcours et concourt à abaisser les vitesses moyennes, cela ne permet pas forcément de réduire les émissions de polluants et de GES, et peut même avoir des effets négatifs dans ce domaine.

Les quatre pistes de travail développées sont les suivantes:

- P1] Une typologie routière réformée et élargie
- [P2] Nouveau type de route : voies périurbaines à 70 km/h
- [P3] Transposer et adapter les outils de modération de la vitesse au milieu péri/interurbain
- [P4] Changer les modalités de définition des recommandations pour dégager des marges de manœuvre

La note susvisée explicite les enjeux et les gisements associés à ces différentes pistes.

Bibliographie

- [1] Ademe, 2010, Qualité de l'air dans les agglomérations françaises (La). Bilan 2009 de l'indice ATMO.
- [2] ADEME, 2011, Véhicules particuliers vendus en France. Évolution du marché, caractéristiques environnementales et techniques.
- [3] AIPCR - Comité C13, 2003, Manuel de Sécurité routière.
- [4] Banque Mondiale, 2005, Sustainable safe road design, rapport MV/SE2005.0903 du 15S, version 5.
- [5] Bassi, C., 2004, Les principaux polluants : effets et contributions. Les phénomènes de pollution atmosphérique. Cete Méditerranée.
- [6] Bergh, , 2+1-roads with cable barriers – a new safety measure, 2nd European road research conference – .
- [7] Bergh, T., Carlsson, A., Moberg, J., , 2+1 Roads with Cable Barriers-A Swedish Success Story, 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, June 29-July 1, 2005, Chicago.
- [8] Berthier, J., 2010, Évolution du réseau routier français. Les idées et les dates marquants du Xxè siècle in RGRA....
- [9] Blossville et al., 2001, "la route automatisée : un scénario périurbain. Inrest, Inria, LCPC et al..
- [10] Accord européen sur les grandes routes de trafic international (AGR), conclu à Genève le 15 novembre 1975. Texte consolidé du 14 mars 2008, 2008
- [11] Can A., Leclercq L., , Estimation des consommations énergétiques et des polluants émis par le trafic routier - Revue bibliographique des modèles existants.
- [12] CE, 2007, Règlement (CE) no 715/2007 du 20 juin 2007 relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules.
- [13] Règlement (ce) no 443/2009 du 23 avril 2009 établissant des normes de performance en matière d'émissions pour les voitures particulières neuves dans le cadre de l'approche intégrée de la Communauté visant à réduire les émissions de CO2 des véhicules légers, 2009
- [14] CE, 2009, Règlement (CE) n° 595/2009 relatif à la réception des véhicules à moteur et des moteurs au regard des émissions des véhicules utilitaires lourds (Euro VI) et à l'accès aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules.
- [15] CEMT, 2007, Transport et émissions de CO2. Quels progrès, OCDE.
- [16] Certu, 2009, Dispersion des polluants aux abords des infrastructures routières. Fiche n°2.
- [17] Certu, 2009, Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines, I.C.T.A.V.R.U.
- [18] Certu, Ademe, 2006, Émissions de polluants des transports routiers en France - répartition par types de réseaux en 2000 et 2010..
- [19] Cete de l'Ouest, Sétra, 2008, L'application du concept de la «route apaisée» à la desserte de l'aéroport du Grand Ouest près de Nantes.
- [20] Cete Méditerranée, 2002, Dispersion des polluants aux environ d'une route. Volet "Santé". Calculs ADMS..
- [21] Cete Méditerranée, Certu, 2011, .
- [22] CGDD/SEEID, 2011, Une évaluation du dispositif de contrôle-sanction automatisée la vitesse.
- [23] CGPC, 2005, Analyse des possibilités et des conditions d'amélioration de la circulation sur voies rapides des véhicules des lignes régulières locales de transport en commun en fonction du niveau de dégradation des conditions de circulation générale, rapport n° 2003-0028-01&02.
- [24] CITEPA, 2009, Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France, séries sectorielles et analyses étendues.
- [25] Coll., 2001, La route automatisée : un scénario périurbain.
- [26] Corniou, JP., 2012, Le réseau routier français, un actif menacé, Les Echos, 1er juin 2012.
- [27] DGITM, 2011, Schéma national des infrastructures de transport.
- [28] Direction des routes, 1991, Catalogue des types de route en milieu interurbain, circulaire du 9 décembre 1991.
- [29] Guyot, , Gisements de sécurité routière, GUYOT Régis.

- [30] INRETS/LTE, 2004, Modélisation de la composition du parc automobile roulant de 1970 à 2025.
- [31] Laterrasse, 2006, Pourquoi une « approche systémique » et en quoi consiste-t-elle ? - extrait du cours SYSTA (système des transports).
- [32] Mazet, C., Dubois, D. and Fleury, D, 1987, Catégorisation et interprétation de scènes visuelles: le cas de l'environnement urbain et routier. *Psychologie Française*, Numéro Spécial, 85-96..
- [33] Ministère de la Santé, 2004, Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routière.
- [34] Moisan et al., 2011, La route autrement pour une conduite apaisée (RACA) comprendre le comportement des usagers pour concevoir des routes.
- [35] Moisan et al., ??, La route autrement pour une conduite apaisée (RACA) comprendre le comportement des usagers pour concevoir des routes.
- [36] ONISR, 2011, La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2010. La documentation française.
- [37] Patte L., 2003, Routes express : leur sécurité, leur retraitement, RGRA n°821.
- [38] Patte, L., 2009, Évaluation du risque en relation avec la visibilité - Proposition d'indicateurs de risque pour la visibilité .
- [39] Perriot A., 2008, Route et énergie : comment la chaussée peu peser sur la consommation des véhicules..
- [40] Sarhan, M., Hassan, Y., 2007, Three Dimensionnal, Probabilistic Highway Design : Sight Distance Application, TRB 2008 Annual Meeting .
- [41] Science&Vie, 2010, Automobile 2010 - Hors série.
- [42] Sétra, 1994, Aménagement des Routes Principales [A.R.P.] – Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales [I.C.T.A.R.N.] – Circulaire du 5 août 1994.
- [43] Sétra, 1998, Aménagements des carrefours interurbains - Carrefours plans.
- [44] Sétra, 2000, Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (circulaire du 12 décembre 2000).
- [45] Sétra, 2002, ICTAVRI - rapport du groupe de travail.
- [46] Sétra, 2003, Retraitement des routes express - rapport final.
- [47] Sétra, 2006, Paysage et lisibilité de la route – éléments de réflexion pour une démarche associant la sécurité routière et le paysage.
- [48] Sétra, 2009, Note d'info série E... n°92 - titre.
- [49] Sétra, 2011, 2 x 1 voie - Route à chaussées séparées.
- [50] Sétra, Certu., 2005, Note méthodologique sur l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routières.
- [51] Sétra, Cetur, 1992, Sécurité des routes et des rues.
- [52] Sétra, Cetur, 1992, Sécurité des routes et des rues.
- [53] Sétra, DGR, 2006, Actes du colloque «la route autrement» du 9 mars 2006 .
- [54] Syndicat mixte du schéma directeur; Agence d'urbanisme de la région grenobloise, 2009, Chronoaménagement et autoroute autrement – La proximité au secours du territoire.
- [55] Texier P.Y., 1999, Du transport intelligent à la route intelligente.
- [56] Theeuwes, J. and Godthelp, H, 1992, Begrijpelijkheid van de weg (Self-explaining roads). Report IZF 1992 C-8. Soesterberg: TNO Institute for Perception.
- [57] Trigui, R. (INRETS/LET), 2009, Les technologies hybrides et la réduction des émissions de CO2, TEC n° 204 oct – déc. 2009.
- [58] TRL(UK), KfV (A), CDV (Cz), 2010, Self-Explaining Roads Literature Review and Treatment information. SPACE Deliverable n°1. Road ERA-net.
- [59] Université de Thessalonique, Laboratory of applied thermodynamic., 2007, COPERT 4, Emission Inventory Guidebook.
- [60] Ville & Transports magazine, Mars 2006, Pollution atmosphérique (dossier).
- [61] Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie n°96/1236 du 30/2/1996,
- [62] , , TEC n°194 – Spécial routes.
- [63] La route intelligente, utopie ou réalité ? Colloque. Paris, 24 juin 2010. <http://la-route-intelligente.com>,

- [64] Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement,
- [65] Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en oeuvre du Grenelle de l'environnement,
- [66] ???, 2010, Evolution du réseau routier français - Les idées et les actes marquants du XXe siècle. Dossier 100 ans Association Mondiale de la route (AIPCR). RGRA. N° 881. Déc. 2009 – Janv. 2010, pp35..

8 Annexe 1 – Entretiens

Partie 1 – Présentation (env. 20')

- **Présentation générale de SERRES**
 - cf. cahier des charges de l'opération de recherche [11s111_serre_chanut_cdc_cos_2010_06_21_vf.pdf] ou support de présentation [CETE69_DES_SC_SERRE_COS_LCPC_2010_06_21_VF]
- **Présentation de l'action 4/4.1 en particulier**
 - cf. fiche de présentation synthétique
- **Présentation de la phase d'entretien**
 - Objectifs – Résultats attendus – Modalité – Casting...
 - Objectif: il s'agit de...
 - Résultats attendus : gisements...
 - Modalités :
- **Présentation du déroulement de l'entretien**
 - durée = 2 h (en général)
 - restitution sous forme de fiche / CR d'entretien
- **Présentation de la personne interviewée (profil : nom, grade, service, poste, compétences...)**

Partie 2 – Échanges (1h à 1h30)

- Questions ouvertes et générales sur :
 - la vision sur l'évolution à court, moyen ou long terme sur le système route/transport, ou sur certaines de ces composantes...
 - les enjeux / les problèmes
 - les pistes d'optimisation
- Questions sur les gisements
- Questions plus fermées sur certaines problématiques (en fonction des compétences et de l'expérience de la personne)

Partie 3 – Synthèse et suites à donner (10')

- Synthèse de l'entretien, pistes à approfondir, personnes à contacter, documents à transmettre...