

ECO-CONCEVOIR L'ENTRETIEN ROUTIER :

RÉFÉRENTIEL SYSTÉMIQUE

ET

MÉTHODOLOGIE OPÉRATOIRE

Anne de BORTOLI (anne.de-bortoli@enpc.fr)

Sous la direction de Fabien LEURENT (LVMT)

Encadrée par Adélaïde FÉRAILLE (Navier)



I – PROJET DE RECHERCHE

II - AVANCEMENT



I – PROJET DE RECHERCHE

II - AVANCEMENT

I – PROJET DE RECHERCHE

Contexte et enjeux

TRANSPORTS : *enjeux économiques, écologiques et sociaux*

ÉVALUATION dans le transport :

Analyses socio-économiques VS(?) Bilans environnementaux

OUTILS :

- Highway Development & Management (*Kerali et al. 2006*)
- Analyse de Cycle de Vie (*Santero et al. 2011*)
- Éco-comparateurs routiers (*Massa 2011, IDRRIM 2013, Ventura et al. 2012*)

I – PROJET DE RECHERCHE

Problématique

1. Quels sont les impacts de l'entretien des routes sur le système de transport routier?
2. Qu'attend-on de ce système?
 - Quel service rendu (fonction principale)?
 - Associé à quelles caractéristiques (fonction secondaires)?
3. Quelle(s) méthodologie(s) voire quel(s) outil(s) d'évaluation pour améliorer l'efficience des investissements?

I – PROJET DE RECHERCHE

Objectifs

OBJECTIF THÉORIQUE : compréhension du système de transport routier

=> *référentiel d'évaluation multicritère*

OBJECTIF MÉTHODOLOGIQUE

- Méthode d'évaluation
 - Indicateurs de performance
 - Unité fonctionnelle : quel service rendu?
 - Indicateurs d'efficience
- Application de la méthodologie
 - Quel entretien optimal?
 - Selon quels critères?
 - Pour quel type de route?

I – PROJET DE RECHERCHE

Méthodologie

CHAMPS DISCIPLINAIRES CONCERNÉS

- Techniques routières (génie civil, génie des matériaux)
- Economie des transports (approche évaluative multicritère intégrée)

DÉMARCHES

- Revue bibliographique
- Entretiens (chercheurs, opérationnels)
- Etudes de cas

I – PROJET DE RECHERCHE

Plan

1. RÉFÉRENTIEL

- étude technique du transport routier
- et en particulier de l'entretien des infrastructures

2. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION

- Revue critique :
 - Des outils existants
 - Des indicateurs (de performance, d'efficacité)
- Confection d'une méthodologie :
 - plus complète
 - adaptée à l'entretien routier

3. APPLICATIONS

- Études de cas
- Pour optimisation multicritère



I – PROJET DE RECHERCHE

II – AVANCEMENT

1 – Manuscrit

2 - Travaux



I – PROJET DE RECHERCHE

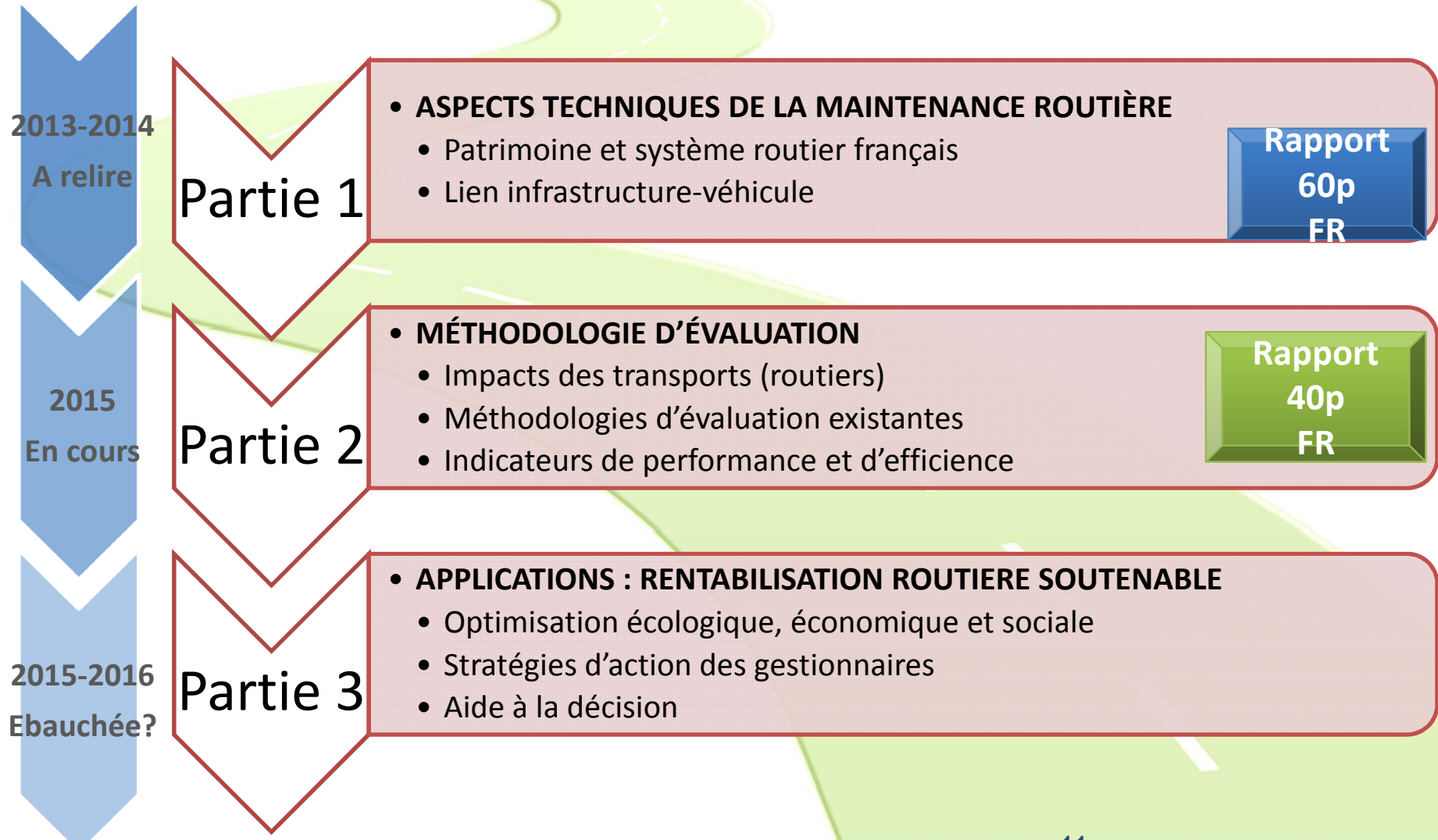
II – AVANCEMENT

1 – Manuscrit

2 - Travaux

II. 1 – DEROULEMENT - Manuscrit

ASPECTS ORGANISATIONNELS DE LA THÈSE – PLAN ET CALENDRIER





I – PROJET DE RECHERCHE

II – AVANCEMENT

1 – Manuscrit

2 - Travaux

Optimisations actuelles du transport routier

INFRASTRUCTURE

Cadres d'optimisation

- IQRN/A/D (Indicateurs LOI F)
- Grenelle environnement
=>CEV
- Contraintes économiques

Types d'optimisation

- **Environnementale,**
 - **Matériaux :** formulation, procédés
 - **Projets :** mise en œuvre, tracé, planification
 - **Gestion:** entretien, VH, GDV...
- **(Socio-) économique** (projets)

Outils d'optimisation

- ACV (Eco-comparateurs)
- Bilans socio-éco (considération du trafic)
- Analyse des coûts en cycle de vie

VÉHICULES

Cadres d'optimisation

- Normes Euro
- Pollution de l'environnement
- Sécurité
- Économiques

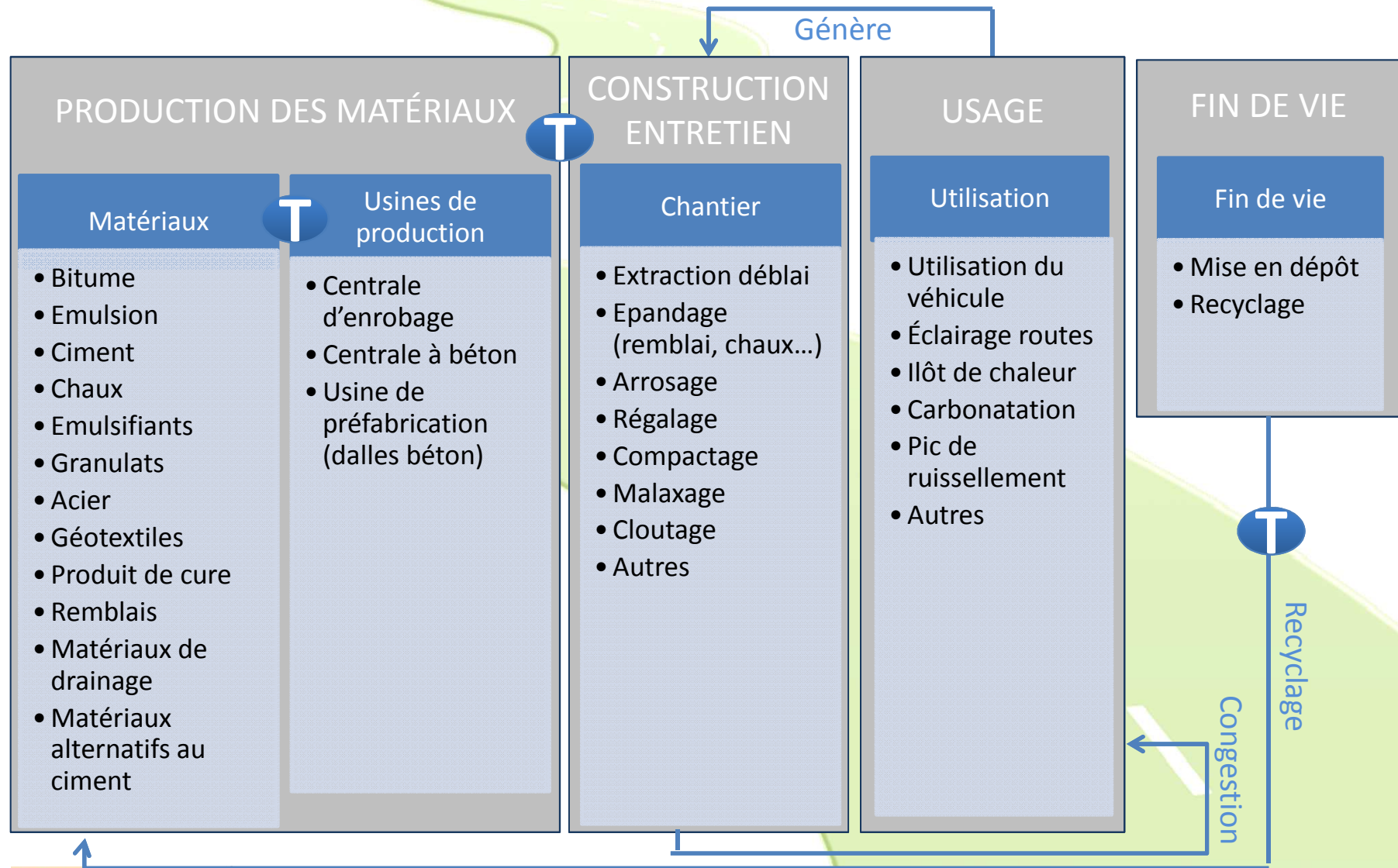
SERVICES AUX USAGERS
=>Information trafic
•Sécurité
•Congestion (consommation & temps passé)

- **Consommation :** downsizing, masse, aide à la conduite, stop&start, ...
- **Systemes :** VE, hybrides, ...
- **Gestion :** entretien intégré

Outils d'optimisation

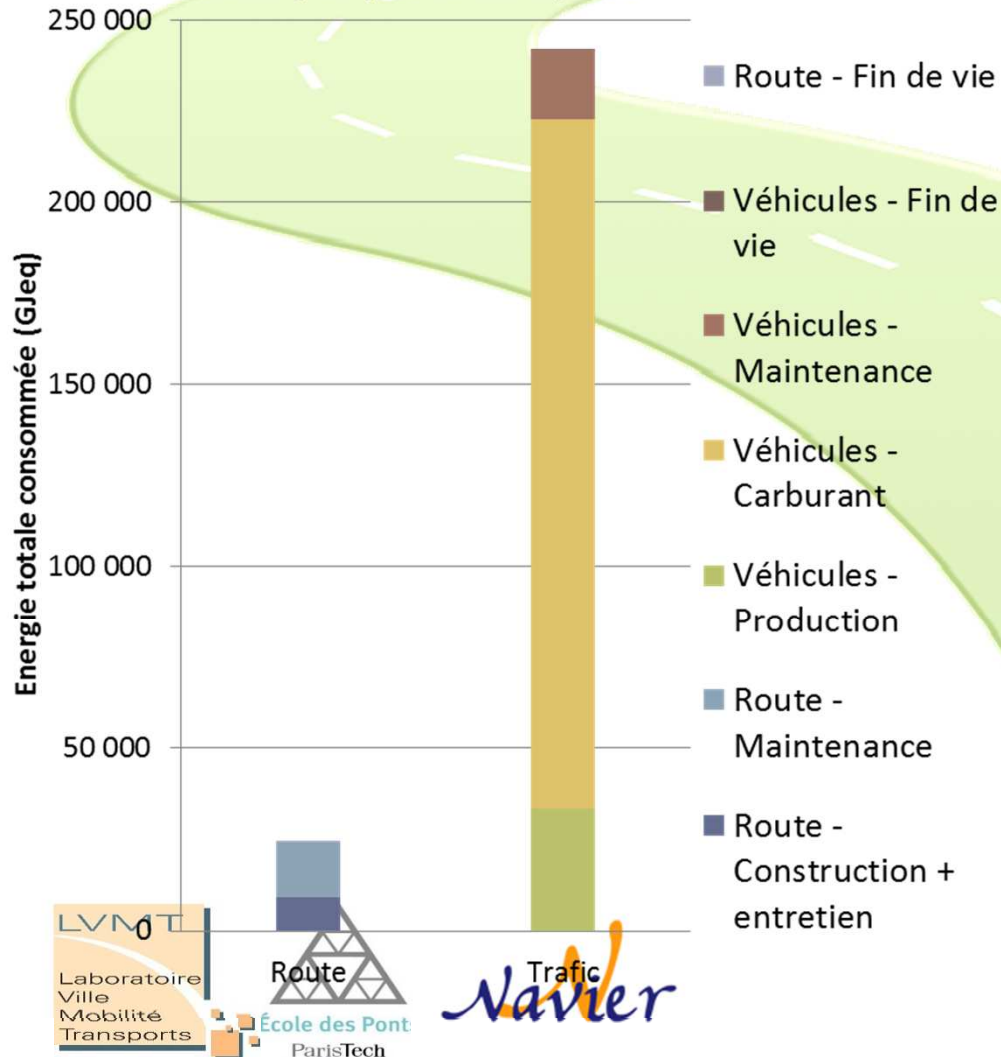
- ACV
- Bancs d'essais (conso et émissions)
- Systemes de GMAO

CYCLE DE VIE ROUTIER COMPLET

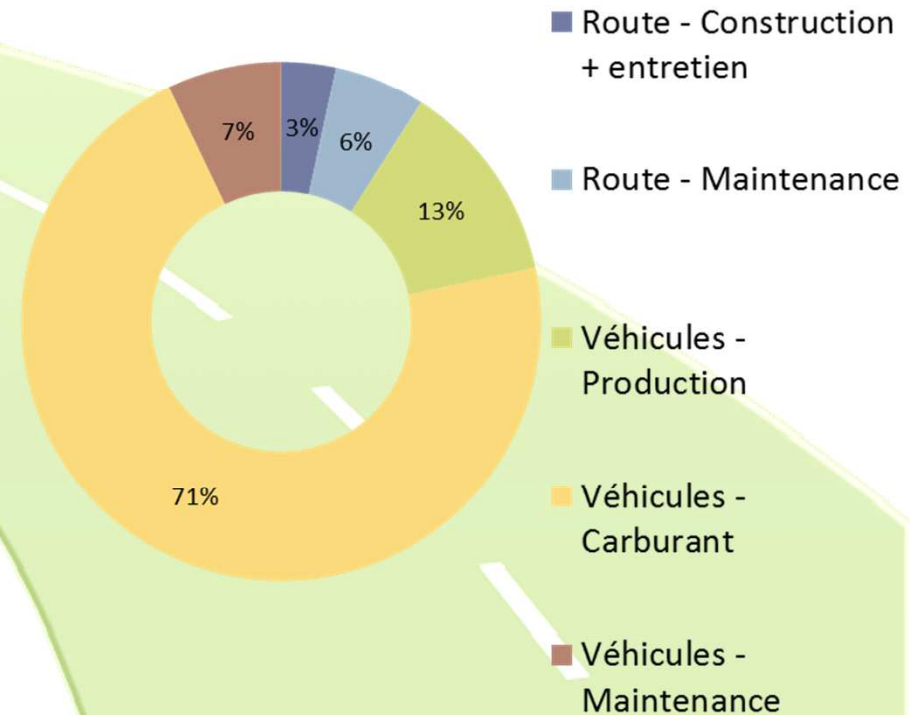


Evaluation énergétique combinée (infrastructure + trafic) sur cycle de vie

Energie totale consommée par une route et son trafic par poste sur cycle de vie de 30 ans



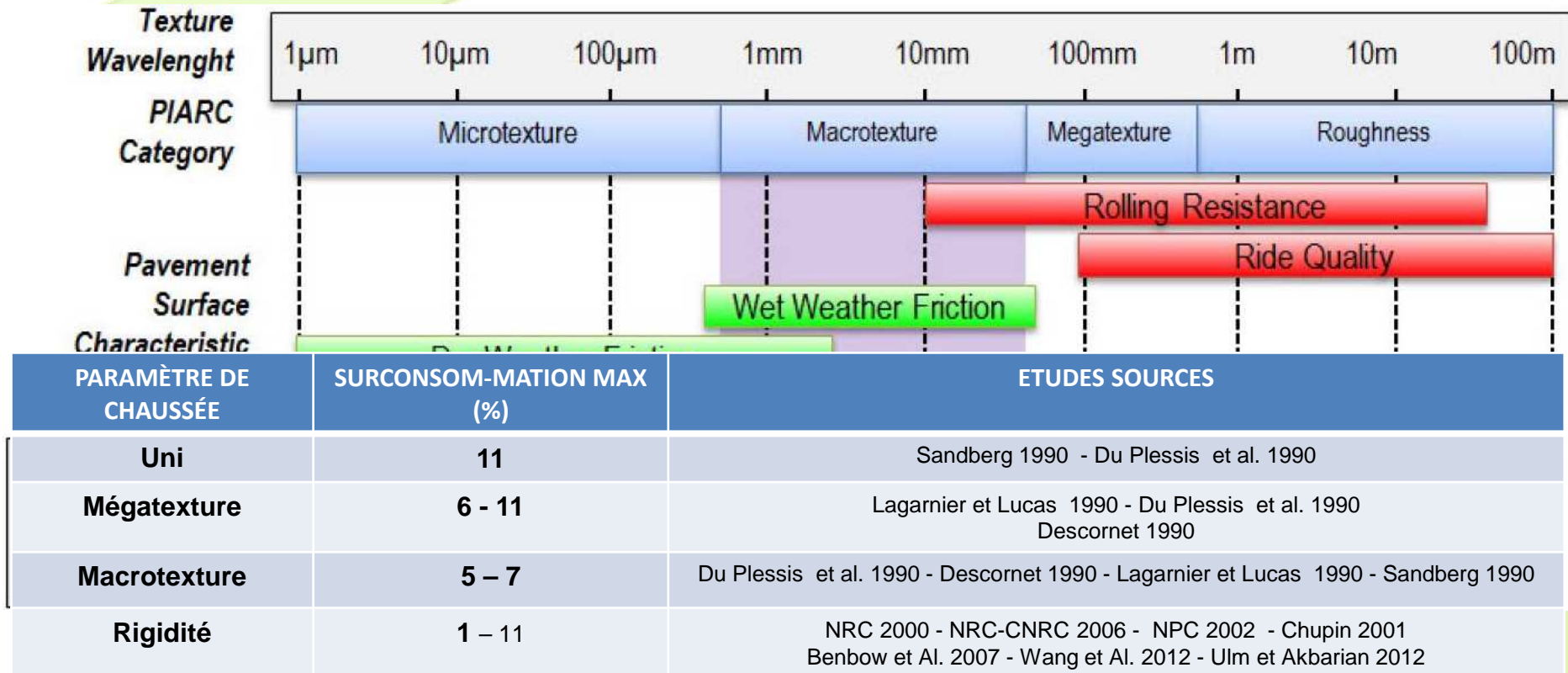
Postes de consommation énergétique du système routier sur cycle de vie



De Bortoli 2014

Impact des caractéristiques de surface selon leur longueur d'onde

Segmentation des caractéristiques de surface selon leur longueur d'onde (AIPCR) et identification des catégories d'impacts (Bitelli et al. 2012)



Projet MIRIAM : loi générique de calcul : $Cr = a + 0.0020 \cdot macro + b \cdot IRI$ (a, b = cstes)

Impact énergétique de la qualité de resurfaçage

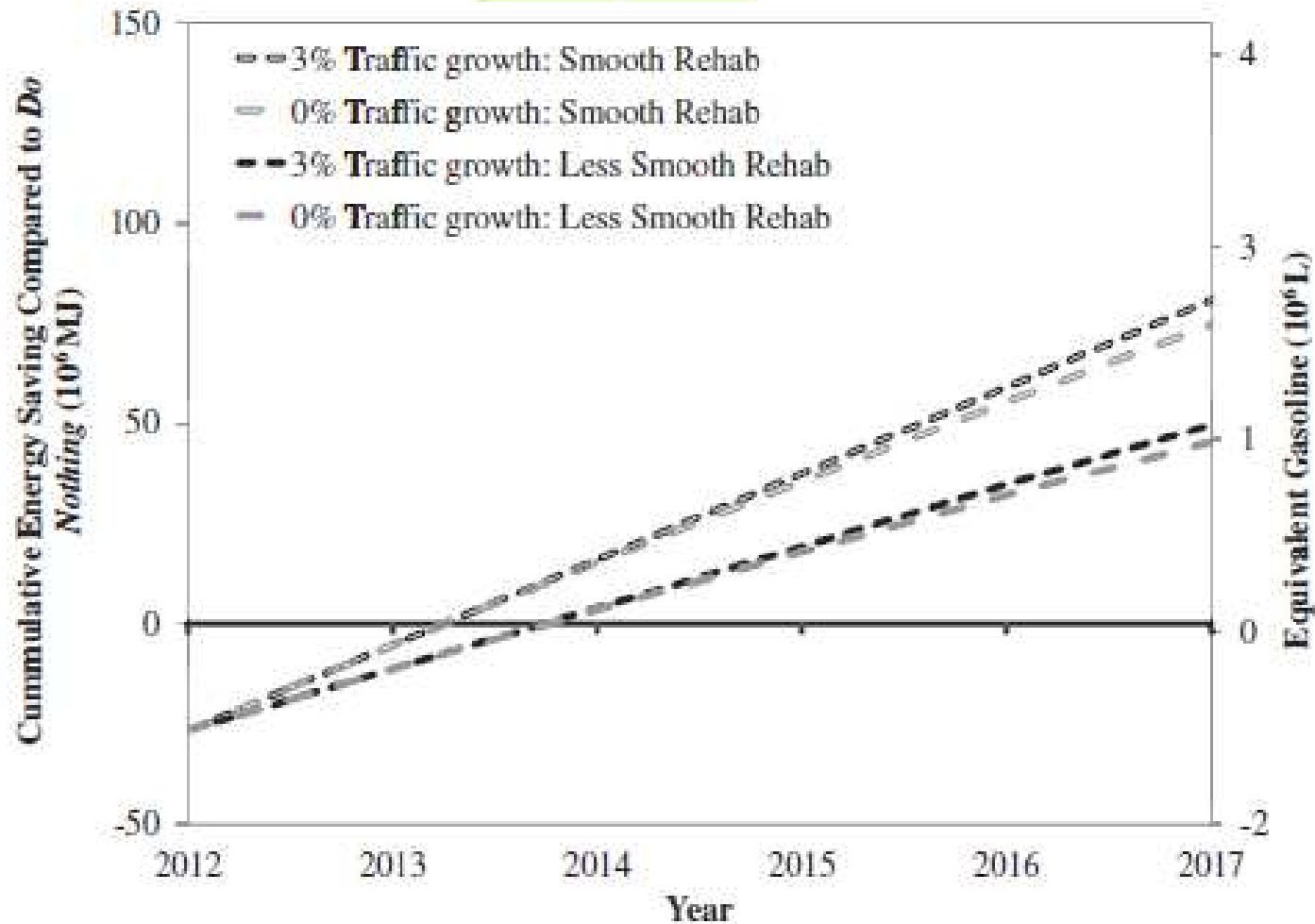


Fig 6. Cumulative energy saving compared to *Do Nothing* with conventional HMA overlay in KER-5.

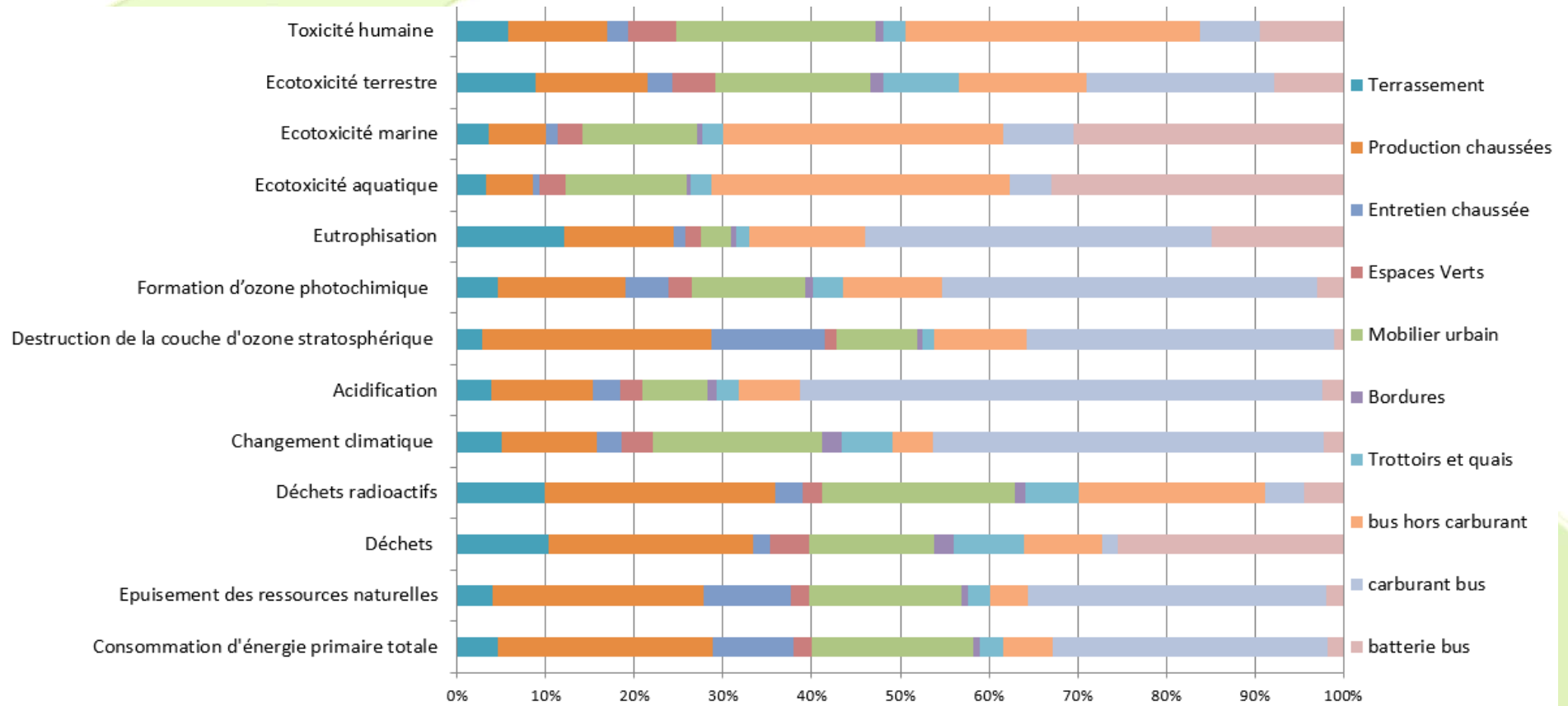
MODULE « ANALYSE DE CYCLE DE VIE DES MODES DE TRANSPORT URBAIN »

Article
16p
FR



- Module support de la voie d'approfondissement « Eco-conception de la ville durable » soutenu par la Chaire (3A)
- Etude de cas 2014-2015 : « Analyse de cycle de vie du système de Bus à Haut Niveau de Service de Fort-de-France »
- Objectif : Test méthodologique d'une ACV détaillée d'un projet de transport

TYPES DE RÉSULTATS



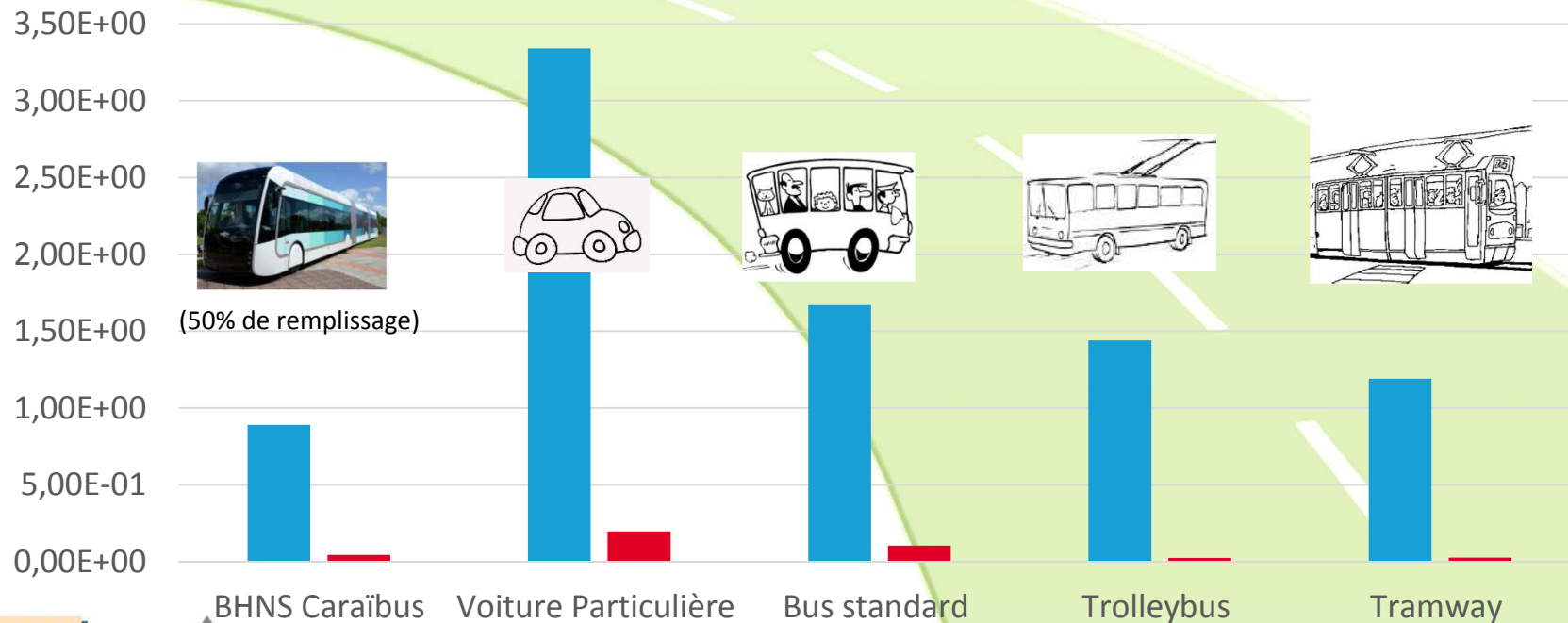
TYPES DE RÉSULTATS

CATÉGORIE D'IMPACT	Impact/pkm selon le taux de remplissage moyen (%)			Unité
	82%	50%	30%	
Consommation de ressources énergétiques	5,43E-01	8,91E-01	1,48E+00	MJ eq
Epuisement des ressources non renouvelables	2,19E-04	3,59E-04	5,98E-04	kg eq antimoine
Déchets solides	2,64E-03	4,34E-03	7,23E-03	kg
Déchets radioactifs	7,01E-07	1,15E-06	1,92E-06	kg
Changement climatique à 100 ans	2,63E-02	4,31E-02	7,18E-02	Kg CO2 eq
Acidification atmosphérique - générique	1,58E-04	2,58E-04	4,31E-04	Kg SO2 eq
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique - constant	5,04E-09	8,27E-09	1,38E-08	Kg CFC-11 eq
Oxydation photochimique- high NOx POCP	5,59E-06	9,16E-06	1,53E-05	kg éthylène eq
Eutrophisation – générique	4,35E-05	7,14E-05	1,19E-04	kg PO4 ³⁻ eq
Ecotoxicité aquatique en eau douce à 100 ans	4,92E-03	8,07E-03	1,35E-02	kg 1,4-DCB eq
Ecotoxicité aquatique marine à 100 ans	1,92E-02	3,15E-02	5,24E-02	kg 1,4-DCB eq
Ecotoxicité terrestre à 100 ans	6,33E-06	1,04E-05	1,73E-05	kg 1,4-DCB eq
Toxicité humaine à 100 ans	1,11E-02	1,81E-02	3,02E-02	kg 1,4-DCB eq

PERSPECTIVES DE L'ACV EN TRANSPORT

MODE	PROCÉDÉ ECOINVENT	CONTEXTE
VP	transport, passager car	Européen
Bus	transport, regular bus	Suisse
Trolleybus	transport, trolleybus	Suisse
Tramway	transport, tram	Suisse

Comparaison environnementale de modes de transport concurrents par approche ACV (/pkm)



ACV DES SYSTÈMES DE TRANSPORT ROUTIERS FRANÇAIS

- **Tuteurs** : Adélaïde Féraïlle et Anne de Bortoli
- **Objectif** : étude ACV {infra+route} sur cas d'école français :
 - structure béton bitumineuse épaisse (50% linéaire DIR-A)
 - structure mixte (25%)
 - structure à assise traitée aux liants hydrauliques (25%)
- **Données**
 - *Terrassement* : Hoang 2005
 - *Dimensionnement chaussée* : catalogue des chaussées (30 ans, T0)
 - *Entretien* : scénario théorique (LCPC-Sétra 1998)
 - *Maintenance hivernale* : 12 t/km.an de sel (Réf : Orne)
 - *Eclairage* : retenir 140 W/source, une source/29m (en urbain?) ou 9 millions de sources lumineuses en France (RGRA n°899)
- **Apports:**
 - *Tableurs Excel d'inventaires de production pour un terrassement type (RN 2x2) en fonction des engins choisis, et pour un corps de chaussée de type chaussée bitumineuse épaisse ou à assise traitée aux liants hydrauliques, de classe de trafic T0*
 - *Quelques apports niveau connaissance et hypothèses de modélisation*
- **Limites**
 - *Résultats non exploitables directement car erreur(s?) de modélisation du terrassement*
 - *Pas de prise en compte du trafic (mais scénarii types via données EcoInvent possible)*
 - *Scénarii d'entretien réel? (Statistiques? Nécessite bonnes archives)*
- **Perspectives**
 - *Ajout du trafic dans le système (+assainissement?), mise au propre des modèles (tableurs avec procédés adaptables au trafic, aux variantes techniques...), travail sur l'entretien réel (pb d'archives?)*



ANALYSE DES COÛTS EN CYCLE DE VIE : APPLICATION À LA MAINTENANCE ROUTIÈRE

Co-tuteurs : André ORCESI (IFSTTAR , stratégies de gestions des OA)
Yannick TARDIVEL (Dtec ITM, CEREMA, infrastructures et DD)

Objectif : état de l'art sur l'analyse des coûts en cycle de vie de l'entretien routier – pistes d'application opérationnelles

Apports:

- Rapide étude bibliographique sur l'ACCV de l'entretien routier => que des applications académiques qui en semblent pas utilisables en condition opérationnelles
- Etude statistique des corrélations IQRN/entretien
- Recherche de paramètres à relier au besoin d'entretien
- Etude relative aux coûts

**Rapport 59p
+ Synthèse
6p, FR**

Limites

- *Principalement liées aux bases de données disponibles et à l'aspect multicritère*
 - *Âge, composition et suivi d'entretien des chaussées*
 - *Données/ratios de coûts (distorsions entre marché et coût réel) + forte variabilité (chantiers de nuit, spécificités importantes, amiante, etc)*

Perspectives

- Application difficile sur le réseau public aujourd'hui (indicateur IQRN inadapté, base ISIDOR inadaptée (historique de maintenance, trafic, âge de chaussée, structure, et suivi de coûts absents)
- Mais possible sur le réseau privé (meilleures BDD) bien que problème des lois de dégradation

ETUDES DES COÛTS D'USAGE DES VÉHICULES ROUTIERS

Objectif : adaptation du logiciel Vehicle Operation Costs (Michigan univ) pour calculer les coûts des usagers en fonction de l'état de la route en France

Rapport
52p
+ Synthèse
6p, FR

Données

- Réseau Cofiroute (3 sections anonymisées)

Apports

- explication des modèles utilisés dans VOC et dans une moindre mesure des sous-modèles concurrents
- exploration des lois de transfert entre IRI et NBO (deux études réalisées à l'IFSTTAR à ce jour) petit guide utilisateur en français pour utiliser VOC
- étude de sensibilité des sorties de VOC en fonction de l'IRI
- 3 cas d'application sur réseau autoroutier concédé à Cofiroute

Limites

- Caractérisation des chaussées particulière en France, lourdeur des paramètres à entrer dans le logiciel
- Transformation des données NBO => IRI en amont (pas d'accès au code pour modifier le logiciel directement)
- Approche uniquement économique, côté usager

Perspectives

- Mise en regard investissements d'entretien Vs coûts usagers
- Ajout de critères environnementaux (mixage coûts éco et coûts environnementaux?)

ETUDES DES COÛTS D'USAGE DES VÉHICULES ROUTIERS

Résultats

- Caractérisation surfacique de tronçons autoroutiers français en système international

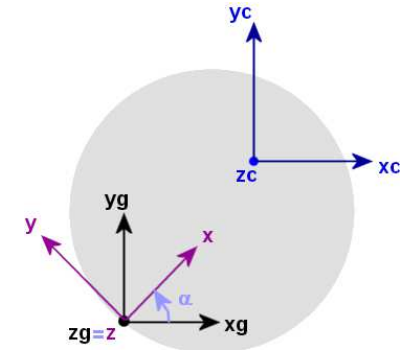
TRONÇON	DATE	INTERVALLE IRI	MOYENNE	MEDIANE
A00	2010	[0,877 ; 1,64]	1,13	1,10
A00	2014	[0,877 ; 0,967]	0,884	0,877
A01	2008	[0,877 ; 1,65]	0,992	0,939
A01	2014	[0,877 ; 1,20]	0,910	0,877
A02	2009	[0,877 ; 0,898]	0,879	0,877
A02	2014	[0,877 ; 1,05]	0,890	0,877

- Impact de la variation de l'état surfacique routier pour les coûts aux usagers (coûts propres pour les VL et les PL séparément) :
 - pour A00, la variation est de -0,5% pour les VL et -0,2% pour les PL.
 - pour A01, -0,16% pour les VL et -0,07% pour les PL
 - pour A02, -0,016% pour les VL et -0,008% pour les PL.

CONCLUSION

Une méthodologie d'évaluation ...

- opérationnelle,
- adaptable aux routes du futur,
- transférable aux autres modes de transport?



... pour optimiser l'entretien

